

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
AVIS ET RAPPORTS DU
CONSEIL ÉCONOMIQUE ET SOCIAL

LES
NANOTECHNOLOGIES

2008
Avis présenté par
M. Alain Obadia

MANDATURE 2004-2009

Séance des 24 et 25 juin 2008

LES NANOTECHNOLOGIES

**Avis du Conseil économique et social
présenté par M. Alain Obadia, rapporteur
au nom de la section des activités productives, de la recherche
et de la technologie**

(Question dont le Conseil économique et social a été saisi par décision de son bureau en date du 9 janvier 2007 en application de l'article 3 de l'ordonnance n° 58-1360 du 29 décembre 1958 modifiée portant loi organique relative au Conseil économique et social)

SOMMAIRE

AVIS adopté par le Conseil économique et social au cours de sa séance du mercredi 25 juin 2008	1
Première partie - Texte adopté le 25 juin 2008.....	3
INTRODUCTION.....	7
CHAPITRE I - LE NANOMONDE.....	9
I - LES NANOSCIENCES ET LES NANOTECHNOLOGIES.....	9
A - DÉFINITIONS.....	9
1. Qu'est-ce que le nanomètre ?	9
2. La physique quantique permet de comprendre le nanomonde.....	10
3. Observer à l'échelle nanométrique	10
4. Les nanosciences et les nanotechnologies (N&N).....	11
5. Comment fabriquer des nanocomposants ?	11
6. Modéliser les phénomènes pour mieux les comprendre et les maîtriser	11
B - QUELS DOMAINES D'APPLICATIONS ET QUELS ENJEUX ?	12
1. Industrie de l'électronique et des communications.....	12
2. Industrie pharmaceutique, biotechnologique et des soins de santé	13
3. La cosmétologie	14
4. L'agroalimentaire	14
5. Nano-objets et matériaux nanostructurés.....	14
II - LE SYSTÈME FRANÇAIS DE RECHERCHE DANS LES DOMAINES DES NANOSCIENCES ET NANOTECHNOLOGIES	15
A - LA STRATÉGIE NATIONALE DE RECHERCHE ET SES INFRASTRUCTURES	15
B - L'EFFORT PUBLIC DE R&D DANS LES NANOSCIENCES ET NANOTECHNOLOGIES	17
C - LA RECHERCHE PRIVÉE EN FRANCE.....	18
III - LES NANOSCIENCES ET NANOTECHNOLOGIES DANS LE MONDE.....	19
A - LES NANOSCIENCES ET NANOTECHNOLOGIES EN EUROPE	20
1. La stratégie européenne en faveur des nanotechnologies	21

2. Un plan d'action pour la période 2005-2009	21
3. Le lancement de réseaux européens dans les nanosciences et nanotechnologies	22
4. L'adoption d'un code de bonne conduite européen pour une recherche responsable en nanosciences et nanotechnologies	22
5. La faiblesse des investissements industriels dans les nanosciences et les nanotechnologies au niveau européen	23
B - COMPARAISONS INTERNATIONALES.....	23
1. Le leadership mondial des États-Unis	23
2. Les points forts du Japon	24
3. La position forte de l'Allemagne en Europe.....	25
4. La Corée du Sud, au quatrième rang mondial ?.....	26
5. Les ambitions de la Chine	27
6. La Russie et l'Inde ne veulent pas se laisser distancer	27
IV - DÉBAT SOCIÉTAL ET PRÉVENTION DES RISQUES.....	28
A - ÉCLAIRAGE SUR LE DÉBAT SOCIÉTAL ET LES DIVERSES INITIATIVES DÉJÀ PRISES EN FRANCE.....	28
B - RISQUES SANITAIRES ET ENVIRONNEMENTAUX.....	29
1. Les propriétés physiques et chimiques des nanoparticules.....	29
2. Les potentiels effets néfastes sur la santé	30
3. Les méthodologies actuelles d'évaluation des risques liés aux nanoparticules	30
CHAPITRE II - POUR LE DÉVELOPPEMENT DES NANOTECHNOLOGIES ET LEUR MAÎTRISE PAR LA SOCIÉTÉ	33
I - ACCROÎTRE L'EFFORT DE RECHERCHE ET D'INVESTISSEMENT DES ENTREPRISES	33
II - UNE DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES ET DE DÉVELOPPEMENT RESPONSABLE.....	37
A - AGIR DE FAÇON RESPONSABLE FACE AUX RISQUES DANS UN CONTEXTE D'INCERTITUDE.....	37
B - RENFORCER LA RECHERCHE FONDAMENTALE EN TOXICITÉ, ÉCOTOXICITÉ ET MÉTROLOGIE.....	38
1. Les nanoparticules les plus utilisées industriellement	39
2. Les nanoparticules appliquées au corps humain.....	40
3. Les différentes étapes du cycle de vie des nanomatériaux, nano-objets.....	41

C - FAUT-IL UNE RÉGLEMENTATION SPÉCIFIQUE AUX NANOTECHNOLOGIES OU LES TEXTES EXISTANTS SONT ILS SUFFISANTS ?.....	42
1. Les dispositions réglementaires existantes peuvent-elles s'appliquer aux nanomatériaux ?	42
2. Pertinence du niveau national de la réglementation ?.....	43
D - LA PROTECTION DES TRAVAILLEURS.....	44
E - PROBLÈMES ÉTHIQUES ET QUESTION DES LIBERTÉS INDIVIDUELLES.....	46
III - ENJEUX DE LA NORMALISATION.....	47
IV - DONNER ENCORE PLUS D'AMPLEUR AU DÉBAT PUBLIC.....	48
CONCLUSION.....	51
Deuxième partie - Déclarations des groupes.....	53
ANNEXE À L'AVIS.....	79
SCRUTIN.....	79
DOCUMENTS ANNEXES.....	81
Fiche n° 1 : définition nanosciences-nanotechnologies.....	83
Fiche n° 2 : quels domaines d'applications et quels enjeux ?.....	91
Fiche n° 3 : la stratégie nationale de recherche	101
Fiche n° 4 : les infrastructures françaises de recherche.....	109
Fiche n° 5 : budget français de R&D	133
Fiche n° 6 : la recherche dans l'industrie	137
Fiche n° 7 : les nanotechnologies en Europe.....	143
Fiche n° 8 : les comparaisons internationales.....	151
Fiche n° 9 : des enjeux de normalisation et de réglementation	165
TABLE DES SIGLES	171
LISTE DES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	175

AVIS

**adopté par le Conseil économique et social
au cours de sa séance du mercredi 25 juin 2008**

Première partie
Texte adopté le 25 juin 2008

Le 9 janvier 2007, le Bureau du Conseil économique et social a confié à la section des activités productives, de la recherche et de la technologie l'élaboration d'un projet d'avis sur *Les nanotechnologies*¹. La section a désigné M. Alain Obadia comme rapporteur.

Pour son information, la section a entendu les personnalités suivantes :

- M. François Auguste, membre du collectif nanotechnologies de Grenoble ;
- M. Raymond Avrillier, membre du collectif nanotechnologies de Grenoble ;
- Mme Catherine Brechignac, présidente du CNRS ;
- Mme Jacqueline Collard, membre du collectif nanotechnologies de Grenoble ;
- M. Christian Colliex, directeur du RTRA Triangle de la physique ;
- M. Patrick Couvreur, directeur de recherches au CNRS - UMR « Physico-chimie, pharmacotechnie et biopharmacie » ;
- Mme Sonia Desmoulin, chargée de recherches au Centre de recherche en droit des sciences et techniques à Paris I ;
- M. Laurent Gouzenes, directeur du Plan et programmes d'étude STMicroelectronics ;
- M. Louis Laurent, responsable du secteur « matière et information » à l'Agence nationale pour la recherche ;
- M. Francis Quinn, physicien au département recherche de L'Oréal ;
- M. Claude Weisbuch, directeur de recherches au CNRS.

La section, s'est rendue à l'exposition nanotechnologies organisée par la Cité des sciences et de l'industrie, ainsi qu'au pôle Minatec de Grenoble où elle a rencontré :

- M. Jean Therme, directeur du CEA de Grenoble ;
- M. Dominique Grand, adjoint au directeur du CEA de Grenoble ;
- M. Jean-Pierre Vigouroux, chef de la cellule des affaires publiques, chargé des relations avec le Parlement au CEA ;
- M. Yves Samson, adjoint au chef de l'Institut nanosciences et cryogénie ;
- Mme Françoise Vinet, chef du laboratoire fonctionnalisation et chimie pour les microsystèmes ;
- M. Philippe Peltié, membre du laboratoire d'imagerie et systèmes d'acquisition

¹ L'ensemble du projet d'avis a été adopté au scrutin public par 192 voix et 4 abstentions (voir le résultat du scrutin en annexe).

- M. Alain Farchi, chercheur chargé de la communication des plateformes ;
- M. Michel Ida, directeur de Minatec Ideas laboratory ;
- M. Philippe Mallein, sociologue et conseiller scientifique en sciences humaines et sociales auprès du CEA.
- Mme Valérie Chanal, responsable de Uman Lab ;
- M. Antoine Conjard, directeur de l'Hexagone scène nationale, fondateur de l'atelier arts-sciences ;
- Mme Tiana Delhome, chef du laboratoire LID, CEA-Leti.

Le rapporteur a de plus rencontré dans le cadre d'entretiens privés :

- M. Thierry Bosc, membre de la délégation Agence nationale pour la recherche/Programme en nanosciences et nanotechnologies ;
- Mme Dorothée Benoît Browaey, secrétaire générale de Vivagora ;
- M. Jean-Philippe Bourgoïn, directeur du programme nanosciences au CEA ;
- M. Jean-Claude Petit, directeur des programmes du CEA ;
- M. Robert Plana, membre de l'Agence nationale pour la recherche ;
- M. Édouard de Pirey, conseiller technique des sciences et technologies au ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche ;
- M. Yazid Sabeg, président du Conseil d'administration de la SSII CS Communication et Systèmes.

La section et son rapporteur tiennent à exprimer leurs plus vifs remerciements à l'ensemble des personnes ayant apporté leurs concours à l'élaboration de cet avis.

INTRODUCTION

Le développement des nanotechnologies recèle un potentiel considérable d'avancées des connaissances et de transformations positives dans notre vie quotidienne : nouveaux outils de diagnostic médical, médicaments mieux ciblés notamment pour combattre les tumeurs cancéreuses ou d'autres maladies graves telles le Sida, saut technologique porteur de percées nouvelles dans les technologies de l'information et de la communication, matériaux à la fois plus solides, plus résistants et mieux formables ou déformables, ouverture à des progrès substantiels dans le domaine des économies d'énergie et des énergies nouvelles qui conditionneront notre futur, etc., sont quelques exemples des bienfaits qu'elles peuvent apporter.

D'ores et déjà, des produits issus des nanotechnologies commencent à peupler notre présent : textiles antitaches ou à imperméabilité renforcée, crèmes solaires particulièrement protectrices, huiles anticholestérols, vitres hydrophobes autonettoyantes, etc., la liste, déjà conséquente, de leurs premières applications ne cesse de s'allonger.

Technologies transversales, irriguant de multiples secteurs d'activités, révélant et libérant des capacités que la matière ne dévoile pas à un niveau supérieur d'agrégation, les nanotechnologies recèlent un potentiel de développement économique et de création d'emplois incontournable pour le devenir de notre pays et celui de l'humanité toute entière.

Elles ouvrent sur un monde où les frontières traditionnelles entre la physique, la chimie, la biologie et l'ingénierie s'estompent voire disparaissent, où l'inerte et le vivant se rejoignent, où les lois de la physique quantique deviennent, en quelque sorte, perceptibles immédiatement.

D'un côté, chacun peut déceler dans le développement des nanotechnologies le moteur d'un progrès dont nous n'entrevoions probablement que les balbutiements.

Mais, de l'autre elles suscitent des craintes et portent à s'interroger.

Des inquiétudes que nous ne devons pas passer sous silence, s'expriment dans le débat public.

Si toutes les grandes avancées scientifiques et technologiques sont porteuses de conséquences ambivalentes, les nanotechnologies ne font pas exception à cette règle. Il est néanmoins indispensable, puisque des craintes s'expriment à propos des nano objets ou des nanoparticules industrielles, de montrer qu'elles sont prises en compte :

- en leur apportant les réponses scientifiques permettant de ne pas laisser se développer des peurs infondées ;

- en démontrant, tout au long de la chaîne décisionnelle, la volonté de prendre l'ensemble des précautions, sécurités et mesures préventives nécessaires pour minimiser les risques éventuels ;
- en développant au maximum l'information du public, la transparence et le débat citoyen.

Dès lors, poser le problème de la maîtrise de la science et de ses innovations, aussi organisée et aussi consciente que possible par la société est un enjeu majeur. C'est une façon d'affirmer la nécessité du principe de précaution ne conduisant pas à l'immobilisme mais à l'action raisonnée et responsable.

Quelles conditions créer en matière de recherche, d'innovation, d'investissement matériel et humain, de formation, de financement, de débat citoyen, de réglementation, de coopération internationale pour la définition de normes protégeant les consommateurs, les salariés, l'environnement afin que les nanotechnologies puissent développer pleinement leur potentiel de progrès ?

Le présent avis s'est fixé pour objectif d'apporter la contribution de notre assemblée pour répondre à ces questions si déterminantes pour l'avenir.

CHAPITRE I

LE NANOMONDE

Le nanomonde, est celui des nanosciences et des nanotechnologies. Lorsque Richard Feynman (cf. fiche n° 1 « Définition des nanosciences et nanotechnologies ») lançait « *il y a plein de place en bas* », au cours d'une conférence de presse en 1959, le physicien américain suggérait en fait à la communauté scientifique des pistes de recherche nouvelles pour stocker l'information ou créer de nouveaux objets dans l'univers de l'infiniment petit. Mais les instruments nécessaires pour cela n'existaient pas encore.

I - LES NANOSCIENCES ET LES NANOTECHNOLOGIES

Les nanosciences et les nanotechnologies (N&N) constituent-elles une rupture technologique, une révolution scientifique ou plus prosaïquement une étape de l'évolution vers la miniaturisation ? Le débat reste ouvert parmi les scientifiques.

Associer le préfixe nano aux sciences, aux technologies, aux particules, aux matériaux, aux objets..., nécessite de distinguer chacun de ces termes dont la signification ne revêt pas le même sens. Par exemple, les propriétés des nanoparticules - qui peuvent s'introduire dans les cellules de l'organisme en raison de leur très petite taille - ne peuvent être assimilées à celles des nanotechnologies dont le vocable couvre notamment les instruments de mesure et d'observation à l'échelle nanométrique. En effet, quel risque y a-t-il à utiliser un microscope à effet tunnel ?

A - DÉFINITIONS

Le monde des nanosciences et des nanotechnologies - le « nanomonde » - recouvre les objets de taille nanométrique dont certains phénomènes et effets sont inattendus. Ces spécificités leur ouvrent un large éventail d'applications et même si certaines sont déjà autour de nous, leur potentiel de développement est considérable.

1. Qu'est-ce que le nanomètre ?

Le préfixe « nano », d'origine grecque, signifie « très petit ». Un nanomètre est une unité de mesure qui correspond au milliardième de mètre ou à un millionième de millimètre. C'est environ 30 000 fois plus fin que l'épaisseur d'un cheveu et 100 fois plus petit que la molécule d'ADN. Par comparaison de taille, la Terre est à une orange ce que cette orange est à une nanoparticule de 1nm. Aborder « l'échelle nanométrique », revient à évoquer des objets dont la taille évolue entre le nanomètre et quelques centaines de nanomètres ou des effets spécifiques aux dimensions nanométriques.

En plus des nanoparticules d'origine naturelle qui existent dans notre environnement, sous la forme de poussières émises par combustion, par érosion, par les volcans... ou dans la matière vivante à l'échelle atomique ou moléculaire, un grand nombre de nanotechnologies sont déjà présentes dans différents objets utilisés quotidiennement : téléphones portables, ordinateurs, éclairage LED...

2. La physique quantique permet de comprendre le nanomonde

Les objets nanométriques possèdent souvent des propriétés chimiques, électriques, magnétiques différentes de celles des objets de même composition, lorsqu'ils sont macro ou microscopiques. À titre d'exemple, le « mouillage » - le degré d'étalement d'un liquide sur un solide - à l'échelle macroscopique est bien modélisé, alors que des phénomènes inattendus peuvent apparaître pour des gouttes de taille nanométrique.

Alors que la physique classique est insuffisante pour décrire les propriétés individuelles des atomes, c'est dans le cadre quantique - principale théorie d'explication du « nanomonde » et des propriétés spécifiques à cette échelle - qu'il est possible d'étudier les mécanismes de résistance, de solidité et de durabilité des matériaux et de comprendre pourquoi ils sont isolants, conducteurs ou semi-conducteurs. La physique quantique constitue d'ores et déjà le fondement de l'électronique des transistors, de l'optique des lasers...

3. Observer à l'échelle nanométrique

L'émergence des nanosciences et des nanotechnologies doit beaucoup aux progrès spectaculaires des techniques d'observation et de manipulation.

Les microscopes optiques créés en 1605, ne peuvent observer des objets de taille inférieure au micromètre. De nouveaux microscopes, utilisant des techniques différentes, se sont développés depuis plusieurs décennies et requiert notamment un degré de technicité avancé pour préparer les échantillons d'observation.

Le développement des microscopes électroniques à transmission (1931, 1970) a permis de donner des images à l'échelle atomique (1/10 nm) mais nécessite une préparation complexe des échantillons. Le microscope électronique à balayage (1965), bien que moins sensible permet de visualiser rapidement la présence, la forme et la disposition de nano-objets.

L'invention au début des années 1980 du microscope à effet tunnel a fait prendre conscience que le « nanomonde » était à notre portée. Ce microscope utilise une pointe métallique extrêmement fine qui se déplace à quelques nanomètres de la surface. Les variations du courant électrique - appelé « courant tunnel » - qui franchit l'espace séparant la pointe de la surface, sont enregistrées par traitement informatique pour en déduire la topologie et certaines propriétés (chimiques, électroniques, magnétiques) des surfaces.

Le microscope à force atomique est basé sur une architecture similaire mais mesure une force de contact au lieu d'un courant électrique.

4. Les nanosciences et les nanotechnologies (N&N)

Signe d'une recherche en plein essor, le périmètre des nanosciences et des nanotechnologies est complexe à définir : il s'agit d'un domaine de recherche pluridisciplinaire concernant la physique, la chimie, la biologie... qui s'intéresse au comportement d'éléments nanométriques.

Les nanosciences concernent plus précisément l'étude des phénomènes observés dans des objets, des structures, des systèmes dont la taille est de quelques nanomètres dans au moins une des dimensions de l'espace et dont les propriétés découlent spécifiquement de cette taille nanométrique (c'est-à-dire qu'elles sont différentes de celles d'un objet, d'un système ou d'une structure, similaire de taille plus importante).

Les nanotechnologies sont à la fois un ensemble d'outils, d'instruments, de techniques qui permettent aux nanosciences de progresser en offrant des moyens d'étudier, manipuler, fabriquer, mesurer, les objets nanométriques. Ce sont aussi les applications issues des nanosciences, à l'instar des nanomatériaux ou des nanocomposants.

5. Comment fabriquer des nanocomposants ?

Deux voies sont possibles :

- La voie descendante (top-down) : on part d'un matériau, on le « découpe » et on le « sculpte » pour réduire le plus possible les dimensions de l'objet ou du composant que l'on veut fabriquer. Cette technique permet notamment de fabriquer plusieurs milliers ou millions d'objets en parallèle. L'effort de miniaturisation a d'abord conduit à des composants de dimensions micrométriques pour descendre maintenant en dessous des 100 nanomètres. Il s'agit de la voie suivie par l'électronique depuis 30 ans. Toujours activement exploitée, elle se heurte de plus en plus à des limites techniques en descendant vers l'échelle nanométrique.
- La voie ascendante (bottom-up) : on assemble la matière, atome par atome, pour construire des molécules que l'on intègre ensuite dans des objets ou des systèmes plus grands, afin d'obtenir les propriétés ou les fonctions désirées.

6. Modéliser les phénomènes pour mieux les comprendre et les maîtriser

L'alliance entre théorie quantique et simulation numérique constitue une approche complémentaire aux travaux expérimentaux dans le but de modéliser des matériaux réels à partir des principes de la physique quantique. La modélisation est une méthode employée notamment pour l'étude de la formation et de la croissance des nanostructures et parvenir à une meilleure connaissance des forces unissant les atomes à la surface et la façon dont ils s'assemblent...

Le développement d'approches nouvelles de type *bottom-up*, complémentaires aux voies plus traditionnelles dites *top-down* font que de nouveaux nano-objets ou nanoparticules peuvent être inventés et créés pour des domaines d'application très variés.

La voie ascendante est devenue accessible grâce aux progrès liés à la compréhension de la matière : plus complexe que la voie descendante, elle nécessite une maîtrise à l'échelle nanométrique de l'assemblage et de la fabrication de nouveaux matériaux à partir des molécules et des atomes.

B - QUELS DOMAINES D'APPLICATIONS ET QUELS ENJEUX ?

Les domaines d'application sont très vastes et les effets de taille à l'échelle du nanomètre sont déjà exploités depuis fort longtemps. Le verre en est un bon exemple puisque dès le XVI^e siècle les verriers de Murano ont donné une couleur rubis à leurs produits en ajoutant un peu d'or. Les connaissances scientifiques récentes ont démontré que les atomes d'or par un traitement thermique approprié forment des agrégats nanométriques qui donnent cette fameuse couleur rubis.

La plupart des produits verriers actuels - tels que les verres optiques photochromes devenant plus sombres au soleil - sont conçus sur le même principe - par intégration d'agrégats nanométriques de sel d'argent à l'origine de la coloration foncée.

Les quelques domaines d'application présentés, le sont avec quelques unes de leurs données économiques, tout en essayant de distinguer ce qui relève des nanoparticules ou des systèmes qu'elles permettent de construire.

1. Industrie de l'électronique et des communications

La microélectronique a pour but de fabriquer des circuits intégrés, des semi-conducteurs, des transistors..., contenant des puces électroniques, véritables « cœur du système ». En 2007, près de 500 milliards de puces ont été fabriquées pour un chiffre d'affaires total de 260 milliards de dollars. La maîtrise de la fabrication de ces composants se mesure à l'échelle atomique, l'électronique faisant ainsi partie intégrante des nanotechnologies.

Dans les circuits intégrés, tels que ceux constituant les microprocesseurs, les fabricants parviennent à assembler plusieurs centaines de millions de transistors de taille inférieure à 100 nanomètres. Cette miniaturisation des composants a suivi la logique de la loi de « Moore » - diminution de la taille et accroissement de la puissance d'un facteur 2 tous les 18 mois - qui s'est accélérée en passant à l'échelle nanométrique. Actuellement, les plus petits composants en fabrication industrielle atteignent une taille de 65 nm et descendront bientôt à 45 voire à 32 nm. Aller au-delà par la voie descendante n'est pas envisageable en l'état actuel des procédés de fabrication et se heurtera tôt ou tard aux limites de la matière. Cette miniaturisation permet d'accroître les fonctionnalités associées au composant (puissance, volume de stockage des mémoires...) tout en diminuant sa taille et sa consommation électrique.

Parallèlement aux efforts accomplis pour miniaturiser les composants électroniques en améliorant les technologies existantes, on étudie la possibilité d'utiliser des molécules comme nanocomposants de base pour l'électronique. Le cœur de l'électronique et de l'informatique - c'est-à-dire le passage ou non de courant que matérialisent les chiffres zéro et un - serait remplacé par l'utilisation d'une molécule particulière qui pourrait être associée à des combinaisons plus complexes que cette logique binaire. Ces transistors moléculaires pourraient prendre la forme de nanotubes de carbone, de nanofils ou même de l'ADN dont les propriétés de conduction pourraient permettre aux électrons de circuler sans résistance et sans échauffement.

Première industrie manufacturière au monde devant l'automobile, l'électronique connaît une forte croissance au niveau mondial (environ 10 % par an) mais la pression est très forte sur les prix et les gains de productivité sont à la fois amplifiés par une large échelle de production et limités en raison notamment d'une hausse des coûts de R&D d'environ 15 % par an et de l'importance des investissements - plusieurs milliards d'euros pour la création d'une nouvelle usine de fabrication de *wafers* (= une tranche de silicium où sont imprimés des circuits intégrés) de 300 millimètres. Le marché mondial des systèmes électroniques et des semi-conducteurs utilisant des nanotechnologies approche les 1 600 milliards de dollars.

2. Industrie pharmaceutique, biotechnologique et des soins de santé

Le développement des nanotechnologies est à l'origine de plusieurs évolutions capitales dans le domaine de la santé tel le développement de biopuces (laboratoires d'analyse sur puce...) et de biocapteurs (pour la recherche et le diagnostic) mesurant quelques centimètres. Les plus performants de ces dispositifs peuvent caractériser l'équivalent de 4 génomes humains à partir d'une seule goutte de sang ou de salive.

Appliquées aux médicaments, les nanotechnologies permettent d'encapsuler une molécule biologiquement active dans un nano vecteur adapté pour se fixer spécifiquement au niveau ou à l'intérieur des cellules que l'on veut traiter évitant ainsi la toxicité à l'égard de certains organes vitaux ou la destruction par les cellules du foie.

La miniaturisation permet également d'envisager des dispositifs biomédicaux in situ substitutifs aux organes défaillants.

Le marché mondial des nanoparticules utilisées dans le secteur des biomédicaments et des produits pharmaceutiques, s'élève à 170 millions de dollars en 2005, il atteint à 205 millions de dollars en 2006. Il pourrait dépasser les 685 millions de dollars pour 2012, selon le rapport sectoriel « *bcc Research* » de novembre 2007.

3. La cosmétologie

Dans les produits cosmétiques, deux types de nanomatériaux - nano-émulsions et nano-pigments - sont actuellement incorporés en raison de l'efficacité de leurs principes actifs principalement pour les crèmes solaires, de soins dermatologiques ou capillaires. Leur petite taille cumule plusieurs avantages (transparence, meilleure pénétrabilité et protection par effet réfléchissant...) et une bonne tolérance cutanée - les nanoparticules de dioxyde de titane étant inertes, insolubles et non toxiques.

L'application du principe de précaution doit permettre d'écarter toute nanoparticule dès lors que ses risques de toxicité ne sont pas analysés. Il doit aussi s'appliquer aux personnes qui manipulent dans leur milieu professionnel des nanoparticules pour les incorporer aux différents produits : tenues de protection spécifique, salles de travail isolées et équipées d'une ventilation adéquate...

4. L'agroalimentaire

Les orientations actuelles de la recherche agroalimentaire dans le domaine des nanotechnologies, s'intéressent, entre autre, à la création d'aliments dits « intelligents » agissant interactivement en fonction du goût ou des besoins nutritifs du consommateur : changement de couleur, apport nutritif complémentaire...

D'autres applications pourraient être envisagées comme l'intégration de nanoparticules au sein des emballages alimentaires ayant pour effet d'augmenter le temps de conservation des produits ou le développement de nano-dispositifs de surveillance des aliments de leur lieu de production à travers toute la chaîne de transformation...

Il faut noter l'extrême sensibilité de ce domaine d'application des nanotechnologies, l'alimentation étant un sujet touchant à l'intégrité de la personne.

5. Nano-objets et matériaux nanostructurés

Le contrôle à l'échelle nanométrique de la taille et de la forme des grains qui constituent un matériau solide permet d'améliorer certaines de ses propriétés physiques et de multiplier ainsi ses usages. Par exemple, les nanotubes de carbone sont des assemblages d'atomes de carbone en forme de tube de 2 à 100 nanomètres de diamètre et de longueur de l'ordre du micron. Très légers et résistants à la rupture tout en étant très souples, ils peuvent se comporter comme un métal mais également comme un semi-conducteur. Ils possèdent des propriétés mécaniques, optiques ou chimiques très particulières. Ce matériau est ainsi cent fois plus résistant et six fois plus léger que l'acier, il a une conductivité thermique comparable à celle du diamant, et c'est le meilleur émetteur à « effet de champ » connu. Son utilisation permettrait par exemple de fabriquer des écrans vidéo plats et souples leur permettant ainsi d'être pliés, enroulés...

Actuellement, l'utilisation des nanotubes de carbone vise essentiellement à les agréger ou à les intégrer dans d'autres matériaux pour leur conférer des propriétés nouvelles. Les nanotubes de carbone sont déjà utilisés en petite quantité pour renforcer certaines raquettes de tennis en fibres de carbone, une raquette qui serait entièrement composée de nanotubes de carbone apporterait encore davantage de rigidité et de puissance, sans aucun surcroît de poids.

Le marché mondial des nanotubes de carbone atteint 79 millions de dollars en 2007 et devrait dépasser les 800 millions de dollars en 2011 (rapport « *bcc Research* »).

II - LE SYSTÈME FRANÇAIS DE RECHERCHE DANS LES DOMAINES DES NANOSCIENCES ET NANOTECHNOLOGIES

Le caractère stratégique des nanotechnologies pour le développement scientifique et économique s'est imposé depuis quelques années. La recherche nécessite des équipements et des environnements spécifiques (salles blanches...) pour permettre l'accès aux atomes et à leurs propriétés. La taille critique suffisante doit être atteinte pour rester technologiquement et économiquement compétitif au niveau mondial.

Pour supporter le coût d'investissement des infrastructures et assurer la coordination des acteurs de la recherche publique et privée, des moyens importants ont été mobilisés et divers outils ont été mis en place.

A - LA STRATÉGIE NATIONALE DE RECHERCHE ET SES INFRASTRUCTURES

Au cours de ces cinq dernières années, la France a mobilisé plus d'un milliard d'euros (provenant de financements publics) pour développer la recherche dans les nanosciences et nanotechnologies.

En dehors de l'effort financier, plusieurs mesures ont été prises pour structurer la recherche française dans ces domaines.

En 1999, le Réseau de recherche en micro et nanotechnologies (RMNT) a été créé afin de financer des projets de recherche menés en partenariat entre des laboratoires académiques et des entreprises dans les domaines des micro et nanotechnologies.

L'Action concertée initiative (ACI) en nanosciences a été lancée en 2002 pour soutenir les projets de recherche fondamentale, à travers des partenariats entre les laboratoires académiques.

Le RMNT et l'ACI Nanosciences ont ensuite été fusionnés en 2005 pour former le Réseau national de recherche en nanosciences et nanotechnologies (R3N). Ce réseau met en œuvre un plan de soutien à un réseau de grandes centrales de nanofabrication et a pour mission de financer des projets de pointe associant en réseau les laboratoires académiques et publics, les PME innovantes et les centres de recherche privés de grandes entreprises.

Le R3N a permis de regrouper l'ensemble des communautés de chercheurs académiques et industriels dans le domaine des micro et nanotechnologies, dans le cadre notamment des J3N - Journées nationales en nanosciences et nanotechnologies. Sa mission consiste aussi à sélectionner les projets de Recherche les plus pertinents, à s'intéresser aux impacts sociétaux des nanosciences et des nanotechnologies, à participer aux débats publics... Ses actions ont été redéployées depuis que l'ANR s'est substituée au ministère de la recherche pour les appels à projet. En l'état actuel des choses, le R3N devrait disparaître à la fin de l'année 2008, ce qui soulève la question de sa succession.

En 2003, a été mise en place une infrastructure pour les nanotechnologies (salles blanches et équipements) appelée Réseau national de grandes centrales de technologies pour la Recherche technologique de base (RTB). Actuellement au nombre de sept, ces grandes centrales constituent un premier cercle d'acteurs compétitifs au niveau mondial. Véritables plateformes technologiques, elles associent recherches fondamentale et appliquée en partenariat avec le CNRS, le CEA et les universités sur cinq pôles géographiques. Un second cercle d'acteurs, composé de 9 autres centrales dites de proximité, complète ce paysage.

Entre 2004 et 2005, cinq centres de compétence « C'Nano - centres régionaux de compétence en nanosciences » couvrant le territoire national ont été créés afin de fédérer sur le plan régional la recherche fondamentale en nanosciences.

C'est également en 2005 que l'Agence nationale pour la recherche (ANR) a été créée et a lancé un Programme national en nanotechnologies (PNANO) dont la mise en œuvre s'appuie sur le R3N afin de financer les projets de recherche partenariale en nanosciences et nanotechnologies. Les premiers appels à projets ont débuté en 2005. En moyenne, 250 sont sélectionnés chaque année, avec une dominante très nette de projets axés sur la recherche fondamentale. Les principaux porteurs sont issus du monde académique (70 %), 10 % sont des EPIC, les 20 % restants se répartissent entre les grands groupes, les PME et les *start-up*. En 2008, le coût moyen des projets s'élève à près de 780 000 euros contre 525 000 euros en 2005. Il est à noter que 52 projets sont supérieurs à 1 million d'euros soit près du double par rapport à 2005.

La même année, les « pôles de compétitivité » ont été développés afin notamment de faciliter le transfert technologique. Dans le domaine des nanotechnologies, cinq ont été labellisés, dont le pôle Minalogic à Grenoble lequel se classe parmi les projets d'envergure mondiale.

Le CEA et le CNRS ont également officialisé à cette époque la création d'un Observatoire des micro et nanotechnologies (OMNT) après plusieurs années de collaboration. Cette structure composée de plus de 200 experts scientifiques et techniques, est dédiée à la veille stratégique et à l'animation scientifique de la communauté française dans les nanosciences et nanotechnologies.

Cette collaboration est également à l'origine d'un programme multidisciplinaire « Nanosciences et Nanotechnologies » qui prévoit un investissement de 210 millions d'euros sur la période 2005-2007, autour de quatre thématiques prioritaires : nano-objets, nano-composants, nanobiosciences et nanomatériaux.

En 2006, cinq centres de recherche dans les nanosciences et nanotechnologies ont reçu le label « Institut Carnot » en signe de reconnaissance de l'efficacité et de la compétence des laboratoires, instituts, établissements de recherche et entreprises qui les composent.

Enfin trois Réseaux thématiques de recherche avancée (RTRA) ont été créés dans le domaine des nanosciences et nanotechnologies en 2007. Il s'agit de fondations de coopération scientifique qui rassemblent des laboratoires au niveau territorial. Le Triangle de la physique à Orsay est l'un de ces trois RTRA, son infrastructure bénéficie de très grands instruments de recherche comme l'accélérateur de particules « synchrotron Soleil », Albert Fert - qui a reçu le prix Nobel 2007 de physique pour sa co-découverte de la magnétorésistance géante - y mène ses activités de recherche. Les deux autres RTRA sont les Nanosciences à la limite de la nanoélectronique situées dans la région de Grenoble et le Centre international de recherche aux frontières de la chimie localisé à Strasbourg.

Cette organisation de la recherche en nanosciences et nanotechnologies apparaît complexe. Est-elle le reflet d'une science en plein développement nécessitant une efflorescence de structures pour créer toutes les synergies nécessaires ? Permet-elle en tout état de cause d'assurer la pérennité des travaux de recherche indispensables ? Peut-on, à l'inverse, définir une organisation plus efficiente ?

B - L'EFFORT PUBLIC DE R&D DANS LES NANOSCIENCES ET NANOTECHNOLOGIES

La délimitation du budget public de R&D dans l'ensemble des nanosciences et nanotechnologies est difficile à cerner car il s'agit d'un domaine aux contours structurellement peu précis, pluridisciplinaire par nature (physique, chimie, biologie...). Il n'existe pas non plus d'institut national spécifiquement dédié à ces questions. Les éléments présentés ci-dessous sont donc à apprécier avec une marge d'interprétation de 20 % environ.

Le financement public de la recherche en nanotechnologies est en croissance continue de l'ordre de plus de 10 % par an. De 2001 à 2005, plus de 1 milliard d'euros ont été consacrés à la R&D publique dans les secteurs des nanomatériaux, de la nanoélectronique, de l'électronique moléculaire et des nanotechnologies.

Pour l'année 2007, l'effort public est de l'ordre de 280 millions d'euros. Un quart du budget est abondé par le ministère en charge de la recherche, un quart par le CEA et un tiers par le CNRS. Les 20 % restants relèvent principalement du ministère de l'Économie, de l'industrie et de l'emploi, et à moins de 5 % de l'INSERM et d'OSEO-Anvar.

Lors de son audition au Conseil économique et social le 31 janvier 2008, la présidente du CNRS a estimé que 220 laboratoires publics mènent des activités de recherche dans les nanosciences et nanotechnologies, regroupant plus de 4 000 personnes soit environ 2 000 chercheurs, 500 post-docs, 1 300 thésards et 300 ingénieurs et techniciens.

En France, comme aux États-Unis, en Asie et en Europe, la concurrence sur les crédits de recherche publique est importante, si bien que certains chercheurs présentent leurs travaux comme relevant des nanotechnologies alors même qu'ils relèvent de technologies plus classiques telles que celles relevant des microtechnologies ou des technologies impliquant des procédés nanométriques (en physique, les technologies laser et nucléaire se font à un niveau nanométrique) qui ne sont pas à l'interface entre plusieurs technologies nanométriques issues de domaines différents. Cette pratique peut être source de confusion au niveau des débats relatifs aux nanotechnologies.

C - LA RECHERCHE PRIVÉE EN FRANCE

La délimitation des budgets des entreprises rencontre les mêmes difficultés que celle de la recherche publique c'est-à-dire la définition des périmètres et l'absence de lignes spécifiques pour comptabiliser les dépenses du secteur.

La *NanoBusiness Alliance* et la *National Science Foundation* (NSF) américaines ont respectivement indiqué en 2001 que le marché mondial des nanotechnologies pourrait atteindre 700 milliards de dollars en 2008 et dépasser les 1 000 milliards de dollars annuels en 2015. Une étude récente du *Project on Emerging Nanotechnologies* (PEN) a estimé que ce marché pourrait atteindre 2 600 milliards de dollars d'ici 2014.

L'engagement des entreprises est beaucoup moins marqué en Europe. Cette répartition se reflète dans les sources de financement en nanotechnologie. À titre d'exemple, en 2004, la part de l'investissement privé en R&D dans le domaine des nanosciences et nanotechnologies s'élevait à 1,7 milliard d'euros pour les États-Unis, plus d'1,5 milliard d'euros pour le Japon et 580 millions d'euros pour l'Europe. *A contrario*, la part de l'investissement public s'élevait à plus d'1,2 milliard d'euros pour les États-Unis, 750 millions d'euros pour le Japon et près d'1,4 milliard d'euros pour l'Europe.

Les PME travaillant dans ce domaine sont principalement réparties dans les secteurs de la chimie, des matériaux et de l'énergie (41 %) ; des équipements (24 %) ; de l'électronique et des TIC (16 %) avec une présence particulière d'entreprises de taille moyenne; du biomédical et des biotechnologies (16 %). Elles sont pour la plupart une émanation de *start-up*, *spin-off* ou petites entreprises *high-tech*, directement issues des centres de recherche : NanoLedge, Inanov, Lovalite, Nemoptic... Cette dernière par exemple, a été créée en 1999 et s'est développée après avoir bénéficié du soutien de Cap Digital, le pôle de compétitivité numérique d'Île-de-France.

Le cas particulier du pôle de compétitivité mondial Minalogic est intéressant à étudier dans ce cadre. Cet espace d'innovation et de compétences spécialisées dans le mariage des micro-nanotechnologies et de l'intelligence logicielle embarquée, s'adresse à tous les secteurs d'activité y compris traditionnels enrichissant leurs produits liés à la santé, l'environnement, la mobilité, l'habillement... de nouvelles valeurs ajoutées.

Ce pôle associe grands groupes et PME, centres de recherche et de formation, État et collectivités territoriales du territoire grenoblois et plus largement isérois, dans une dynamique d'innovation au sein d'une gouvernance plurielle propice aux synergies. Sa taille lui permet d'être reconnu internationalement et de déplacer la compétition industrielle du terrain exclusif des coûts de production - source de délocalisations des entreprises - vers celui de l'innovation dans les produits, de la rapidité de leur mise sur le marché et de la fréquence de renouvellement des services offerts.

Il représente 30 000 emplois en Isère, dont près de 25 000 dans l'industrie. On compte environ 9 000 chercheurs travaillant sur ces thématiques, répartis à part égale entre la recherche publique et privée.

Il s'agit donc bien d'un enjeu stratégique pour notre pays, en termes de croissance et de valorisation industrielle qui permettrait d'asseoir la compétitivité nationale sur des bases durables autour de trois grands secteurs :

- les TIC (composants, semi-conducteurs...);
- les matériaux et à travers eux, l'énergie, l'environnement et les transports ;
- la santé et les cosmétiques (nanoparticules).

Même si les investissements privés en R&D augmentent, ils sont encore faibles comparés à ceux des pays engagés dans la compétition internationale des nanotechnologies. Les entreprises françaises concernées sont peu nombreuses, malgré la présence de grands groupes : L'Oréal, Michelin, STMicroelectronics, Rhodia, Thalès, Saint Gobain, Air Liquide...

III - LES NANOSCIENCES ET NANOTECHNOLOGIES DANS LE MONDE

L'effort mondial académique et industriel pour les nanosciences et nanotechnologies, est estimé à 10,5 milliards de dollars, selon le rapport *Nanotechnology : realistic market assessment* de la BCC research, publié en juillet 2006.

Parmi les 4,6 milliards de dollars de dépenses publiques, les États-Unis y contribuent à hauteur de 35 % (soit 1,6 milliard de dollars environ), avec une proportion identique pour l'Asie, une contribution légèrement inférieure pour l'Europe soit 28 % (1,3 milliard de dollars) et seulement 2 % pour le reste du monde.

Dans le secteur privé, les 3,8 milliards de dollars relèvent pour près de la moitié (46 % soit 1,75 milliard de dollars) des États-Unis, contre 36 % pour l'Asie (1,4 milliard de dollars) et 17 % pour l'Europe (500 millions de dollars).

L'Union européenne est donc en retard par rapport aux États-Unis et au Japon, où la recherche industrielle en nanosciences et nanotechnologies, représente plus de la moitié des investissements totaux.

Du point de vue des brevets, les 2/3 sont détenus par l'Asie (grâce notamment au dynamisme de la Chine, du Japon et de la Corée du sud dans ce secteur), distançant nettement les États-Unis et l'Europe.

L'Allemagne totalise à elle seule les 2/3 des brevets européens devant la France et le Royaume-Uni. Les déposants sont principalement les industriels à hauteur de 70 % et plus particulièrement les grandes entreprises multinationales.

En 2008, le montant du marché mondial est estimé à 500 milliards de dollars et pourrait doubler en 2015, selon la *National science foundation*. Plus de la moitié de ce marché relève du secteur de l'informatique et de l'électronique, un tiers des matériaux et le cinquième restant des sciences de la vie.

A - LES NANOSCIENCES ET NANOTECHNOLOGIES EN EUROPE

Le financement public de la R&D au niveau de l'ensemble des États européens dans les domaines des nanosciences et nanotechnologies, est passé d'environ 200 millions d'euros en 1997 à près d'un milliard d'euros en 2006, soit un niveau qui se rapproche de celui des États-Unis et du Japon.

Rapporté au nombre d'habitants, l'investissement public moyen dans l'Union (à 25) est de 2,4 euros par personnes (2,9 euros dans l'UE-15) ; 3,7 euros aux États-Unis et 6,2 euros au Japon ! (Rapport de l'ambassade de France en Allemagne *Les nanotechnologies, analyse comparative de l'état actuel des efforts institutionnels en Allemagne, en Europe et dans le reste du monde* - 15 juin 2007).

Actuellement plus de 240 centres dédiés aux nanosciences et nanotechnologies ont été identifiés en Europe, dont 87 s'intéressent aux nanomatériaux et 68 à la nanoélectronique. Environ 140 réseaux de centres ont aussi été identifiés, 38 d'entre eux soutiennent l'ensemble des nanosciences et nanotechnologies et 40 sont spécialisés dans les nanomatériaux.

1. La stratégie européenne en faveur des nanotechnologies

L'Union européenne a identifié les enjeux majeurs portés par les nanotechnologies. Les instruments dont elle s'est dotée, sont toutefois limités à la subvention de programmes de recherche et à des actions d'information pour respecter les principes éthiques ou de précaution.

Dans sa communication *Vers une stratégie européenne en faveur des nanotechnologies*, adoptée le 12 mai 2004, la Commission propose des initiatives visant à stimuler la R&D sur les nanotechnologies en Europe. Ses principales considérations sont la consolidation des efforts de recherche publics et privés grâce notamment à la création de pôles d'excellence européens, l'amélioration des transferts de technologies. Elle évoque également la nécessité d'identifier les inquiétudes en matière de sécurité, de santé et de risques écologiques liés aux nanotechnologies.

2. Un plan d'action pour la période 2005-2009

Le 7 juin 2005, la Commission a adopté un plan d'action pour l'Europe définissant des mesures pour la mise en œuvre immédiate d'une stratégie de nanosciences et nanotechnologies « *sûre, intégrée et responsable* » sur la période 2005-2009. Ces mesures à l'échelle européenne consistent entre autres à : « *stimuler l'exploitation industrielle de la R&D dans les nanosciences et nanotechnologies ; supprimer les entraves sociétales, politiques et psychologiques à l'esprit d'entreprise ; élaborer des normes communes ; renforcer le financement des nanotechnologies dans le 7^{ème} PCRDT (2007-2013); faire converger la nanoélectronique avec les TIC ; développer des plateformes technologiques ; développer des pôles d'excellence ; respecter les principes éthiques ; évaluer les risques pour la santé humaine et l'environnement ; créer un « prix européen interdisciplinaire pour les nanosciences et nanotechnologies » récompensant les meilleures pratiques* ».

La Commission alloue pour le 7^{ème} PCRDT environ 3,5 milliards d'euros pour la recherche sur les nanosciences et nanotechnologies. La France devrait bénéficier en moyenne de 10 % de cette dotation soit environ 50 millions d'euros par an, ce qui équivaut au budget de l'ANR dans le domaine des nanosciences et nanotechnologies.

3. Le lancement de réseaux européens dans les nanosciences et nanotechnologies

Il existe deux réseaux au niveau européen mis en place dans le cadre d'Eranet : *European Research Area Networks* – Espace et réseaux européens de recherche. Ils ont été lancés par la Commission européenne pour encourager l'implication des États membres à travers un consortium d'organisations ou d'agences nationales de financement de la recherche afin de coordonner les programmes nationaux, mettre en commun leurs ressources et financer des projets de recherche multinationaux. Les deux réseaux Eranet dans les nanosciences et les nanotechnologies sont :

- NanoSci-Era : le réseau Eranet en nanosciences finance des projets de recherche fondamentale à long terme dans toutes les thématiques et favorise l'interdisciplinarité (physique, chimie, science des matériaux, biologie) ;
- MNT Eranet : le réseau Eranet en micro et nanotechnologie soutient des projets de recherche appliquée dans un grand nombre de thématiques (nanoélectronique, nanobiotechnologie...).

Cependant, les montants financiers alloués en font des réseaux de très faible envergure.

4. L'adoption d'un code de bonne conduite européen pour une recherche responsable en nanosciences et nanotechnologies

Alors que les produits nanotechnologiques sont fabriqués en masse dans l'industrie alimentaire, électronique et cosmétique, le débat sur la réglementation des nanotechnologies débute à peine. Le manque de connaissances scientifiques et l'absence de preuves sur la fiabilité des nanotechnologies et leurs risques sur la santé, rendent cette réglementation difficile.

La prise de conscience se développe au niveau des gouvernements et des institutions publiques. Il est nécessaire de poursuivre et/ou de renforcer les activités de recherche portant sur les risques potentiels des nanoparticules afin de faire en sorte que des catastrophes sanitaires comme celles de l'amiante (qui ne relève pas du domaine des nanoparticules) ne se renouvellent pas.

Le 8 février 2008, la Commission a adopté un code de bonne conduite européen pour des activités de recherche responsables en nanosciences et nanotechnologies autour des principes suivants : rendre les recherches compréhensibles par le public ; les orienter pour servir le bien-être des personnes, de la société et contribuer au développement durable ; respecter les principes de précaution et de transparence ; rechercher l'excellence au service de l'innovation et de la croissance ; responsabiliser les acteurs de la recherche et évaluer l'impact de leur travail sur la société, l'environnement et la santé humaine. Il faut noter que ces principes génériques peuvent s'appliquer à toutes les activités de recherche quels que soient leurs domaines d'application.

5. La faiblesse des investissements industriels dans les nanosciences et les nanotechnologies au niveau européen

Au niveau européen, la faiblesse des investissements privés dans les nanosciences et nanotechnologies, est une réalité. Le réseau thématique paneuropéen « Nanoforum » a identifié deux causes : le manque d'investissement en capital risque et un nombre insuffisant de brevets déposés. L'investissement industriel dans les nanosciences et nanotechnologies ne représente également que la moitié de celui des États-Unis et du Japon, en dépit du fait que l'Europe dispose de leaders mondiaux dans ce secteur.

Un rapport de *Marks & Clerk, International patent and trade mark attorneys*, publié en 2006, confirme cette tendance et dresse le bilan des brevets déposés entre 2000 et 2005, en relation avec les nanotechnologies au niveau international. Pour le domaine de la nanoélectronique par exemple, 51 % des brevets ont été déposés par des firmes ou des organisations japonaises, 24 % par des firmes ou des organisations américaines et seulement 8 % par des firmes ou des organisations européennes. Parmi les 30 compagnies les plus prolifiques, 18 sont basées en Asie, 10 aux États-Unis et 2 en Europe. Tandis que les propriétés intellectuelles en nanoélectronique sont essentiellement détenues par de larges compagnies privées en Asie (Fujitsu, Sony, Samsung...), les États-Unis se démarquent par une présence dominante des universités et des *start-up*.

Outre la difficulté à identifier le potentiel commercial de la recherche en nanotechnologies, les investisseurs européens sont confrontés à des incertitudes liées aux interrogations sur les questions éthiques, de santé publique, de sécurité et de libertés individuelles... soulevées par les nanosciences et nanotechnologies.

B - COMPARAISONS INTERNATIONALES

La plupart des États dans le monde ont identifié le secteur des nanosciences et nanotechnologies comme étant porteur de ressources scientifiques, technologiques et de croissance durables. Pour ces raisons, les pays les plus significatifs en terme de R&D ont mis en place des financements, développé des infrastructures de recherche et de transfert de l'industrie... spécifiques. Ces politiques et outils semblables à ceux mis en place en France - réseaux de centrales de recherche, financement sur projets... - paraissent répondre au degré d'avancement des sciences et technologies, c'est-à-dire un degré où la recherche fondamentale constitue l'essentiel et justifie l'impulsion de l'État stratège.

1. Le leadership mondial des États-Unis

Les États-Unis sont à ce jour la nation qui investit le plus dans le domaine des nanosciences et nanotechnologies, leur conférant ainsi une position de leader mondial aussi bien au niveau de la production scientifique que de la valorisation de la recherche (dépôt de brevets, création d'entreprises innovantes...).

L'effort public de R&D se répartit entre plusieurs agences fédérales et est coordonné par le programme « *National Nanotechnology Initiative* » (NNI) mis en place en 2001. Le gouvernement fédéral attribue à ce programme un budget atteignant 1,4 milliard de dollars en 2008, dont la répartition entre les agences fédérales traduit à la fois :

- un soutien fort à la recherche fondamentale : plus du tiers du budget va à la *National Science Foundation* (NSF) ;
- la volonté de structurer et coordonner les efforts des scientifiques américains, en développant des centres d'excellence pluridisciplinaires sur tout le territoire ;
- un investissement important dans des équipements de pointe ;
- le souci d'accélérer le transfert de technologie, avec des soutiens spécifiques à la création d'entreprises ;
- la préoccupation de renforcer la formation aux nanotechnologies à tous les niveaux, universités, *high school* et *middle school*.

L'effort global de R&D se répartit entre trois principaux acteurs : le gouvernement fédéral, les universités et l'industrie. Les financements en provenance du secteur privé sont les plus importants en volume et concernent principalement la recherche appliquée et le développement industriel. La recherche fondamentale est conduite essentiellement dans les universités et les organismes gouvernementaux.

Une des missions importantes de la NNI est de faciliter le transfert de technologie vers la mise au point de produits commerciaux accessibles au grand public. Ce transfert est déjà bien organisé au sein des universités, avec des échanges entre industrie et monde académique importants et structurés

L'ensemble des centres du réseau technologique NNI offre aux étudiants doctorants et aux jeunes chercheurs l'accès à des moyens modernes et de haute technicité, dans le cadre notamment de différents programmes de stage.

2. Les points forts du Japon

Ces dernières années, le Japon a confirmé sa volonté d'être l'un des acteurs mondiaux de la discipline par l'apport d'une enveloppe budgétaire publique pour la R&D d'environ l'équivalent de 700 millions d'euros. Ce pays possède une forte compétitivité dans le domaine des nanotubes de carbones, des fullerènes, des dispositifs à un électron et des techniques de nano-fabrication.

Le secteur privé, avec des entreprises telles que NEC, Mitsubishi Corporation..., participe activement à la recherche fondamentale par des allocations de fonds importantes et la mise à disposition de laboratoires équipés d'une large gamme de moyens techniques.

Même si le budget total consacré par le secteur privé aux activités de R&D dans le domaine des nanotechnologies est difficile à évaluer, on estime que le budget civil de R&D est supporté à plus de 75 % par ce secteur, soit environ 3 fois le montant des sommes allouées aux nanotechnologies par le secteur public (= 3 x 700 millions €).

3. La position forte de l'Allemagne en Europe

3.1. L'Allemagne est le premier investisseur en Europe dans le domaine des nanotechnologies.

Ce pays a développé dès 1998 des centres de compétences et débloqué des moyens considérables au profit des universités et des centres de recherche extra-universitaires. Le BMBF (ministère fédéral allemand de la Recherche et de l'enseignement) a renforcé son soutien aux projets du secteur et a mis en place une infrastructure adaptée *via* la création de neuf réseaux de compétence, regroupant environ 440 acteurs (universités, organismes de recherche, entreprises et PME). Le BMWI (ministère fédéral de l'Économie et des technologies) participe également financièrement à la recherche orientée vers les applications industrielles.

Le soutien institutionnel du *Bund* et des *Länder* représente aussi une part non négligeable du financement public de la recherche. Par exemple, 71 millions d'euros sont ainsi attribués à la DGF (agence de moyens de la recherche allemande) autour de 5 projets thématiques propres aux nanotechnologies ; 17 millions d'euros pour la société Max Planck - organisme public allemand financé par l'État fédéral et les différents *länder*, créé en 1948 et nommé en l'honneur du physicien Max Planck ; 13 millions d'euros pour la société Fraunhofer - composé de 58 instituts thématiques répartis sur plus de 40 sites en Allemagne, menant des recherches orientées vers les besoins de la société civile et des entreprises...

La R&D est effectuée à hauteur de 70 % par l'industrie (contrairement à la plupart des autres acteurs européens), 16 % par l'université et 14 % par le secteur extra-universitaire. Les 400 entrepreneurs en nanotechnologies (Infineon, Daimler Chrysler, Schott, Karl Zeiss, Siemens, BASF...) représentent la moitié de l'ensemble des sociétés européennes de ce secteur.

Pour un grand nombre d'entre elles, la future compétitivité de leurs produits dépend notamment du développement des nanotechnologies et de l'acceptabilité par la société à les utiliser. Les instances de dialogue animées par le BMBF sur les bienfaits et les risques potentiels du point de vue écologique, sanitaire, social... sont essentielles pour maintenir une relation de confiance entre les acteurs de la recherche et les citoyens.

3.2. Coopération franco-allemande dans les domaines des nanosciences et nanotechnologies

Depuis quelques années, les deux pays travaillent à la constitution de centres de compétence franco-allemand afin de former une « région européenne de connaissance » ayant un rayonnement mondial, au travers de diverses actions : rapprochement entre les pôles de compétitivité français et les Kompetenznetze allemands ; des appels d'offres communs entre l'ANR et la DGF ; des partenariats entre la fédération des Instituts Carnot et la société Fraunhofer...

À titre d'exemple, il existe une coopération entre l'Alliance Fraunhofer pour la microélectronique et le CEA-Leti en nanoélectronique depuis novembre 2004, auquel s'est adjoint le Centre suisse d'électronique et de microtechnique, pour la réalisation de projets de recherche communs et le développement de produits innovants pour l'industrie.

En février 2007, un atelier a été organisé à Berlin pour favoriser le partage des informations stratégiques, la définition de projets de R&D communs, des échanges d'étudiants et de chercheurs, des projets communs dans le cadre du 7^{ème} PCRDT et la définition d'une offre globale de propriété intellectuelle.

4. La Corée du Sud, au quatrième rang mondial ?

Un rapport récent de la société américaine de conseils « Lux Research » indiquait que la Corée du Sud avait atteint le quatrième rang mondial dans le domaine des nanotechnologies grâce à l'importance de ses investissements publics et privés et au succès de la commercialisation de certaines technologies intégrées notamment dans des produits relevant de l'électronique grand public.

Actuellement, 16 % du PIB de ce pays provient de ses secteurs industriels de pointe. Il en réinvestit 3 % dans la R&D (ce qui correspond aux objectifs européens). Ce taux permet notamment au gouvernement coréen d'accroître rapidement ses investissements dans les nanotechnologies, lesquels sont passés de l'équivalent de 66 millions d'euros en 2001 à plus de 221 millions d'euros en 2006. Ces investissements sont principalement consacrés aux secteurs des semi-conducteurs, de la médecine, de l'industrie chimique et de la mécanique microscopique.

Le nombre de programmes universitaires consacrés aux nanotechnologies a aussi pratiquement doublé en trois ans, passant de 17 en 2002 à 31 en 2004. Les scientifiques coréens estiment que désormais les résultats de leur recherche atteignent un niveau supérieur à la moitié de ceux des américains, en 2001. Ces mêmes scientifiques s'estimaient seulement être au quart du niveau atteint par les États-Unis.

5. Les ambitions de la Chine

En 2004, la Chine a investi 7,7 milliards de Yuan (soit environ 650 millions d'euros) dans la recherche sur les nanotechnologies. Elle a obtenu de bons résultats dans le développement des nanomatériaux.

L'administration des standardisations chinoise a inauguré récemment un Comité technique national sur les nanotechnologies. Ce nouveau comité témoigne des ambitions de la Chine de devenir une actrice majeure de la recherche dans le domaine des nanotechnologies au niveau international en développant ses propres normes.

Les nanotechnologies font aussi partie des domaines clés de développement technologique de la Chine. Citées dans le 10^{ème} plan quinquennal (2000-2005), elles sont de nouveau mentionnées lors de la présentation du 11^{ème} plan quinquennal, orienté vers « *une impulsion à l'innovation technologique proprement chinoise* ».

6. La Russie et l'Inde ne veulent pas se laisser distancer

Après une décennie difficile marquée par la baisse des financements et la fuite de ses « cerveaux », les conditions de la R&D russe redeviennent favorables. Dès lors, le développement des nanotechnologies est devenu une priorité en Russie, coordonnée au plus haut niveau politique et bénéficiant de moyens significatifs.

Avec un budget croissant pour la recherche depuis 2002, les principaux instituts ont pu se doter d'appareillages ultra-modernes. Les nanotechnologies représentent 40 % du budget de R&D planifié au sein du Programme fédéral couvrant la période 2007-2012, soit près de 43,5 milliards de roubles (environ 1,25 milliard d'euros) sur 6 ans. L'accent est mis en particulier sur la commercialisation des résultats scientifiques.

Un groupe de travail russo-européen « Nano » a été créé pour définir les thèmes d'intérêt commun et favoriser la participation des équipes russes au 7^{ème} PCRDT.

En retard sur ses voisins asiatiques, la recherche indienne a d'abord souffert d'un faible soutien financier, d'un manque de centralisation et de coordination entre les programmes de recherche publique et privée.

Depuis, l'Inde a trouvé une certaine dynamique grâce aux programmes mis en place par le gouvernement pour développer la recherche académique et favoriser le retour au pays de ses scientifiques expatriés.

Ses scientifiques, associés à des entreprises américaines, ont créé une société d'information sur les nanotechnologies - IndiaNano - qui constitue une plate-forme entre les centres d'excellences américains et indiens afin de promouvoir la recherche, les alliances stratégiques et la création d'entreprises. Désormais, les financements privés occupent une part de plus en plus importante, soit plus de 40 % du budget total consacré aux nanotechnologies.

La dynamique industrielle est également favorisée par la haute qualification de la main d'œuvre, sa maîtrise de l'anglais et par le dynamisme des industries physico-chimiques déjà installées.

IV - DÉBAT SOCIÉTAL ET PRÉVENTION DES RISQUES

Un certain nombre d'associations, des scientifiques, des organismes et des cercles de réflexion, se font les porte-parole des diverses questions qui sont posées lors des débats organisés autour des nanotechnologies. Sans vouloir dresser une liste exhaustive, voici quelques unes des questions les plus fréquemment posées.

L'usage des nanotechnologies ne comporte-t-il pas des risques forts d'atteintes aux libertés individuelles ou collectives avec la mise au point de nouveaux outils de contrôle social (nanopuces, vidéo surveillance intelligente, RFID...)?

Si nombre de nanoparticules sont déjà présentes à l'état naturel, leur production industrielle ne risque-t-elle pas de multiplier leur volume de manière exponentielle avec des conséquences néfastes pour l'environnement ou la santé publique? Un scénario sanitaire de type amiante n'est-il pas à craindre? Quelles conséquences sur la chaîne alimentaire? Que pourraient ou que peuvent produire ces technologies appliquées au domaine militaire ou détournées au service d'une activité terroriste?

Ces interrogations ne peuvent être balayées d'un revers de main, ni traitées sans distinguer la prévention d'un risque avéré et la précaution vis à vis d'un domaine nouveau et incertain.

A - ÉCLAIRAGE SUR LE DÉBAT SOCIÉTAL ET LES DIVERSES INITIATIVES DÉJÀ PRISES EN FRANCE

La première action retentissante de sensibilisation du public remonte à 2003. Elle est le fait du groupe canadien de réflexion et d'action ETC (*Erosion Technology Concentration*) qui a dénoncé la dissémination aérienne d'un produit contenant des particules nanométriques par les autorités américaines, pour préserver les ressources pétrolifères d'un site, à la suite d'un incendie. À l'époque un « *moratoire sur la production commerciale de la nanotechnologie* » avait été demandé.

Les nanotechnologies sont devenues, depuis, l'objet d'une controverse sociotechnique alimentant de nombreux débats, colloques et forums qui ont permis à la communauté scientifique et aux représentants de l'industrie d'exposer leurs positions devant un public composé essentiellement de militants d'associations écologiques, de journalistes spécialisés et de représentants politiques locaux.

Au cours des trois dernières années, environ une vingtaine d'initiatives relevant du « débat citoyen » a eu lieu en France comme par exemple le forum public sur le développement des nanotechnologies organisé à Grenoble les 16 et 17 juin 2005, en réponse à un groupe d'opposants « anti-nano »...

Certaines de ces initiatives relèvent d'associations comme « Sciences et Démocratie » qui se décrit comme « une conférence de citoyens électronique permanente » ou « Vivagora - plate-forme de veille, d'information et de dialogue pour une participation citoyenne aux choix scientifiques et techniques ». « Le collectif des nanotechnologies de Grenoble », a été reçu en audition par le Conseil économique et social, pour sa contribution au débat démocratique et participatif qu'il mène localement.

Le débat public a également été alimenté par les rapports, avis et dossiers d'organismes institutionnels, le plus souvent sollicités par l'autorité publique : AFFSET, INRS, CPP, CNRS, Comité consultatif national d'éthique, CNIL, Conseil général des mines...

Les décideurs politiques ont aussi pris part à l'organisation du débat participatif. L'OPECST a par exemple procédé le 7 novembre 2006 à l'audition publique d'experts sur le thème « Les nanotechnologies : risques potentiels, enjeux éthiques ». Ce même type d'initiative a été pris par les conseils régionaux d'Île-de-France et de Rhône-Alpes, dans le cadre des rencontres parlementaires, par le CESR de la région Centre ou lors du colloque organisé le 1^{er} février 2007 par le Conseil économique et social sur « La révolution des nanotechnologies : quels espoirs ? Quels enjeux ? ».

On citera encore les expositions, débats et tables rondes qui se sont déroulés à la Cité des sciences les 19 et 20 mars 2007 et le groupe de travail n° 3 du Grenelle de l'environnement dont les conclusions prônent, entre autres, la mise en place d'un comité de concertation associant toutes les parties prenantes et l'organisation d'une conférence de consensus scientifique « *par exemple, par la commission nationale du débat public* ».

B - RISQUES SANITAIRES ET ENVIRONNEMENTAUX

Les nanoparticules naturelles ou manufacturées peuvent avoir des propriétés et des effets très différents de ceux des mêmes matériaux à des tailles plus grandes, ce qui peut comporter de nouveaux risques pour la santé de l'homme et d'autres espèces animales et végétales. Elles peuvent, dans certains cas, se disperser et persister dans l'environnement sans qu'on en connaisse l'impact sur celui-ci.

1. Les propriétés physiques et chimiques des nanoparticules

Les nanoparticules peuvent exister de manière naturelle, être émises involontairement par des activités industrielles ou domestiques comme la cuisine, la fabrication ou le transport, ou être spécifiquement conçues pour des produits de consommation et des technologies de pointe.

Dans la phase liquide, les nanoparticules manufacturées sont principalement produites par des réactions chimiques contrôlées. Pour celles présentes naturellement, elles sont générées par l'érosion et la dégradation des plantes, de l'argile...

Dans la phase gazeuse, les nanoparticules naturelles ou manufacturées sont généralement créées par des réactions chimiques à l'issue desquelles les gaz sont transformés en minuscules gouttelettes liquides qui se condensent. Elles sont rarement issues de la décomposition de particules plus grandes.

Dans les zones rurales ou urbaines, un litre d'air peut contenir plusieurs millions de nanoparticules. En milieu urbain, elles proviennent essentiellement des moteurs diesels ou des véhicules dont le convertisseur catalytique est froid ou défectueux.

Sur certains lieux de travail, l'exposition aux particules aériennes peut représenter un risque potentiel pour la santé. On ne sait pas précisément où il y en a, ni le nombre de travailleurs réellement exposés, cependant les secteurs les plus concernés sont : la pharmacie, la chimie, l'électronique, l'automobile, le textile, les peintures, les pneumatiques, les cosmétiques... Les expositions adviennent lors de la fabrication ou de la manipulation des produits mais aussi lors de l'entretien des équipements et des locaux.

2. Les potentiels effets néfastes sur la santé

Les nanoparticules peuvent avoir les mêmes dimensions que certaines molécules biologiques et peuvent interagir avec celles-ci. Chez l'homme et d'autres organismes vivants, les mécanismes de défense habituels peuvent ne pas être capables de réagir adéquatement à ces nanoparticules, lesquelles peuvent avoir des caractéristiques jamais rencontrées auparavant.

Les paramètres des nanoparticules qui paraissent pertinents en matière d'effets sur la santé sont la taille (les particules plus petites pourraient être plus dangereuses), la composition chimique et les caractéristiques de la surface, ainsi que la forme.

L'étude de ces caractéristiques va souvent de pair avec la recherche de leur efficacité, pour le développement de médicaments par exemple.

3. Les méthodologies actuelles d'évaluation des risques liés aux nanoparticules

Détecter les nanoparticules est très difficile du fait de leur petite taille. Seuls quelques instruments développés récemment sont capables de détecter et d'analyser des particules de quelques nanomètres, que ce soit dans des gaz ou dans des liquides.

Actuellement, l'inhalation est la principale source d'exposition aux nanoparticules dans l'air ambiant. Cette exposition est faible en terme de masse mais significative en terme de nombre de particules. C'est bien le nombre de particules, leur taille et les caractéristiques de leur surface qui sont déterminants au regard des interactions avec les systèmes vivants. Il n'existe pas d'instrument portable adéquat pour mesurer l'exposition aux nanoparticules que ce soit dans l'air ou sur certains lieux de travail.

Outre l'inhalation, on sait très peu de choses sur les autres voies d'exposition c'est-à-dire celle se faisant *via* la peau - principalement les cosmétiques (crème solaire...) ou les préparations pharmaceutiques utilisant des nanoparticules - ou par ingestion.

Étant donné que les produits chimiques sous leur forme nanoparticulaire ont des propriétés différentes de celles qu'ils ont sous leurs formes physiques plus grandes, il est par conséquent utile d'évaluer les risques induits par les nanoparticules entrant en contact avec l'homme et toute autre espèce végétale et animale.

*

* *

CHAPITRE II

POUR LE DÉVELOPPEMENT DES NANOTECHNOLOGIES ET LEUR MAÎTRISE PAR LA SOCIÉTÉ

À partir de cet état des lieux, le Conseil économique et social peut avancer quelques propositions et préconisations visant à donner les impulsions indispensables en matière de recherche, d'investissements et de productions dans le domaine des nanotechnologies tout en conduisant ce processus de façon maîtrisée.

Il considère, en effet, nécessaire de déployer un puissant effort afin que la France et l'Europe continuent de figurer au meilleur rang dans le développement de ces technologies dont les bienfaits avérés et potentiels sont considérables.

Dans le même temps, il estime que cet effort doit s'effectuer en prenant en compte les dimensions éthiques de ce développement technologique, en portant au plus haut niveau les recherches et procédures visant à garantir les meilleurs standards en matière de santé, de respect de l'environnement et des libertés publiques et individuelles.

Dans cet esprit, il pense que favoriser le débat public et citoyen sous ses multiples formes est une contribution incontournable à la prise de conscience de l'importance de ce sujet, et à la prise en compte de ses différentes dimensions (scientifiques, économiques, sociales, sociétales, sanitaires, environnementales...). Ce dernier élément est, en effet, décisif pour gagner le soutien de l'opinion publique et garantir l'intensité et la pérennité de l'effort de recherche et d'investissement.

I - ACCROÎTRE L'EFFORT DE RECHERCHE ET D'INVESTISSEMENT DES ENTREPRISES

Nous avons, précédemment, dressé le constat d'une certaine faiblesse de l'effort de R&D des entreprises en France et en Europe (à l'exception notable de l'Allemagne) relativement aux États-Unis, au Japon, à la Corée du Sud et aux grands pays émergents.

Cette question est préoccupante car elle pourrait compromettre notre capacité à rester présents dans une vague technologique de grand avenir qui déterminera, comme le démontrent la progression du volume d'affaires mondial, une part fortement croissante de l'activité industrielle de ces prochaines décennies.

Evidemment, les industriels des domaines les plus concernés ont la responsabilité de définir leurs perspectives de développement. L'effort public n'a pas vocation à se substituer à eux, même s'il peut et doit contribuer à créer des conditions de cohérence et de mise en synergie des atouts de notre pays. Il en va de même au niveau européen.

Le Conseil économique et social estime néanmoins utile d'attirer l'attention sur les conséquences potentielles de la poursuite d'une telle situation.

Dans cet esprit, il considère que le secteur financier devrait jouer un rôle particulièrement actif pour financer des projets industriels qui pourraient se révéler très dynamiques dans un proche avenir en développant notamment des modalités de financement adaptées.

L'effort public, qui doit se maintenir à un très haut niveau, peut jouer un rôle important en ce qui concerne la création et l'essor de nombreuses PME innovantes qui constituent dans bien d'autres pays un vecteur de croissance économique et de création d'emplois. Un tel effort pourrait aussi valoriser le transfert des technologies et d'innovation par la mise en place de « passerelles » entre recherches publiques et privée.

Le Conseil économique et social estime en effet qu'un financement public élevé et soutenu de la R&D peut susciter un effet d'entraînement auprès des entreprises. Une meilleure compréhension en amont des enjeux industriels et des attentes des consommateurs auprès notamment des acteurs de la recherche fondamentale devrait être favorisée.

Même s'il faut être conscient de la difficulté de l'exercice, les acteurs de la recherche devraient aussi s'efforcer d'améliorer leur capacité à évaluer plus rapidement la valeur potentielle d'un brevet. Dans le même ordre d'idée, une large part de l'industrie européenne n'a pas encore investi le champ des nanotechnologies car elle n'a pas perçu les opportunités que représentent ces technologies pour ses activités et qu'elle n'a pu identifier les partenaires avec lesquels la collaboration est nécessaire pour en tirer pleinement profit.

C'est pourquoi réaliser des progrès importants dans une meilleure articulation entre recherche publique et recherche industrielle constitue un enjeu de première grandeur.

C'est d'autant plus vrai qu'il ne faut pas, à notre sens, céder au mythe du créateur génial bricolant dans son garage puis conquérant le monde. Comme on l'a vu précédemment, la création des PME innovantes est souvent adossée à des laboratoires de recherche notamment dans le domaine des nanobiotechnologies voire à des grands groupes industriels.

À ce titre, la formation par la recherche accompagnée par le dispositif des Conventions industrielles de formation par la recherche (CIFRE) est une démarche « gagnant-gagnant » sur trois niveaux :

- pour le doctorant qui capitalise trois années de recherche en tant que chef de projet et de *go-between* entre l'entreprise et le laboratoire de recherche publique ;
- pour l'entreprise qui bénéficie du dynamisme du doctorant impliqué dans la réussite de son projet et de la dynamique du laboratoire qui met à disposition ses connaissances... ;
- pour le laboratoire de recherche publique qui offre à ses chercheurs un contexte de développement et de transfert de technologies.

Dans certains domaines où le « ticket d'entrée » est élevé du fait des investissements nécessaires dans les équipements de haute technologie (technologies de l'information et de la communication par exemple) les PME concernées sont plutôt situées dans le registre des moyennes entreprises avec des effectifs et une capitalisation respectable.

Ces précisions étant rappelées, il n'en reste pas moins vrai que la France souffre d'une insuffisance dans ce domaine alors que dans d'autres pays, les PME innovantes sont très présentes dans le dynamisme des secteurs les plus stratégiques. Il existe en effet une corrélation entre le développement de nouveaux produits et l'apparition de nouvelles entreprises

Cette question est loin d'affecter les seules nanotechnologies. Elle est assez décisive pour ce qui les concerne.

C'est pourquoi, sans vouloir traiter globalement cette question qui fera prochainement l'objet d'un projet d'avis, il semble utile à notre assemblée de rappeler **l'importance qu'elle attache à la mise en œuvre de mesures que l'on pourrait qualifier de *Small Business Act* à la française, voire à l'européenne.**

Parmi ces mesures, nous souhaitons nous concentrer sur celles qui pourraient impacter le plus positivement le développement des nanotechnologies :

- Veiller à ce que les PME aient accès à une part des contrats publics à forte composante technologique correspondant à l'importance attachée à l'enjeu qu'elles représentent.
- **Créer un programme d'innovation et de transfert de technologies vers les PME présentant des projets innovants susceptibles de générer des créations d'emplois et d'activité en France.**

À titre d'exemple, le « *Small Business Innovation Research* » (SBIR) américain a reçu plus de 30 000 propositions et contribué à 6 000 projets pour un montant de 1,87 milliard de dollars pour la seule année 2005.

- **Accroître la contribution d’OSEO au financement des PME innovantes en matière de nanotechnologies.** La fusion dans OSEO innovation de l’Agence pour l’Innovation Industrielle, effective depuis janvier 2008, devrait donner des marges de manœuvre puisqu’elle a été justifiée notamment par le souci de porter remède à la faiblesse de l’aide au « maillon intermédiaire » entre les très petites entreprises et les grandes structures industrielles.

Cette intervention pourrait se traduire également par un **renforcement du système de garanties de prêts obtenues auprès d’OSEO**. À titre d’illustration, pour l’année 2005 l’agence américaine pour les PME a approuvé 88 912 garanties de prêts pour un montant de 14 milliards de dollars avec un budget de moins de 500 millions de dollars. On voit la puissance d’effet de levier d’un tel mécanisme et son intérêt pour le développement du pays. Le Conseil économique et social prend acte des choix stratégiques évoqués par les responsables d’OSEO innovation de privilégier trois secteurs clés parmi lesquels les nanotechnologies figurent avec les biotechnologies et les écotechnologies dans le cadre du programme national d’innovation stratégique industrielle. Toutefois, notre assemblée regrette que les actions d’OSEO ne soient limitées qu’au financement et à l’accompagnement de PME innovantes, les Entreprises de taille moyenne (ETM) ne pouvant notamment bénéficier d’un dispositif semblable. Favoriser l’essor des Fonds communs de placement dans l’innovation (FCPI) qui permettent à des particuliers d’investir dans le capital investissement, tout en bénéficiant de certaines déductions fiscales, constituerait aussi un bon vecteur de financement de la R&D des ETM innovantes. De même, cela pose la question du soutien public à une politique favorisant l’investissement innovant de ces entreprises moyennes.

- **Renforcer la mutualisation des risques pour développer le capital investissement-innovation.**

Ce mécanisme, à l’initiative des sociétés de capital investissement et des banques peut favoriser le développement du « capital-risque ». Il pourrait utilement être initié dans les autres segments des technologies de pointe dont les nanotechnologies.

- **Renforcer le rôle des Chambres de commerce et d’industrie (CCI) et des organisations professionnelles, en direction des PME innovantes afin de soutenir leurs compétences en matière de gestion.**

Dans les nanotechnologies, comme dans d’autres secteurs de l’innovation, les nouvelles PME sont créées par des personnes issues du monde de la recherche. Leur maîtrise des questions administratives, financières, fiscales, sociales, juridiques etc. n’est souvent pas équivalente à leurs compétences scientifiques ou technologiques. Cela a conduit, dans certains cas, à placer la nouvelle entreprise dans une situation difficile qui aurait pu être évitée ; d’où l’importance de formations et d’accompagnements dans ces différents domaines

et sur les questions spécifiques à ce type d'entreprise (ex : législation nationale et droit international en matière de brevets).

II - UNE DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES ET DE DÉVELOPPEMENT RESPONSABLE

Dans son rapport de mise en œuvre du plan d'action 2005-2009 relatif aux nanosciences et nanotechnologies, de septembre 2007, la Commission européenne estime « *qu'il est essentiel pour le développement des nanotechnologies qu'elles soient socialement acceptées* ».

Tout en étant associées à des espoirs de percées majeures dans la plupart des secteurs scientifiques, technologiques et économiques, les nanotechnologies font l'objet de critiques parfois radicales car elles n'apparaissent pas de même nature que les autres technologies, exposent à des risques spécifiques et peuvent être ressenties par certains comme un saut dans l'inconnu.

Il convient de distinguer la prévention d'un risque avéré et la précaution vis à vis d'un domaine nouveau et incertain où le risque n'est pas encore appréciable dans ses différentes composantes – dangerosité, exposition, doses...

Comme nous l'avons vu, les nanotechnologies sont des technologies transversales ne correspondant pas à une définition unique mais à un *patchwork* de technologies et trouvent leurs applications dans des domaines extrêmement divers. De ce fait, si des mesures d'ordre général doivent être mises en œuvre pour prendre les précautions nécessaires ou prévenir les risques avérés, un raisonnement au cas par cas est souvent indispensable pour répondre aux questions posées par la multiplicité des nanotechnologies, nano-objets, nano-composants...

A - AGIR DE FAÇON RESPONSABLE FACE AUX RISQUES DANS UN CONTEXTE D'INCERTITUDE

Certains travaux à l'instar de l'étude de l'AFFSET de juillet 2006 *Les nanomatériaux. Effets sur la santé de l'Homme et sur l'environnement*, suscitent des interrogations scientifiques quant aux conséquences sanitaires et environnementales de leur utilisation industrielle.

Ces incertitudes scientifiques portent sur des risques de dommages graves et irréversibles pour la santé et pour l'environnement ce qui correspond aux critères d'application du principe de précaution tel qu'il est défini par le droit communautaire et français.

Si la charte de l'environnement intégrée à la constitution reste ambiguë puisqu'elle prévoit « *l'adoption de mesures provisoires et proportionnées afin de parer à la réalisation du dommage* » alors même que sa réalisation « *bien qu'incertaine en l'état des connaissances scientifiques (...), pourrait affecter de manière grave et irréversible l'environnement* », il serait utile de l'enrichir de l'approche de l'Union européenne qui précise que toute décision d'agir ou de ne

pas agir en vertu du principe de précaution devrait tenir compte « *des données scientifiques et techniques, des avantages et des charges qui peuvent résulter de l'action ou de l'absence d'action* » (Article 174 du Traité CE).

Ce principe n'appelle donc pas un gel de toute activité en attendant d'avoir une certitude. Il implique en revanche pour le Conseil économique et social quelques actions claires :

- renforcer les expertises objectives et transparentes pour connaître et évaluer les risques ;
- prendre des mesures opportunes et proportionnées aux risques envisagés en vue de se placer en situation de réagir rapidement et de parer à la réalisation des dommages si les risques s'avéraient réels.

L'échelon pertinent pour réaliser l'expertise précitée est vraisemblablement l'Union européenne, permettant ainsi de mutualiser les efforts nationaux de recherche et de mettre en commun les connaissances. L'université américaine Rice, reconnue par la communauté scientifique internationale comme étant un haut lieu de la réflexion sur l'impact des nanotechnologies, regroupe par exemple l'ensemble des travaux produits dans le monde entier sur la prévention des risques concernant les nanotechnologies.

Le Conseil économique et social soutient donc l'initiative de créer un observatoire européen permanent sur les nanotechnologies afin de pallier « *le manque d'objectifs et d'informations indépendantes* » à destination des responsables politiques. Lancé en avril 2008, le projet de consortium est mené par l'Institut britannique de nanotechnologies (IoN) et réunit les partenaires de différents domaines d'application des nanotechnologies (16 membres dont le CEA).

En plus de l'analyse scientifique et économique, les partenaires du projet évalueront les questions éthiques et sociétales liées aux nanotechnologies et leur impact sur la santé et l'environnement, ainsi que la normalisation et d'autres questions législatives.

L'accompagnement de cette initiative pourrait, selon notre assemblée, constituer l'une des priorités de la présidence française du Conseil de l'Union européenne au cours du deuxième semestre 2008.

B - RENFORCER LA RECHERCHE FONDAMENTALE EN TOXICITÉ, ÉCOTOXICITÉ ET MÉTROLOGIE

La complexité de l'étude du comportement d'une nanoparticule résulte de l'importance de sa surface spécifique en interaction avec son environnement dans toutes ses phases de vie : de sa production à sa dégradation, en passant par son stockage, son transfert et son utilisation.

La communauté scientifique, dont l'unité toxicologie expérimentale de l'INERIS, considère que plusieurs paramètres caractéristiques des nanoparticules sont susceptibles d'entraîner un effet pathogène sur les tissus vivants. La taille de certains types de nanoparticules (oxyde d'aluminium par exemple) autorise la pénétration des membranes biologiques ce qui pourrait se traduire par le franchissement de la barrière hémato-encéphalique qui protège le système nerveux central ou bien encore la pénétration des alvéoles pulmonaires avec une possible migration vers d'autres organes (translocation)...

Face à ces risques, l'OCDE a déjà mis en place un groupe de travail constituant le principal lieu de coordination des activités de recherche au niveau international, autour de six projets portant notamment sur la connaissance des incidences des nanomatériaux manufacturés sur la santé et l'environnement ; les méthodes de caractérisation et d'évaluation des risques...

Le Conseil économique et social estime nécessaire d'intensifier la recherche en matière de prévention des risques sur :

1. Les nanoparticules les plus utilisées industriellement

Les prévisions d'une forte croissance de la recherche et des applications industrielles dans les nanomatériaux, laissent penser que ces risques concerneront une population numériquement plus importante, en premier lieu celle des travailleurs employés dans ces activités mais aussi celle des consommateurs ou riverains.

Le Centre international Woodrow Wilson a établi qu'actuellement, plus de 500 produits de consommation courante incorporent des nanomatériaux ou font appel aux nanotechnologies, les nano-composants les plus couramment utilisés étant dans l'ordre décroissant : les nanotubes de carbone (NTC), les fullerènes, l'argent, le silicium, les oxydes de titane, de zinc et de cérium. Les programmes de recherche communautaire et nationaux ont dès lors introduit la thématique santé, toxicité et environnement sur les cinq nanoparticules les plus utilisées dans le milieu industriel.

M. Éric Gaffet, président du groupe de travail de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (AFFSET) sur les nanomatériaux, constate que les industriels produisent et utilisent déjà 1 400 types de nanoparticules pour plus de 700 produits. Un décalage entre la recherche et la disponibilité actuelle des nanoparticules existerait donc déjà.

Ainsi, il paraît pertinent pour notre assemblée de travailler directement sur les nanoparticules déjà fortement présentes sur le marché ainsi que sur celles que l'on veut y introduire. Une telle orientation n'exclut évidemment pas les approches toxico-cinétiques sur des nanoparticules modèles.

Pour ce qui concerne spécifiquement notre pays, **le Conseil économique et social veut attirer l'attention sur le fait que la recherche en toxicité, écotoxicité et métrologie a bénéficié de trop peu de moyens au sein du système français de recherche publique et privée.**

Il y a donc urgence à développer des équipes compétentes pour réaliser ces travaux fondamentaux afin de :

- déterminer les propriétés morphologiques, chimiques ou physico-chimiques des nanoparticules ainsi que leur origine (naturelle, anthropologique et industrielle) afin de mieux orienter les voies de recherche sur leur impact ;
- détecter les nanoparticules (concentration en nombre dans l'air, l'eau et le sol) pour les surveiller en continu sur les lieux de travail comme dans l'environnement ;
- développer la connaissance du comportement des nanoparticules dans les différents compartiments environnementaux (dispersion dans l'air, migration dans les sols...) et de réaliser des tests pertinents d'évaluation de l'écotoxicité sur les espèces végétales ou animales, aquatiques ou terrestres, à des fins normatives ou réglementaires.

Si le risque de saturation du potentiel humain de ces équipes de recherche est moins avéré à l'échelle européenne, il reste malgré tout critique dans l'hypothèse où les recherches seraient étendues au-delà des cinq particules modèles.

Un effort considérable de formation et de recrutement dans les laboratoires publics et industriels s'avère donc indispensable et urgent.

2. Les nanoparticules appliquées au corps humain

Lors de son audition, M. Weisbuch, directeur de recherches à l'école polytechnique, a rappelé que « *dans la plupart des cas les nanotechnologies ne sont pas accessibles sous leur forme divisée (= nanométrique) mais dans un matériau système à l'échelle humaine, bien visible : circuit intégré en nanoélectronique, matériau composite à très haute résistance... En revanche, pour les médicaments et les cosmétiques, l'efficacité nouvelle est apportée par l'utilisation de la matière sous forme divisée* ».

C'est pourquoi, pour les médicaments de nouvelle génération ayant recours aux nanotechnologies, M. Couvreur, directeur de l'unité physico-chimie, pharmacotechnie et biopharmacie au CNRS, lors de son audition avait précisé qu'il fallait étudier minutieusement leurs effets secondaires puisque le principe actif pourrait notamment « *toucher des cellules saines en allant ailleurs que les cellules ciblées où l'on souhaite qu'il aille* ». L'application de la procédure minutieuse de validation des médicaments, qui paraît adaptée selon notre assemblée pour les nanotechnologies appliquées aux médicaments (sous la forme

de nano-vecteurs, d'une miniaturisation des dispositifs biomédicaux substitutifs aux organes défaillants...) permet de prendre en compte ces effets secondaires.

En ce qui concerne les cosmétiques, les tests habituels précédant la mise sur le marché doivent certainement évoluer pour prendre en compte ces nouveaux risques.

Notre assemblée souligne l'effort de communication déjà accompli par certains industriels du secteur mais son objet ne porte que sur une catégorie très précise de produit, les crèmes solaires en l'occurrence. Le principe de précaution doit donc continuer de s'appliquer pour tous les produits cosmétiques dans l'esprit de la directive communautaire de 1976 « *pour un rapprochement de la législation des États membres relatives à ces produits* », enrichie depuis par la communication de la Commission du 16 janvier 2007 concernant la mise à jour de l'inventaire et de la nomenclature commune des ingrédients employés dans les produits cosmétiques.

3. Les différentes étapes du cycle de vie des nanomatériaux, nano-objets...

Lorsque des nanoparticules sont incluses dans un matériau, elles peuvent être dispersées dans le milieu naturel si le matériau est soumis à une usure, une dégradation ou une destruction (découpe ou ponçage par exemple).

Les lacunes existantes dans l'analyse du cycle de vie des matériaux ne permettent pas de déterminer si les nanomatériaux se dégraderont dans l'environnement. Les premières études réalisées montrent que la dégradation des matériaux minéraux ou biologiques n'aboutit pas à des nanostructures se répandant librement dans l'environnement.

Le Conseil économique et social recommande d'accroître les efforts de recherche sur l'étude de la dégradation des matériaux d'échelle nanométrique mais aussi du point de vue du recyclage des matériaux incorporant des nanoparticules et plus particulièrement les Nanotubes de carbone (NTC). Certes leur toxicité n'est pas établie mais certaines de leurs propriétés physico-chimiques ne sont pas sans rappeler celles de l'amiante. Il est donc indispensable de rendre obligatoire dès maintenant une procédure de recyclage adaptée aux propriétés des NTC, dans l'hypothèse où ce recyclage se révélerait coûteux et peu rentable, une contribution ad hoc pourrait être envisagée.

C - FAUT-IL UNE RÉGLEMENTATION SPÉCIFIQUE AUX NANOTECHNOLOGIES OU LES TEXTES EXISTANTS SONT-ILS SUFFISANTS ?

De nombreux textes visent déjà à faire évaluer la sécurité des produits, à anticiper les risques pour la santé et l'environnement et limiter les dommages : la réglementation relative au risque chimique, le droit de protection de la santé et de la sécurité des travailleurs, les exigences réglementaires préalables à toute mise sur le marché de médicaments ou d'aliments... Or, les textes existants ne prennent pas expressément en considération les spécificités des nanomatériaux et des nanoparticules mais ne les excluent pas pour autant.

Lors de son audition au Conseil économique et social, Mme Sonia Desmoulin, chargée de recherches au Centre de recherche en droit des sciences et des techniques, confirme que les nanotechnologies sont considérées comme un « *patchwork* de technologies », mais que cela n'exclut pas pour autant la nécessité d'en conserver une définition unique, retenue à la fois par les scientifiques, les instances de normalisation et les juristes, qui s'appliquerait de façon identique aux textes relatifs au financement public de la recherche, au droit des brevets et à la protection des personnes, des animaux et de l'environnement.

1. Les dispositions réglementaires existantes peuvent-elles s'appliquer aux nanomatériaux ?

Le règlement REACH prévoit l'enregistrement et l'évaluation de toutes les substances chimiques mises sur le marché européen. Cette obligation ne s'applique qu'aux productions supérieures à une tonne par an et par fabricant. Ce seuil ne paraît pas adéquat pour la production de beaucoup de nanoparticules. De plus, un rapport sur la sécurité chimique n'est exigé qu'à partir de 10 tonnes et en deçà de 100 tonnes, les informations à fournir sont limitées.

Ce texte, qui a été particulièrement difficile à mettre en place n'est pas exempt d'inconvénients mais présente l'avantage d'exister. Dans sa rédaction actuelle, il ne prend pas en compte la notion de dimension qui est pourtant fondamentale pour évaluer la toxicité des nanoparticules.

Sans clore le débat, le Conseil économique et social est favorable, à court terme, à une adaptation du règlement REACH aux nanotechnologies car l'élaboration au niveau communautaire d'une réglementation spécifique risque de différer trop longtemps l'existence d'une base juridique nécessaire dès à présent pour prendre des mesures visant à anticiper les risques potentiels des nanoparticules actuellement utilisées.

Notre assemblée soutient donc les propositions suivantes :

- **l'introduction dans le texte d'une propriété physico-chimique dépendante de la taille de l'objet, qui puisse le définir comme une substance nouvelle et permettre d'évaluer la toxicité liée à cette dimension ;**

- **dans les cas visés ci-dessus, l'adaptation des valeurs de tonnage à la production des nanoparticules.**

Dans son « rapport d'étonnement » - La question des nanotechnologies - l'IHEST a proposé d'étudier la « *faisabilité des Autorisations de mise sur le marché (AMM) pour les produits comprenant des nanoparticules n'entrant ni dans les procédures d'homologation des médicaments, ni dans celles décrites par le règlement européen REACH* ».

Cette hypothèse mérite d'être explorée et dans ce cas le Conseil économique et social estime que ce processus pourrait être assorti d'un dossier dressant l'état actualisé des connaissances relatives aux risques potentiels du produit afin de déterminer s'il peut être commercialisé.

Pour être réellement pleinement efficace, une telle approche devrait faire l'objet d'une réflexion européenne afin que les mesures de précautions exigées puissent être examinées par l'ensemble des pays concernés et que nul ne puisse jouer sur les différences de législation pour développer une forme de *dumping* au détriment de la santé, de la sécurité et de l'environnement.

Les travaux du Grenelle de l'environnement ont évoqué la possibilité de réaliser un bilan coûts/avantages systématique de la mise sur le marché de produits contenant des nanoparticules ou des nanomatériaux. Notre assemblée précise qu'un tel bilan devrait principalement porter sur les risques sanitaires et environnementaux et qu'il devrait être réalisé par des organismes publics et indépendants, dont les conclusions seraient déterminantes pour la poursuite de l'instruction des demandes d'autorisation de mise sur le marché.

2. Pertinence du niveau national de la réglementation ?

La mondialisation des activités de recherche et des échanges rend la tâche des pouvoirs publics nationaux complexe. Le principe de précaution impose à la France de ne pas attendre qu'un accord se dessine au niveau international pour prendre les décisions qui s'imposent vis à vis des entreprises qui produisent ou utilisent des substances à l'état nanoparticulaire. Le contexte concurrentiel qui pourrait faire craindre une réaction négative de la part de certains acteurs économiques ne doit pas pour autant freiner les initiatives de notre pays en la matière.

À la suite des propositions de la table n° 3 « Préserver la santé et l'environnement tout en stimulant l'économie » du Grenelle de l'environnement, un projet de loi est en cours d'élaboration pour mettre en place une procédure de déclaration par les producteurs et importateurs de substances à l'état nanoparticulaire sur le territoire français. Le Conseil économique et social souscrit entièrement à cette démarche car il est très difficile aujourd'hui de savoir précisément qui fabrique ou vend des nanoparticules, des nanomatériaux ou des produits en incorporant.

Des procédures similaires de déclaration existent déjà aux États-Unis et au Royaume-Uni, la France ne serait donc pas isolée et ces initiatives pourraient avoir un effet d'entraînement auprès des autres États membres de l'Union européenne ou de ses partenaires commerciaux...

Cependant, notre assemblée pense que sur cette question comme sur la précédente, l'existence d'une législation communautaire fondée sur de tels principes s'avère indispensable pour que tous les produits mis en vente soient répertoriés.

D - LA PROTECTION DES TRAVAILLEURS

L'exposition des travailleurs aux nanoparticules manufacturées existe essentiellement au niveau des laboratoires de recherche, des industries de fabrication et de celles les utilisant dans leurs procédés de mise en œuvre. Si les quantités produites sont peu importantes dans les laboratoires, contrairement aux entreprises industrielles, les risques ne sont pas moins réels et les mesures de protection sont indispensables.

De nombreux secteurs sont concernés mais il est très difficile de quantifier le nombre de salariés potentiellement exposés. Les travaux de récupération des produits ; de nettoyage et de maintenance des équipements ; les opérations d'emballage, de conditionnement et de stockage ; peuvent conduire à une exposition des travailleurs.

Le risque sanitaire dépend de la toxicité intrinsèque des nanoparticules et de l'exposition des individus :

- par inhalation d'aérosols de nanoparticules ou lorsqu'elles sont en suspension dans des gaz ou des liquides ;
- par voie cutanée : lors des opérations de récupération, manipulation, d'emballage des produits... ;
- par un risque d'explosion de nanoparticules d'origine organique ou minérale en cas de très forte concentration dans l'air en milieu confiné.

Le Conseil économique et social constate que les données d'exposition en milieu de travail sont quasi-inexistantes et qu'il n'y a pas actuellement de valeur limite d'exposition aux nanoparticules dans la législation française ou européenne, ni d'études épidémiologiques sur les populations de travailleurs exposés.

L'étude menée par l'INRS en mars 2007 sur *Les nanomatériaux*, confirme ce constat. Cet institut insiste sur la nécessité de mettre en commun au niveau national les connaissances notamment en termes de risques pour la santé, de métrologie et de protection des travailleurs et qu'en attendant l'avancée des études, il est recommandé d'appliquer le principe de précaution et de rechercher le niveau d'exposition le plus bas possible.

La pertinence et le caractère novateur d'initiatives prises par certaines entreprises industrielles du secteur- guides de bonnes pratiques pour leurs salariés, élaboration d'étiquettes pour signaler la spécificité du produit... - doivent être valorisées et amplifiées pour servir d'exemples. Néanmoins, notre assemblée indique qu'il est urgent de construire une politique de santé publique au travail concernant les nanoparticules - en distinguant celles qui sont à l'état libre de celles incorporées dans une matrice.

Le Conseil économique et social confirme la nécessité que les mesures de précaution - à l'instar de celles consistant à recenser les nanoparticules issues des filières de production ou à adapter dès maintenant les mesures de précaution -, énoncées par le Comité de la prévention et de la précaution, dans son rapport *Nanotechnologies, nanoparticules. Quels dangers ?*, mai 2006, soient mises en œuvre sans attendre. Il soutient également les initiatives prises par la Commission européenne dans ce secteur (PCRDT, code de bonne conduite européen et programme NanoSafe 2 qui a débuté en 2005 notamment) et qui sont relayées par la plupart des États membres au niveau national. La France finance par exemple les programmes Nanoris, Nanotox... par le biais de l'ANR ainsi que des travaux de recherche pluridisciplinaires - CNRS, INSERM, CEA - sur ces problématiques...

Un processus de veille sanitaire renforcée auprès des salariés travaillant en contact avec les nanomatériaux devrait être initié. À l'instar de ce qui existe dans le secteur du nucléaire, il pourrait être envisagé pour ces salariés de bénéficier d'un suivi médical coordonné permettant notamment de prendre en compte des données concernant leur état de santé général. **De même, dans les sites réunissant des salariés d'entreprises différentes, sous-traitantes notamment, les compétences et l'organisation des Comités d'hygiène de sécurité et des conditions de travail (CHSCT) devraient être élargies en s'inspirant des CHSCT de site, pour que tous les salariés bénéficient des mesures de précaution et de prévention nécessaires.**

La plus forte association des CHSCT à l'ensemble de ce processus est positive à un double titre : améliorer la protection des salariés, améliorer la protection du grand public du fait d'une plus forte vigilance dans le processus de production lui-même.

La formation initiale et continue des médecins du travail devrait également tenir compte des risques potentiels pour la santé qui pourraient être engendrés par les différents cas d'exposition aux nanoparticules dans le milieu professionnel.

E - PROBLÈMES ÉTHIQUES ET QUESTION DES LIBERTÉS INDIVIDUELLES

Les problèmes éthiques soulevés par les nanotechnologies concernent principalement leur convergence avec les technologies de l'information et de la communication, les biotechnologies et les sciences cognitives.

Cette convergence a conduit à l'apparition de certains thèmes - « Gelée verte » et « Gelée grise » - initialement exposés par Éric Drexler en 1986 dans son ouvrage *Engine of creation : the coming era of nanotechnology* et repris ensuite par divers romans de science-fiction dans les années 1990 dont le best-seller *La Proie* de Michael Crichton, qui laissent imaginer que les nanotechnologies pourraient déboucher sur le contrôle de l'individu grâce à des nano-objets injectés dans le corps humain ou sur la destruction de la planète par l'émergence d'une intelligence collective de nano-robots auto reproducteurs qui échapperaient au contrôle de leurs créateurs...

Les connaissances de base de la biologie, neurologie, chimie, physique... permettent de démontrer simplement l'impossibilité de telles réalisations, comme l'a rappelé M. Weisbuch lors de son audition.

M. Philippe Lemoine dans une communication de la CNIL du 12 janvier 2006 *Nanotechnologies, informatique et libertés* rappelle à ce sujet que « *La CNIL devrait veiller à bien montrer par des auditions, par des colloques, par une participation aux débats qu'elle n'est pas disqualifiée mais confortée par la perspective de la méta-convergence* ».

Le Conseil économique et social confirme que la CNIL a toute légitimité pour accomplir ses missions au gré des évolutions technologiques relevant de son champ d'intervention. Il pense néanmoins qu'elle devrait voir ses moyens adaptés à la hauteur des missions de plus en plus lourdes qui lui sont confiées.

Indépendamment des risques soulevés par la convergence, on constate que les nanotechnologies utilisent les unités élémentaires de la nature et du vivant ; les atomes et les molécules, comme des dispositifs techniques. Elles transforment notre rapport à la nature et peuvent se ranger selon les philosophes dans les « anthropotechnies » c'est-à-dire les techniques qui s'appliquent à l'humain (à l'instar de la chirurgie esthétique). Elles pourraient en effet améliorer la médecine préventive et prédictive afin de dépister au plus vite certaines pathologies... Mais est-il utile et acceptable de diagnostiquer par exemple une maladie incurable avant même qu'elle ne se soit déclarée ?

Dans un avenir proche, les nanotechnologies permettront aussi d'accéder à des moyens technologiques qui poseront d'importants problèmes en matière de protection des libertés individuelles par l'émergence de l'hyper-traçabilité.

Les techniques actuelles de relevé et de classification des empreintes génétiques des individus, de fichage informatique, de surveillance des déplacements... seront sensiblement accrues. Par exemple, les marqueurs électroniques de type *Radio Frequency Identifier* (RFID) appellent à la vigilance car s'ils permettent aujourd'hui d'identifier tout produit unité par unité dans un but légitime - suivi de la chaîne du froid, lutte contre la fraude par exemple, - leur miniaturisation grâce aux nanotechnologies (sans pour autant atteindre une taille nanométrique) et leur possible dissémination dans l'environnement, dans les objets... posera notamment la question du stockage et de l'usage des informations ainsi recueillies.

Ces risques existent cependant déjà aujourd'hui, ce qui nécessite de veiller dès maintenant à la bonne application des protections individuelles prévues. Le Conseil économique et social estime cependant que cette veille ne sera pas suffisante et qu'il faudra définir de nouveaux moyens de protection dès que des risques nouveaux apparaîtront. Ce problème de fond de nos sociétés dépasse largement le cadre de la mise en œuvre des nanotechnologies.

Dans un rapport publié le 9 juillet 2007, la CNIL dénonce l'explosion des fichiers informatisés utilisant de nouvelles technologies de traçage des individus et rappelle que chaque citoyen peut faire valoir ses droits à la protection des données consacrés par la charte européenne des droits fondamentaux. Elle constate également que le contrôle des traitements automatisés va devenir de plus en plus complexe car la miniaturisation des procédés de traçage utilisés ne permettra plus, dans un proche avenir, de savoir si un « mouchard » est présent ou non dans un dispositif informatique.

III - ENJEUX DE LA NORMALISATION

Dans le cadre d'une enquête sur les nanotechnologies, les députés de la Chambre des Communes recommandaient au gouvernement britannique de s'assurer que le Royaume-Uni se trouvait aux avant-postes des initiatives internationales pour la normalisation des nanotechnologies en raison notamment de l'énorme potentiel de ce marché à l'avenir.

Depuis, le Royaume-Uni a contribué à l'établissement d'un groupe de travail au sein du Comité européen de normalisation (CEN), le groupe WG 166. Mais ce pays a également pris une part active dans la création, en 2005, du Comité Technique 229 de l'Organisation internationale de normalisation (ou *International Organization for Standardisation - ISO*) à tel point que le Royaume-Uni en assure la présidence et le secrétariat jusqu'en 2010 !

La première réunion de ce comité, aussi appelé ISO/TC 229, s'est tenue à Londres en novembre 2005. La rencontre, qui réunissait des délégations de 22 pays dont l'Association française de normalisation (AFNOR) pour la France.

Le travail du comité TC 229 recouvre tout le domaine de la normalisation des nanotechnologies, en particulier la classification, la terminologie et la nomenclature, la métrologie de base, la caractérisation (y compris l'étalonnage et la certification) ainsi que les questions de risque et d'environnement. L'objectif est d'offrir aux scientifiques et ingénieurs un vocabulaire et des méthodes communs, la normalisation des nanotechnologies devant faciliter un développement et une production plus rapides et plus sûrs des produits.

La France a accueilli la sixième réunion de l'ISO TC 229 à Bordeaux du 26 au 30 mai 2008.

Le Conseil économique et social veut insister avec force sur l'importance qu'il convient d'accorder à ce processus de normalisation et sur la nécessité d'une mobilisation de haut niveau de l'ensemble des acteurs concernés : pouvoirs publics, entreprises, organisations syndicales, associations de consommateurs ou de défense de l'environnement etc.

En effet, la définition des normes détermine pour une part essentielle le niveau d'exigence que la société entend exprimer pour protéger et prévenir. Il est essentiel que les normes internationales se situent au plus près de notre niveau d'exigence afin de laisser le moins de terrain possible aux produits manufacturés dans des conditions préoccupantes voire dangereuses pour les travailleurs, les consommateurs, les populations ou l'environnement.

Faute de cela, les distorsions de concurrence joueraient à plein et tireraient tout le monde vers le bas avec le risque, alors de basculer dans une logique binaire dont chacun voit bien l'aspect catastrophique : mise en place systématique d'un moratoire faute d'informations complètes ou absence totale de précaution.

L'amélioration significative de la représentativité française par l'arrivée récente de groupes comme Rhodia, L'Oréal ou Michelin dans ce processus laisse espérer une amélioration de la qualité des travaux relatifs aux aspects hygiène, santé, sécurité et environnement (incluant les aspects conditionnement et transport).

IV - DONNER ENCORE PLUS D'AMPLEUR AU DÉBAT PUBLIC

Consultations, colloques, forums, rencontres, expositions... le débat participatif sur les enjeux scientifiques, économiques, sociétaux et éthiques s'est installé en France, en Europe et dans le reste du monde industrialisé. L'objectif est d'éclairer les citoyens, les élus, les différents acteurs de manière objective et en fonction de l'évolution des connaissances, sur les risques, les bénéfices potentiels et les mesures à prendre.

La caractéristique du débat actuel est qu'il se déroule principalement entre d'un côté les chercheurs, les décideurs politiques, de l'autre les syndicats, les militants de la protection de l'environnement, de la défense des consommateurs, de la défense des libertés publiques...

Il est également nourri par des articles dans la presse écrite, des blogs sur internet, et très peu encore par des sujets dans les média audiovisuels. Ces informations sont de natures multiples. Dans certains cas, elles sont très documentées et mettent l'accent sur de vrais enjeux, dans d'autres elles sont marquées par la recherche du sensationnel, n'hésitent pas à relayer des fantasmes « vendeurs » ou reposent sur des données non vérifiées.

À l'évidence, la réflexion et l'échange d'opinion doivent être plus ouverts et doivent mobiliser davantage les citoyens.

C'est pourquoi le Conseil économique et social soutient la proposition issue du Grenelle de l'environnement, reprise dans l'article 34 du projet de loi de programme relatif à sa mise en œuvre en discussion au Parlement d'organiser « **un débat public au plan national - à propos des bénéfices et des risques des nanotechnologies - avant le 31 mars 2009** ».

Il insiste sur l'importance de ne pas le limiter à un simple débat institutionnel ne regroupant qu'une population de spécialistes ou de militants. Pour répondre aux besoins d'information, d'échange, de transparence ; pour donner aux citoyens la garantie que rien d'essentiel n'est laissé dans l'ombre, **les conditions doivent être créées pour que le débat touche le grand public.**

Les réflexions du Conseil économique et social rejoignent celles de la commission du « Grenelle » à propos du **rôle que devrait jouer la Commission nationale du débat public pour animer cet échange citoyen à travers tout le pays** mais nous pensons qu'il faut aller plus loin encore.

L'Observatoire européen permanent sur les nanotechnologies précédemment mentionné, pourrait coordonner ce type de débat au sein des différents États membres de l'Union européenne.

Les assemblées parlementaires pourraient apporter leurs contributions ainsi que **le Conseil économique et social lui-même** en poursuivant les débats qu'ils ont déjà initiés sur ce sujet.

L'ancrage en région du débat est essentiel, **les conseils régionaux ainsi que les CESR** pourraient efficacement y prendre toute leur part.

Plus généralement, notre assemblée estime que, sur la base d'expériences réussies mais encore trop parcellaires, **les formes de ce débat devraient être diversifiées pour bénéficier de l'apport des différentes méthodes existantes. La pratique des conférences citoyennes devrait par exemple être développée.** Ces panels de citoyens, le plus souvent tirés au sort, rédigeant des avis et recommandations remis aux instances politiques après une formation préparatoire et un débat public avec des experts et des représentants du monde

politique, économique, associatif pourraient enrichir utilement la réflexion et permettre la prise en compte de préoccupations présentes dans la société.

Nous venons de mentionner que le rôle des **médias audiovisuels et notamment celui de la télévision** restait encore modeste. La conviction du Conseil économique et social est qu'ils **ont un rôle éminent à jouer**. Ils peuvent s'emparer du sujet en s'appuyant notamment sur la communauté scientifique qui par une approche pédagogique et dans sa diversité contribuera à faire émerger une expertise collective permettant de mieux comprendre les enjeux ; les bienfaits comme les risques potentiels ainsi que les voies à explorer pour que le développement des nanotechnologies soit maîtrisé dans le sens souhaité par la société.

Ce type de démarche amènera à **intégrer les actions d'information et de communication dans les préoccupations des chercheurs**. Par ailleurs, les équipes de recherche en nanosciences et nanotechnologies seront sensibilisées quant à l'intérêt de **coopérer avec des chercheurs en sciences humaines et sociales** afin de mieux intégrer la réflexion éthique et les avancées scientifiques. Ainsi, les préoccupations éthiques pourront être mieux comprises comme un des facteurs-clés de succès du développement de ces recherches.

Le rapport du comité d'éthique du CNRS sur les *Enjeux éthiques des nanosciences et nanotechnologies* recommande dans cet esprit de réaliser des guides sur l'éthique à destination des chercheurs et d'ouvrir des espaces éthiques dans les centres de recherche.

Cette culture du débat public devrait être aussi favorisée dans le cadre de **l'enseignement secondaire et supérieur**. En effet, l'accès à la culture scientifique et technique devrait être renforcé au sein du système scolaire par le biais notamment de méthodes pédagogiques mieux adaptées au niveau des élèves. De plus, faire travailler les étudiants scientifiques sur les controverses dans le but de leur apprendre à les affronter et non à les éviter, tout en les sensibilisant à la difficulté pour le grand public de comprendre la complexité et la pluridisciplinarité de certains domaines de recherche, améliorerait sensiblement la compréhension entre le monde scientifique et la société civile.

Enfin, il nous semble indispensable que les différentes institutions donnent une suite régulière aux rapports publiés afin que les conclusions et recommandations de ces derniers puissent intégrer l'évolution rapide des connaissances scientifiques.

CONCLUSION

Au terme de cet avis, les conclusions suivantes peuvent être dégagées.

Le développement des nanotechnologies est un enjeu incontournable pour notre avenir.

Technologies transversales, les nanotechnologies commencent déjà et vont de plus en plus irriguer notre vie.

Dès aujourd'hui, elles contribuent à améliorer notre quotidien. Pour demain, leurs potentialités dans des domaines aussi décisifs que la santé, l'énergie et l'environnement, les matériaux nouveaux, les technologies de l'information et de la communication, etc. sont immenses.

Sur un plan industriel, la maîtrise des nanotechnologies constitue un enjeu décisif pour l'emploi, le rayonnement de notre pays et de l'Europe.

En même temps, comme c'est souvent le cas s'agissant de grandes avancées scientifiques et de leurs développements, des inquiétudes s'expriment dans le débat public quant à l'existence de risques dans l'application à l'échelle industrielle de ces technologies.

Il ne faut pas ignorer ces inquiétudes. Prendre en compte leur existence doit, au contraire, nous conduire à mettre en œuvre une démarche permettant à la société de s'assurer que l'essor indispensable des nanotechnologies est conçu dans un souci de transparence et de sécurité maximales pour la population, les salariés et l'environnement. Le principe de précaution ne doit pas conduire à l'immobilisme mais favoriser une action raisonnée et responsable.

Pour conjuguer ces différents impératifs, il est nécessaire :

- De maintenir au meilleur niveau l'effort de recherche publique, d'accroître l'effort de recherche des entreprises et d'accentuer significativement la synergie entre les deux.

De la part des pouvoirs publics, cela implique de soutenir une politique permettant le développement des activités d'entreprises de taille moyenne innovantes. Cela implique aussi une plus grande coopération européenne gagnant en efficacité ;

- Concernant la prévention des risques, un effort doit être déployé en ce qui concerne les recherches en toxicité, écotoxicité et métrologie. La protection des salariés, avec les mesures préventives afférentes, doit être une préoccupation majeure en lien avec la protection des consommateurs, des populations et de l'environnement.

Il en va de même s'agissant de la protection des libertés individuelles.

Les pouvoirs publics, au niveau national comme européen ont pour responsabilité de définir des règles permettant d'atteindre ces objectifs au plus haut niveau ;

- Pour ce faire, il est important de s'appuyer sur les règles de protection déjà existantes dans les différentes activités productives, tout en les adaptant et en les complétant afin qu'elles couvrent pleinement le champ nouveau des nanotechnologies. C'est indispensable compte tenu du caractère transversal de ces dernières ;
- Dans cette perspective, les enjeux de normalisation sont déterminants. Notre pays, ainsi que les acteurs des nanotechnologies doivent y accorder la priorité qu'ils méritent ;
- Enfin, le débat public doit être favorisé et développé sous de multiples formes. Les pouvoirs publics doivent tout mettre en œuvre pour qu'il en soit ainsi. C'est une dimension essentielle de la question. Il est bien connu que les peurs naissent de la méconnaissance des phénomènes mais aussi du sentiment que les préoccupations exprimées ne sont pas prises en compte. Le débat public permet de traiter ces deux aspects.

En adoptant cette démarche d'ensemble notre pays pourrait créer les conditions les mieux adaptées pour un investissement majeur dans une nouvelle vague technologique prometteuse.

Deuxième partie
Déclarations des groupes

Groupe de l'agriculture

Le futur se présente à nous sous les termes d'un important défi.

Les nanotechnologies sont naissantes et pourtant on sent bien que les incidences sur l'avenir seront importantes. Avons-nous vraiment une pleine conscience des enjeux à venir ? On sait déjà que les conséquences seront essentielles dans de très nombreux domaines de la vie économique et sociale.

Le caractère stratégique des nanotechnologies s'est imposé il y a déjà quelques années. La science, bien avant le grand public, s'y est intéressée en essayant de prévenir les transformations attendues. La recherche s'est mobilisée, soutenue par des investissements considérables d'acteurs privés ou publics. L'Europe se soucie réellement de garder son rang.

On ne peut pas s'empêcher ici de faire un parallèle entre les nanotechnologies et les OGM et les autres secteurs également prometteurs qui n'ont pas eu la chance de bénéficier du soutien de la société par une communication adaptée.

Nous disposions en France d'une réelle avance scientifique sur les OGM. Nous l'avons perdue au profit de nos principaux concurrents. Ceux qui l'ont combattue ont l'impression d'avoir gagné un combat. En réalité, ils ont compromis l'avenir d'un secteur qui est véritablement stratégique comme le sont les nanotechnologies. Et pourtant, il va falloir produire plus et mieux. Les OGM auront leur place dans ce défi.

Peut-être n'avons nous pas su organiser les débats qui auraient été nécessaires à la compréhension des enjeux ? Aucun bilan coûts-avantages n'a été fait et seuls les risques ont été perçus. Nous aurions certainement dû mieux communiquer avec le grand public et l'insérer dans nos réflexions. Cela nous aurait permis de ne pas être la proie de nombreuses manipulations médiatiques désastreuses de la part de certaines organisations. Attention de ne pas tomber dans le même piège avec les nanotechnologies.

Depuis toujours, l'avancée de la science est inéluctable. On ne peut pas s'y soustraire. Il faut au contraire l'accompagner pour en maîtriser les effets et apaiser les craintes qui peuvent apparaître. Une régulation est indispensable. Cela doit être un élément de progrès et non de paralysie. Oui au principe de précaution mais il doit être interprété comme un élément de veille et d'attention, de manière à favoriser la recherche tout en prenant en compte les effets induits.

Le rapporteur formule le souhait que les programmes de développement des nanotechnologies figurent parmi les priorités de la présidence française de l'Union européenne au cours du second semestre 2008. Nous le soutenons bien sûr dans ses ambitions. Les nanotechnologies seront de plus en plus à la base d'un nouveau secteur économique, source de développements et d'emplois dont nous avons tous besoin.

Groupe de l'artisanat

Souvent initiées par le secteur défense mais plus connues dans le domaine médical ou des technologies de l'information, les nanotechnologies sont aujourd'hui au cœur du développement de nombreux secteurs d'activités.

L'artisanat du fait de la grande diversité de ses métiers est concerné à la fois par ces innovations technologiques mais également par les systèmes qu'elles permettent de construire.

En dehors du progrès de la science sur le corps humain qui profite à tous, les artisans bénéficient déjà des nombreuses possibilités offertes par la miniaturisation des composants électroniques, la précision des instruments de mesure, les nouvelles caractéristiques des matériaux ou produits tout simplement plus légers, plus résistants, plus propres ou moins toxiques.

Si les effets positifs sur les conditions de travail ou la performance économique des entreprises sont aujourd'hui palpables, il n'en demeure pas moins que l'incertitude liée à la suppression des frontières entre la chimie, la physique, la biologie et l'ingénierie est grande.

Conscient qu'en la matière les avancées technologiques sont à leur balbutiement et laissent entrevoir un potentiel de développement non dénué d'un certain nombre de risques, le groupe de l'artisanat apprécie la démarche pragmatique de cet avis visant à concilier les enjeux économiques, sociaux, environnementaux et éthiques de l'essor des nanotechnologies.

Sur le plan économique, même si la France a considérablement augmenté le budget consacré à ce champ d'activités, elle ne pourra rester présente sur cette vague technologique d'avenir que si elle parvient à trouver des alliances ou des coopérations au niveau européen pour accroître ses moyens d'investigation. Quant aux investissements matériels et immatériels des entreprises innovantes, leur financement appelle aussi un engagement des pouvoirs publics pour trouver les solutions les plus adaptées. La fusion de l'Agence pour l'innovation industrielle dans OSEO constitue un signe politique fort pour convaincre le secteur financier dans son ensemble de l'intérêt national à soutenir ce type de projets d'avenir. S'agissant du renforcement du système de garanties des prêts auprès d'OSEO, le groupe de l'artisanat insiste sur la nécessité de l'inscrire dans la durée et de l'assortir de mesures d'accompagnement pour assurer la viabilité à long terme de ces entreprises.

Sur le plan environnemental et de santé publique : la combinaison infinie des molécules rendue possible par ces technologies transversales, impose un contrôle d'ordre public. La création d'un observatoire européen permanent des nanotechnologies doit être encouragée au même titre d'ailleurs que la mise en œuvre systématique du principe de précaution et la poursuite des efforts de recherche fondamentale au cas par cas. Même si aujourd'hui la plupart des entreprises artisanales ont mis au point des fiches techniques de prévention des risques professionnels, elles ne disposent pas de données suffisamment précises sur le niveau d'exposition ou de toxicité de ces nouveaux matériaux ou procédés

de fabrication. C'est la raison pour laquelle elles partagent à la fois l'idée de renforcement de la veille sanitaire auprès des personnes les plus exposées et celle de la création d'une véritable politique de santé publique.

Enfin, pour éviter toutes manipulations détournées de son objet et les excès liés à l'hyper-traçabilité des produits, il est important de redonner confiance en la science. Aussi, par respect des libertés individuelles et au nom de l'éthique, il faut aller plus loin que le simple débat institutionnel en faisant appel à la Commission nationale du débat public pour animer cet échange citoyen indispensable à l'acceptation sociale du progrès technique.

Le groupe de l'artisanat a voté l'avis.

Groupe des associations

En abordant le sujet des « nanotechnologies », plusieurs défis étaient à relever, auxquels l'avis présenté répond en bien des points grâce à la grande qualité du travail accompli par le rapporteur.

Le premier enjeu était de faire œuvre pédagogique en éclairant sur le contenu de ce champ de recherche relativement récent et pluridisciplinaire. L'avis met ainsi en lumière la transversalité du sujet « nano » qui invite, dans cet univers de l'infiniment petit, aussi bien la physique, la biologie et les sciences du vivant que l'informatique. Par le biais de fiches, le rapport associé permet à chacun de disposer d'une synthèse précieuse et actuelle sur ce thème. L'avis et le rapport décrivent avec clarté à la fois les promesses de progrès, notamment en matière de santé, de miniaturisation, mais aussi les risques potentiels associés.

Il s'agissait ensuite d'étudier la politique de recherche appliquée au champ des nanotechnologies, les structures et le financement, avec les questions corollaires des compétences et de la formation. Or c'est un paysage institutionnel à la fois confus et effervescent qui est décrit, permettant de s'interroger sur l'efficacité du pilotage national actuel.

Le groupe des associations apprécie particulièrement que l'avis pose aussi clairement la question et les enjeux du rapport entre la recherche scientifique et la société civile. La science fait peur et cette peur conduit parfois à l'obscurantisme. Les innovations technologiques qui améliorent en permanence notre quotidien effraient également dans la mesure où on ne maîtrise pas les risques encourus par l'homme et son environnement. Chacun peut constater de phénoménales progressions dans les techniques informatiques. Il peut ainsi deviner l'enjeu économique considérable et alors penser que cet enjeu prévaudra sur la sécurité. Les interrogations du travailleur, du consommateur ou du simple citoyen méritent la réponse responsable proposée face aux risques dans ce contexte d'incertitude.

La science progresse par tâtonnements et chaque découverte a sa contrepartie. Les nanotechnologies vont certainement apporter une grande contribution au traitement des cancers, tandis que la diffusion de nanoparticules est susceptible de poser des problèmes sanitaires. Les objets nanométriques ont souvent des propriétés différentes de celles des objets de même nature lorsqu'ils sont macro ou microscopiques. On méconnaît donc parfois les effets sanitaires de certaines d'entre elles mais d'un autre côté, des propriétés découvertes sont fort utiles au traitement de problèmes de santé.

Les chercheurs sont les experts capables d'évaluer et de choisir les pistes de recherche les plus pertinentes mais il importe que la société civile puisse demander des garanties de transparence, d'information, d'évaluation sur les risques et les usages. Il est essentiel que les questions sur la prévention des risques ou sur les libertés individuelles soient prises en compte. Cet enjeu démocratique accompagne désormais la question de l'évolution des connaissances et il est une condition indispensable du soutien de l'effort de recherche.

La réglementation et la normalisation ont toute leur place pour encadrer - en cohérence avec les recommandations de la Commission européenne - un principe de précaution raisonnable qui ne ferme pas la porte au progrès tout en minimisant les risques.

Cependant, le plus important réside dans le moyen de mieux partager les enjeux économiques, sociaux et environnementaux. Le débat public - qui confronte la rigueur scientifique avec la nécessité éthique - en est le garant. Pour que la transparence soit efficiente, pour que le travailleur, le consommateur ou le simple citoyen puissent être un acteur réel, pour que nous développiions notre capacité à former des chercheurs de haut niveau, il faut impérativement favoriser l'accès à la culture scientifique et technique dès le plus jeune âge.

Les « nanos » sont déjà parmi nous dans de très nombreux domaines. Il convient d'adapter d'urgence leur encadrement réglementaire (au-delà du seul Grenelle de l'environnement), de soutenir la recherche tant pour l'enjeu économique que pour la prévention des risques, de donner plus d'ampleur au débat public. C'est ce que propose l'avis et, en félicitant de nouveau le rapporteur, le groupe des associations l'a voté.

Groupe de la CFDT

Pour la CFDT, cet avis apporte une réelle valeur ajoutée au dossier sur les nanotechnologies en développant deux points fondamentaux : la mise en œuvre du principe de précaution et la protection des travailleurs.

En rappelant et précisant les différents domaines, connus ou en cours d'investigation, dans lesquels sont utilisées les nanotechnologies, l'avis fait une première œuvre d'objectivation permettant de sortir des fantasmes relevant de la science fiction sur lesquels certains s'appuient pour diaboliser cette nouvelle technologie.

En alertant sur la connaissance insuffisante à propos des effets nocifs éventuels des nanoparticules et des produits qui en incorporent, l'avis appelle à la prudence. La CFDT soutient la nécessité d'investir plus massivement dans les recherches qui permettront de mieux caractériser ces particules et d'en tester la toxicité sur le corps humain comme sur l'environnement.

Il y a des incertitudes et des inconnues par rapport à la toxicité des nano particules qui peuvent pénétrer dans l'organisme par plusieurs voies et des inconnues sur le comportement des nano matériaux. Des travaux spécifiques sont à conduire, produit par produit, en fonction des diverses modalités d'utilisation car la toxicité ne peut se déduire de la seule dimension des particules.

On rappellera que les particules ultra fines que l'on respire, contiennent des nanoparticules aux effets nocifs et proviennent en grande partie des combustions organiques ; voilà un premier domaine sur lequel des dispositions pour en limiter la diffusion doivent donc être renforcées.

Enfin, il faut admettre qu'il n'y a pas de certitude absolue sur l'absence de toxicité à moyen ou long terme des produits qu'ils soient naturels ou fabriqués par l'homme. Régulièrement les études apportent de nouvelles connaissances qui peuvent établir de nouvelles toxicités ou en écarter d'autres. La science progresse sur la base d'hypothèses qui peuvent être remises en cause par de nouvelles connaissances qui, de plus, peuvent faire l'objet de controverses entre experts.

Ainsi l'approche dynamique du principe de précaution, à laquelle nous appelle cet avis se construit sur une démarche prudente et rationnelle. Elle consiste à décider de la diffusion et de la commercialisation d'un produit sur la base d'un minimum de travaux écartant les risques de toxicité pour l'homme et l'environnement. Cette décision est révisable en fonction des connaissances et au vu de l'intérêt du produit en termes économique et social. Reste à décider de l'autorité qui doit rendre ce verdict.

Dans cette gestion des risques, les plus avérés concernent les travailleurs appelés à manipuler des nano particules ou des nano matériaux que ce soit aux stades des recherches, de la fabrication ou du recyclage. Des procédures de protection, de confinement, de ventilation, inspirés de ce qui se fait dans le domaine du nucléaire, de la chimie ou des biotechnologies, sont déjà mises en place par les grands laboratoires. Toutefois, compte tenu des nouveaux modes d'organisation éclatés de la recherche comme des productions expérimentales et pour garantir un bon niveau de protection à tous les salariés qu'ils relèvent d'un grand groupe, d'un organisme de recherche publique, d'une petite *start up* ou d'une entreprise sous traitante, il faut adapter des dispositions spécifiques. C'est pourquoi la CFDT insiste pour que soient mis en place des CHSCT de site dans

les lieux (*clusters*, pôles de compétitivité, campus...) où se concentrent les équipes de recherche et de production sur les nanotechnologies. La prévention n'est pas qu'une question de seuil, d'effectif ou de nature juridique des entreprises mais découle de la nature des produits et des contextes dans lesquels ils sont manipulés.

Cet avis conduit à raisonner en termes de démarche scientifique objective et donc à dépolluer le débat sur un sujet déjà sensible. Savoir faire partager ces questions et cette approche est un véritable enjeu de société afin d'éviter les échecs du processus de discussion que l'on connaît à propos des OGM.

Pour terminer, un souhait, plus qu'un regret, la CFDT pense que ce travail mériterait d'être prolongé sur le plan de l'optimisation et de la valorisation des collaborations pour que les entreprises exploitent mieux les avancées de la recherche et que cette dernière soit attentive aux besoins des industriels.

La CFDT a voté l'avis.

Groupe de la CFE-CGC

Les nanotechnologies connaissent un formidable développement mais certaines de leurs applications ne sont pas exemptes de tout risque pour la santé et l'environnement.

Les enjeux des nanotechnologies sont nombreux et constituent un secteur clé pour l'économie française.

Les attentes sont énormes en termes économiques et stratégiques.

Elles vont jouer un rôle clé dans presque tous les secteurs de la société : applications médicales, technologies de l'information et de la communication, énergie, sécurité, développement durable etc.

C'est donc un enjeu stratégique pour notre pays, en termes de croissance et de valorisation industrielle.

Même si la France se situe à un bon niveau international dans ce domaine, elle ne doit pas se permettre de relâcher ses efforts. Le développement devra s'appuyer sur plusieurs facteurs : une veille et une prospective performantes, un effort public sans précédent pour la création de PME innovantes, un *Small Business Act* français et européen, un financement public élevé de R&D, une formation des chercheurs et des moyens à la hauteur des enjeux, une meilleure articulation entre recherche publique et privée, une convergence des différents programmes de recherche afin de bénéficier des synergies qui auront un effet d'entraînement sur certaines branches industrielles.

Mais les nanotechnologies suscitent des inquiétudes.

Alors que certaines applications sont déjà commercialisées, les risques associés à ces nouvelles technologies et aux nouveaux produits qu'elles génèrent sont encore mal connus. Beaucoup de questions se posent sur l'impact environnemental des processus de production, sur les problèmes de transport, de stockage et de cycle de vie des nanomatériaux. On n'a que peu d'informations sur leur interaction avec les systèmes vivants. Ce sont des risques trop graves qu'il faut prendre en compte. Les crises sanitaires ou technologiques passées en ont révélé toutes les conséquences. Des analyses tant sur les causes que sur les conséquences de tels risques devraient être faites.

Pour le groupe de la CFE-CGC, il importe, en premier lieu, de consacrer un effort important de recherche sur l'impact des nanomatériaux dans les domaines de l'environnement, de la santé et de la sécurité.

En second lieu, il faut adopter des mesures de précaution sans attendre de nouvelles données. Ce principe de précaution doit s'appliquer de façon effective aux nanotechnologies.

L'expertise publique doit évaluer les avantages des actions, des techniques, des procédés etc. suspectés d'entraîner des risques pour l'environnement ou des risques sanitaires dans les mêmes conditions et avec le même sérieux qu'on évalue leurs dommages potentiels.

Ensuite, sur la santé, la priorité est de développer les activités de recherche en toxicité et écotoxicité pour mieux identifier les risques liés à certaines nanoparticules. Mais ce secteur manque de chercheurs formés. Les financements ne sont pas toujours suffisants.

Une évaluation du risque permettrait de mieux cerner l'exposition des salariés à des dangers avérés pour la santé. Les laboratoires et les industriels doivent nécessairement prendre en compte ces éventuels risques lors de la conception ou de la commercialisation des produits

Par ailleurs, les CHSCT ont un rôle primordial à remplir dans l'information et la prévention.

Il faut étendre le règlement REACH aux nanoparticules en introduisant des critères de dangerosité adaptés.

Enfin, les questions éthiques sont importantes. Les chercheurs, ingénieurs et techniciens doivent être associés à la réflexion sur le développement des nanotechnologies. Un contact permanent entre les scientifiques, le public et la société civile doit être établi, pour agir en concertation lors de la définition et du suivi des programmes de recherche. Il faut, en plus, identifier l'organisme qui pourrait conduire les débats d'informations sur toutes les questions relatives aux nanotechnologies.

Le groupe de la CFE-CGC a voté l'avis.

Groupe de la CFTC

L'avis présenté a le mérite de dresser un panorama du nanomonde, des nanosciences et nanotechnologies, accessible au non initié.

Il y est démontré que les possibilités d'application sont très vastes, il est cité en particulier l'industrie de l'électronique et des communications, l'industrie pharmaceutique et biotechnologique, l'agroalimentaire et la cosmétologie.

Bien entendu ces nanosciences et ces nanotechnologies réclament d'importants investissements, tant dans le domaine de la recherche publique que dans le domaine de la recherche privée.

Il est souligné et ceci doit tout particulièrement retenir notre attention que les investissements privés dans notre pays restent faibles, comparés à ceux des autres pays engagés dans la compétition internationale et le fait que nos entreprises concernées sont peu nombreuses.

Le groupe de la CFTC pense, comme le rapporteur, qu'il convient de rechercher des modalités de financement plus adaptées. Alors que les PME innovantes sont très présentes dans ce domaine, notre pays y est quelque peu faible et ce sujet devra à nouveau faire l'objet de nos réflexions, dans le cadre de la future saisine sur les PME.

Il y a là un gisement de développement économique et de création d'emplois qualifiés.

Il est évoqué les craintes suscitées par le développement des nanotechnologies, tant dans le domaine des possibilités d'atteinte aux libertés individuelles et collectives, que dans celui de la santé avec les craintes suscitées par la multiplication des nanoparticules.

Le groupe de la CFTC pense qu'il est normal que l'on se pose des questions et qu'il ne faut pas éluder le débat, sans que cela ne conduise dans un souci d'éviter tout risque à un gel dans le domaine des recherches.

Il insiste pour que le débat public, ne s'adressant pas seulement à des spécialistes, soit développé en s'inspirant des débats qui ont concerné les déchets nucléaires.

Il faut que chacun soit persuadé que rien n'a été laissé dans l'ombre.

D'ailleurs le Grenelle de l'environnement prévoit un débat public au plan national, à propos des risques et des bénéfices des nanotechnologies, avant le 31 mars 2009.

Nous estimons indispensable qu'un processus de veille sanitaire soit mis en place, concernant les salariés travaillant au contact des nanomatériaux, à l'instar de ce qui se pratique dans le secteur nucléaire. De même, il conviendrait d'étendre les compétences des CHSCT de manière à ce que les salariés bénéficient des mesures de précautions indispensables.

Bien entendu, il ne faut pas fantasmer mais procéder à une expertise objective. Des mesures générales sont nécessaires mais la multiplicité des nanotechnologies et des nano-objets nécessitent bien souvent des études au cas par cas.

En ce qui concerne la pertinence du niveau de réglementation, notre groupe pense qu'il faut commencer par le niveau national, les initiatives prises à cet échelon pouvant avoir un effet d'entraînement.

Notre pays ne doit pas prendre de retard dans ce domaine car les perspectives sont prometteuses.

Parallèlement, toutes les précautions doivent être prises pour que les populations soient bien protégées.

Notre groupe partage l'essentiel des préconisations et a voté l'avis.

Groupe de la CGT

Cet avis nous donne une vision très précise de ce que sont les nanotechnologies et de l'enjeu qu'elles représentent. Médecine, alimentation, industrie, énergies... les applications sont multiples, transversales et interdépendantes.

Nous entrons dans une nouvelle ère de l'information et de la connaissance qui va transformer radicalement nos moyens d'interventions et d'inventions, sur l'ensemble des domaines de notre vie quotidienne. Les nanotechnologies n'ouvrent pas seulement une nouvelle dimension de la recherche, elles augurent d'un bouleversement comparable à celui des nouvelles technologies de la communication devenues incontournables aussi bien dans notre vie professionnelle que personnelle.

Les innovations scientifiques et techniques majeures doivent faire l'objet d'un examen sans complaisance en raison même des inquiétudes légitimes qu'elles sont susceptibles de nourrir. L'avis a donc raison d'insister fortement sur la nécessité d'ouvrir le débat public pour assurer l'essor des nanotechnologies dans des conditions de transparence et de sécurité maximales. Le principe de précaution ne doit pas conduire à l'immobilisme mais à une action raisonnée et responsable.

Ces nouvelles technologies sont un enjeu économique mondial que la France n'a pas le droit de négliger. Elle doit même y tenir une place de choix, de leader car elle en possède les moyens. Il reste à appuyer ce savoir-faire sur une volonté politique : garder l'avantage compétitif de la France en matière d'innovations technologiques suppose, dans la suite des investissements en recherche fondamentale et R&D, de conserver la maîtrise du processus de production.

L'avis décrit avec précision le rôle de chacun et les synergies entre la recherche fondamentale portée par les grands organismes publics de recherche, et le tissu des PME et des PMI impliquées aussi bien dans la recherche et développement, que dans la recherche appliquée ou la commercialisation des innovations. Il nous permet d'appréhender les articulations des politiques nationales et européennes à un moment où des pays émergents au savoir reconnu, se lancent avec succès sur cette nouvelle voie.

Des initiatives comme la création du pôle Minalogic de Grenoble, qui d'une part mobilise la puissance et la volonté politique de l'État, des collectivités territoriales, le savoir-faire des laboratoires publics, des grands groupes et des PME-PMI, met d'autre part en synergie, la recherche, la formation et l'industrie.

Il est courant de déplorer que la France manque de petites et de moyennes entreprises aux ambitions européennes, voire mondiales mais encore faut-il qu'elles puissent mobiliser un capital à long terme, plus long que celui du marché financier. Ces investissements seraient ainsi créateurs d'authentique « richesse durable ».

Si ces nouvelles technologies concourent à une dynamique économique, elles doivent aussi s'inscrire dans un progrès pour la population et les générations futures.

En ce qui concerne les travailleurs, il est du domaine des CHSCT et de la qualité de leur collaboration avec les laboratoires de recherche pour l'évaluation des risques et la formation des élus des Institutions représentatives du personnel (IRP). Il nous paraît particulièrement important, sur les sites développant ce type de technologies, d'élargir et de renforcer les compétences d'un CHSCT afin que chaque salarié, quelle que soit la taille de son entreprise, puisse bénéficier des protections indispensables à l'exercice de son travail.

Quant à la protection de l'environnement, la responsabilité sociale de l'ensemble des professionnels du domaine est engagée, notamment pour mettre en place une procédure de recyclage spécifique aux matériaux incorporant des nanoparticules.

Restent enfin, au vu de la nature des déclinaisons de la technologie à envisager, ce que fait l'avis, les problèmes d'éthique et des libertés individuelles. La mise au service du pouvoir de ces technologies se pose et la légitimité de la CNIL dans le domaine s'impose. Aussi, est-il souhaitable que cet organisme dispose des moyens nécessaires pour accomplir cette mission.

En conclusion, pour ses propositions porteuses d'un équilibre nécessaire entre une dynamique économique certaine et les innovations que les nanotechnologies amèneront dans notre vie quotidienne, pour des dispositions assurant la protection des travailleurs, les précautions pour notre environnement, les assurances de la garantie des libertés individuelles et de l'éthique, le groupe de la CGT a adopté l'avis.

Groupe de la CGT-FO

« *La nature aime à se cacher* ». C'est Héraclite qui nous a transmis cet aphorisme quatre siècles avant notre ère. Depuis lors, les êtres humains n'ont cessé de traquer les secrets de la nature, pour les dévoiler, et ainsi contredire Héraclite.

Avec les nanotechnologies, c'est une étape supplémentaire du dévoilement qui est opérée, une étape supplémentaire pour tenir le pari de Prométhée qui vise, par la pénétration des secrets de l'univers, à le mettre au service des êtres humains qui l'habitent. Avec les nanotechnologies, il s'agit de libérer des potentialités dont l'état antérieur d'agrégation de la matière entravait l'expression. Très concrètement, il s'agit de la possibilité de jouer avec les atomes dans des dimensions impossibles jusqu'alors. Pour faire savant on parle de voies *bottom-up* (ascendantes) ou *top down* (descendantes).

L'avis proposé est dans la droite ligne du pari de Prométhée. Il prend le parti du progrès sans ignorer les risques et les bienfaits que ce dernier emporte. Naturellement, le groupe FO a la conviction que, globalement, les bienfaits l'emportent sur les méfaits. Jusque là, pour peu que la volonté existe et que les moyens soient réunis, les dégâts causés par une technique émergente ont été corrigés par la technique d'après. Cette approche globalement positive reste cependant questionnée par les déchets nucléaires et, dans des dimensions nouvelles, avec l'effet de serre dont l'humanité ne sait encore si elle saura le réguler.

Rien ne laisse présager que les nanotechnologies présentent ou ne présentent pas de dangerosité particulière. Cela dit, le rapporteur est à la fois pédagogue et démineur. Pédagogue, avec les fiches qui dessinent un avenir dont quiconque ne peut prétendre anticiper le dessein et démineur, en prônant le parti de la lucidité dont René Char dit qu'elle est « *la blessure la plus proche du soleil* ». C'est cette lucidité qui fait tenir à distance « l'intégrisme précautionnel » et l'optimisme béat. Cela vaut, en premier pour les salariés et pour tous ceux qui manipulent les nanotechnologies. Ils justifient de protections appropriées face à des risques dont on ne sait s'ils ne sont pas comparables à ce que furent ceux de l'amiante. Plus généralement, il y a là une invitation à la transparence qui est toujours à parfaire pour éclairer sans entraver.

Évidemment au cœur des nanotechnologies, il y a la recherche qui appelle des moyens mais qui surtout invite les êtres humains à l'émulation pour créer toujours et encore. Elle appelle les facultés de création, d'invention et d'innovation qui dans l'univers caractérisent plus particulièrement l'être humain.

Le travail du rapporteur se situe dans le droit fil de l'intuition géniale de Paul Delouvrier qui mit le Conseil économique et social sur le sentier de l'investissement immatériel bien avant que quiconque en parle. Lui avait la prémonition qu'il s'agissait du fil rouge de l'avenir, et un jour le CES sera crédité d'avoir vu juste avant tous.

Parler d'immatériel, c'est parler du travail de la pensée dont résultent les avancées en matière de nanotechnologies qui manifestent avec éclat ce que recouvrent les concepts de société et d'économie de la connaissance.

Naturellement, l'activité économique et l'emploi résulteront aussi de l'avancée des nanotechnologies. Déjà les nanotechnologies sont incorporées à des biens et des services de la vie de tous les jours. Ainsi, les lecteurs de DVD ne fonctionneraient pas pareillement sans nano lasers, des cosmétiques ne connaîtraient pas l'efficacité qui leur est reconnue sans des composants nanométriques... des usines moléculaires aux constituants d'une taille cent mille fois inférieures au diamètre d'un cheveu ne sont plus du seul ordre de la science fiction.

Dès lors, si toutes les activités ne sont pas pareillement touchées, aucune ne peut se croire à l'abri. De ce point de vue, les nanotechnologies marquent une rupture nouvelle après les ruptures récentes que constituèrent l'électronique, l'informatique et les biotechnologies.

S'agissant encore des risques, le rapporteur aborde ceux qui sont liés à la protection des données personnelles et de la vie privée. Les nanotechnologies ajoutent des moyens de suivre tout individu à la trace à partir d'une particule nanométrique immatriculée, incorporée à son organisme, et susceptible d'être lue par un capteur. Le rapporteur a raison de souligner que la Commission nationale de l'informatique et des libertés doit être dotée de moyens suffisants pour permettre à chacun de protéger ses données personnelles, dans la situation nouvelle.

Découlant du constat réalisé, le rapporteur met heureusement l'accent sur les investissements colossaux nécessaires pour construire les usines nano technologiques plus proches des laboratoires que des industries des révolutions précédentes.

Il dresse aussi un palmarès de la situation des différents pays avec la situation contrastée de la France qui allie l'excellence et la carence mais reste globalement dans le coup, et y restera si les efforts sont décuplés.

C'est dire combien le groupe FO partage l'appel à prendre les moyens qui permettront à la France et à l'Union européenne de rester dans le coup !

Le groupe Force ouvrière soutient et a voté l'avis.

Groupe de la coopération

Les nanotechnologies peuvent être considérées comme l'une des technologies clés du XXI^e siècle. Les potentialités du monde de l'infiniment petit sont considérables dans de nombreux domaines. L'avis souligne la spécificité de ce « *patchwork de technologies* » en interaction avec leur environnement. Plusieurs pays, avec en tête les États-Unis, misent considérablement sur ce secteur. L'Union européenne doit rester dans la course et a d'ailleurs décidé de multiplier par cinq le budget de la recherche consacré à ce domaine jusqu'en 2013. Pour le groupe de la coopération, la dimension européenne doit en effet être prioritairement prise en compte, tant concernant l'effort de recherche, que la nécessaire cohérence de la réglementation entre les États membres.

Malgré de véritables atouts, le positionnement de la France souffre de faiblesses que notre assemblée a souvent souligné d'une façon générale : complexité des structures de recherche, insuffisance de l'investissement privé en R&D, manque de soutien aux PME innovantes, etc. Le groupe pense que les pôles de compétitivité doivent servir à relever ces défis.

Mais comme toute technologie, se pose aussi la question de la maîtrise des nanotechnologies. L'avis propose « *un développement responsable* » et le groupe soutient cette orientation. Il a apprécié la qualité du travail pédagogique conduit car la connaissance et l'information sont des éléments déterminants pour canaliser les approches irrationnelles, identifier les champs de progrès et aussi les incertitudes et les risques. L'acceptabilité sociale de technologies nouvelles passe par un débat public ouvert aux citoyens et non pas réservé à des initiés, en cherchant à clarifier les bénéfices et risques et à identifier les domaines d'application les plus sensibles aux yeux des citoyens. Cet avis contribue à une réflexion sereine qui doit permettre d'éviter des controverses trop caricaturales. Une telle démarche a malheureusement fait défaut dans la question des OGM.

L'avis propose également une démarche de prévention des risques. En effet, sans connaissances avérées et sans gestion pertinente des risques, on peut craindre une suspicion généralisée, *in fine* néfaste au développement de ces technologies.

Les effets sanitaires des nanotechnologies et leur impact sur l'environnement sont un domaine nouveau et très peu de données sont aujourd'hui validées. Il convient donc de mettre en place des systèmes d'observation et de renforcer l'effort de recherche en matière de toxicité et d'écotoxicité notamment. Cet effort est d'autant plus important à conduire que dans ce secteur un décalage existe entre le temps de l'innovation appliquée et commercialisée, qui s'accélère, et le temps plus long de la recherche.

D'une façon générale, la maîtrise du développement de ces technologies suppose des expertises pluridisciplinaires et collectives dans le cadre des agences de recherche nationales et communautaires. L'alimentation est un domaine d'application extrêmement sensible. C'est pourquoi l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments a été saisie, en juin 2006 et devrait rendre prochainement son rapport sur l'état des lieux et l'évaluation des risques liés à l'utilisation de nanotechnologies dans l'alimentation. Un rapport de l'Autorité européenne de la sécurité des aliments (AESA) est également attendu.

Cet avis illustre la valeur ajoutée que peut apporter notre assemblée sur des sujets tant complexes que sensibles, mais qui engagent l'avenir.

Le groupe de la coopération a voté en faveur de l'avis.

Groupe des entreprises privées

Le groupe des entreprises privées souhaite d'abord féliciter le rapporteur pour le travail accompli tout au long de l'élaboration de cet avis. Il tient à souligner la grande qualité, tout comme celle des auditions, et le caractère novateur des fiches techniques élaborées conjointement au document principal. En effet, sur un sujet aussi complexe, il est important de vulgariser le propos pour être clair et lisible du plus grand nombre, ce qui est le cas ici.

Les nanotechnologies, définies précisément au début de l'avis, représentent un enjeu scientifique majeur avec des domaines d'applications très vastes dans de nombreux secteurs industriels : l'électronique et les télécommunications, l'agroalimentaire, l'industrie pharmaceutique et plus largement la santé. Ces industries connaissent une forte croissance au niveau mondial et leur développement ne peut se passer de l'avancée des nanosciences.

Au-delà des aspects économiques et du poids financier que peut prendre ce secteur de pointe, le groupe des entreprises privées tient à souligner l'importance fondamentale des progrès potentiels pour l'homme, notamment par des méthodes révolutionnaires de soins, de diagnostics ou de nutrition. Par ailleurs, les possibilités qui s'ouvrent dans la recherche appliquée par exemple au secteur de l'énergie, de l'environnement ou du textile, intéressent tout particulièrement les entreprises.

Pour ces raisons, le groupe des entreprises privées est favorable à un soutien accru de la R&D qui bénéficie d'un montant d'investissements en Europe notoirement inférieur à celui des américains et des japonais, ce qui pénalise le pays notamment concernant le délai de transformation d'une innovation en technologie mature et commercialisable. La mise en œuvre d'un *Small Business Act* à la française, voire à l'européenne, en direction des PME innovantes serait un élément favorable pour leur permettre un accès aux contrats publics à forte composante technologique et c'est pourquoi le groupe des entreprises privées encourage la mobilisation des organismes financiers en faveur du développement de ces activités innovantes. C'est cependant à l'échelle

de l'Europe que les défis de la R&D doivent être relevés car les infrastructures nécessaires à la recherche sont de plus en plus lourdes et la taille des équipes augmente. La politique de recherche française doit donc s'infléchir dans cette direction pour mieux pouvoir s'y adapter. C'est pourquoi, on aurait souhaité plus de référence européenne à la fois dans l'introduction et la conclusion de l'avis.

L'enthousiasme de la recherche et de la découverte ne doit toutefois pas faire négliger la prévention des risques et parallèlement aux avancées, il faut prendre la mesure de ceux liés aux incertitudes de la recherche pour adopter des mesures de précaution nécessaires. Le renforcement de l'expertise des comités d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail est ainsi une voie pour mieux protéger les salariés travaillant en contact avec les nanomatériaux mais le groupe des entreprises privées s'interroge pourtant sur les critères exacts d'extension des pouvoirs des CHSCT dans ce domaine et le manque actuel de clarté sur les procédures, un peu inévitable à ce stade, amène à penser que le dialogue entre les partenaires sociaux sera nécessaire pour déterminer les contours exacts de cette adaptation des comités d'hygiène des entreprises.

Devant la qualité de ce travail qui reconnaît le potentiel considérable véhiculé par l'avancée des connaissances en matière de nanotechnologies, le groupe des entreprises privées a voté l'avis.

Groupe des entreprises publiques

Cet avis, présenté à l'issue d'un travail d'élaboration passionnant, a permis d'en apprendre beaucoup sur le nano-monde.

Il porte sur des sujets complexes :

- par l'étendue de leur portée et le nombre de leurs applications ;
- par l'enchevêtrement des organismes qui s'en saisissent ;
- par leurs impacts, bien au-delà de la recherche ou des techniques, sur nos modes de vie présents et à venir ;
- et leurs impacts sur la société toute entière en tant qu'écosystème sensible aux changements potentiels qu'ils suscitent.

Le texte est accompagné de fiches thématiques, apportant ainsi au lecteur curieux des détails scientifiques et techniques très utiles. C'est donc un peu un ouvrage de référence sur ce sujet.

Sur les constats et recommandations de l'avis lui-même, notre groupe a été attentif à l'équilibre à préserver entre les avancées visibles ou potentielles de ces sciences et techniques, d'une part, et l'étude des risques également potentiels de celles-ci, d'autre part. La réaffirmation du principe de précaution comme ne devant pas conduire à l'immobilisme mais au contraire à une intensification des recherches, nous paraît essentielle. Sur le développement de ces recherches dans les organismes publics, les comparaisons européennes et mondiales montrent que la France n'a pas à rougir de son rang. Peut-être le fait de faire entrer sous la bannière des nanotechnologies de nombreux sujets, gonfle-t-il un peu les

chiffres ? Mais à moyen terme, cet effet d'aubaine apparente devrait se corriger. Nous avons en tout cas les compétences et les pôles de recherche et de développement adéquats, de dimension mondiale pour certains.

La question des recherches et des investissements privés se pose cependant, là comme ailleurs, et nos recommandations sont relativement « classiques », dirons-nous, avec des incitations de toute nature pour mettre une plus grande priorité relative sur ces thèmes. Il faut néanmoins reconnaître leurs limites, s'agissant le plus souvent d'actions publiques, déjà largement développées comme on l'a vu... Notre rapporteur a toutefois eu la sagesse de ne pas trop forcer la « note » sur les moyens publics supplémentaires à mettre en œuvre. Nous saluons cette mesure.

L'accompagnement de ces efforts publics et privés suppose une réglementation et une normalisation adaptées et c'est à juste titre que notre rapporteur l'a développé. Nous n'y reviendrons donc pas davantage.

Enfin le dernier point concerne le débat public, que nous considérons comme de première importance. Mais il faut aussi pouvoir éviter les faux débats, les procès d'intention entre chercheurs et industriels, d'une part, et opposants ou public mal informé, de l'autre. Construire un vrai débat sur des thèmes très techniques et peu connus demande un véritable savoir-faire, tel que celui de la Commission nationale du débat public. Des pratiques ont été mises en place pour les grands projets, dont nos entreprises publiques sont assez coutumières, les compétences existent du côté des organismes publics également. Bref, nous appelons à une professionnalisation de ce débat, dont notre assemblée ne peut qu'ouvrir la route à ce stade, par les informations qu'elle va contribuer à diffuser, mais qui ne constituent qu'un modeste pas vers ce débat public structuré que l'avis appelle de ses vœux.

Le groupe des entreprises publiques a voté l'avis.

Groupe de la mutualité

Le groupe de la mutualité partage le constat établi par le rapporteur, Alain Obadia, sur l'importance des nanosciences et des nanotechnologies, tant au regard des perspectives de développement économique que des progrès attendus dans de nombreux domaines dont celui de la santé.

Néanmoins, il souhaite attirer l'attention de l'assemblée sur les dangers que constituerait une surestimation des risques, fondée davantage sur les difficultés à appréhender les contours et réalités des nanotechnologies, que sur une analyse reposant sur l'objectivation et la surveillance des risques.

Cette situation est probablement due en grande partie d'une part à la difficulté pour chacun et chacune d'entre nous, compte tenu de nos échelles de représentation, d'identifier l'objet de nos inquiétudes et d'autre part à la rapidité d'application dans certains secteurs, application qui a précédé le débat public et aussi, et surtout, la nécessaire pédagogie.

La Commission européenne a d'ailleurs souligné, dans sa communication *Vers une stratégie européenne en faveur des nanotechnologies*, cette situation en parlant de la nécessité « *d'identifier les inquiétudes* ».

Le groupe de la mutualité estime, pour sa part, que les enjeux des nanotechnologies sont majeurs pour le secteur de la santé bien sûr parce qu'ils représentent un formidable espoir thérapeutique, notamment pour cibler les interventions, apporter la bonne réponse au bon endroit, au niveau de la cellule, et ce particulièrement pour les traitements du cancer ou pour la réparation et reconstruction de tissus et d'organes ; mais aussi parce que le changement de dimension que permettent les nanotechnologies dans les technologies de l'information et de la communication est une occasion unique pour que le secteur sanitaire comble ses retards en matière de systèmes d'information.

Pour apporter une réponse équilibrée entre espoirs et risques, le débat public est certes indispensable. Il doit être précédé d'un effort pédagogique important pour éviter que se renouvellent certains malentendus et incompréhensions qui se sont manifestés, notamment dans les débats autour des organismes génétiquement modifiés.

Cet effort de pédagogie nécessite une coopération effective, une pollinisation croisée entre les différents domaines de la recherche, et nécessairement en relation avec les chercheurs en sciences humaines et sociales.

Le groupe de la mutualité a voté l'avis tout en souhaitant insister sur les contraintes nouvelles imposées par l'accélération des progrès technologiques en matière de transmission mais surtout d'appropriation des connaissances.

Groupe de l'Outre-mer

Le groupe de l'Outre-mer n'a aucune remarque spécifique à faire valoir sur le sujet, sinon la nécessité d'information et d'éducation particulièrement bien mis en exergue à propos de cette révolution scientifique et économique que constitue les nanosciences et nanotechnologies.

Il est évident que l'ignorance est source de manipulation plus encore dans les communautés ultramarines.

Il est de la responsabilité de l'État par les leviers de l'Éducation nationale et de l'audiovisuel public de préparer nos concitoyens à cette fantastique aventure à laquelle la France doit contribuer, sous peine de perdre la place à laquelle l'ont hissé ses grands esprits.

La connaissance nous préservera de la peur mais nos chercheurs doivent aussi explorer les dangers de l'utilisation des nanofabrications humaines et de ses résidus qui par leur taille infinitésimale peuvent pénétrer le corps humain aussi facilement qu'une comète parcourt l'espace.

Il ne faudrait pas en effet que se reproduise à bien plus grande échelle la catastrophe de l'amiante. Ce serait un funeste paradoxe que de voir ce qui s'annonce être l'avenir de la médecine participer à l'altération de la santé humaine.

Le groupe de l'Outre-mer félicite la section des activités productives, de la recherche et de la technologie et son rapporteur non seulement d'avoir perçu l'intérêt du sujet mais aussi de l'avoir traité avec la rigueur du chercheur, le talent de l'érudit et la sagesse du philosophe.

Le groupe a voté l'avis.

Groupe des personnalités qualifiées

M. Duharcourt : « Au même titre que les biotechnologies ou le génie génétique, les nanotechnologies constituent aujourd'hui un domaine majeur d'avancées scientifiques et techniques. L'avis présenté par M. Obadia constitue un travail rigoureux et impressionnant dans son effort de documentation. Je souscris pleinement à la démarche dialectique qu'il adopte : les nanotechnologies représentent d'une part un potentiel considérable de transformations positives dans de nombreux aspects de la vie quotidienne en matière de santé, de communication, de consommation et de production d'énergie, de développement de nouveaux matériaux ; elles suscitent d'autre part des craintes provoquées par les risques qu'elles peuvent présenter quant à la santé des consommateurs et des salariés qui y sont exposés, à la préservation de l'environnement, aux libertés individuelles ou collectives. Cette dualité invite à rechercher les conditions d'une maîtrise sociale responsable de leur développement, reposant sur la recherche et l'innovation, l'expertise objective et le débat citoyen. Comme y invite le rapporteur, elle nécessite de mettre en œuvre le principe de précaution sans conduire à l'immobilisme.

Après un exposé très pédagogique de la variété des objets concernés par le monde des nanotechnologies et de l'éventail étendu de leurs applications, l'avis dresse un panorama des nanosciences et nanotechnologies dans le monde. Il souligne l'importance des efforts déjà réalisés aux États-Unis, au Japon, en Chine ou en Corée du Sud et invite en conséquence à renforcer l'effort français (notre pays est en retard sur l'Allemagne) et européen. Il montre alors l'exigence d'une coordination au niveau communautaire, d'investissements massifs notamment en recherche et développement - ce qui suppose des modèles de financement adaptés -, de coopérations entre recherche publique et recherche privée. Il insiste à juste titre sur la nécessité d'un soutien public de la recherche (par exemple, par le développement dans ce domaine de conventions CIFRE), de transferts de technologie au bénéfice des PME. Il réitère la recommandation maintes fois avancée par notre assemblée d'un *Small Business Act* à la française, dont il me semble que -pour rester dans la cohérence de l'ensemble de l'avis, et pour être compatible avec les règles communautaires- la mise en œuvre devrait plutôt s'effectuer au niveau européen.

Je soutiens également les propositions faites pour une démarche de prévention des risques et de développement responsable. C'est avec raison que l'avis souligne les conditions pour la mise en œuvre du principe de précaution par un renforcement de la recherche fondamentale en toxicité et métrologie, par des expertises objectives et transparentes et par un grand degré de réactivité en insistant sur la pertinence de l'échelon européen : ainsi suggère-t-il que la création d'un observatoire européen permanent sur les nanotechnologies doit être une des priorités de la prochaine présidence française du Conseil de l'Union européenne.

L'avis soulève la question importante d'une réglementation spécifique. À ce sujet, il se prononce pour une adaptation du règlement REACH et il suggère à juste titre que la proposition issue du Grenelle de l'environnement de mettre en place une procédure de déclaration par les producteurs et importateurs de nanoparticules, fasse l'objet d'une législation communautaire.

J'approuve les propositions faites pour la protection des travailleurs, avec l'initiation d'un processus de veille sanitaire renforcée et d'élargissement à ce domaine des compétences de CHSCT, de même que l'idée selon laquelle la CNIL a toute légitimité pour examiner les problèmes de protection des libertés qui pourraient se poser.

L'avis souligne également les enjeux de la normalisation et insiste à ce sujet sur la nécessité d'une mobilisation de haut niveau de l'ensemble des acteurs : pouvoirs publics, entreprises, organisations syndicales, associations de consommateurs ou de défense de l'environnement.

Ainsi, comme je le soulignais en début d'intervention, l'avis établit un juste équilibre entre les efforts qui doivent être amplifiés pour le développement de ces nouveaux matériaux et processus techniques et la nécessité de donner encore plus d'ampleur au débat public pour garantir la maîtrise sociale de ces progrès. C'est à ce dernier titre qu'il souhaite une articulation entre la Commission nationale du débat public qui devrait animer cet échange citoyen au niveau national et l'Observatoire européen permanent évoqué plus haut. De la même façon, ce débat doit être démultiplié par les assemblées parlementaires et les conseils régionaux, par le CES et les CESR, par la pratique de conférences citoyennes, avec le relais des médias notamment audiovisuels et il requiert la participation des chercheurs, non seulement des domaines directement au cœur de ces nouvelles technologies mais également en sciences humaines et sociales.

Je salue donc le sérieux du travail effectué par le rapporteur et la démarche positive et responsable qui a présidé à cet avis. C'est pourquoi je le soutiendrai par mon vote ».

Groupe des professions libérales

Nouvel état de la matière aux propriétés chimiques, électriques et magnétiques radicalement neuves, création de structures artificielles à l'échelle de l'atome... : les nanotechnologies renouvellent de façon spectaculaire l'analyse pascalienne : cet « infiniment petit » dit les nouveaux pouvoirs de l'homme, qui l'assimilent au démiurge, soit au créateur du monde !

Si les enjeux scientifiques et économiques sont extraordinaires, l'implication dans notre vie quotidienne et pour notre santé ne l'est pas moins. Comme toute technologie, les nanotechnologies n'ont pas de valeur en elles-mêmes, elles n'ont que celle de leur usage, bon ou mauvais.

C'est pourquoi nous adhérons pleinement à l'orientation de l'avis, à savoir construire un « contrat social » autour du développement des nanotechnologies. Il est en effet indispensable d'éviter les clivages passionnels comme ceux causés par la culture des OGM.

Approuvant tout autant l'avis dans le détail de ses propositions, nous insistons sur trois priorités à nos yeux essentielles :

- garantir une meilleure expertise des risques,
- soutenir le développement de l'application industrielle,
- améliorer les instruments de mesure des nanoparticules.

Dans le domaine de la santé, les nanotechnologies recèlent des possibilités inestimables - et des avancées sont déjà plus que tangibles en matière de diagnostic médical, de localisation de la molécule de médicaments etc -, mais elles sont également porteuses de risques, auxquels les professionnels de santé sont forcément sensibles.

Face au développement de l'usage de ces technologies, nous voulons souligner l'urgence qu'il y a à mieux maîtriser ces risques : pour l'instant, en effet, la part consacrée à l'évaluation de ceux-ci est minime au regard du montant de l'investissement. Rappelons, en comparaison, que les secteurs de l'aéronautique, du nucléaire et de l'industrie pharmaceutique - trois grands secteurs porteurs de risques - consacrent environ 10 % de l'investissement industriel aux problèmes de sécurité.

Les progrès en toxicologie doivent être accompagnés d'une connaissance de l'impact réel sur la santé : puisque d'ores et déjà, des hommes sont exposés, il est urgent de mobiliser l'épidémiologie dans le domaine des nanotechnologies.

L'avis préconise à juste titre, que la formation initiale et continue des médecins du travail les sensibilise aux risques potentiels engendrés par l'exposition aux nano-particules en milieu professionnel : sur cet aspect de santé publique, il en est de même pour les médecins libéraux.

Cet accent mis sur l'évaluation des risques ne doit toutefois pas bloquer le processus de transposition au niveau industriel de certaines découvertes scientifiques. L'avis rappelle - à juste titre - la bonne utilisation du principe de précaution, qui doit être fondamentalement un principe d'action raisonnée.

Nous rejoignons donc totalement le rapporteur sur l'idée que l'effort doit viser le développement en matière d'application industrielle et qu'il faut particulièrement aider en ce domaine les PME innovantes. Nous observons en effet, dans notre pays, un décalage entre un niveau de recherche scientifique élevé et des avancées industrielles inférieures à celles de certains autres pays.

Les nanotechnologies ont un retentissement sur la compétitivité de plusieurs grands secteurs économiques déterminants : nous ne pouvons pas nous permettre de laisser passer cette opportunité.

Enfin, le groupe des professions libérales a insisté sur la nécessité de progresser en matière de métrologie : à l'échelle des nanoparticules, nous n'avons pas de méthodes de mesurage standardisées, valides et reproductibles, car comme le rappelait Albert Einstein, une science « *a l'âge de ses instruments de mesure* ». L'enjeu essentiel sera donc d'assurer leur suivi et leur traçabilité.

Soulignant la grande utilité de cet avis, le groupe des professions libérales l'a voté.

Groupe de l'UNAF

Le groupe de l'UNAF tient à féliciter et remercier le rapporteur, M. Alain Obadia, pour ce travail de grande qualité pédagogique sur *Les nanotechnologies*, qui nous a permis de comprendre leur importance et leur impact pour les générations futures. De nombreuses applications peuvent en effet être imaginées dans des secteurs très divers de la vie.

Cependant le groupe de l'UNAF s'interroge quant aux conséquences éventuelles des nanoparticules sur la santé humaine, tant dans l'air que nous respirons que dans les aliments qui seront consommés.

Plutôt que d'en rester au principe de précaution qui pourrait être un frein au développement, nous souhaiterions que soient réalisées des expérimentations animales *in vivo* et *in vitro* au niveau de la cellule, avant les applications humaines. Il est encore impossible de différencier pour les nanoparticules une cellule saine, d'une cellule que l'on souhaite détruire, comme l'indique le rapport de l'unité spécialisée du CNRS.

Ces préoccupations sont encore justifiées car les résultats actuellement disponibles ne sont pas convaincants. Nul doute que les chercheurs mettront au point rapidement des appareils de détection des nanoparticules qui peuvent atteindre l'homme. De même, nous demandons que des expérimentations soient réalisées sur des animaux de petite et grande taille, dans des conditions les plus proches possibles de celles réalisées sur les humains.

On peut déjà imaginer une nanoparticule capable de détruire le virus du Sida dans les zones du corps où il est stocké. On peut aussi craindre l'apparition de nouvelles maladies de civilisation, telles que les allergies ou la réduction des défenses immunitaires.

Le groupe de l'UNAF espère que de telles avancées technologiques ne se réduiront pas au rêve des « alicaments ». N'oublions pas que l'écologie scientifique a fait ses preuves, tant dans le domaine de l'agriculture que de celui de la santé humaine.

Le groupe de l'UNAF a voté l'avis.

Groupe de l'UNSA

Les nanotechnologies, sujet sensible aux enjeux multiples, recèlent un potentiel de développement économique, de créations d'emplois et de compétitivité ; mais la course à la rentabilité et aux bénéfices ne doit pas faire oublier que le seul intérêt à viser est celui de l'humanité.

Les défis sont immenses mais les dangers insoupçonnés ou insidieux existent. N'oublions pas que « *nous n'héritons pas la terre de nos ancêtres, nous empruntons celle de nos enfants* ».

Toute technologie innovante apporte son lot d'avancées sociales, sociétales et économiques. En corollaire, les nanotechnologies bousculent les équilibres établis et génèrent des risques tant pour les activités humaines que pour l'environnement dans lequel l'homme évolue. Il convient donc d'être prudent et d'identifier, d'évaluer et d'éradiquer les causes et les conséquences de ces risques.

L'avis s'est interrogé sur les conditions à créer en matière de recherche, d'innovation, d'investissement matériel et humain, de formation, de financement, de débat citoyen, de réglementation, de coopération internationale pour la définition de normes protégeant les consommateurs, les salariés, l'environnement afin que les nanotechnologies puissent développer pleinement leur potentiel de progrès.

L'UNSA rappelle la responsabilité éthique des scientifiques qui ne doivent pas être neutres face à l'utilisation de leurs découvertes. Il y eut un précédent : des chercheurs ayant participé aux travaux ouvrant l'ère du génie génétique ont dressé un tableau apocalyptique des conséquences probables de leurs découvertes ; ils ont décidé un moratoire et stoppé les recherches.

Pour l'UNSA, il faut définir les risques inacceptables. Il ne s'agit pas de s'ériger en pourfendeur des nanotechnologies mais d'appeler à l'application stricte du principe de précaution, par l'élaboration de normes contraignantes visant à préserver des conséquences sur la santé humaine ou sur l'environnement.

La fabrication et la commercialisation de produits à base de nanomatériaux, doivent faire l'objet d'études approfondies pour que les travailleurs exposés n'aient pas à subir une dégradation de leur santé voire une mise en danger de leur intégrité physique. Les exemples de l'amiante, du pyralène sont significatifs. Il convient de ne pas retomber dans ces errements qui ont diminué très sensiblement l'espérance de vie des travailleurs et de tous ceux qui ont été exposés.

L'utilisation, la maintenance, le recyclage des déchets doivent faire l'objet des mêmes attentions envers les consommateurs, les travailleurs et l'environnement. Toute mise en production, puis sur le marché, d'un produit à base de nanomatériaux doit faire l'objet d'un plan de prévention des risques incluant les possibles modifications des constituants dans le temps tout au long de la durée de vie des éléments et l'impact sanitaire et environnemental.

Une fois les risques inacceptables définis, il faut aussi préciser et mettre en œuvre les mesures de réductions des causes et des conséquences.

Ainsi, il est nécessaire de renforcer les études sur :

- les procédés, parce que c'est dans le temps de l'élaboration que peuvent se définir les notions de durée de vie et de dangerosité du produit ;
- les procédures car elles déterminent les méthodes de fabrication de contrôle d'exploitation et de recyclage.

Pour ce faire, il ne faut pas se contenter d'une adaptation de la réglementation européenne REACH, en vigueur depuis le 1^{er} janvier 2007. Elle doit être renforcée. Actuellement, celle-ci fait porter aux fabricants et importateurs de produits chimiques la responsabilité d'évaluer, de gérer les risques et les conséquences. Il faut étendre REACH aux nanotechnologies avec la définition de normes et d'un système de sanctions confiés à une agence dédiée laquelle serait dotée de la plus large autonomie vis-à-vis des intérêts économiques ou partisans. En outre, cette agence serait chargée de la gestion des crises sanitaires ou environnementales dues aux nanotechnologies, l'impact ne s'arrêtant pas, comme le nuage de Tchernobyl, à la frontière d'un État de l'Union européenne.

Pour les travailleurs, les CHSCT ont un rôle prépondérant en matière de prévention. Malheureusement les petites entreprises et les sous-traitants ne sont pas dotés de tels outils et échappent ainsi aux contrôles. Des CHSCT de site seraient les plus appropriés. L'UNSA regrette que, sur cette structure, l'avis reste imprécis.

Un nouveau marché s'ouvre à l'exploitation commerciale, il est générateur d'emplois, de création de richesses et de retombées qui peuvent être bénéfiques notamment dans le domaine de la santé. Pour autant, il ne faut pas qu'il soit facteur d'inégalité, de dégradations sanitaires et environnementales.

L'avis veut répondre, avec prudence, à des questions déterminantes pour l'avenir de l'humanité. L'UNSA regrette qu'il ne soit pas assez volontariste pour assurer la transparence, la traçabilité du système d'exploitation et de commercialisation et la protection de l'individu et de son environnement.

L'UNSA s'est abstenue.

ANNEXE À L'AVIS

SCRUTIN

Scrutin sur l'ensemble du projet d'avis

Nombre de votants.....196

Ont voté pour.....192

Se sont abstenus.....4

Le Conseil économique et social a adopté.

Ont voté pour : 192

Groupe de l'agriculture - MM. Aussat, Bailhache, Barrau, Bastian, Baucherel, Bayard, de Beaumesnil, de Benoist, Boisgontier, Boisson, Cartier, Cazaubon, Chifflet, Mme Cornier, MM. Ducroquet, Giroud, Gremillet, Guyau, Mme Lambert, MM. Lemétayer, Lucas, Marteau, Pelhate, Pinta, Sander, Thévenot, Vasseur.

Groupe de l'artisanat - MM. Alméras, Dréano, Duplat, Griset, Lardin, Liébus, Martin, Paillason, Pérez, Perrin.

Groupe des associations - Mme Arnoult-Brill, MM. Da Costa, Leclercq, Pascal, Roirant.

Groupe de la CFDT - Mme Azéma, M. Bérail, Mmes Boutrand, Collinet, M. Jamme, Mme Lasnier, MM. Le Clézio, Legrain, Mme Nicolle, M. Quintreau, Mme Rived, M. Toulisse, Mme Tsao, MM. Vandeweeghe, Vérollet.

Groupe de la CFE-CGC - Mme Dumont, MM. Garnier, Labrune, Saubert, Van Craeynest, Mme Viguier, M. Walter.

Groupe de la CFTC - MM. Coquillion, Fazilleau, Louis, Vivier.

Groupe de la CGT - Mmes Chay, Crosemarie, MM. Dellacherie, Delmas, Mme Doneddu, M. Durand, Mmes Geng, Hacquemand, Kotlicki, MM. Larose, Mansouri-Guilani, Michel, Muller, Rozet, Mme Vagner.

Groupe de la CGT-FO - MM. Bilquez, Bouchet, Daudigny, Devy, Hotte, Lemerrier, Mazuir, Noguès, Mmes Peikert, Pungier, MM. Rathonie, Reynaud, Veyrier, Mme Videlaïne.

Groupe de la coopération - Mme Attar, MM. Budin, Dezellus, Fritsch, Grallet, Prugue, Thibous, Verdier, Zehr.

Groupe des entreprises privées - Mme Bel, M. Buisson, Mme Clément, MM. Creyssel, Didier, Mme Felzines, MM. Gardin, Gautier-Sauvagnac, Ghigonis, Gorse, Jamet, Lebrun, Lemor, Marcon, Mariotti, Mongereau, Pellat-Finet, Placet, Roubaud, Salto, Schilansky, Tardy, Mme Vilain.

Groupe des entreprises publiques - MM. Ailleret, Blanchard-Dignac, Brunel, Dupont, Mme Duthilleul, M. Graff.

Groupe des Français établis hors de France, de l'épargne et du logement - Mme Bourven, MM. Cariot, Clave, Feltz.

Groupe de la mutualité - MM. Caniard, Davant, Laxalt, Ronat.

Groupe de l'Outre-mer - Mme André, MM. Fuentes, Kanimoa, Omarjee, Osénat, Paoletti, Paul, Radjou.

Groupe des personnalités qualifiées - MM. d'Aboville, Aillagon, Aurelli, Baggioni, Mmes Benatsou, Cuillé, MM. Decagny, Dechartre, Mmes Dieulangard, Douvin, MM. Duharcourt, Figeac, Geveaux, Mme Kristeva-Joyaux, MM. de La Loyère, Le Gall, Mandinaud, Masanet, Massoni, Nouvion, Obadia, Pasty, Plasait, Roulleau, Roussin, Slama, Sylla, Valletoux, Vigier.

Groupe des professions libérales - MM. Capdeville, Maffioli, Mme Socquet-Clerc Lafont, M. Vaconsin.

Groupe de l'UNAF - Mme Basset, MM. Brin, Damien, Édouard, Fresse, Guimet, Mme Lebatard, M. de Viguerie.

Se sont abstenus : 4

Groupe de l'agriculture - M. Rougier.

Groupe de l'UNSA - MM. Duron, Martin-Chauffier, Olive.

DOCUMENTS ANNEXES

Avertissement

Cette série de fiches informatives a été réalisée en compilant des données recueillies dans divers ouvrages, rapports et sites internet existants sur le sujet, vous les retrouverez dans la bibliographie et « l'internetographie ». Les documents remis lors des auditions et entretiens ont également été utilisés pour compléter certaines fiches.

Fiche n° 1 : définition nanosciences-nanotechnologies

1. Qu'est-ce que le nanomètre ?

Le préfixe « nano », d'origine grecque, signifie « très petit ». Un nanomètre (nm en abrégé) est une unité de mesure qui correspond à un milliardième de mètre (soit 0,000000001 mètre). Du millimètre, on passe au micron qui correspond au millième de millimètre. Le nanomètre est encore mille fois plus petit que le micron.

C'est environ 500 000 fois plus fin que l'épaisseur du trait de stylo à bille, 30 000 fois plus fin que l'épaisseur d'un cheveu et 100 fois plus petit que la molécule d'ADN.

Par exemple, La taille des atomes est de l'ordre de 0,08 à 0,5 nm, une molécule d'ADN a un diamètre de 2 nm (mais une longueur de quelques centaines de nm à plusieurs mètres). Un virus mesure entre 10 et 100 nm.

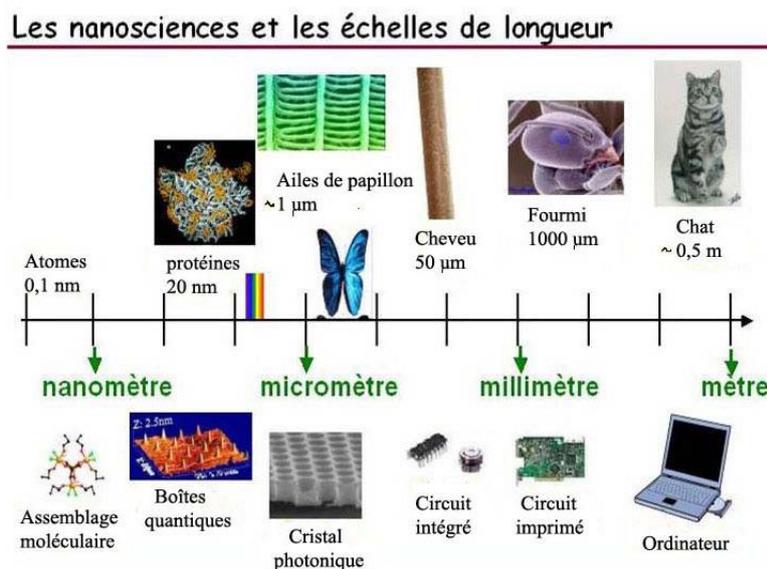
Repères :

- Un atome mesure environ 0,1 nm. Un nanomètre c'est donc moins de dix atomes côte à côte ;
- un nanomètre (nm) = 0,000 000 001 mètre ;
- il y a un million de nanomètre dans un millimètre ;
- un nanomètre est mille fois plus petit qu'une cellule.

Il est important de préciser qu'un grand nombre de nanoparticules d'origine naturelle existent déjà dans notre environnement comme les poussières émises par combustion ou par les volcans, produites par érosion... Elles existent aussi dans la matière vivante à l'échelle atomique ou moléculaire.

Les nanotechnologies sont aussi présentes dans de nombreux objets utilisés quotidiennement : téléphones portables (circuits intégrés, micro-caméras...), ordinateurs et imprimantes (puces électroniques, semi-conducteurs...), vitrages modernes (superposition de couches nanométriques permettant de réfléchir la chaleur, de supprimer les reflets...), éclairage à LED (le LED est un composant optoélectronique)...

Schéma 1 : Les nanosciences et les échelles de longueur



Source : CNRS

2. La physique quantique permet de comprendre le nanomonde

Quand on réduit la taille d'un objet, sa surface diminue moins vite, en proportion, que son volume, en effet, lorsque le côté d'un cube est divisé par deux, son volume devient 8 fois plus petit, alors que l'aire de sa surface n'a diminué que d'un facteur 4. À l'échelle nanométrique, cela signifie que la proportion d'atomes à la surface augmente par rapport à ceux de l'intérieur. Les atomes à la surface se comportent alors différemment et sont en général plus réactifs car ils ne sont pas complètement entourés d'atomes ou de molécules.

Cela explique que les objets nanométriques ont souvent des propriétés chimiques, électriques, magnétiques différentes de celles des objets de même nature, lorsqu'ils sont macro ou microscopiques.

La physique quantique est la théorie principale d'explication du nanomonde et des propriétés spécifiques à l'échelle du nanomètre. Ces phénomènes sont « discrets » et discontinus (par quantum indivisible) contrairement à l'échelle macroscopique où ils semblent continus.

La physique classique est insuffisante pour décrire les propriétés individuelles des atomes contrairement à la physique quantique qui constitue d'ores et déjà le fondement de l'électronique des transistors, de l'optique des lasers...

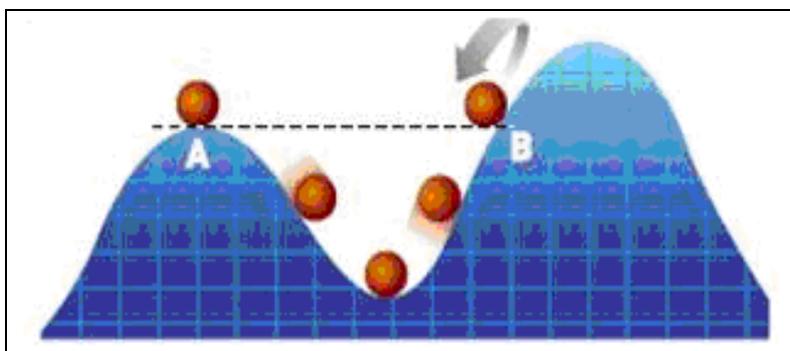
Les effets quantiques sont un peu transformés voire masqués à l'échelle macroscopique où le nombre d'atomes intervenant est considérable. Lorsque les objets sont de taille nanométrique, ce nombre est relativement petit et « l'originalité » des effets quantiques se manifeste dans toute son ampleur. On peut ainsi les observer et les exploiter pleinement. C'est donc dans le cadre quantique qu'il est possible de comprendre pourquoi un matériau est isolant, conducteur ou semi-conducteur.

À titre d'exemple, le « mouillage » à l'échelle macroscopique est bien modélisé, alors que des phénomènes inattendus peuvent apparaître pour des gouttes de taille nanométrique. Les techniques d'observation à l'échelle nanométrique - qu'on abordera plus loin - permettent donc d'étudier les mécanismes de résistance, de solidité et de durabilité des matériaux, de comprendre les phénomènes physiques et chimiques qui les régissent (processus d'hydratation des matériaux...), pour mieux les contrôler et les orienter.

Les deux schémas suivants permettent d'illustrer les différences d'effet entre l'échelle macroscopique et nanoscopique.

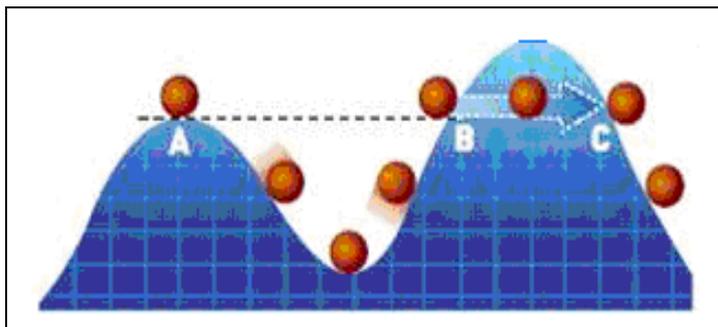
Dans le cadre de la physique classique (à l'échelle macroscopique), la bille lancée du point A ne peut franchir la barrière située à droite.

Schéma 2 : Un exemple d'effet à l'échelle macroscopique



Dans le cadre de la physique quantique (à l'échelle nanométrique), la bille « quantique » peut franchir l'obstacle, de B en C, avec une certaine probabilité, par un effet « tunnel ». Comme on l'a vu précédemment, à l'échelle nanométrique, la proportion d'atomes à la surface augmente par rapport à ceux qui se retrouvent à l'intérieur. Or, les atomes ou molécules de la surface ne sont pas entourés complètement d'atomes ou molécules, contrairement à ceux de l'intérieur. Ils se comportent donc différemment et sont en général plus « réactifs ». Ce « vide » relatif entre les atomes ou les molécules permet de comprendre comment la bille parvient à traverser l'obstacle du point B au point C.

Schéma 3 : Un exemple d'effet à l'échelle nanométrique : l'effet tunnel



L'effet tunnel permet donc aux électrons, « quantiques », de franchir l'espace (inférieur au nm) séparant une pointe très fine de la surface d'un échantillon. Ils ne le pourraient pas à l'échelle macroscopique.

3. Observer à l'échelle nanométrique

L'émergence des nanosciences et nanotechnologies n'est devenue possible que grâce aux progrès spectaculaires des techniques d'observation et de manipulation.

Les microscopes optiques (1605) ne peuvent pas distinguer des objets de taille inférieure au micromètre. De nouveaux microscopes utilisant des techniques différentes sont apparus au cours de la deuxième moitié du XX^e siècle. Ils ont été perfectionnés et permettent à présent de collecter des informations et de manipuler à l'échelle nanométrique, en voici quelques exemples.

Le développement des microscopes électroniques à transmission (1931, 1970) a permis de donner des images à l'échelle atomique (1/10 nm) mais nécessite une préparation complexe des échantillons, le microscope électronique à balayage (1965), bien que moins sensible permet de visualiser rapidement la présence, la forme et la disposition de nano objets.

C'est l'invention du microscope à effet tunnel qui a fait à fait prendre conscience que le nanomonde était à notre portée. Ce microscope a été inventé au début des années 1980 par Gerd Bining et Heinrich Rohrer du laboratoire IBM Zurich. Ce microscope utilise une pointe métallique extrêmement fine qui se déplace à quelques nanomètres d'une surface. Le courant électrique qui passe entre cette pointe et cette surface est appelé « courant tunnel ». On peut enregistrer, par traitement informatique, en fonction de la position de la pointe sur la surface, les variations du courant d'électrons qui franchit l'espace séparant la pointe de la surface et en déduire la topologie et certaines propriétés. La microscopie à effet tunnel requiert un technicien bien formé pour préparer l'échantillon de façon appropriée afin d'être scanné par une sonde-

Le microscope à force atomique est basé sur une architecture similaire mais mesure une force de contact au lieu d'un courant électrique.

Schéma 4 : Principe du microscope à effet tunnel

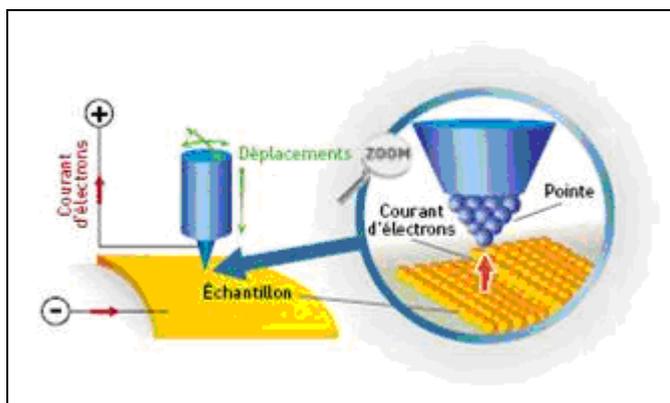
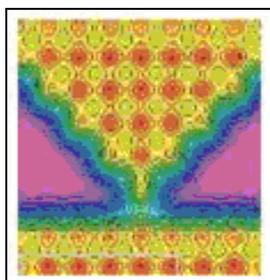


Schéma 5 : Pointe de microscope effet tunnel à proximité d'une surface simulée par ordinateur



4. Nanosciences et nanotechnologies

Signe d'une recherche assez récente et en plein essor, le périmètre des nanosciences et des nanotechnologies (N&N) est complexe à définir : il s'agit d'un domaine de recherche pluridisciplinaire concernant la physique, la chimie, la biologie... qui s'intéresse au comportement d'éléments nanométriques.

4.1 Les nanosciences

Elles concernent l'étude des phénomènes observés dans des objets, des structures, des systèmes dont la taille est de quelques nanomètres (inférieur à 100 nm) dans au moins une des dimensions de l'espace et dont les propriétés découlent spécifiquement de cette taille nanométrique (elles sont différentes de celles d'un objet, système ou d'une structure similaire de taille plus importante).

En toute rigueur, de nombreuses activités datant de plusieurs siècles ne sont pas sans rapport avec les nanosciences, par exemple la chimie.

Richard Feynman (prix Nobel de physique en 1965) fût le premier scientifique à envisager ce qui est maintenant la réalité des nanosciences et nanotechnologies. En décembre 1959, à l'occasion d'un discours visionnaire prononcé lors de la conférence annuelle de l'*American physical society*, il demandait « *Que se passerait-il si nous pouvions déplacer des atomes, un à un, et les assembler de la façon voulue ?* ». Il envisageait déjà des applications.

Il faudra attendre l'invention du microscope à effet tunnel (STM) au début des années 1980 pour que cette intuition devienne réalité.

Don Eigler, à l'IBM - *Almaden research center*, réussit à utiliser ce microscope comme une « pince à atomes ». À l'aide de cette pointe très fine, il a été capable de capturer un atome, de le déplacer en bougeant la pointe, puis de le relâcher sur la surface à l'endroit voulu. Il a ainsi écrit le sigle IBM avec 35 atomes. Cette approche de construction des nano-objets, atome par atome, est appelée la voie ascendante ou *bottom-up*.

Depuis lors, le domaine des nanosciences et nanotechnologies n'a cessé de se développer et de se diversifier.

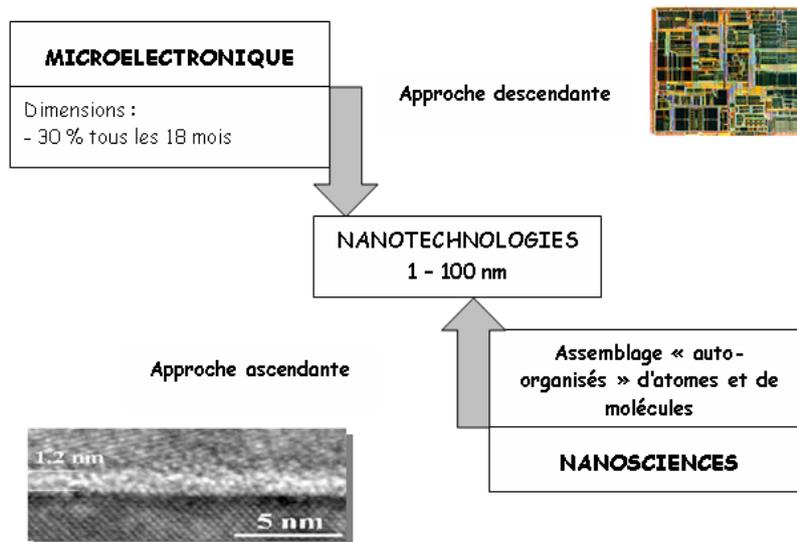
4.2 Les nanotechnologies

Les nanotechnologies sont un ensemble d'outils, d'instruments, de techniques qui permettent aux nanosciences de progresser en offrant des moyens d'étudier, de manipuler, de fabriquer et de mesurer les objets nanométriques. Ce sont aussi les applications issues des nanosciences, comme par exemple les nanomatériaux ou les nanocomposants.

5. Comment fabriquer des nanocomposants ?

Outre, la voie ascendante *bottom up*, décrite précédemment, l'autre approche pour fabriquer des nanocomposants, est la voie descendante *top down* avec laquelle on peut fabriquer en parallèle plusieurs milliers voire millions d'objets. On part d'un matériau, on le « découpe » et on le « sculpte » pour réduire le plus possible les dimensions de l'objet ou du composant que l'on veut fabriquer. C'est la voie qu'a suivie l'électronique depuis 30 ans, provoquant une révolution technologique dont l'ordinateur est le résultat le plus remarquable. L'effort de miniaturisation a d'abord conduit à des composants de dimensions micrométriques et est maintenant descendu en dessous des 100 nanomètres. Cette méthode est toujours exploitée activement mais elle se heurte de plus en plus à des limites techniques lorsque l'on descend vers l'échelle nanométrique.

Schéma 6 : Les deux approches des nanotechnologies



Source : CEA.

6. Observer les phénomènes et mesurer leurs effets pour mieux les connaître

Les logiciels scientifiques de calcul intensif jouent un rôle crucial dans l'établissement des liens entre les méthodes théoriques et les applications réelles. Ces dix dernières années, des chercheurs en physique quantique ont développé une grande variété de programmes de calcul performants, dans le but de modéliser des matériaux réels à partir des principes de la physique quantique. La spectroscopie théorique révèle les mécanismes des excitations électroniques et peut prédire les propriétés de nouveaux matériaux. L'alliance entre théorie

quantique et simulations numériques constitue une approche complémentaire aux travaux expérimentaux

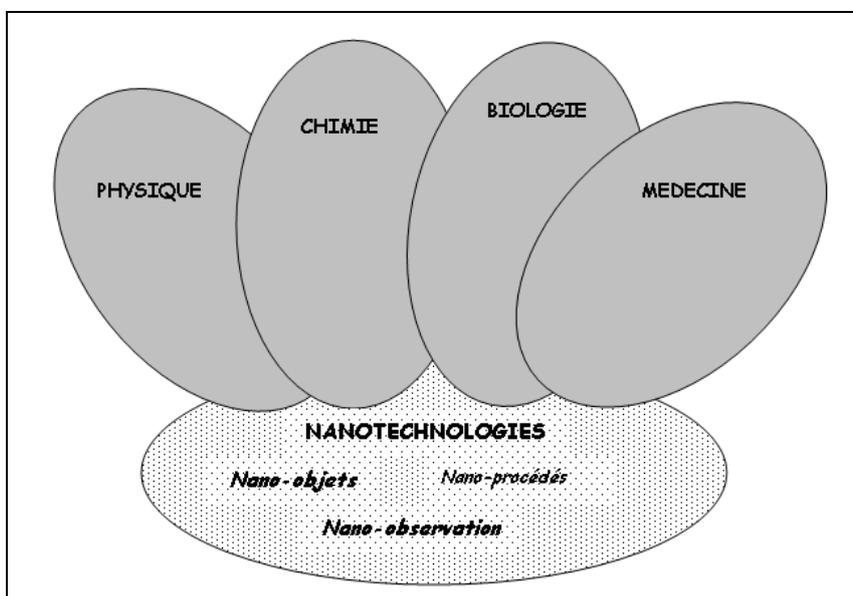
Compte tenu des énormes enjeux économiques que représente la course à la miniaturisation des composants en microélectronique par exemple, l'étude des propriétés électroniques de nouvelles structures, de dimensions nanométriques, fait actuellement l'objet d'une intense compétition internationale.

D'une part, la création de dispositifs nanométriques passe nécessairement par la compréhension des mécanismes de croissance à cette échelle et par les développements d'approches nouvelles de type *bottom up*, complémentaires aux voies plus traditionnelles dites *top-down*.

D'autre part, les progrès spectaculaires dans les approches technologiques offrent pour la première fois à la recherche fondamentale, la possibilité d'étudier des systèmes quantiques bien contrôlés et élaborés « sur mesure ».

De nouveaux nano-objets ou nanoparticules peuvent ainsi être inventés pour des domaines d'applications extrêmement variés.

Schéma 7 : Les nanotechnologies : la convergence



Source : Audition de M. Laurent Gouzenes, président du R3N.

Fiche n° 2 : quels domaines d'applications et quels enjeux ?

Les domaines d'application sont très vastes et certaines applications sont déjà réalisées. Le verre est un bon exemple de matériau où sont exploités, depuis fort longtemps, des effets de taille à l'échelle du nanomètre, en volume ou en surface. Ces effets de taille sont à l'origine de la plupart des propriétés des produits verriers actuels tels que les verres optiques photochromes qui deviennent plus sombres au soleil. Ces verres enferment des agrégats nanométriques de sels d'argent qui après avoir été dissociés par les rayons ultraviolet du soleil, libèrent des atomes d'argent à l'origine de la coloration foncée.

Ces effets de taille ne sont pas nouveaux. Depuis le XVI^e siècle, les verriers de Murano donnent à leurs produits une couleur rubis en ajoutant un peu d'or. Les connaissances scientifiques actuelles ont démontré que par un traitement thermique approprié, les atomes d'or se regroupent au sein du verre pour former des agrégats nanométriques qui donnent cette fameuse couleur rubis.

On présente ci-après plusieurs domaines d'applications et leurs données économiques. Du point de vue méthodologique, on a essayé de distinguer ce qui est de la valeur des nanoparticules ou des systèmes qu'elles permettent de construire.

1. Industries de l'électronique et des communications

La microélectronique a pour but de fabriquer des circuits intégrés, des semi-conducteurs..., contenant des puces électroniques, véritables « cœur du système ». En 2007, il y a eu environ 500 milliards de puces fabriquées, soit une petite centaine par être humain à l'échelle mondiale. L'électronique embarquée est présente dans la plupart des objets utilisés dans la vie courante (téléphone portable, ordinateur, électroménager...). Elle représente par exemple près de 40 % du prix des voitures les plus avancées technologiquement. La maîtrise de la fabrication de ces composants se mesure à l'échelle atomique, ce qui explique que depuis 20 ans l'électronique fait partie intégrante des nanotechnologies. L'électronique est actuellement génératrice de nombreux emplois. À titre d'exemple, les secteurs des équipements et services de l'aéronautique civile dans le monde totalisent environ 2,6 millions d'emplois alors que la seule production de systèmes électroniques génère plus de 20 millions d'emplois.

C'est donc la première industrie manufacturière au monde, devant l'automobile. L'économie mondiale dans ce secteur est en forte croissance (environ 11 % par an) mais la pression est très forte sur les prix et les gains de productivité sont à la fois amplifiés par l'échelle de production (plusieurs centaines de millions de composants par exemple) et limités en raison notamment d'une forte hausse des coûts de R&D (15 % par an) et de l'importance des investissements (plusieurs milliards d'euros pour la création d'une nouvelle usine fabricant des *wafers* - plaquettes de silicium - de 300 mm de diamètre).

L'électronique est avant tout, l'art de transformer du sable (= la silice) en intelligence ou plus exactement en matériau intelligent. Il existe actuellement, trois grands types de composants électroniques : standards (= applications génériques) ; dédiés (effectués sur mesure pour un client donné) et semi-customisés (= applications génériques avec des circuits programmables). Les nanotechnologies sont à l'origine de la création et/ou du développement des produits et objets suivants : écrans plats, technologie sans fil, enregistrement de données par des médias utilisant des nanocouches métalliques et des points quantiques, vitesses de traitement et capacités d'enregistrement des informations accrues et moins coûteuses, dispositifs nanofabriqués, nouveaux appareils et processus dans tout le domaine des TIC (ordinateur quantique, nanotransistors...).

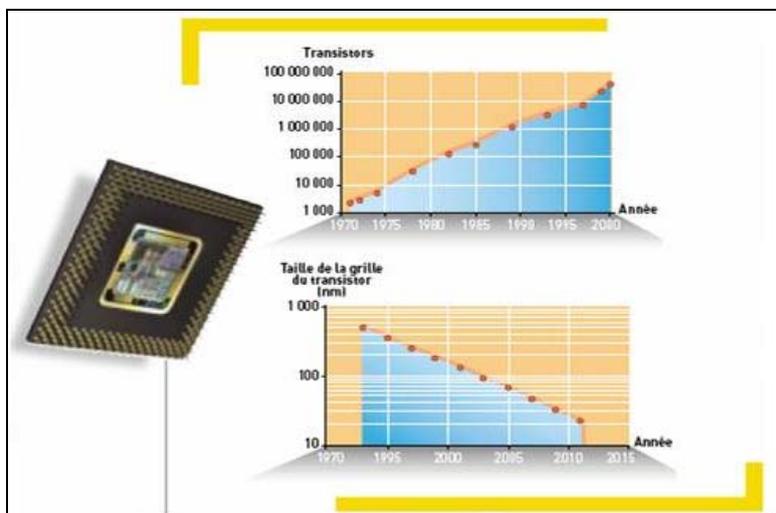
Puisque l'électronique consiste essentiellement à contrôler le courant électrique - la circulation des électrons - qui parcourt un circuit. Les transistors en sont les composants de base en exerçant la fonction de commutateurs, qui laissent passer ou bloquent les électrons. Dans les circuits intégrés - tels que ceux qui constituent les microprocesseurs - on assemble actuellement plusieurs centaines de millions de transistors, de taille inférieure à 100 nm. La miniaturisation des composants a suivi la logique de la loi de Moore - le nombre de transistors est multiplié par deux tous les 18 mois - qui s'est accélérée en passant à l'échelle nanométrique. Actuellement, les plus petits composants en fabrication industrielle atteignent une taille de 65 nm et descendront bientôt à 45 nm voire à 32 nm. L'intérêt de cette miniaturisation est de pouvoir accroître les fonctionnalités associées au composant, tout en diminuant sa taille et sa consommation électrique, cela se traduit notamment par un accroissement de la puissance des processeurs et du volume de stockage des mémoires.

Parallèlement aux efforts accomplis pour miniaturiser les composants électroniques en améliorant les technologies existantes, des travaux de recherche fondamentale étudient la possibilité d'utiliser des molécules comme nanocomposants de base pour l'électronique. Le cœur de l'électronique et de l'informatique - c'est-à-dire le passage ou non de courant que matérialisent les nombres zéro et un - serait remplacé par l'utilisation d'une molécule particulière qui pourrait être associée à des combinaisons plus complexes que cette logique binaire. Ces transistors moléculaires pourraient prendre la forme de nanotubes de

carbone, de nanofils ou même de l'ADN dont les propriétés de conduction pourraient permettre aux électrons de circuler sans résistance et sans échauffement.

Le marché mondial des composants semi-conducteurs utilisant les nanotechnologies représente 270 milliards de \$ en 2007 et le marché des systèmes électroniques utilisant ces composants représente 1 300 milliards de \$.

Schéma 8 : Taille et nombre de transistors dans un circuit intégré



Source : CNRS.

2. Industries automobile et aéronautique

Les matériaux utilisés sont renforcés par des nanoparticules qui permettent d'améliorer leur rigidité tout en diminuant leur poids. Les pneus sont aussi renforcés par des nanoparticules recyclables et plus durables. Il s'agit d'agrégats de noir de carbone et de silice qui sont incorporés dans le caoutchouc lors de la fabrication d'un pneu, ces charges de renfort de dimension nanoparticulaires sont indispensables à la performance des pneumatiques car elles renforcent la résistance à la rupture et à l'abrasion du pneu et contribuent ainsi à la réduction de la consommation de carburant. Des nanoparticules sont aussi intégrées dans de nombreux éléments : peinture extérieure insalissable, plastiques ininflammables et peu coûteux, textiles et recouvrements autoréparables...

3. Industries chimique et des matériaux

Les catalyseurs intégrant des nano-composants « actifs » augmentent l'efficacité énergétique des usines de transformation chimique ou diminuent la pollution des véhicules moteurs. Les nanotechnologies ont permis la mise au point d'outils de coupe extrêmement durs et résistants, de fluides magnétiques intelligents pour les lubrifiants et les joints d'étanchéité, de capteurs et filtres pour la séparation des molécules...

Dans de nombreux secteurs, les matériaux utilisés intègrent des nanotubes de carbone couvrant des champs d'application haute performance. Ces nanotubes sont des assemblages d'atomes de carbone en forme de tube hexagonal de 2 à 100 nanomètres de diamètre et de longueur de l'ordre du micron. Très légers et résistants à la rupture tout en étant très souples, ils peuvent se comporter comme un métal mais également comme un semi conducteur. Ils ont des propriétés mécaniques, optiques ou chimiques très particulières. Ce matériau est ainsi cent fois plus résistant et six fois plus léger que l'acier, il a une conductivité thermique comparable à celle du diamant, et c'est le meilleur émetteur à « effet de champ² » connu. Son utilisation dans ce domaine permettrait par exemple de fabriquer des écrans vidéo plats et souples.

Le marché mondial des nanotubes de carbone est passé de 51 millions de \$ en 2006 à 79 millions de \$ en 2007 et devrait dépasser les 800 millions de \$ en 2011 (Rapport *bcc research* de mars 2007).

4. Industries pharmaceutique, biotechnologique et des soins de santé

Le développement des nanotechnologies est à l'origine plusieurs évolutions capitales dans le domaine de la santé tel le développement de biopuces (puces à ADN, laboratoires sur puce...) et de biocapteurs qui sont utilisés dans la recherche et le diagnostic. Les plus performants de ces dispositifs de quelques centimètres permettent de caractériser jusqu'à 4 génomes humains complets à partir d'une seule goutte de sang ou de salive.

Appliquées aux médicaments, les nanotechnologies permettent d'encapsuler une molécule biologiquement active dans un nanovecteur adapté pour se fixer spécifiquement au niveau ou à l'intérieur des cellules que l'on veut traiter évitant ainsi la toxicité ou la destruction par les cellules du foie.

La miniaturisation permet également d'envisager des dispositifs biomédicaux in situ substitutifs aux organes défaillants par exemple au pancréas en libérant la dose optimale d'insuline en fonction du niveau dosé en continu.

² Certains matériaux émettent des électrons sous l'action d'un champ électrique : ce sont des émetteurs à effet de champ. Par exemple, les nanotubes de carbone sont d'excellents émetteurs de qui leur ouvrent d'importantes applications dans le domaine de la visualisation. Les transistors à effet de champ ont également des capacités bien supérieures aux transistors classiques.

Le marché mondial pour les nanoparticules utilisées par les biomédicaments, les produits pharmaceutiques et cosmétiques, s'élève à 170 millions de \$ en 2006, il est estimé à 205 millions de \$ pour 2007 et 685 millions de \$ pour 2012 (soit un taux annuel de croissance de 27,3 %) selon le rapport *bcc research* de novembre 2007.

5. La cosmétologie

Dans les produits cosmétiques deux types de nanomatériaux sont incorporés en raison de leur grande efficacité quant aux principes actifs recherchés : les nano-émulsions et les nano-pigments. Ces nanomatériaux se retrouvent principalement dans les crèmes solaires et les crèmes de soin dermatologique ou capillaire.

Leur petite taille cumule plusieurs avantages (transparence, texture nouvelle favorisant une meilleure pénétration et protection, effet réfléchissant...). Du point de vue toxicologique, l'exemple des nano-pigments est intéressant car ils existent à l'état naturel sous la forme de nanoparticules de dioxyde de titane. Outre ses avantages qualitatifs pour une crème solaire, cette particule présente la particularité d'être inerte, insoluble et non toxique. Son application sur la peau est bien tolérée et forme à son contact des agrégats de matière qui dépassent la taille nanométrique puisqu'ils se mesurent en microns, empêchant ainsi les particules de dioxyde de titane de traverser les couches superficielles de la peau et par conséquent de pénétrer intrinsèquement l'organisme.

Dans le secteur des cosmétiques, le préfixe « nano » est un argument marketing qui semble apprécié actuellement par une proportion significative des consommateurs, avec de fortes nuances, toutefois, selon les pays.

6. Mécanique de précision

Les nanotechnologies favorisent l'émergence d'une ingénierie de précision pour la production de nouvelles générations de microscopes et d'instruments de mesure, de nouveaux outils et processus pour manipuler la matière à l'échelle atomique, de nanopoudres incorporées dans des matériaux aux propriétés spécifiques, d'auto-assemblage de structures à partir de molécules...

7. Énergie

Les nanotechnologies seront à l'origine de nouveaux types de batteries à la capacité de stockage et de recharge sensiblement accrue, de piles à combustibles permettant un entreposage sécuritaire de l'hydrogène... Elles favoriseront des économies d'énergie substantielles résultant de l'utilisation de matériaux plus légers, de revêtements nanostructurés, d'une nouvelle génération de capteurs et catalyseurs...

Le marché mondial des nanotechnologies utilisées pour des applications énergétiques s'élèvent à 4,35 milliards de \$ en 2006 et il est estimé à 4,73 milliards de \$ en 2007 et 7 milliards de \$ pour 2012, soit un taux de croissance annuel de 8,4 % sur les cinq dernières années (Rapport *bcc Research* de mars 2007).

8. Exploration de l'espace

Les nanotechnologies seront à l'origine de la création de véhicules spatiaux plus légers, d'une production et gestion plus efficace de l'énergie, de la mise au point de systèmes robotiques miniaturisés et de haute précision, d'ordinateurs à faibles besoins énergétiques résistant aux radiations, de micromachines ou MEMS³.

9. Défense et sécurité

Les nanotechnologies permettront notamment de créer : des détecteurs et correcteurs d'agents chimiques et biologiques ; des circuits électroniques plus efficaces ; des matériaux et des recouvrements nanostructurés plus résistants ; des textiles légers se réparant...

10. Environnement

On pourra fabriquer des membranes de filtration nanométriques, auxquelles on peut donner des propriétés chimiques particulières (oxydantes notamment) pour la purification de l'eau par exemple. Une autre application est l'amélioration des procédés de catalyse⁴ des réactions chimiques. L'accès des catalyseurs à l'échelle nanométrique va les rendre considérablement plus réactifs et efficaces que les catalyseurs métalliques actuels (platine, palladium...). Les applications envisagées concernent les pots catalytiques, la chimie organique (reformage d'hydrocarbures, nouveaux procédés d'oxydation...).

³ *Micro Electro Mechanical Systems*. Un microsystème électromécanique est un microsystème comprenant un ou plusieurs éléments mécaniques, utilisant l'électricité comme source d'énergie, en vue de réaliser une fonction de capteur et/ou d'actionneur avec au moins une structure présentant des dimensions micrométriques, et que la fonction du système est en partie assurée par la forme de cette structure. On trouve aussi le terme de système micro-électro-mécanique mais le terme le plus souvent employé est l'anglais MEMS.

⁴ En chimie, un catalyseur est une substance qui augmente la vitesse d'une réaction chimique ; il participe à la réaction mais il ne fait partie ni des produits, ni des réactifs et on le retrouve à l'identique à la fin de la réaction.

11. Nanotechnologies et produits alimentaires

Les recherches agroalimentaires en nanotechnologies pourraient avoir pour objectif de créer des aliments intelligents, agissant interactivement avec le consommateur pour « personnaliser » les aliments - changement de couleur, de goût... - ou pour intégrer des éléments nutritifs. D'autres voies sont possibles pour :

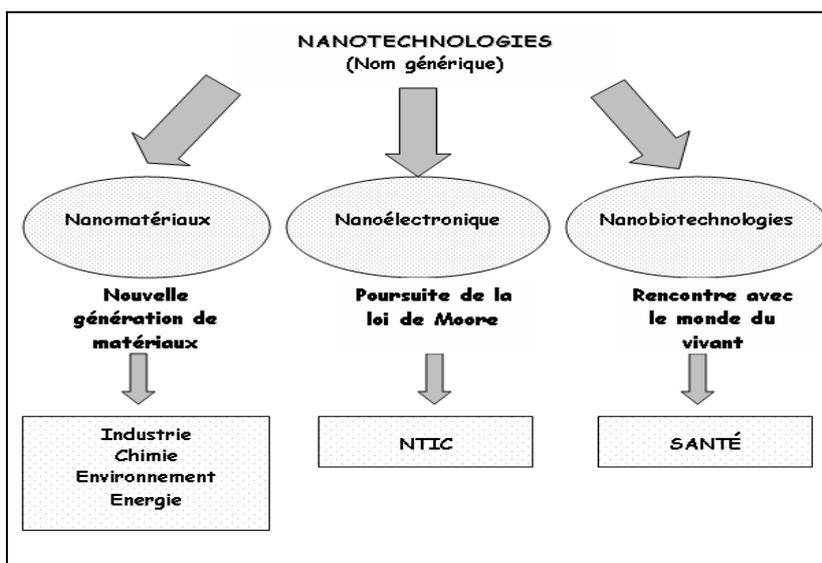
- mettre au point des aliments intelligents qui détecteraient si un individu est allergique à l'un de ses composants ;
- fabriquer des emballages « intelligents » relâchant par exemple une dose de molécules de calcium pour les personnes souffrant d'ostéoporose ;
- fabriquer des nano-emballages « intelligents » permettant de rallonger considérablement le temps des produits alimentaires dans les rayons et de les transporter encore plus loin ;
- suivre, grâce à la nano-surveillance les aliments, de leur lieu de production et à travers toute la chaîne de transformation, jusqu'au lieu de vente voir au-delà.

12. Sport et loisirs

Comme on l'a vu précédemment, les propriétés physiques des nanotubes de carbone (légèreté, résistance, rigidité) ouvrent des domaines d'application extrêmes larges dans les TIC, les pneumatiques... Ces nanotechnologies sont aussi intégrées dans certains équipements sportifs à l'instar des raquettes de tennis, des skis ou des clubs de golf, de fabrication et conception récentes.

La mise au point de textile intelligent pour développer des tissus qui peuvent capter les changements du milieu environnant et y réagir, suscite beaucoup d'intérêt. À l'hôpital par exemple, des vêtements intelligents peuvent donner de l'autonomie aux patients grâce à la télésurveillance de leurs données vitales. Pour les pompiers, les tenues de protection peuvent transmettre des données sur les températures et la fumée. Ces textiles existeront que lorsque les connecteurs et les composants électroniques pourront être fabriqués via les procédés classiques du textile. L'échelle nanométrique de certains composants électroniques est un élément déterminant pour y parvenir.

Schéma 9 : Les 3 grands domaines des nanotechnologies



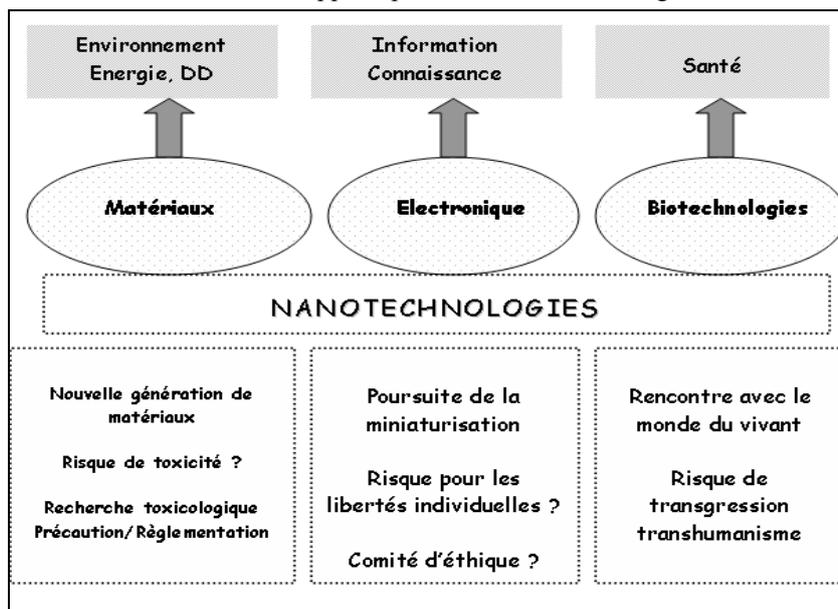
Source : CNRS.

Schéma 10 : Où sont les nanotechnologies dans notre vie quotidienne ?



Source : CEA.

Schéma 11 : Apports prévus des nanotechnologies



Source : CEA.

Fiche n° 3 : la stratégie nationale de recherche

Comme pour les autres pays au niveau mondial, les pouvoirs publics français ont identifié le caractère stratégique des nanotechnologies pour le développement scientifique et économique.

La France a décidé il y a quelques années de mobiliser des moyens importants et de se doter de divers outils à cet effet :

- une politique d'infrastructure de base avec les grandes centrales ;
- une mobilisation des organismes de recherche (CNRS, CEA, INRIA, INRA, INSERM...) sur ces thématiques ;
- une consécration de budgets spécifiques sur projets à l'ANR, l'AII, le ministère de l'Industrie ;
- un support à l'organisation de communautés publiques et privées pour un meilleur ciblage des travaux et l'accélération des transferts.

La fiche présente l'ensemble de ce dispositif, hors les infrastructures de recherche qui sont décrites dans la fiche suivante.

En 2005, l'Agence nationale pour la recherche (ANR) a lancé un Programme national en nanotechnologies (PNANO) dont la mise en œuvre s'appuie sur le Réseau national en nanosciences et nanotechnologies (R3N), dont la mission sera décrite en détail dans la fiche n° 4.

Deux autres programmes dans les domaines des N&N ont été également lancés par l'ANR :

- **Matériaux et procédés** : il vise la recherche de nouveaux matériaux et procédés industriels, l'amélioration de leurs performances techniques et économiques et encourage le transfert de technologie vers l'industrie. Les nanomatériaux occupent donc une bonne place dans ce programme.
- **Santé-environnement et santé-travail (SEST)** : il a comme but de révéler l'impact, encore peu connu, des facteurs environnementaux sur la santé humaine en mesurant l'exposition à ces facteurs et en identifiant leur rôle dans l'origine ou l'aggravation de certaines maladies. Ce programme s'intéresse en particulier à l'éventuelle toxicité des nanoparticules.

I - LE PROGRAMME NATIONAL NANOSCIENCES - PNANO

Les nanosciences et les nanotechnologies constituent un secteur de recherche stratégique, en croissance rapide, avec un énorme potentiel de développement économique.

Ce secteur en plein essor et fait l'objet de programmes importants, notamment dans le cadre du 6^{ème} PCRD et 7^{ème} PCRDT de l'Union européenne, et bénéficie de soutiens financiers considérables dans des pays comme les États-Unis, l'Allemagne et le Japon.

Afin de coordonner les actions menées dans les laboratoires français impliqués dans le domaine des nanosciences-nanotechnologies, un Comité de coordination a été mis en place en 2002. Ce comité comprend des représentants du ministère de la Recherche, du CNRS, du CEA et depuis 2003 de la DGA. Dans la continuité des actions concertées lancées de 1999 à 2002, un Programme national nanosciences (PNANO) a été mis en place après 2003.

L'objectif de ce programme est de coordonner et de développer la recherche fondamentale dans ce domaine. Comme en 2003, le mode d'action privilégié du programme reste le soutien direct à des projets de recherche. C'est l'objet de l'appel d'offres « Action concertée nanosciences » renouvelé chaque année. Les modes d'action complémentaires sont également maintenus. Leur but est de :

- soutenir, au travers de projets précis, la mise en réseau de moyens technologiques dédiés aux nanosciences (centrales de technologie, moyens de caractérisation technologiques spécifiques et performants...);
- favoriser une meilleure coordination des équipes de recherche, voire l'émergence de nouvelles structures de recherche autour de projets d'excellence ;
- soutenir des actions de formation et d'information indispensables à la vitalité scientifique du domaine (ateliers, écoles, rencontres internationales...).

A - APPEL À PROJETS ET THÈMES DE RECHERCHE PROPOSÉS

L'action concertée nanosciences a pour objectif de susciter et de soutenir des projets de recherche ambitieux et innovants, de caractère multidisciplinaire. Les projets de recherche s'inscriront dans les thématiques suivantes :

- **Nanostructures et nanocomposants** présentant de nouvelles fonctionnalités électroniques, optiques, magnétiques, mécaniques...
- **Nano-objets et systèmes quantiques**, dont les propriétés sont liées au contrôle de variables quantiques.

- **Nanomatériaux** dont les propriétés résultent des effets de confinement, de l'amplification des phénomènes de surface et d'interface et d'intensification des couplages.
- **Nanobiosciences** : située à l'interface de plusieurs disciplines, cette thématique recouvre plusieurs aspects : analyse de processus à l'échelle nanométrique *in vivo*, compréhension du monde vivant par une approche *bottom-up*...

B - AUTRES MODES D'ACTION DU PROGRAMME NATIONAL NANOSCIENCES

1. Mise en réseau de moyens technologiques dédiés aux nanosciences

Il s'agit de soutenir, au travers de projets scientifiques précis, la mise en place et l'organisation de moyens technologiques dédiés aux nanosciences dans les laboratoires de recherche du secteur public.

1.1 Labellisation des grandes centrales technologiques

Les sept centrales technologiques reconnues en 2002 (LETI, FMNT, IEMN, LAAS, LPN, IEF et FEMTO - cf. fiche n° 3 : Les infrastructures françaises de recherche) et faisant actuellement partie du réseau mis en place en 2003 devront fournir un rapport d'activité accompagné d'un projet scientifique et technique précis.

En ce qui concerne la labellisation de nouvelles centrales, dites de proximité, le projet scientifique et technique présenté sera soumis au Comité de coordination du Programme national nanosciences. Pour être éligible, ce projet devra répondre à un certain nombre de critères :

- la centrale doit s'appuyer sur au moins un laboratoire de qualité reconnu, dans le domaine des nanosciences et nanotechnologies, par le ministère, le CNRS ou le CEA ;
- les installations doivent permettre de fabriquer des dispositifs ou des structures d'accueil pour des dispositifs destinés à des études relevant de la nanophysique ;
- l'ouverture de la centrale à des projets « exogènes » doit être effective. Ainsi la part des études menées dans la centrale dans lesquelles le laboratoire hôte n'est pas impliqué doit être significative. Une ouverture internationale est un élément d'appréciation positif, une activité contractuelle avérée également ;
- les activités de formation au sens large doivent être réelles : travaux pratiques au niveau master, accueil de stagiaires de tous niveaux ;
- le nombre de personnels techniques affectés à la centrale doit être en rapport avec l'importance des installations ;
- leur positionnement dans le paysage local et dans le paysage national ;

- la liste de tous les articles, conférences et brevets qui ont nécessité l'utilisation de la centrale en les classant par type (revue internationale avec comité de lecture, conférence internationale avec comité de sélection...) et en donnant les titres et les laboratoires concernés ;
- le nombre de thèses soutenues (date de soutenance, titre, jury) et en cours (date de début, titre, directeur de thèse) s'appuyant sur la centrale ;
- leur budget avec les différentes sources de financement.
- Ces éléments seront les principaux critères pris en compte pour la labellisation de la centrale. Une évaluation de l'activité des centrales labellisées sera faite à l'issue de la deuxième année. Cet examen déterminera les conditions dans lesquelles la reconduction de la labellisation pourra être accordée.

1.2 Autres demandes de mise en réseau

Les autres demandes relatives à la mise en place de nouveaux réseaux de moyens technologiques ne rentrant pas dans le cadre précédent pourront faire l'objet d'une déclaration d'intention simplifiée qui sera transmise au Comité de coordination du Programme national nanosciences.

2. Structuration et coordination des équipes de recherche en nanosciences

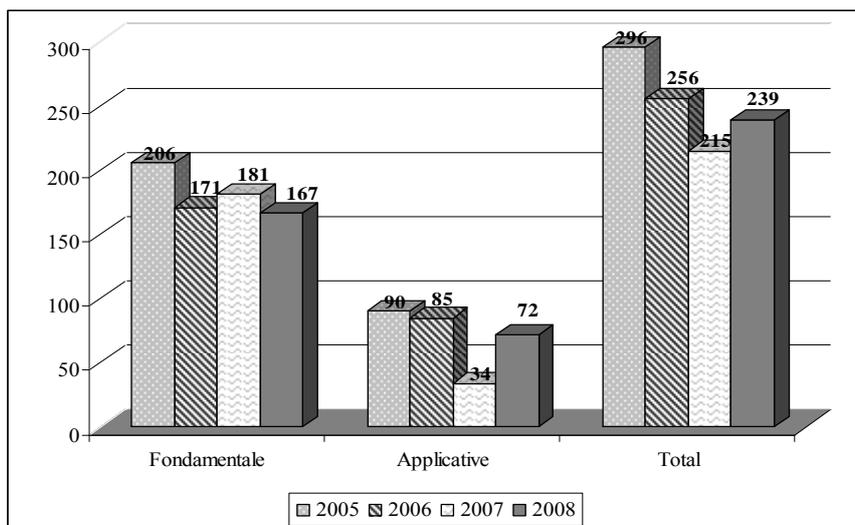
Il s'agit de soutenir, au travers de cette action du Programme national nanosciences, une meilleure coordination des équipes de recherche, voire l'émergence de nouvelles structures de recherche autour de projets d'excellence. En effet, l'évolution rapide des recherches menées dans le domaine des nanosciences donne lieu à des synergies nouvelles entre des chercheurs de différents champs disciplinaires appartenant à des laboratoires différents.

Ces synergies seront favorisées, dans une logique de soutien à des programmes fédératifs, par des mesures incitatives visant le regroupement, dans un environnement suffisamment proche, d'équipes de recherche pluridisciplinaires sur les nanosciences ainsi que la création de groupes de travail, de réseaux de laboratoires ou d'équipes de recherche. Les demandes correspondantes feront l'objet d'une déclaration d'intention argumentée qui sera examinée par le Comité de coordination.

3. Actions d'animation, de formation, de diffusion des savoirs

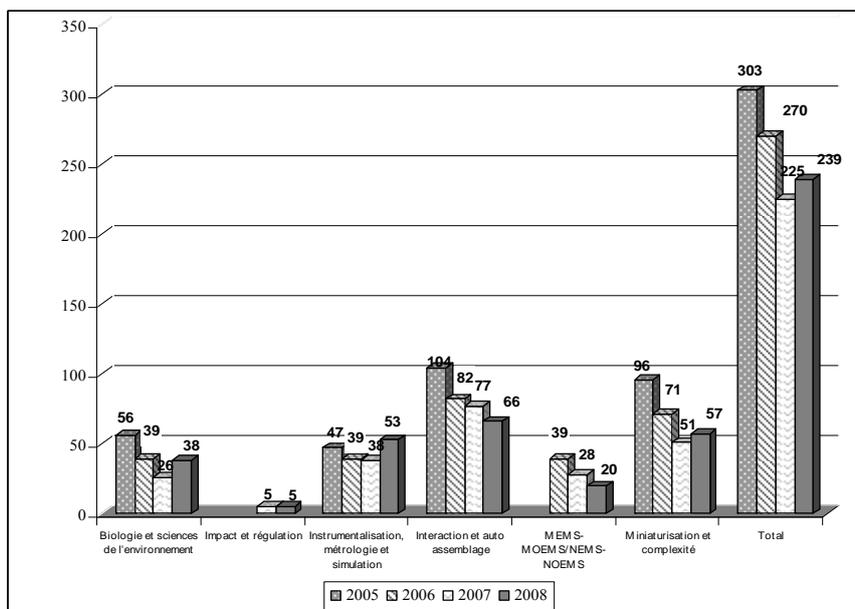
Le Programme national nanosciences pourra soutenir quelques opérations d'animation, de formation, d'information et de diffusion des savoirs sous la forme de colloques, ateliers, écoles thématiques, site web, expositions, brochures, livres... consacrés aux nanosciences. Les demandes présentées devront être étayées par une description précise de l'opération envisagée, du public visé et des retombées attendues, accompagnée d'un budget prévisionnel global.

Graphique 1 : Évolution du nombre de projets déposés



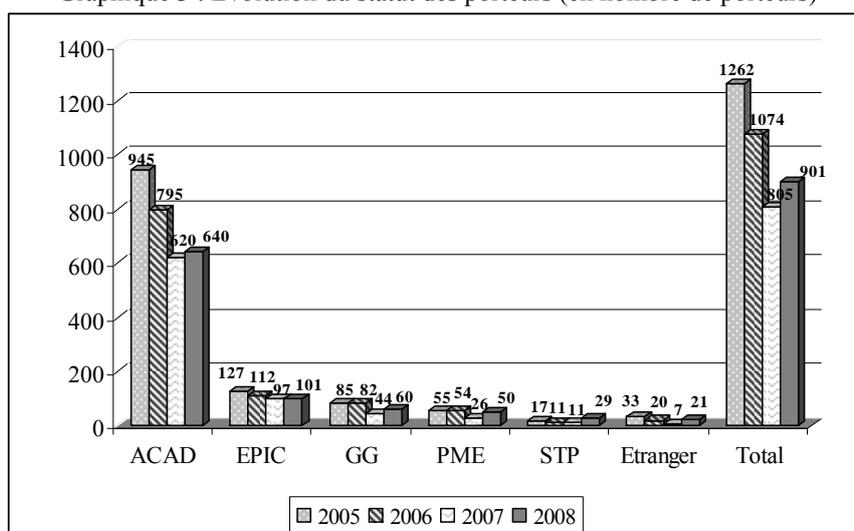
Source : ANR.

Graphique 2 : Évolution du nombre de projets par thématiques



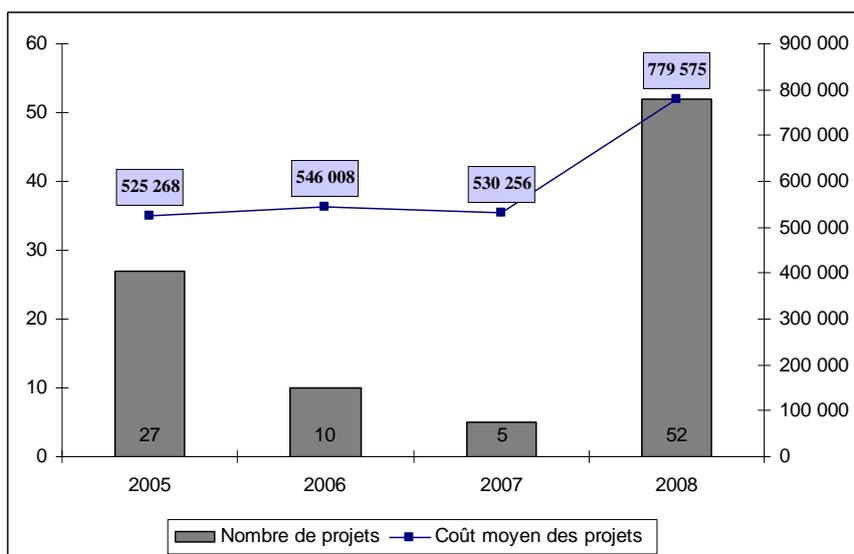
Source : ANR.

Graphique 3 : Évolution du statut des porteurs (en nombre de porteurs)



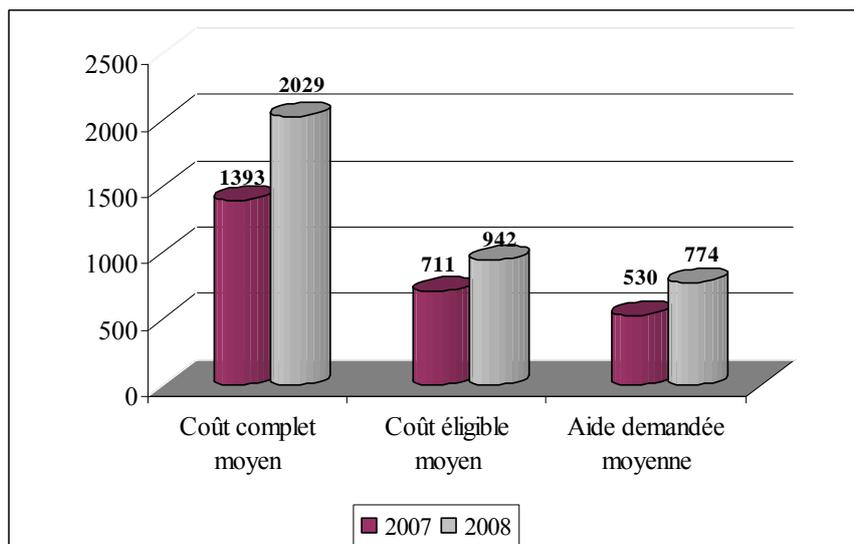
ACAD : Académie ; EPIC : Établissement public industriel et commercial ; GG : Grands groupes ; STP : *Start-Up*.
Source : ANR.

Graphique 4 : Évolution du nombre de projets de plus d'1 M€ et du coût moyen des projets



Source ANR.

Graphique 5 : Comparatif des coûts moyens des appels à projets
2007 et 2008



Source : ANR.

II - STRUCTURES DE FORMATION

1. Formation au Pôle Minatec

Avec Minatec, un nouvel essor est donné aux formations en micro et nanotechnologie au sein de l'INP Grenoble qui a lancé les premières formations en microélectronique à la fin des années 1970, et au CEA Grenoble, par l'intermédiaire de l'Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN), organisme de formation du CEA depuis 1956.

Au total, près de 35 millions d'euros seront investis pour la formation dans le pôle Minatec qui accueillera plus de 1 000 élèves ingénieurs, masters, doctorants et stagiaires.

Dès maintenant, de nouvelles filières, spécialement orientées vers les technologies du futur, sont proposées tant en formation initiale que continue. Ces formations s'appuient sur les moyens technologiques des laboratoires de recherche grenoblois et du Centre interuniversitaire de microélectronique (CIME) installé sur le pôle Minatec en 2006 dans de nouveaux locaux.

Les acteurs de la formation continue sont le département formation continue de l'INP Grenoble et l'INSTN.

Plusieurs projets sont en cours d'étude pour faire une part plus importante encore à la nanophysique et aux nanosciences et pour répondre à la demande d'un secteur scientifique et industriel en pleine évolution. D'autres formations sont proposées dans l'environnement local du pôle Minatec.

2. Dans l'environnement local de Minatec

2.1. En formation initiale

À l'INP Grenoble, sont proposés des diplômes d'ingénieurs, des masters, et des doctorats.

À l'Université Joseph Fourier (UJF) de Grenoble, diverses formations sont également proposées au sein des UFR (Unités de formation et de recherche), de l'ISTG (Institut des sciences et techniques de Grenoble).

2.2 En formation continue

- Le SFCAA (Service formation continue alternance et apprentissage de l'université Joseph Fourier) propose des modules de formation dans les domaines des N&N.

3. Divers sites universitaires en lien avec les grandes centrales de recherche proposent également des formations dans les N&N.

- Université Paris XI – Orsay comprenant notamment l'Institut d'électronique fondamentale et la Centrale technologique universitaire.
- Université Louis Pasteur de Strasbourg - Master sciences - Physique, spécialité micro et nano-électronique - composants et systèmes.
- Université technologique de Belfort-Montbéliard.

4. La Coordination nationale pour la formation en micro et nanoélectronique (CNFM)

L'importance des investissements à consentir, la nécessité du regroupement des moyens et la prise en compte de la répartition géographique des industries, des laboratoires de recherche et des établissements de formation ont conduit à la création d'un réseau. Les douze pôles du réseau sont fédérés par le groupement d'intérêt public pour la coordination nationale de la formation en microélectronique (GIP CNFM).

Les pôles du CNFM, centres interuniversitaires régionaux ou interrégionaux, regroupent des équipements de fabrication et de caractérisation, du matériel informatique et des logiciels pour la conception assistée par ordinateur et le test des circuits et systèmes intégrés, ainsi que pour le prototypage.

Grâce à la mutualisation, les pôles du CNFM apportent aux établissements de formation des ressources opérationnelles importantes et un savoir-faire de haut niveau. Ce sont aussi des centres de ressources pour la recherche en micro et nano électronique. Ils collaborent avec les entreprises notamment par le biais de stages de formation continue ou de prestations de service.

Fiche n° 4 : les infrastructures françaises de recherche

La recherche en nanotechnologies nécessite des équipements et des environnements spécifiques permettant l'accès aux atomes et leurs propriétés avec un minimum de perturbation de l'environnement. Les travaux, par exemple, se font dans des salles blanches⁵ spécifiques pour chaque sous domaine, et avec la taille critique qui permet de réaliser une recherche compétitive au niveau mondial. Le coût d'investissement pour ces infrastructures nécessite une coordination forte des acteurs et de l'action publique. En outre, le fonctionnement ou l'accès à ces infrastructures nécessite des compétences et des protocoles complexes, la recherche en nanotechnologies implique donc une composante relationnelle forte qui relie les acteurs de la recherche publique et privée.

Le niveau d'investissement dans la R&D en N&N en France n'est bien sûr pas comparable à celui des États-Unis, qui est plutôt du même ordre de grandeur que celui de l'Europe dans son ensemble. En revanche, notre pays a décidé il y a quelques années de mobiliser des moyens conséquents - plus d'un milliard d'euros au cours des 5 dernières années - afin de développer des pôles de compétences en nanotechnologies et s'est dotée de divers outils. Depuis 2003, le Réseau national en nanosciences et nanotechnologies (R3N) - voir fiche n° 3 - met en œuvre un plan de soutien à un réseau de grandes centrales de nanofabrication. R3N a pour mission de financer des projets de pointe associant en réseau les laboratoires académiques ainsi que les meilleurs partenariats entre les laboratoires publics, les PME innovantes et les centres de recherche privés de grandes entreprises. Parallèlement, un effort soutenu de structuration, en particulier au niveau de l'organisation du potentiel de recherche a été poursuivi :

- Le Programme national nanosciences, développé par le ministère de la Recherche, avec la participation de la DGA, du CNRS et du CEA, et repris en 2005 sous l'acronyme PNANO pour Programme national en nanosciences et nanotechnologies par l'Agence nationale de la recherche, vise à coordonner et soutenir les recherches et opérations menées dans le domaine. Ce programme a été présenté dans la troisième fiche relative à « la stratégie nationale de recherche ».
- Plusieurs centres d'excellence en nanosciences appelés les C'Nano ont été labellisés par le ministère de la Recherche et contribuent au développement d'approches multidisciplinaires au niveau régional et à une meilleure lisibilité de la recherche en France. Au nombre de six, ces fédérations doivent associer les laboratoires de recherche sur le plan régional (Île-de-France - Grand Est - Rhône Alpes - Nord Ouest -

⁵ Une salle blanche est une pièce ou une série de pièces où la concentration particulière est maîtrisée pour minimiser l'introduction, la génération, la rétention de particules à l'intérieur. Les paramètres tels que la température, l'humidité et la pression relative sont également maintenus à un niveau précis - définition conforme à la norme Iso 14 664-1.

Grand Sud Ouest - PACA). Lors de son audition au Conseil économique et social du 31 janvier 2008, Mme Brechignac, Présidente du CNRS a estimé que les fédérations C’Nano regroupaient plus de 4000 personnes soit près de 2 000 chercheurs, environ 500 post-docs, 1 300 thésards et 300 ingénieurs et techniciens, répartis dans quelques 220 laboratoires publics. Le budget public annuel avoisine les 250 millions d’euros (dont 150 pour la recherche fondamentale et 100 pour la recherche orientée).

- Le réseau des grandes centrales en micro et nanotechnologies réparties dans les différentes régions de France donne la possibilité aux équipes de recherche d’utiliser un ensemble de méthodes de nano-fabrication et de caractérisation qui seraient hors de portée des seuls laboratoires. Actuellement au nombre de sept, ces grandes centrales constituent un premier cercle d’acteurs compétitifs au niveau mondial. Véritables plateformes technologiques, elles associent la recherche fondamentale et la recherche appliquée en partenariat avec le CNRS, le CEA et les universités (IEMN, LPN, IEF, LAAS, Leti, FMNT, et FEMTO). Un second cercle d’acteurs de moindre importance, composé de huit autres centrales dites de proximité complètent ce dispositif (Grenoble, Lyon, Marseille, Montpellier, Limoges-Bordeaux, Rennes, Nancy-Strasbourg, et Besançon).

Globalement, trois types de structures fédèrent la recherche française dans les domaines des N&N :

- **Les Réseaux thématiques de recherche avancée (RTRA)** sont l’une des mesures structurantes prévues par la Loi de programme pour la recherche du 18 avril 2006, pour identifier et consolider les grands pôles scientifiques français. Ce sont des fondations de coopération scientifique qui rassemblent des laboratoires de recherche situés dans une région géographique donnée.
- **Les Instituts Carnot** : il s’agit d’un label accordé à des laboratoires de recherche publique qui poursuivent des activités de recherche fondamentale de haut niveau et de recherche partenariale avec le monde industriel afin de favoriser le transfert de technologie. Les structures labellisées Carnot, appelées « Instituts Carnot », reçoivent de l’ANR un abondement financier calculé en fonction des contrats de recherche partenariale réalisés.

Encadré 1 : Instituts Carnot dans le domaine des nanotechnologies

CEA/LETI (Laboratoire d'électronique et de technologies de l'information), implanté à Grenoble : un des plus importants centres européens de recherche appliquée en électronique, spécialisé dans les micro et nanotechnologies pour l'électronique, la biologie et la santé. www.leti-cea.fr

Femto-Innovation, situé à Besançon : est composé de l'Institut de recherche Femto-ST associé au centre de transfert en micro et nanotechnologies CTMN (micro et nanosystèmes, systèmes temps-fréquence et télécommunications, ingénierie biomédicale, énergie et environnement). www.femto-st.fr

IEMN (Institut d'électronique et de microélectronique et de nanotechnologie), situé dans les environs de Lille, spécialisé dans : matériaux et nanostructures, microsystèmes, optoélectronique, télécommunications, acoustique, instrumentation pour la santé, l'agroalimentaire et les transports. www.iemn-lille.fr

Institut d'optique graduate, school, localisé sur le campus polytechnique à Palaiseau : optique atomique et quantique, la nanophotonique, matériaux non-linéaires, lasers, biophotonique et systèmes optiques. www.institutoptique.fr

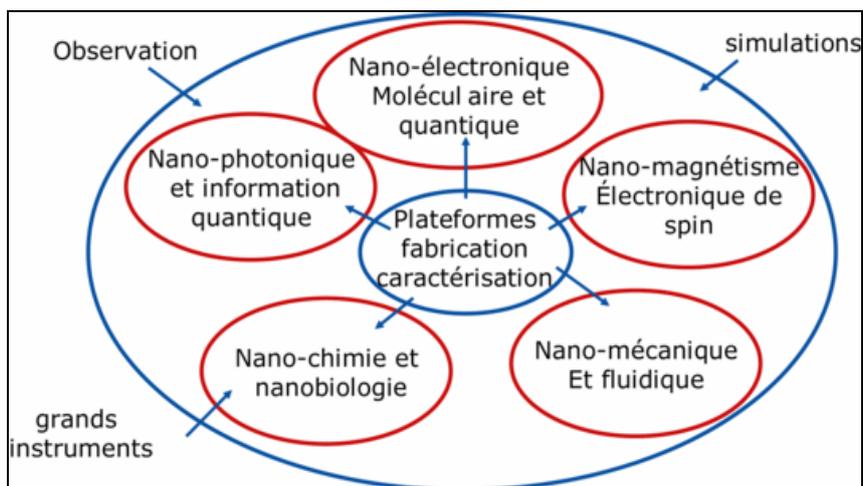
LAAS (Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes), à Toulouse, orienté suivant quatre grands domaines de recherche : micro et nanosystèmes, modélisation, optimisation et conduite des systèmes, robotique et intelligence artificielle et systèmes informatiques critiques). www.laas.fr

- **Les pôles de compétitivité** associent sur un territoire géographique donné, des entreprises, des laboratoires, des organismes de recherche et des instituts de formation, travaillant en étroite collaboration autour de projets innovants.

A - TROIS RTRA ONT ÉTÉ CRÉÉS DANS LE DOMAINE DES NANOSCIENCES

Le réseau nanosciences à Grenoble fédère les initiatives du CEA, du CNRS et de l'INPG (Institut polytechnique de Grenoble) et de l'UJF (Université Joseph Fourier), dans les thématiques « nano » en électronique quantique, magnétisme, photonique, matériaux, sciences du vivant, caractérisation et métrologie, modélisation.

Schéma 12 : Les cinq thématiques et les outils périphériques du RTRA Grenoblois



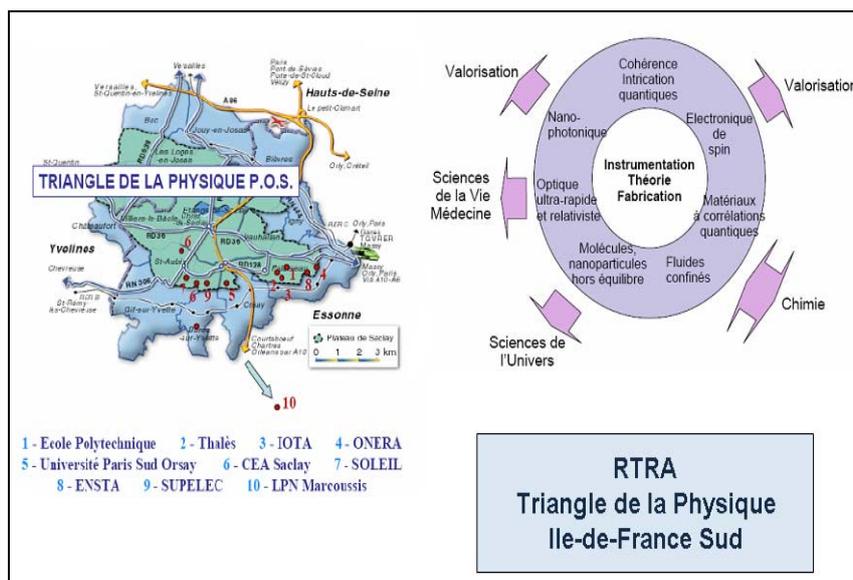
Source : CNRS.

Le Triangle de la physique à Orsay rassemble les laboratoires du triangle géographique Palaiseau-Orsay-Saclay autour de certaines thématiques (optique, spintronique⁶, nanophysique...) qui bénéficient de la présence de très grands instruments de recherche comme le synchrotron Soleil⁷, le réacteur à neutrons LLB⁸ ou les lasers de puissance du LULI (Laboratoire pour l'utilisation des lasers intenses situé sur le campus de l'école polytechnique), du LOA (Laboratoire ondes et acoustiques situé à Palaiseau) et du CEA. Il est à noter que le chercheur français M. Albert Fert qui a reçu le prix Nobel 2007 de physique avec l'allemand Peter Grünberg, pour leur découverte de la magnétorésistance géante et leur contribution au développement de la spintronique, mène ses activités de recherche au Triangle de la physique Île-de-France Sud.

⁶ Spintronique ou électronique de Spin, aussi connue sous le nom de magnétoélectronique, est une technologie émergente qui exploite la propriété quantique du spin des électrons dans le but de stocker des informations. On peut imaginer le spin comme une minuscule aiguille de boussole portée par l'électron. Alors que l'électronique classique déplace et guide les électrons en exerçant une force sur leur charge électrique, la spintronique les guide en agissant sur leur spin. Le concept de base pour agir sur le spin est de placer des couches ultrafines de métaux magnétiques sur le trajet des électrons. Quand on lit le disque dur d'un ordinateur, on utilise un phénomène de spintronique appelé aussi magnétorésistance géante. Les progrès dans le secteur permettent d'accroître les capacités de mémoire avec une consommation moindre d'énergie. En 2007, Albert Fert a reçu le prix Nobel de physique, avec l'Allemand Peter Grunberg, les récompensant pour la découverte en 1988 du phénomène de recherche fondamentale qui est la magnéto-résistance géante.

⁷ Il s'agit d'un accélérateur de particules qui fournit un rayonnement synchrotron c'est-à-dire fourni par un anneau de stockage de 354 mètres de circonférence dans lequel des électrons de très haute énergie circulent quasiment à la vitesse de la lumière.

⁸ Le laboratoire Léon Brillouin est un laboratoire national de diffusion neutronique.



Source : CNRS.

Le Centre international de recherche aux frontières de la chimie à Strasbourg (CIRFC) est un centre multidisciplinaire qui présente tous les aspects de la chimie en interface avec la physique, les matériaux et la biologie. Ses membres ont un lien fort avec l'industrie au travers de collaboration et de création d'entreprises. Les fondateurs sont l'université Louis Pasteur, le CNRS et les sociétés BASF (leader mondial de la chimie) et Bruker (instrumentation de haute technologie).

B - UN RÉSEAU DE SEPT GRANDES CENTRALES TECHNOLOGIQUES RÉPARTIES SUR CINQ PÔLES GÉOGRAPHIQUES

Concrètement, le CEA et le CNRS coordonnent leurs efforts par la mise en réseau de sept grandes centrales technologiques aux compétences complémentaires et réparties sur cinq grands pôles :

1. Le pôle Rhône-Alpes compte deux infrastructures majeures dans les N&N : la centrale du **CEA-Leti** et la Fédération de recherche en micro nanotechnologie du CNRS (**FMNT**) et un pôle de compétitivité mondial : **Minalogic**.

Carte 1 : Au cœur de l'agglomération, le Polygone scientifique de Grenoble



Source : CEA

Le Leti est un laboratoire du CEA implanté à Grenoble, **labellisé Institut Carnot**. Il est l'un des principaux centres européens de recherche appliquée en électronique. Ses principaux domaines d'activité sont la micro et nanoélectronique, les technologies de l'imagerie, les micro et nanotechnologies pour la biologie et la santé...

Doté d'un budget annuel de 174 millions d'euros, le Leti emploie 1 000 personnes auxquelles s'ajoutent plus de 500 collaborateurs extérieurs (thésards, partenaires de recherche, industriels). Il dispose de 11 000 m² de salles blanches, d'un parc d'équipement d'une valeur de 200 M€ et investit plus de 40 M€ par an en nouvelles machines.

Le Leti est l'un des principaux initiateurs du Pôle d'innovation en micro et nanotechnologies **Minattec**, le plus important d'Europe, qui devrait regrouper à terme plus de 4 000 chercheurs et enseignants à Grenoble et développer des partenariats industriels.

Fig. 1 : Présentation du Pôle d'innovation Minatec



Source : CEA Grenoble.

- **Le pôle Minatec** a été lancé à l'initiative du CEA-Leti Grenoble et de l'Institut national polytechnique de Grenoble (INP - une des grandes universités européennes formant notamment au diplôme international Nanotech) a pour ambition de devenir le pôle d'innovation et d'expertise majeur en Europe pour les micro et nanotechnologies. Minatec rassemble 4 000 personnes sur le polygone scientifique de Grenoble.
- **Le site de Crolles de STMicroelectronics** est le principal laboratoire et l'unique usine en 300 mm en nanoélectronique en France avec environ 1 000 chercheurs sur les architectures de transistors, de circuits intégrés, les processus de fabrication et les méthodologies de conception. Ce centre a un rayonnement mondial : il a accueilli de 2003 à 2007 les industriels NXP (ex-Philips) et Freescale (ex-Motorola) pour un programme de recherche commun, et accueille à partir de 2008 des équipes de recherche d'IBM. Ce centre a une très forte collaboration avec les laboratoires locaux et nationaux (CEA-Leti, CNRS, INRIA, IEMN, universités...) et fournit un service de fabrication de circuits expérimentaux aux laboratoires du monde entier. Les investissements à Crolles représentent 2 milliards de \$ et pourraient être doublés d'ici 5 ans.

- **La Fédération micro et nanotechnologies (FMNT)** en Rhône-Alpes a été créée en mai 2002 par un décret du CNRS⁹. Sa création répond à des enjeux scientifiques aussi bien que stratégiques. En effet, la FMNT se propose de rassembler et de fédérer les activités de recherche des laboratoires de la région Rhône-Alpes fortement impliqués sur le pôle Minatec en matière de Micro et Nano-technologies. La Fédération regroupe six laboratoires : L'Institut de microélectronique, électromagnétisme et photonique (IMEP), le Laboratoire d'électronique, optoélectronique et microsystèmes (LEOM), le Laboratoire des matériaux et du génie physique (LMGP), le Laboratoire de physique de la matière (LPM), le Laboratoire des technologies de la microélectronique (LTM) et le Laboratoire de spintronique et technologie des composants (SPINTEC).

2. Le pôle du Nord comprend la centrale de l'Institut d'électronique et de microélectronique et de nanotechnologie (**IEMN**) créé le 1^{er} janvier 1992 par le CNRS, l'Université des sciences et technologies de Lille (USTL), l'Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis (UVHC) et de l'Institut supérieur d'électronique et du numérique (ISEN).

L'objectif est de regrouper dans une structure unique l'essentiel de la recherche régionale dans un domaine allant de la physique aux applications de l'électronique et de créer ainsi dans le Nord-Pas de Calais un institut de taille européenne.

Labellisé Institut Carnot, il rassemble des physiciens, électroniciens et acousticiens étudiant notamment les matériaux et nanostructures, microtechnologies et microsystèmes, micro et optoélectronique...

Il compte environ 180 personnes dont 140 doctorants, pour un budget annuel de 14,7 millions d'euros.

3. Le pôle du Sud-Ouest avec la centrale du Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes (LAAS) - **labellisé Institut Carnot** - situé à Toulouse, unité propre de recherche du CNRS, rattaché au département scientifique ST2I (Sciences et technologies de l'information et de l'ingénierie), il est associé à trois établissements d'enseignement supérieur de Toulouse : l'Université Paul Sabatier (UPS), l'Institut national des sciences appliquées (INSA) et l'Institut national polytechnique (INP).

⁹ DEC 020018 STIC relatif à la création de la Fédération de recherche « micro-nano-technologies » Rhône-Alpes, du 22 mai 2002.

Les activités de recherche du LAAS-CNRS se situent dans les Sciences et technologies de l'information et de la communication (STIC). Le LAAS s'intéresse principalement à quatre classes de systèmes, à travers quatre pôles thématiques qui organisent ses 17 groupes de recherche :

- le pôle Modélisation, optimisation et conduite des systèmes (MOCOSY) ;
- le pôle Robotique et intelligence artificielle (RIA) ;
- le pôle Systèmes informatiques critiques (SINC) ;
- le pôle Micro et nano systèmes (MINAS).

Le LAAS a reçu le Label Carnot en mars 2006. Ce Label vient confirmer la qualité et la pertinence des travaux du laboratoire relativement aux enjeux socioéconomiques. Au 1^{er} janvier 2006, les effectifs du LAAS étaient de 586 personnes se répartissant ainsi : 478 chercheurs et 108 ingénieurs, techniciens et administratifs. Il bénéficie d'un budget d'environ 27 millions d'euros.

4. Le pôle de l'Île-de-France qui comprend la centrale du **LPN** et celle de l'**IEF**.

- **Le Laboratoire de photonique et de nanostructures (LPN)** est une unité propre du Centre national de la recherche scientifique rattachée aux deux départements SPM (Sciences physiques et mathématique) et STIC (Sciences et technologies de l'information et de la communication), situé à Marcoussis.

Sa vocation première est l'avancement coordonné de la recherche fondamentale et de la recherche appliquée, tant pour les recherches internes au laboratoire que pour celles développées en partenariat avec d'autres laboratoires publics ou privés, en s'appuyant sur l'exploitation et le développement de ses compétences technologiques.

Le LPN est présent sur toute la chaîne de l'innovation, de la recherche sur de nouveaux concepts créateurs de nouvelles fonctionnalités et sur de nouveaux matériaux et technologies, ainsi que sur leur mise en œuvre et la démonstration de faisabilité de nouveaux composants. Ses actions de recherche ouvrent un large champ de retombées potentielles dans les domaines du traitement quantique de l'information, des communications optiques, du traitement tout « optique du signal », du stockage à haute densité de l'information, ou dans celui de la microfluidique couplée à l'utilisation de nanostructures, domaine à l'interface de la physique, de la chimie et de la biologie.

- **L'Institut d'électronique fondamentale (IEF)** est une Unité mixte de recherche (UMR) CNRS/Université Paris Sud-XI, implantée sur le Centre scientifique d'Orsay.

Les recherches menées à l'IEF portent sur la nano-électronique silicium III-V (micro-nano-électronique à base de semi-conducteurs), le nanomagnétisme (micro-nano-magnétisme et électronique de spin ou spintronique), la micro-nanophotonique, les microsystèmes et systèmes à dominante « matériel » (fabrication, caractérisation, etc.) et, à dominante « logiciel » (systèmes autonomes, systèmes en réseau).

L'IEF, laboratoire pilote du projet CPER MINERVE (inscrit au Contrat de plan État-région) dispose d'une centrale de micro-nanotechnologies universitaire de 1 000 m², inaugurée fin 2004, qui a un rôle de soutien à la recherche. Cette centrale fait partie des six centrales françaises du Réseau technologique de base.

Le personnel de l'IEF se compose d'environ 30 chercheurs, 50 enseignants, 40 ingénieurs, techniciens et administratifs, 70 doctorants 25 non statutaires (post-doc, ATER, chercheurs associés, CDD, etc.). L'IEF accueille également environ 80 stagiaires par an.

- **L'Institut d'optique graduate school, labellisé Institut Carnot**, est actuellement le premier centre occidental de formation en optique au niveau ingénieur et master par le nombre de diplômés. Localisé sur le campus Polytechnique à Palaiseau, il est spécialisé dans l'optique atomique et quantique, la nanophotonique¹⁰, les matériaux non linéaires, les lasers, les systèmes optiques...

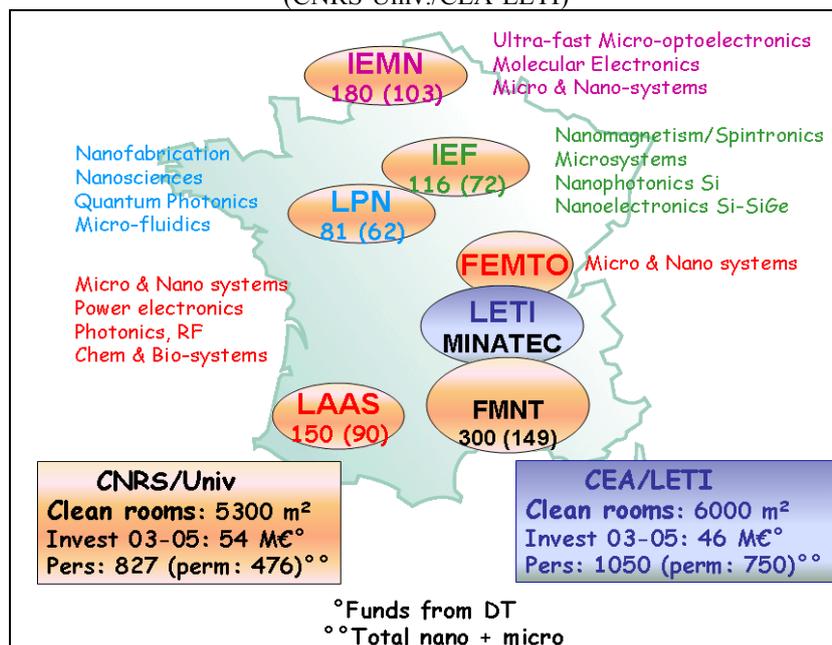
5. Le pôle Grand-Est qui est venu compléter le réseau en 2004, s'appuie sur la centrale de **FEMTO** orientée vers la micromécanique et les microsystèmes.

L'institut FEMTO-ST (Franche-Comté électronique mécanique thermique et optique - Sciences et technologies) - labellisé Institut Carnot - est une Unité mixte de recherches associée au CNRS et rattachée simultanément à l'Université de Franche-Comté (UFC), l'École nationale supérieure de mécanique et de microtechniques (ENSMM), et l'Université technologique de Belfort-Montbéliard (UTBM). FEMTO-ST a été créé le 1^{er} janvier 2004 par la fusion de 5 laboratoires de Franche-Comté actifs dans les domaines de la mécanique, de l'optique et des télécommunications, de l'électronique, du temps-fréquence, de l'énergétique et de la fluidique.

L'effectif total de FEMTO-ST est d'environ 350 personnes dont 200 permanents (130 chercheurs ou enseignants chercheurs et 70 ingénieurs, techniciens et administratifs), principalement localisés sur quatre sites situés à Besançon, Belfort et Montbéliard. Les recherches sont conduites avec l'aide d'environ 125 doctorants qui reçoivent ainsi une formation de haut niveau par la recherche.

¹⁰ La nanophotonique est la science qui étudie le comportement de la lumière à l'échelle nanométrique.

Carte 2 : Localisation des centrales technologiques dédiées aux nanotechnologies (CNRS-Univ./CEA-LETI)



Source : CNRS.

C – NEUF CENTRALES DE PROXIMITÉ

Les centrales de proximité correspondent à un réseau de centrales technologiques, de moindre envergure, qui complètent à l'échelle locale l'infrastructure des grandes centrales. Elles sont réparties de façon harmonieuse sur l'ensemble du territoire et permettent aux laboratoires d'avoir, dans leur immédiate proximité, des moyens simples de fabrication d'échantillons et de caractérisation.

Neuf centrales de proximité ont été créées à Saclay, Paris, Grenoble, Lyon, Nancy-Strasbourg, Rennes, Montpellier et Nice.

D - CINQ PÔLES DE COMPÉTITIVITÉ DANS LES NANOTECHNOLOGIES

- **Minalogic** : le pôle de compétitivité mondial Minalogic anime et structure dans la région Grenoble-Isère, un espace majeur d'innovation et de compétences spécialisées dans la création, la mise au point et la production de produits et services autour des solutions miniaturisées intelligentes pour l'industrie. Il repose sur le mariage inédit des micro-nanotechnologies et de l'intelligence logicielle embarquée. Minalogic s'adresse à tous les secteurs d'activités, y compris traditionnels, et répond à leur recherche de nouvelles valeurs ajoutées

enrichissant leurs produits : santé, environnement, mobilité, media, textile, etc...

Le pôle est adossé à « l'écosystème grenoblois », reconnu depuis longtemps internationalement et qui articule le triptyque recherches - formation - industrie, avec le duo acteurs publics et privés, dans des partenariats efficaces et créatifs de valeur en faveur de l'innovation. Aujourd'hui Minalogic conjugue la puissance d'un des centres mondiaux leaders à la fois sur les micro et nanotechnologies (Minatec) et l'intelligence logicielle embarquée dont les plus grandes marques sont présentes à Grenoble. On y trouve l'une des plus fortes concentrations de chercheurs de niveau mondial, dans des laboratoires ou instituts publics et privés reliés aux entreprises et porteurs d'une culture éprouvée du travail partenarial et du résultat. Il associe grands groupes et PME, centres de recherche et de formation, État et collectivités territoriales, dans une dynamique d'innovation et au sein d'une gouvernance participative qui vise, pour les différents partenaires, à développer des synergies, travailler et innover ensemble.

- **Solutions communicantes sécurisées (SCS)** : Les Solutions communicantes sécurisées intègrent des matériels et des logiciels pour transmettre, échanger et traiter des informations de manière sécurisée et fiable. La mission du pôle est de répondre aux besoins actuels ou futurs des utilisateurs privés ou professionnels des SCS. C'est un pôle de compétitivité mondiale, situé dans la région PACA.
- **Sciences et systèmes de l'énergie électrique (S2E2)**, pôle de compétitivité régions Centre-Limousin, vise l'ensemble de la chaîne de valeur de l'énergie électrique.
- **Photonique** : pôle de compétitivité situé dans la région PACA, il est spécialisé dans les systèmes complexes d'optique et d'imagerie dédiés aux milieux hostiles.
- **Microtechniques** : pôle de compétitivité situé à Besançon, il est centré autour d'un savoir-faire technologique issu notamment de l'horlogerie. L'activité du pôle représente aujourd'hui 1 % du marché mondial : ses productions sont dans les cartes à puces, les téléphones, les relais de télédiffusion, les paramètres, les satellites, les pacemakers, les roues, les tableaux de bord et les moteurs des avions et automobiles...

E - LES FÉDÉRATIONS

1. Les centres de compétences en nanosciences baptisés C’Nano

Impulsé par le ministère de la Recherche en partenariat avec le CNRS, le CEA et la DGA, le Programme national nanosciences a permis de soutenir la recherche en nanosciences et le développement des moyens technologiques nécessaires. Son comité de coordination a encouragé la création de centres de compétences destinés à structurer la recherche publique à l’échelle nationale afin de développer l’attractivité de notre pays auprès des chercheurs étrangers et des entreprises innovantes dans ce domaine en plein essor, objet d’une compétition mondiale de haut niveau.

Un appel à projets a permis la sélection de trois centres de compétences régionaux ou inter-régionaux mis en place à partir de 2004. D’autres projets actuellement à l’étude complèteront le maillage du territoire.

Ces centres fédèrent les laboratoires qui sont à la pointe de la recherche fondamentale en nanosciences et regroupent près de 4 000 chercheurs, enseignants-chercheurs et ingénieurs de recherche. Ainsi, par leur taille et l’amplitude des domaines couverts, les centres C’Nano permettent de faire progresser sur le même front les connaissances et le savoir-faire indispensables au développement des nanotechnologies en particulier en facilitant l’interdisciplinarité indispensable à la rapide convergence dont les recherches en nanosciences et nanotechnologies ont actuellement besoin.

Les centres C’Nano ont vocation à devenir parties prenantes des pôles de compétitivité. Pour assurer leur contribution au développement des innovations technologiques, ces centres s’appuient sur le réseau de ressources technologiques, composé de grandes centrales et de plateformes de technologies de proximité, qui bénéficiera au tissu industriel environnant.

Dans un domaine porteur pour les emplois de demain, les C’Nano, associés aux établissements d’enseignement supérieur voisins, contribuent à développer une offre de formation de haut niveau en nanosciences et nanotechnologies, en particulier dans le cadre des masters et des doctorats. Les C’Nano ont aussi développé des liens avec des écoles - universités et organismes organisés par les acteurs de la recherche - les plus performantes au niveau européen.

À l’heure où se développent plusieurs initiatives au niveau de l’Union européenne pour créer un espace européen de la recherche, les C’Nano représentent la communauté des chercheurs et enseignants-chercheurs en nanosciences. Par leur caractère interdisciplinaire affirmé, par la synergie qu’ils induisent au niveau du tissu industriel et par leur action en termes de formation, ils sont à même d’être l’un des supports de l’action menée par notre pays au niveau européen.

Le projet Eranet « Nano-Sci-Era », dont la France assure la coordination, vise à harmoniser les politiques de recherche mises en œuvre par douze États partenaires. Répondant à l'un des objectifs de cet Eranet et sous l'égide de son coordonnateur, les responsables des C'Nano ont participé activement, avec les directeurs des laboratoires, au recensement du potentiel de recherche français en nanosciences.

En résumé, les principaux objectifs des C'Nanos se concentrent autour de 8 items :

- faire émerger ces nanosciences ;
- faciliter l'accès aux centrales de nanotechnologies ;
- favoriser les projets interdisciplinaires (en particulier nanosciences et les sciences humaines et sociales / nanosciences et médecine) ;
- aller au contact du public (approche nano et société) ;
- contribuer à la formation ;
- être interlocuteur compétent en région ;
- sensibiliser, consolider, établir des liens entre recherche et industrie ;
- encourager les collaborations européennes via NanosciEra (Eranet).

Carte 3 : Centres de compétences en nanosciences



Source : CNRS.

2. Réseaux de recherche et d'innovation technologique (R2IT) : le Réseau de recherche en micro et nanotechnologies (RMNT) devenu le Réseau national en nanosciences et en nanotechnologies (R3N)

2.1. Le RMNT

En 1999, le Réseau de recherche en micro et nano technologies (RMNT) a été créé afin de financer des projets de recherche menés en partenariat entre des laboratoires académiques et des entreprises dans les domaines des micro et nanotechnologies. C'était l'un des Réseaux de recherche et d'innovation technologique (R2IT), dont la création a été annoncée lors des Assises de l'innovation en 1998 et confirmée par le Comité interministériel de la recherche scientifique et technologique (CIRST) en 1998 et 1999. Ces réseaux ont pour but de favoriser, sur des domaines jugés prioritaires par le gouvernement, des transferts technologiques entre la recherche publique et les entreprises.

Le RMNT était piloté par un comité d'orientation composé de 19 membres représentant les laboratoires publics et les industriels.

Le fonctionnement permanent du réseau était assuré par un bureau exécutif (14 membres) dont le secrétariat était géré par le CEA/Leti à Grenoble et par huit antennes régionales. Les projets étaient instruits par un bureau exécutif selon une procédure de demande spontanée et labellisés trois fois par an par le comité d'orientation.

Le ministère de l'Économie, des finances et de l'industrie, le ministère de la Jeunesse, de l'Éducation nationale et de la recherche, et l'Anvar étaient associés au financement de ce réseau. Sont membres du réseau : des laboratoires de recherche publics du CEA, de grands groupes industriels (Alcatel...) et des PME.

Le champ d'application du RMNT concernait le dimensionnement, le fonctionnement, la fabrication collective et la caractérisation d'objets de très petites dimensions pouvant aller jusqu'à une taille moléculaire. Il faisait appel à plusieurs disciplines : électronique, mécanique, optique, chimie, biologie...

Les priorités assignées à ce réseau étaient de :

- rassembler des compétences ;
- faire émerger des projets à finalité industrielle ;
- résoudre des problèmes technologiques ;
- impliquer fortement les PME/PMI.

Les principes de fonctionnement qui en découlaient étaient que :

- l'initiative des projets soit du ressort des acteurs (procédure *bottom up*) ;
- le partenariat entre au moins une entreprise et un établissement de recherche public soit obligatoire ;
- les projets soient labellisés par le réseau ;

- les financements publics soient accessibles au travers des dispositifs d'aide existants (ministères, Anvar...) et différenciés selon la nature des projets labellisés et des partenaires.

Faire émerger et suivre des projets coopératifs innovants à finalité industrielle :

- en répondant à la demande économique ;
- en favorisant les coopérations et les transferts entre la recherche et l'industrie ;
- en suscitant la création et la croissance de jeunes entreprises ;
- en contribuant à l'animation de la communauté scientifique et technique.
- Pour ce faire, le réseau :
 - identifiait les verrous technologiques et les besoins du monde économique ;
 - labellisait, après expertise, des projets coopératifs innovants qu'il soumettait aux pouvoirs publics pour financement éventuel ;
 - animait des rencontres et stimulait les échanges.

Les travaux poursuivis au sein des 51 projets depuis 1999, dont la moitié environ était coordonnée par des PME et développée par environ 200 partenaires du milieu industriel et du milieu de la recherche publique, concernaient les domaines de recherche et d'innovation en biotechnologie, microélectronique, optoélectronique, puissance et microénergie, microcomposants, nano assemblage, connectique... L'aide des pouvoirs publics est estimée à 42 M€ depuis le lancement du réseau.

Parmi les R2IT, au moins trois autres réseaux concourent, par leur secteur d'activité à développer la recherche en N&N. Il s'agit du Réseau national matériaux et procédés (RNMP) dont l'un des projets concerne le renforcement des performances des matériaux par nanostructuration ; le Réseau national des technologies pour la santé (RNTS) dont les activités sont au carrefour de la physique, de la chimie, de la biologie et de l'informatique, et par conséquent des nanotechnologies ; le Réseau national de recherche en télécommunication (RNRT) qui s'intéresse au futur de l'Internet, aux prochaines générations de téléphones mobiles multimédia, aux constellations de satellites...

2.2 Le R3N

En 2005, le RMNT et l'ACI Nanosciences - l'action concertée initiative en nanosciences lancée en 2002 pour soutenir les projets de recherche fondamentale dans ce secteur, à travers des partenariats entre laboratoires académiques - ont été fusionnés pour former le Réseau national de recherche en nanosciences et nanotechnologies (R3N).

La mise en place du R3N comme RRIT de deuxième génération doit répondre à trois séries d'objectifs :

- pour les laboratoires et les entreprises, il s'agit de développer les connaissances scientifiques et le savoir-faire technologiques, de contribuer au développement économique, d'optimiser l'effort national de recherche par la concertation, d'accroître le succès aux appels d'offre du PCRD et de créer des masses critiques sur les thématiques principales en relation avec les pôles de compétitivité ;
- pour le grand public, l'objectif est de diffuser les connaissances, de susciter des vocations et de mesurer l'impact sociétal des N&N ;
- pour l'État, le R3N doit faciliter sa réflexion stratégique en jouant un rôle de conseil.
- Les domaines d'actions du R3N sont regroupés selon trois axes :
- un axe stratégique élaboré autour d'une réflexion alimentée par une veille technologique et scientifique dans les N&N ;
- un axe orienté sur la recherche en partenariat avec l'ANR pour assurer les financements des projets sélectionnés de recherche fondamentale effectués par des laboratoires publics ou privés ; contribuer au financement de projet de recherche technologique impliquant un effort commun des laboratoires et des entreprises ; participer au financement des moyens lourds et infrastructures de recherche ; supporter les nouvelles études d'impact sociétal ;
- un axe propre à la communication, effectué en lien avec l'ANR : organisation de journées annuelles, animation nationale, support de formation, diffusion de la connaissance.

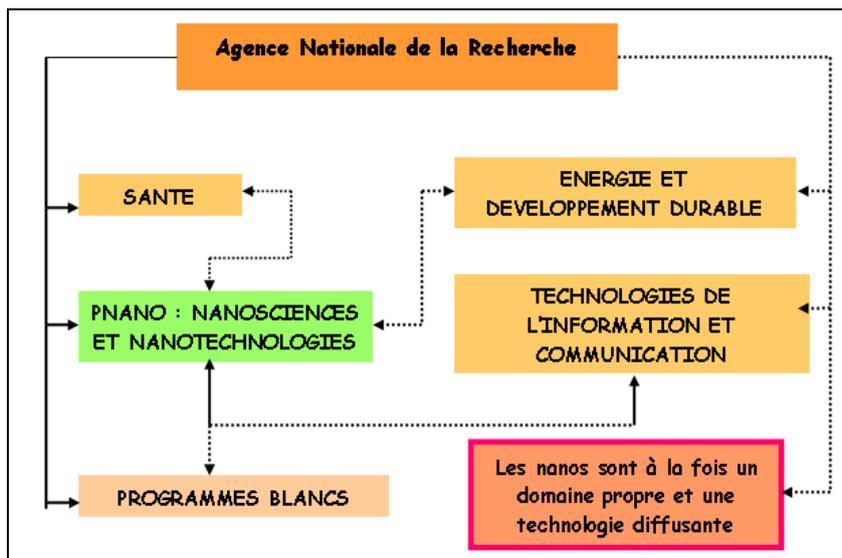
Le R3N a bénéficié d'un budget en forte progression qui lui a permis notamment d'atteindre ses principaux objectifs : mise en place de structures de regroupement des communautés de recherche publique et privée, sélection des appels ANR 2005, 2006 et 2007, mise en place de nouvelles thématiques (simulation en 2005 et impacts sociétaux en 2007), suivi et évaluation des projets, organisation des J3N en 2006 et 2007 et de conférences, participation aux réflexions sociétales (impact sur la santé, réflexions éthiques)...

Le R3N a cependant rencontré quelques difficultés relevant principalement des problèmes suivants :

- une organisation nationale qui manque de moyens propres et qui reposent sur le bénévolat et les bonnes volontés ;
- l'ANR est devenu le principal interlocuteur en lieu et place des ministères de la recherche et de l'industrie ;

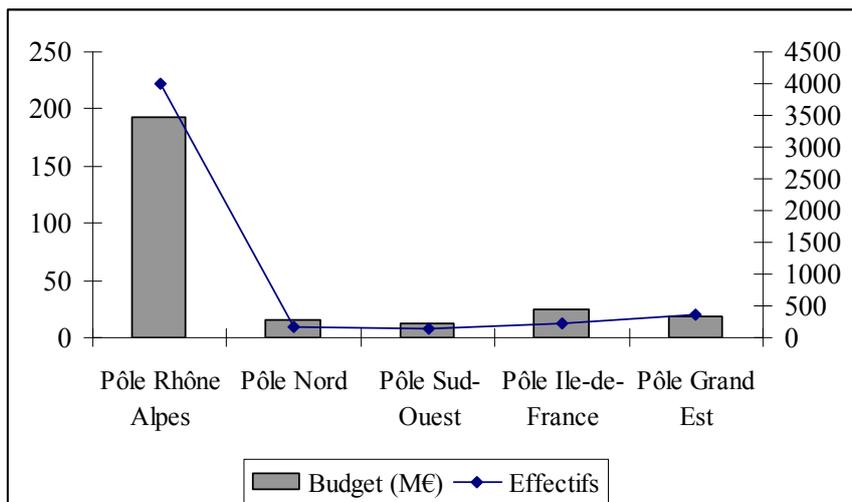
- le R3N est en redondance partielle avec certaines structures progressivement mises en place par l'ANR (comité de pilotage, d'évaluation...);
- ses missions se recoupent avec d'autres organisations du secteur (C'nanos, OMNT);
- les moyens d'action ne sont pas assez déployés en direction des PME;
- un budget de fonctionnement qui est arrivé tardivement et limité (fin 2006) empêchant de lancer de véritables opérations de réflexion stratégique ou de communication (création du site web...).

Schéma 13 : Positionnement R3N dans le cadre de l'Agence nationale de la recherche

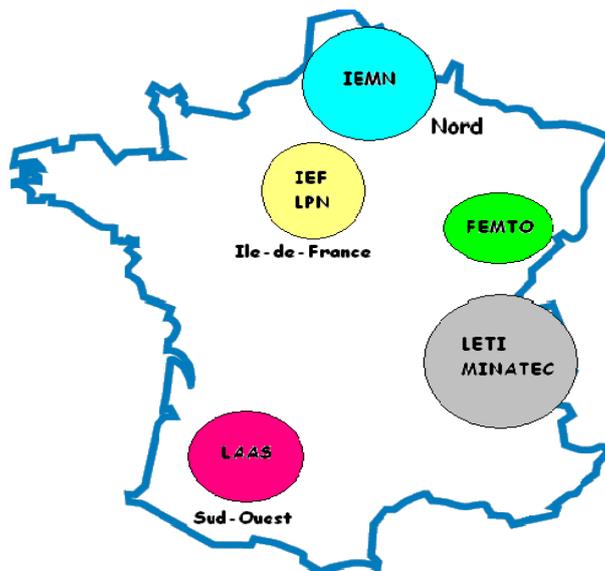


Source : Audition de M. Gouzenes - ST-Microélectronics.

Graphique 6 : Comparatif des investissements et des effectifs des cinq pôles géographiques regroupant les centrales technologiques du premier cercle

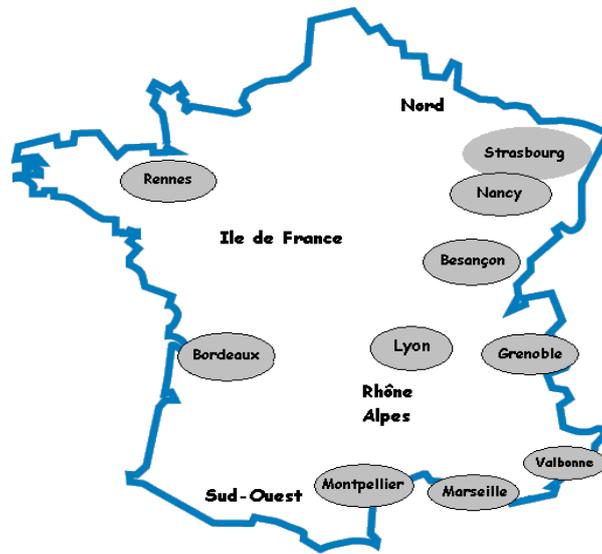


Carte 4 : Centrales technologiques du premier cercle



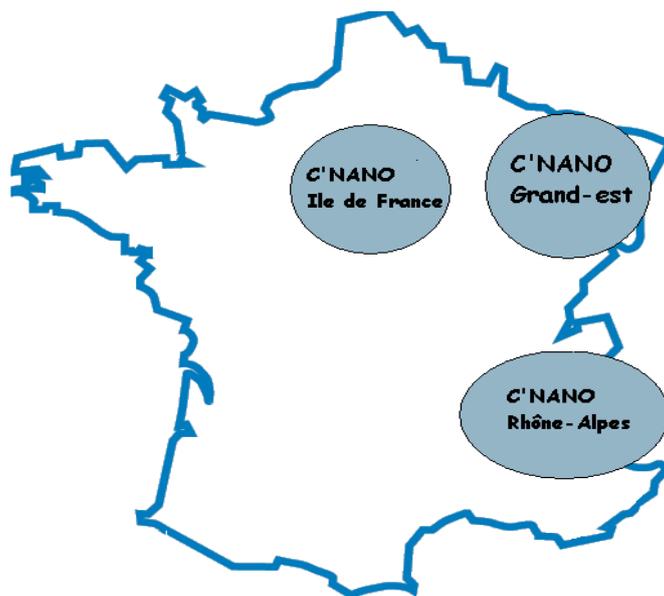
Source : C'nano Nord Ouest.

Carte 5 : Centrales technologiques du second cercle



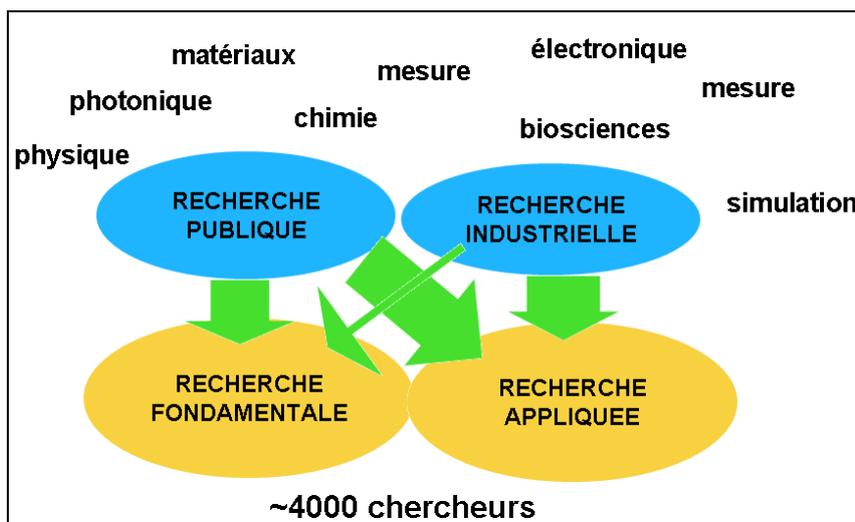
Source : C'nano Nord Ouest.

Carte 3 : Pôles de Compétences en Nanosciences



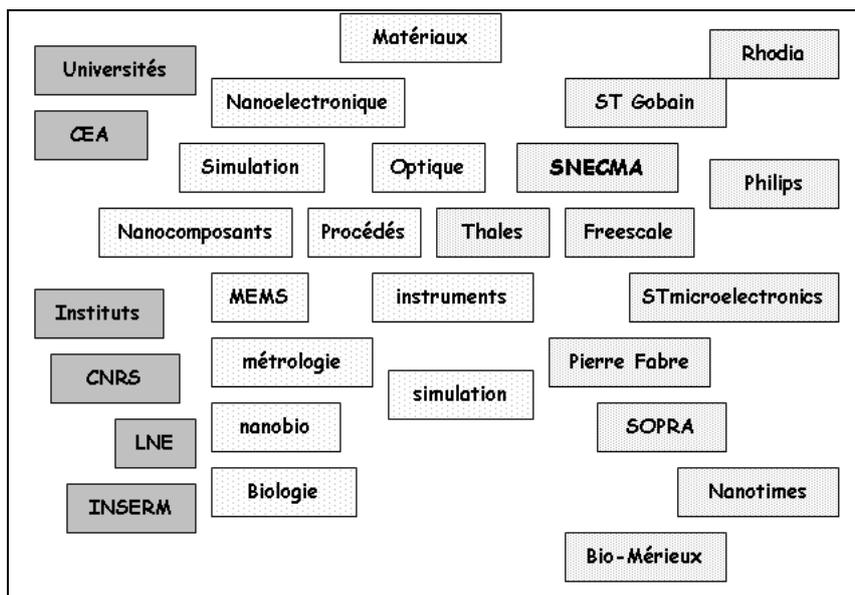
Source : C'nano Nord Ouest.

Schéma 14 : La communauté française de la recherche en nanosciences et nanotechnologies



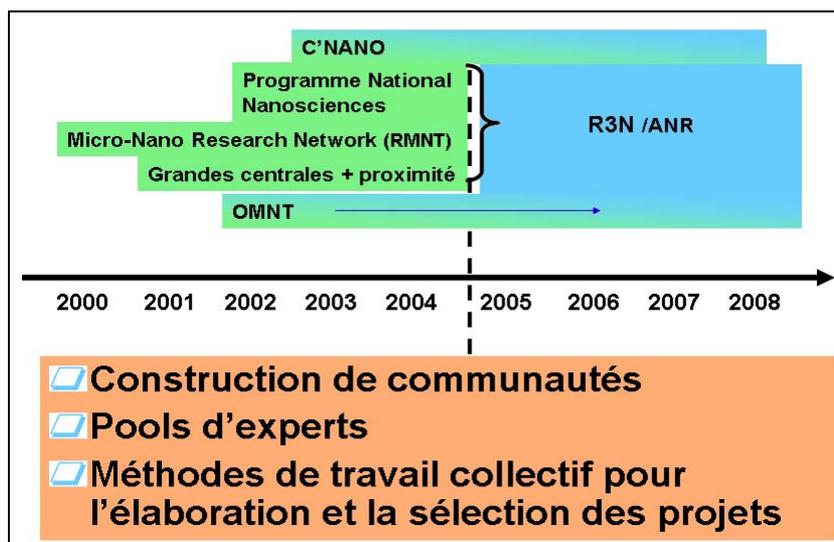
Source : Audition de M. Laurent Gouzenes - « Présentation du réseau R3N ».

Schéma 15 : Une communauté variée



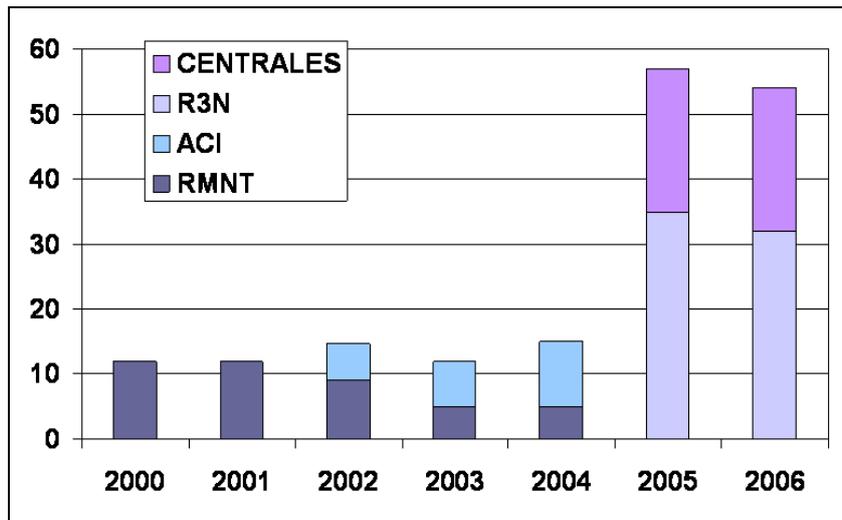
Source : Audition de M. Laurent Gouzenes - « Présentation du réseau R3N ».

Schéma 16 : Le R3N capitalise sur l'expérience



Source : Audition de M. Laurent Gouzenes - « Présentation du réseau R3N ».

Graphique 7 : Un budget en forte expansion



Source : Audition de M. Laurent Gouzenes - « Présentation du réseau R3N ».

Fiche n° 5 : budget français de R&D

La délimitation du budget public français de R&D dans l'ensemble des N&N est difficile à cerner car il s'agit d'un domaine au contour structurellement peu précis, prégnant dans de nombreux domaines (physique, chimie, biologie...) et pluridisciplinaire. Il n'y a pas non plus d'institut national spécifiquement dédié à ces domaines.

Le financement consiste en des budgets récurrents fournis par les organismes de recherche et des financements sur projets. L'étude réalisée en janvier 2004 par l'Inspection générale de l'administration et de l'Éducation nationale et de la recherche, sur *Le financement des N&N, l'effort des pouvoirs publics en France, comparaisons internationales* a rencontré les mêmes difficultés, de sorte que les chiffres seraient à apprécier avec une marge d'interprétation d'environ 20 %. Les éléments ci-dessous sont donc à interpréter en fonction de ces considérations.

A - LA RECHERCHE PUBLIQUE

Le financement public de la recherche dans le domaine des nanotechnologies en France est en croissance continue : environ 10 % par an. De 2001 à 2005, 1,05 Md€ ont été consacrés à la R&D publique dans les secteurs des nanomatériaux, de la nanoélectronique, de l'électronique moléculaire et des nanotechnologies.

Le financement public français en nanotechnologies en 2005 est de l'ordre de 277 M€ et la répartition est la suivante :

- 26,5 % pour le ministère délégué à l'Enseignement supérieur et à la recherche (MEsR) et les universités (73,5 M€) ;
- 31,6 % pour le CNRS (87,7 M€) ;
- 2,7 % pour l'INSERM (7,5 M€) ;
- 14,5 % pour le MINEFI (40,1 M€) ;
- 24,5 % pour le CEA (68,1 M€) ;
- 0,1 % pour l'OSEO-Anvar (0,4 M€).

La R&D industrielle est soutenue par le MINEFI (ministère de l'Économie, des finances et de l'industrie). À l'époque, l'Agence pour l'innovation industrielle (AII) soutenait l'innovation et le transfert de technologies auprès des porteurs de projets, laboratoires, créateurs d'entreprises et PME tant en France qu'à l'international.

Il existe en France des organismes spécifiquement chargés de promouvoir la R&D, l'information et/ou le transfert des nanotechnologies vers l'industrie. On peut signaler l'existence :

- du Réseau français de recherche de soutien au développement de projets en micro et nanotechnologies (RMNT) ;

- du Réseau national en nanosciences et nanotechnologies (R3N) ;
- du portail nanosciences du ministère de la Recherche (Nanomicro) ;
- d'un Observatoire des micro et nanotechnologies (OMNT) créé par le CEA et le CNRS.

En 2005, dans le cadre du FNS (Fondation nationale pour la science), un important programme multidisciplinaire « Nanosciences et Nanotechnologies » a permis de lancer de nombreux projets et d'engager la structuration de la recherche française dans ce domaine. Ce programme est aujourd'hui géré par l'Agence nationale de la recherche (ANR) et coordonné par le Réseau national pour les nanosciences et nanotechnologies (R3N). Il prévoit un investissement de 210 M€ sur 3 années, de 2005 à 2007 et se concentre sur quatre thématiques prioritaires : nano-objets, nano-composants, nanobiosciences et nanomatériaux.

En 2005, l'ANR a lancé un Programme national en nanosciences et nanotechnologies (PNANO) dont la mise en œuvre s'est appuyée également sur le Réseau R3N. Ce programme se situe dans le prolongement du réseau RMNT et du Programme national nanosciences.

En 2005, la France a décidé d'initier les « pôles de compétitivité » afin de faciliter le transfert technologique. Minalogic est le pôle dans le secteur des nanotechnologies.

De même, le label « Carnot », instauré en 2005, s'adresse aux laboratoires, instituts ou établissements de recherche ainsi qu'aux entreprises. Dans le domaine des nanotechnologies, cinq labels Carnot ont été attribués : FEMTO, IEMN, IOTA (Institut d'optique théorique et appliquée), LAAS et LETI (cf. fiche n° 3 : Les infrastructures françaises de recherche). Ce dispositif, qui s'inspire d'expériences réussies dans plusieurs pays européens (telles que les instituts Fraunhofer en Allemagne), améliorera la visibilité de la recherche technologique française en donnant aux structures labellisées « Carnot » une image à la fois de compétence et d'efficacité.

B - SYNTHÈSE DES FINANCEMENTS PUBLICS EN FRANCE

Les tableaux présentés ci-dessous proviennent du rapport de l'ambassade de France en Allemagne *Les nanotechnologies : analyse comparative de l'état actuel des efforts institutionnels en Allemagne, en Europe et dans le reste du monde* du 15 juin 2007.

1. Le tableau ci-dessous présente une synthèse des financements publics des nanotechnologies en France en M€

	2001	2002	2003	2004	2005
Programmes « Nano » à part entière	143,5	165,1	210,1	255,0	277,4
Programmes « Nano/Micro » indifférentiables	371,9	398,2	426,8	430,4	434,1
Total (en M€)	515,4	563,3	636,9	685,4	711,5

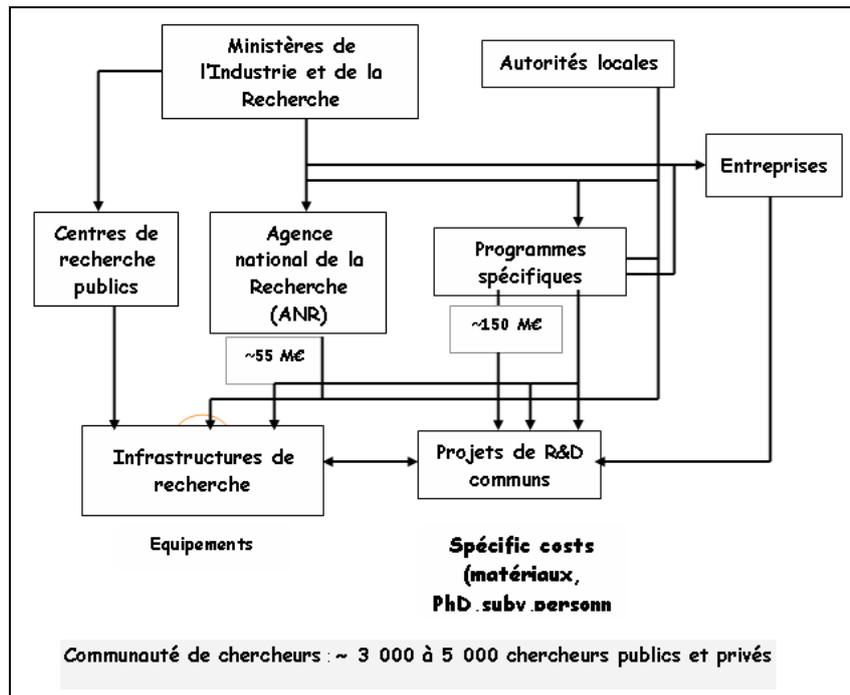
2. Détail du financement des programmes « Nano » à part entière

	2001	2002	2003	2004	2005
État (Ministères)					
FNS (ACI nanosciences)	2,4	6,9	7,7	8,0	8,0
FRT (réseau de centrales)			15,8	30,0	30,00
Recherche universitaire	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Doctorants (alloc.Rech.)	2,4	5,0	10,9	17,3	21,0
Ministère de l'Industrie	27,6	34,8	47,0	45,0	45,0
Ministère de la Défense			1,0	1,3	1,7
Établissements de recherche					
CNRS	81,1	84,3	84,3	86,0	87,7
CEA	16,1	19,0	29,0	51,9	68,1
INSERM	5,4	5,9	6,3	7,1	7,5
ANVAR	0,5	1,2	0,1	0,4	0,4
Total (en M€)	143,5	165,1	210,1	225,0	277,4

3. Détail du financement des programmes « Nano/Micro » indifférentiables

	2001	2002	2003	2004	2005
État (Ministères)					
Fonds de la recherche technologique (RMNT + divers...)	10,4	9,1	5,8	5,0	5,0
Recherche universitaire	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Doctorants (CIFRE)	1,1	1,3	1,5	1,7	1,8
Ministère de l'Industrie	64,4	81,2	93,0	90,0	90,0
Ministère de la Défense			20,0	20,0	20,0
Établissements de Recherche					
CNRS	176,3	183,5	183,3	186,3	189,2
CEA HT	85,0	97,5	103,9	109,4	114,4
ANVAR HT	2,3	2,6	0,2	1,2	1,2
CPER (Contrat de Plan État région)	7,0	6,2	4,3	3,5	1,1
Total (en M€)	371,9	398,2	426,8	430,4	434,1

Schéma 17 : Financement de la recherche en nanotechnologies



Source : Audition de M. Laurent Gouzenes, « Présentation du réseau R3N ».

Fiche n° 6 : la recherche dans l'industrie

La délimitation des budgets des entreprises rencontre les mêmes difficultés que celle de la recherche publique : à savoir la définition des périmètres et l'absence de lignes spécifiques pour comptabiliser les dépenses de ce domaine.

Le marché mondial des nanotechnologies, encore dans sa phase d'émergence, était estimé en 2001 à 40 milliards d'euros. En 2010-2015, les enjeux économiques liés à l'avènement des nanotechnologies atteindraient 1 000 milliards d'euros.

C'est donc bien un enjeu stratégique pour la France en termes de croissance et de valorisation industrielle, qui permettra d'asseoir la compétitivité nationale sur des bases durables.

Les grands secteurs concernés sont :

- la santé et les cosmétiques (nanoparticules) ;
- les technologies de l'information et de la communication (composants semi-conducteurs) ;
- les matériaux et, à travers eux, l'énergie, l'environnement et les transports.

1. La faiblesse des investissements industriels dans les N&N au niveau européen

Le réseau thématique « Nanoforum » financé par l'Union européenne pour le développement des N&N sur le continent, a identifié la faiblesse de l'investissement en capital risque et du taux de brevetage, comme deux des obstacles à la commercialisation des nanotechnologies en Europe.

Ce constat induit qu'une des premières priorités consiste à accroître la proportion très faible (seulement 3,5 %) du capital risque investi en Europe dans les N&N au niveau mondial.

Bien que le financement public soit comparable à celui des États-Unis, le nombre de brevets déposés par les acteurs européens du secteur est très en retrait par rapport à leurs homologues américains.

L'investissement industriel dans les N&N ne représente également que la moitié de celui des États-Unis et du Japon.

Selon le rapport intitulé *Nanotechnology in Europe - ensuring that the EU competes effectively on the world stage*, le faible niveau de capital risque est, en partie, dû au manque d'objectifs adéquats en matière d'investissement c'est-à-dire que les entreprises n'ont pas développé de modèles d'affaires ciblés, manquent d'expérience commerciale et de stratégies de sortie.

Les sources de financements publiques pourraient éventuellement se substituer à celles du capital risque mais les entreprises innovantes ne pourraient plus bénéficier des réseaux du capital risque et de leur expérience à la création (= capital d'amorçage).

La faible productivité des brevets s'explique également par la difficulté à identifier le potentiel commercial de la recherche. L'une des explications de ce phénomène est que la recherche ne s'harmonise pas toujours avec les besoins de l'industrie. Cela pourrait être le résultat d'un manque de coopération et de motivation (les publications étant beaucoup plus appréciées) et de capacité à breveter les produits.

Le faible niveau d'investissement industriel - en dépit du fait que l'Europe dispose de « leaders mondiaux » dans le domaine des nanotechnologies - s'expliquerait selon les auteurs du rapport par une incapacité à activer un intérêt industriel plus vaste : un entrepreneur qui envisage d'investir massivement dans le développement des nanotechnologies, pourrait en être dissuadé en raison des défis liés aux questions éthiques, de santé, de sécurité..., l'empêchant ainsi de prendre pleinement la mesure des occasions offertes par les innovations nanotechnologiques.

Pour pallier la faiblesse de ces investissements, une solution unique pourrait être appliquée : le financement public pour la R&D des N&N doit être suffisamment important pour encourager et entraîner un financement plus large de la part des investisseurs privés. Pour y parvenir, une meilleure compréhension des enjeux industriels et des attentes des consommateurs, doit être transmise en amont aux acteurs de la R&D.

Plusieurs pistes d'actions sont possibles. Par exemple, la mise en place d'une « feuille de route » élaborée conjointement par les acteurs des milieux universitaires et industriels, afin de fixer un axe de recherche répondant aux enjeux économiques et technologiques du futur.

De même, les acteurs de la recherche devraient travailler sur leur capacité à évaluer rapidement la valeur d'un brevet potentiel ce qui inciterait à la production de brevets et de publications.

De plus, une large part de l'industrie européenne n'a pas encore été « activée » en ce sens qu'elle n'a pas encore assimilé les occasions que représentent les nanotechnologies pour ses activités et qu'elle n'a pu identifier les partenaires avec lesquels la collaboration est nécessaire pour tirer pleinement profit de ces occasions.

2. Le cas particulier du pôle de compétitivité mondial Minalogic

Ce pôle anime et structure au sein du territoire Grenoblois et plus largement Isérois, un espace majeur d'innovation et de compétences spécialisées dans la création, la mise au point et la production de biens et services autour des solutions miniaturisées intelligentes pour l'industrie. Il repose sur le mariage des micro-nanotechnologies et de l'intelligence logicielle embarquée.

Minalogic s'adresse à tous les secteurs d'activités, y compris traditionnels, et recherche de nouvelles valeurs ajoutées enrichissant les produits liés à la santé, l'environnement, la mobilité, les médias, les textiles...

Le pôle est adossé à « l'écosystème grenoblois », reconnu internationalement et qui articule le triptyque « recherche - formation – industrie » avec le tandem « acteurs publics – acteurs privés », dans le cadre de partenariats entièrement dédiés à l'innovation et à la créativité.

Minalogic a donc été créé pour associer la puissance d'un des centres mondiaux leaders à la fois sur les micro et nanotechnologies (Minatec) et l'intelligence logicielle embarquée dont les plus grandes entreprises sont présentes à Grenoble. On y trouve l'une des plus fortes concentrations de chercheurs de niveau mondial, dans des laboratoires ou instituts publics et privés, en lien avec les entreprises et porteurs d'une culture du travail partenarial et du résultat.

Il associe grands groupes et PME, centres de recherche et de formation, État et collectivités territoriales, dans une dynamique d'innovation et au sein d'une gouvernance participative qui vise, pour les différents partenaires, à développer des synergies, travailler et innover ensemble.

Le pôle Minalogic entend ainsi contribuer non seulement au développement d'une filière technologique, mais aussi la mettre au service de la compétitivité et de la différenciation du secteur industriel, ce qui peut limiter les tentations de délocalisations. Il permet de déplacer la compétition industrielle du terrain exclusif des coûts de production, source de délocalisations des entreprises, vers le terrain beaucoup plus favorable de l'innovation dans les produits, de la rapidité de leur mise sur le marché et de la fréquence de renouvellement des services offerts.

Le pôle représente 30 000 emplois en Isère, dont plus de 25 000 dans l'industrie. On compte près de 9 000 chercheurs travaillant sur ces thématiques, répartis pour moitié dans la recherche publique et pour moitié dans l'industrie.

Minalogic est structuré autour de 2 composantes technologiques :

- le *cluster*¹¹ micro-nanotechnologies : micro-nano technologies, y compris matériaux, Conception assistée par ordinateur (CAO) et filières industrielles ;
- le *cluster* systèmes embarqués sur puce (EmSOC) : logiciels et systèmes embarqués sur puce et filières industrielles de valorisation des solutions miniaturisées intelligentes.

¹¹ *Cluster* est un mot anglais faisant référence à la notion d'ensemble, de paquet, de groupe... En économie, il signifie un regroupement, généralement sur un bassin d'emploi, d'entreprises du même secteur, ce qui est source d'externalités positives, dites de réseau.

Ces *clusters* sont composés d'acteurs de l'industrie, de la recherche et de l'enseignement supérieur, membres de l'association Minalogic partenaires, réunis autour d'un domaine technologique s'inscrivant dans la stratégie du Pôle. Les projets labellisés dans le cadre du projet Minalogic répondent à quatre enjeux :

- anticiper les ruptures technologiques dans le domaine de la nanoélectronique ;
- maîtriser la conception des circuits complexes ;
- interfacer les puces avec leur environnement ;
- maîtriser les outils de développement des solutions miniaturisées intelligentes.

Conclusion

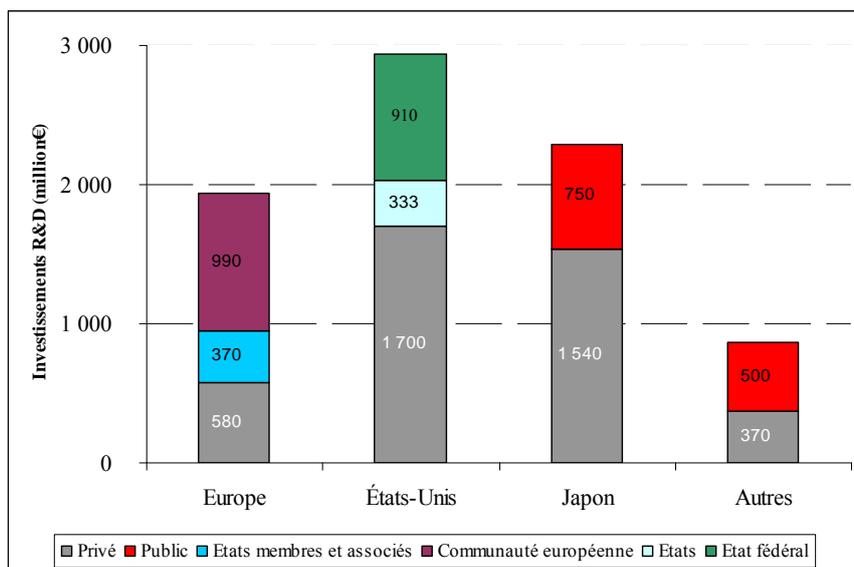
L'effort public en R&D dans le domaine des N&N est conséquent en France. La différence majeure avec les États-Unis et le Japon (respectivement à la première et deuxième place mondiale en terme d'investissements cumulé public - privé) provient de ce que, dans ces deux pays, le soutien privé à l'effort de recherche fait plus que doubler la mise.

De plus, le nombre de « start-up », de PME ou d'entreprises moyennes dans le secteur des « nanos » est très faible en France. Il semble que les modes d'incitation à leur création ne soient pas appropriés ou n'aient pas encore porté leurs fruits.

Contrairement à l'ex AII, l'Oseo-Anvar¹² qui n'a pas de politique spécifique sur les nouvelles technologies, semble peu présente sur cette thématique. Le financement des entreprises innovantes (ce qu'on appelle communément le capital-risque) n'est pas ancré dans le mode de pensée de nos investisseurs. Le développer est une nécessité que nous aborderons dans le projet d'avis.

¹² Oseo-Anvar est un établissement public de l'État, qui a pour mission de financer et d'accompagner les PME, en partenariat avec les banques et les organismes de capital-investissement, dans les phases les plus décisives du cycle de vie des entreprises. L'Agence de l'innovation industrielle (AII) fait désormais partie d'OSEO innovation depuis le 1^{er} janvier 2008.

Graphique 8 : Dépenses publiques et privées dans les nanosciences et nanotechnologies dans le monde en 2004



Fiche n° 7 : les nanotechnologies en Europe

L'Union et la Commission européenne ont parfaitement identifié les enjeux majeurs portés par les nanotechnologies : recherche et relation sciences-société. Les instruments dont s'est dotée l'Union, sont toutefois limités à la subvention de programmes de recherche et d'actions d'information, qui sont décrits ci-après.

A - STRATÉGIE EUROPÉENNE EN FAVEUR DES NANOTECHNOLOGIES

Dans sa communication *Vers une stratégie européenne en faveur des nanotechnologies*, adoptée le 12 mai 2004, la Commission a émis une série de recommandations et proposé des initiatives visant à stimuler la recherche et le développement sur les nanotechnologies en Europe. Ses principales considérations sont la consolidation des efforts de recherche publics et privés, ainsi que l'amélioration des transferts de technologies afin de commercialiser des produits viables à partir des découvertes scientifiques.

La communication évoque également la nécessité d'identifier les inquiétudes en matière de sécurité, de santé et de risques écologiques liées aux nanotechnologies afin d'y répondre. Cinq axes dynamiques y ont été recensés.

- **Recherche et développement : passer à la vitesse supérieure.** Il importe non seulement de maintenir le niveau d'excellence en recherche et développement, mais également d'intensifier les investissements dans les activités de recherche utiles à l'industrie, tout en consolidant la recherche au niveau communautaire et en renforçant les politiques nationales afin d'atteindre une masse critique.
- **Infrastructures : créer des « pôles d'excellence » européens.** Le développement des nanotechnologies est de plus en plus tributaire d'équipements et d'instruments de pointe, qui jouent également un rôle essentiel pour démontrer que les résultats de la recherche peuvent devenir des produits et des procédés. Pour renforcer le développement des nanosciences, il est indispensable d'investir dans une vaste gamme d'installations, d'instruments et d'équipements sophistiqués.
- **Investir dans les ressources humaines.** Afin de concrétiser le potentiel des nanotechnologies, l'UE doit disposer d'une communauté de chercheurs et d'ingénieurs pluridisciplinaires capable de produire des connaissances et de veiller à ce qu'elles soient ensuite transférées vers l'industrie. À cet égard, il faut encourager les formations universitaires supérieures tout au long de la vie.

- **Innovation industrielle, passer des connaissances à la technologie.** Il s'agit de stimuler l'innovation et l'esprit d'entreprise dans le domaine des nanotechnologies en Europe. Le secteur des nanotechnologies est tributaire de trois facteurs supplémentaires, à savoir : la brevetabilité des connaissances fondamentales, la réglementation et la métrologie¹³.
- **Intégrer la dimension sociétale.** Le but est d'anticiper et d'intégrer pleinement les considérations d'ordre sociétal au processus de la recherche, en étudiant les avantages, les risques et les conséquences profondes pour la société. Dans ce contexte, le dialogue avec les citoyens et les consommateurs concernant la recherche sur les nanotechnologies, est fortement encouragé.

Une consultation publique sur la communication a été organisée entre août et octobre 2004. Selon les résultats de cette consultation, les acteurs du secteur s'accordent à dire que les nanotechnologies auront un impact conséquent sur l'industrie européenne et ses citoyens dans les dix ans à venir.

Sur la base de l'expérience acquise dans le cadre du 6^{ème} programme-cadre de recherche, L'Union européenne a estimé qu'il était nécessaire de mettre en place une coopération internationale renforcée sur les nanosciences et les nanotechnologies avec des pays économiquement plus avancés, afin de partager des connaissances et tirer parti de la masse critique ; mais aussi avec des pays moins avancés, pour leur garantir un accès aux connaissances et nouvelles technologies.

B - UN PLAN D'ACTION POUR L'EUROPE POUR LA PÉRIODE 2005-2009

Le 7 juin 2005, la Commission a adopté **un plan d'action pour l'Europe 2005-2009** définissant des mesures pour la mise en œuvre immédiate d'une stratégie de Nanosciences et nanotechnologies (N&N) sûre, intégrée et responsable. Ces mesures consistent entre autres à :

- stimuler l'exploitation industrielle de la R&D dans les N&N en amenant les parties prenantes à échanger leurs meilleures pratiques pour la commercialisation des N&N ;
- supprimer les entraves sociétales, politiques et psychologiques qui freinent l'esprit d'entreprise en Europe et faciliter les accords de licence entre l'industrie et les organismes de R&D ;
- élaborer des normes communes ;
- renforcer le financement des nanotechnologies dans le 7^{ème} PCRDT, et soutenir notamment la recherche liée à l'impact de ces technologies sur la santé humaine et l'environnement ;

¹³ La métrologie est la science de la mesure au sens le plus large.

- proposer une aide spécifique dans le domaine de la nanoélectronique en convergence avec la place prioritaire réservée aux technologies de l'information et de la communication au sein du 7^{ème} PCRDT ;
- encourager le développement de plateformes technologiques européennes afin de réaliser un agenda de R&D stratégique pour les secteurs N&N les plus importants pour la compétitivité européenne ;
- développer une infrastructure de recherche dans les N&N et des pôles d'excellence à l'échelle européenne ;
- établir un véritable dialogue avec les citoyens et informer toutes les parties prenantes des progrès réalisés et des bénéfices prévus des N&N ;
- garantir que les principes éthiques seront respectés et que les préoccupations et attentes des citoyens seront prises en compte ;
- intégrer l'évaluation des risques pour la santé humaine, l'environnement, les consommateurs et les travailleurs à tous les stades du cycle de vie de cette technologie ;
- créer un « prix européen interdisciplinaire pour les N&N » récompensant les meilleures pratiques.

Avec un budget total de 1,43 milliard d'euros pour 2002-2006, la priorité numéro trois du 6^{ème} PCRD rassemble les nanotechnologies, la science des matériaux et leur fabrication, ainsi que d'autres technologies fondées sur les sciences biologiques ou environnementales. Sur cette somme totale, plus de 700 millions d'euros ont été spécifiquement consacrés aux nanotechnologies. La Commission alloue pour le 7^{ème} PCRDT environ 3,5 milliards d'euros pour la recherche sur les nanosciences et les nanotechnologies pour la période 2007-2013. La France devrait bénéficier en moyenne de 10 % de cette dotation soit environ 50 millions d'euros par an. Ce qui équivaut au budget de l'ANR dans le domaine des N&N.

C - LANCEMENT D'UN RÉSEAU EUROPÉEN DANS LES N&N

Dans les domaines des N&N, il existe deux réseaux au niveau européen, mis en place dans le cadre d'Eranet. Les réseaux Eranet ont été lancés par la Commission européenne pour encourager l'implication des États membres à travers des programmes nationaux. Il s'agit de créer, dans une thématique donnée, un consortium d'organisations ou d'agences nationales de financement de la recherche afin de coordonner leurs programmes, mettre en commun leurs ressources et financer des projets de recherche multinationaux.

Les deux réseaux Eranet dans les N&N sont :

- **NanoSci-Era** : réseau Eranet en nanosciences, il finance des projets de recherche fondamentale à long terme dans toutes les thématiques, tout en favorisant l'interdisciplinarité (physique, chimie, science des matériaux, biologie). NanoSci-Era compte 13 partenaires et 5 partenaires associés, appartenant à 12 pays. Au titre de l'année 2006,

12 projets ont été sélectionnés pour un montant total de 10 millions d'euros. Quatre projets sont coordonnés par des chercheurs français.

- **MNT Eranet** : réseau Eranet en micro et nanotechnologies, il soutient des projets de recherche appliquée dans un grand nombre de thématiques (nanoélectronique, nanobiotechnologie, micro et nanosystèmes, composants optiques, nanomatériaux, sources d'énergie, capteurs, instrumentation, modélisation de simulation). MNT Eranet est constitué de 17 agences nationales ou régionales de financement de la recherche.

Malheureusement, les montants alloués en font des réseaux de très faible envergure.

D - LANCEMENT DE DIVERSES INITIATIVES

En juillet 2002, la Commission a lancé le **Nanoforum** - réseau thématique paneuropéen doté de 2,7 millions d'euros - avec pour objectif de renforcer la compétitivité économique de l'UE dans le domaine des N&N. Ce portail d'informations fournit un cadre destiné à encourager l'adoption des nanotechnologies par les acteurs économiques et de faciliter le développement d'une nouvelle forme de recherche nanotechnologique orientée vers l'industrie en Europe. Le Nanoforum a fonctionné tout au long de la période du 6^{ème} PCRD (2002-2006) et se poursuit actuellement avec de nombreuses publications disponibles sur le site internet.

Nanologue est un projet lancé et financé par la Commission en mars 2005 afin de développer la recherche de pointe sur les implications sociales, éthiques et juridiques des nanotechnologies. Il doit faciliter le dialogue et délivrer des lignes directrices aux parties prenantes et développeurs des nanotechnologies sur la manière pour la société et l'économie d'en tirer le plus de bénéfices. Le projet s'est achevé en août 2006.

Financé au titre du 6^{ème} PCRD, il a donné lieu à la mise au point du « Nanomètre », un instrument basé sur l'internet permettant aux chercheurs et créateurs de produits de mener de brèves évaluations sociétales des applications nanotechnologiques avant leur mise sur le marché. Les promoteurs de cet outil considèrent que son utilisation permettrait d'examiner « les risques et bénéfices de telle ou telle application nanotechnologique selon sept indicateurs éthiques, sociaux et juridiques, parmi lesquels les bienfaits sociaux, la santé et l'environnement, les besoins en ressources, la confidentialité et la transparence ». Nanomètre a également donné lieu à la mise au point d'un second outil comprenant trois scénarios « réalistes » sur la manière dont les nanotechnologies pourraient évoluer d'ici à 2015.

La plateforme technologique « **NanoMédecine** » a été inaugurée en septembre 2005. Elle vise à développer un agenda stratégique pour la recherche sur la nanomédecine en Europe. La **nanomédecine** est l'application médicale de la nanotechnologie et de la recherche apparentée. Elle couvre notamment les domaines de l'administration ciblée de médicaments et les possibles applications futures de la nanotechnologie moléculaire.

E - L'UNION EUROPÉENNE A ADOPTÉ EN 2008 UN CODE DE BONNE CONDUITE POUR UNE RECHERCHE RESPONSABLE EN N&N

Le 19 juillet 2007, la Commission a lancé une consultation sur un code de conduite pour une recherche responsable en nanosciences et nanotechnologies. Cette consultation a pour but de collecter des informations pour une recommandation spécifique que les dirigeants européens ont prévu de présenter avant la fin de l'année 2007.

Alors que les produits nanotechnologiques sont fabriqués en masse dans l'industrie alimentaire, l'électronique et la cosmétique, le débat politique sur la réglementation des nanotechnologies débute à peine. Le manque de connaissances scientifiques et l'absence de preuves sur la fiabilité des nanotechnologies et leurs risques sur la santé, rendent cependant cette réglementation impossible.

Alors qu'à ce jour aucun gouvernement au monde n'a développé de réglementation spécifique sur les nanotechnologies, chacun s'accorde à dire qu'il est nécessaire de mener une recherche plus approfondie sur les risques sanitaires et écologiques des nanoparticules afin de faire en sorte que des catastrophes sanitaires comme celles de l'amiante ne reviennent hanter ni les entreprises de nanotechnologies ni leurs salariés. Dans le cadre de l'élaboration d'un dispositif législatif, l'UE examine actuellement si le domaine des nanotechnologies est déjà couvert ou non par une autre législation communautaire.

La consultation sur le code de conduite invite les représentants de la communauté scientifique, de l'industrie, de la société civile, des décideurs politiques et des médias ainsi que le public en général, à exprimer leurs opinions sur la gouvernance future de ce domaine émergent de la science, qui soulève également des questions d'ordre éthique et relatives aux droits fondamentaux des individus, comme la protection des données personnelles.

Le commissaire chargé des sciences et de la recherche, Janez Potočnik, a déclaré : « *Le processus de consultation lancé aujourd'hui témoigne de l'engagement pris par la Commission de tirer parti du potentiel des nanosciences en mettant en place les garde-fous nécessaires* ».

Selon la Commission, le code invitera les États membres, l'industrie, les universités, les bailleurs de fonds et d'autres parties prenantes à suivre ses principes. La Commission elle-même s'engagera également à les respecter au sein de la politique et des programmes de recherche européens.

La rédaction d'un code de conduite européen pour une recherche responsable en nanosciences et nanotechnologies s'inscrit dans l'ambition de la Commission « *de promouvoir une diffusion équilibrée de l'information sur les nanotechnologies et d'alimenter un dialogue ouvert* ». Le code a été annoncé dans le plan d'action 2005-2009 de l'UE pour les N&N et adopté par la commission européenne le 8 février 2008.

Sept principes orientent le code de bonne conduite :

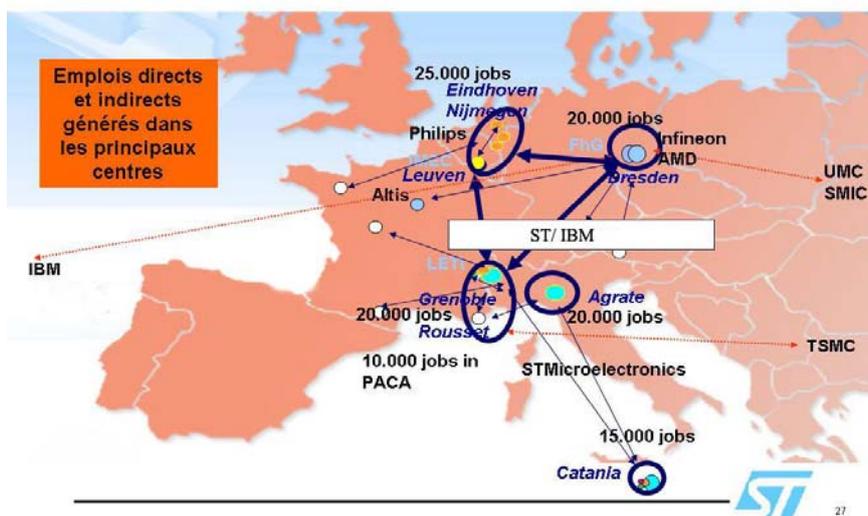
- **la signification** : Les activités de recherche en N&N doivent être compréhensibles par le public. Elles respectent les droits fondamentaux et leur conception, leur mise en œuvre, leur diffusion et leur exploitation servent le bien-être des personnes et de la société ;
- **la durabilité** : Les activités de recherche en N&N sont sûres, respectent les principes éthiques et contribuent au développement durable. Elles ne nuisent ni aux personnes, ni aux animaux, ni aux végétaux, ni à l'environnement et ne constituent pas une menace à leur égard, à l'heure actuelle comme à l'avenir ;
- **la précaution** : Les activités de recherche en N&N sont menées en respectant le principe de précaution, en anticipant les incidences éventuelles de leurs débouchés sur l'environnement, sur la santé et sur la sécurité et en prenant toute précaution utile en fonction du niveau de protection, tout en stimulant le progrès au bénéfice de la société et de l'environnement ;
- **l'inclusion** : La gouvernance des activités de recherche en N&N est guidée par les principes d'ouverture à toutes les parties prenantes, de transparence et de respect du droit légitime d'accès à l'information. Elle permet la participation aux processus de décision de toutes les parties prenantes participant à des activités de recherche en N&N ou concernées par celles-ci ;
- **l'excellence** : Les activités de recherche en N&N répondent aux meilleures normes scientifiques, y compris en termes d'intégrité de la recherche et de bonnes pratiques de laboratoire ;
- **l'innovation** : La gouvernance des activités de recherche en N&N encourage au maximum la créativité, la flexibilité et l'aptitude à anticiper en faveur de l'innovation et de la croissance ;
- **la responsabilité** : Les chercheurs et les organismes de recherche demeurent responsables de l'impact de leur travail sur la société, sur l'environnement et sur la santé humaine.

Le code de bonne conduite fournit également des lignes directrices pour la mise en œuvre de ces sept principes dans le cadre :

- d'une bonne gouvernance de la recherche ;
- du respect du principe de précaution ;
- de la diffusion et du suivi de l'application du code de bonne conduite.

Carte 6 : Présentation du Réseau national en nanosciences et nanotechnologies

L'écosystème européen en nanoélectronique



Source : Audition de M. Laurent Gouzenes, « Présentation du réseau R3N ».

Fiche n° 8 : les comparaisons internationales

La plupart des États dans le monde ont identifié le secteur des N&N comme étant un secteur de ressources scientifiques et technologiques et de croissance pour le futur. Pour ces raisons, ils ont mis en place des financements spécifiques, développé des infrastructures de recherche et de transfert vers l'industrie. Cette fiche présente les structures et l'organisation mises en place par les pays les plus significatifs : les États-Unis, le Japon, l'Allemagne, la Corée du Sud, la Chine, la Russie et l'Inde. Les outils de la politique de la France (centrales de recherche, ANR, budget, réseaux...) sont ainsi également largement utilisés dans ces pays.

A - LE LEADERSHIP DES ÉTATS-UNIS

Les États-Unis sont à ce jour la nation qui investit le plus dans le domaine des Nanosciences et Nanotechnologies (N&N), et qui détient une position de leader aussi bien au niveau de la production scientifique que de la valorisation de la recherche, sous forme de brevets ou de mise en place de *start-up*.

Les efforts de recherche et développement dans le domaine des Nanotechnologies se répartissent entre plusieurs agences fédérales, mais ils sont coordonnés par le programme *National Nanotechnology Initiative* (NNI) mis en place en 2001. Le budget du gouvernement fédéral attribué à ce programme a plus que doublé depuis sa mise en place : il a dépassé 1 milliard de dollars en 2005, et atteindra 1,4 milliards de dollars en 2008.

La répartition de ce budget entre les agences fédérales traduit à la fois :

- un soutien fort à la recherche fondamentale : plus du tiers du budget va à la *National Science Foundation* (NSF) ;
- la volonté de structurer et coordonner les efforts des scientifiques américains, en développant des centres d'excellence pluridisciplinaires sur tout le territoire : 5 soutenus par la NASA, 11 par les *National Institutes of Health* (NIH), 33 par la NSF, 3 par le *department of defense* ;
- un investissement important dans des équipements de pointe répartis sur l'ensemble des États-Unis, avec la mise en place du *National nanotechnology infrastructure network*, et ses 13 centres de moyens lourds de fabrication et caractérisation à l'échelle nanométrique ;
- le souci d'accélérer le transfert de technologie, avec des soutiens spécifiques à la création d'entreprises ;
- la préoccupation de renforcer la formation aux nanotechnologies à tous les niveaux, universités, *high school* et même *middle school*.

Ces efforts sont relayés au niveau des états fédérés qui contribuent de plus en plus activement au soutien de ces activités.

1. Cartographie des activités en N&N aux États-Unis

Une carte interactive des États-Unis permet de localiser plus de 800 organisations américaines œuvrant en nanotechnologies, dont environ 640 entreprises, 140 laboratoires universitaires ou gouvernementaux et 45 autres types d'organisations.

Les nanotechnologies sont représentées dans 47 des 50 États américains. Les 5 États les plus actifs sont la Californie, le Massachusetts, l'État de New York, le Nouveau Mexique et le Texas. Les 6 villes les plus actives sont : San José, Albuquerque, Boston, San Francisco, Oakland, et Middlesex-Essex.

2. Organisation et mise en œuvre de la politique scientifique en nanotechnologies

Les efforts de R&D aux États-Unis se répartissent entre trois principaux acteurs : le gouvernement fédéral, les universités et l'industrie. Les financements venant du secteur privé sont les plus importants mais ils concernent principalement la recherche appliquée et le développement. La recherche fondamentale est conduite essentiellement dans les universités et les organismes gouvernementaux. Le budget global de R&D dans les universités américaines se situe entre 30 et 35 milliards de dollars par an, dont 60 % sont attribués par le gouvernement fédéral et près de 20 % par les États ou par un financement public local. Ainsi, les priorités de recherche dans les universités sont fortement déterminées par la politique et les programmes du gouvernement fédéral, qui apporte la majeure partie du soutien financier.

Tableau 1 : Évolution du budget de la NNI depuis sa création en 2001 et répartition des crédits entre les différentes agences

(montant en millions de dollars)

Agences	2001	2003	2004	2005
<i>National science foundation</i>	150	221	254	338
<i>Defense</i>	125	322	315	257
<i>Energy</i>	88	134	203	210
<i>Health and Human services (NIH)^o</i>	40	78	80	145
<i>Commerce (NIST)</i>	33	64	63	75
<i>NASA</i>	22	36	37	45
<i>Agriculture</i>	0	0	1	3
<i>Environmental Protection</i>	5	5	5	5
<i>Justice</i>	1	1	2	2
<i>Homeland security</i>	0	1	1	1
Total	464	865	961	1081

L'initiative nationale pour les nanotechnologies (NNI) rassemble ainsi les efforts de 22 départements et agences fédérales, disposant d'un budget spécifique pour les nanotechnologies, les autres étant plutôt des partenaires.

Le financement fédéral des nanotechnologies a plus que doublé depuis la mise en place de la NNI en 2001, pour atteindre le niveau estimé de 1081 millions de dollars pour l'année 2005, dont 65 % sont consacrés au financement de la recherche académique.

Une des missions importantes de la NNI est de faciliter le transfert de technologies vers la mise au point de produits commerciaux accessibles au grand public. Ce transfert est déjà bien organisé au sein des universités et les échanges industrie/monde académique sont dans la culture des établissements américains. Il s'agit donc pour la NNI de renforcer les interactions entre les acteurs de la R&D en nanotechnologie et ceux qui fabriquent et vendent.

Le volet éducation fait aussi partie des préoccupations de la NNI. On estime en effet qu'à l'horizon 2015, plus de 2 millions de personnes dans le monde auront une activité dans le domaine des nanotechnologies. Il existe ainsi un besoin sans cesse croissant de formation à tous niveaux. L'ensemble des centres du réseau technologique NNI offre aux étudiants doctorants et aux jeunes chercheurs l'accès à des moyens modernes de haute technicité, utilisés en recherche : les centres proposent différents programmes de stage pour se familiariser avec l'instrumentation utilisée en nanotechnologie.

Les universités, pour leur part, développent aussi l'enseignement dans le domaine des nanosciences : beaucoup proposent des cours d'introduction qui donnent la possibilité aux étudiants qui poursuivent des études approfondies dans leur discipline d'aborder ce domaine, et de peut-être leur donner l'envie de s'y investir pour leurs études doctorales. Très peu d'universités délivrent des diplômes en nanotechnologies ; ce sont jusque là des formations au niveau technicien, ou dans certains cas au niveau Master, et seulement 3 universités sur l'ensemble des États-Unis proposent à ce jour un doctorat en nanosciences ou nanotechnologie.

En conclusion, la politique américaine place les États-Unis comme le pays qui investit le plus dans la R&D en matière de N&N. Même si l'Europe et le Japon investissent aussi à des niveaux qui ne sont pas si éloignés de l'effort américain, la différence principale se trouve dans le niveau de coordination, dans la définition des programmes et dans l'attribution des moyens - nettement renforcé depuis la mise en place de la NNI.

À l'actif de la NNI, on constate des avancées dans la connaissance de la matière à l'échelle nanométrique, résultant du soutien apporté aux laboratoires mais aussi par le développement d'une communauté scientifique multidisciplinaire et la mise en place d'une forte infrastructure rassemblant plus de 35 centres de recherches en nanotechnologies, de réseaux et de centrales technologiques.

B - LES POINTS FORTS DU JAPON DANS LES N&N

Ces dernières années, le Japon a confirmé sa volonté d'être un des acteurs mondiaux de la discipline par l'apport d'une enveloppe budgétaire massive pour la recherche et développement (environ 700 millions €). Le Japon possède une forte compétitivité dans de multiples domaines tels que les nanotubes de carbones, les fullerènes¹⁴, les dispositifs à un électron et les techniques de nano-fabrication. Bien que la commercialisation de ces technologies ne soit pas attendue avant dix ans, les entreprises japonaises continuent de mener de grands projets de R&D à long terme et à investir dans ce domaine.

1. Financement des R&D en N&N

Les nanotechnologies, sans compter le budget universitaire, ont reçu une enveloppe budgétaire totale de 85,6 milliards de yen (658,5 millions €) en 2002, et de 94 milliards de yen (723 millions €) en 2003, ce qui représente une augmentation de 4,5 % d'une année sur l'autre.

2. Stratégie du METI pour les N&N

Au mois de janvier 2001, le gouvernement japonais a procédé à une réorganisation de ses différents ministères. Le « *Ministry of International Trade and Industry* » (MITI), est devenu le « *Ministry of Economy, Trade and Industry* » (METI). Le METI apporte son soutien financier à un important programme pour les nanotechnologies couvrant quatre thèmes prioritaires (Matériaux, information et télécommunication, sciences de la vie et environnement) énoncés par le Conseil des politiques en sciences et technologies (CSTP). Le budget du METI pour les projets en rapport avec les nanotechnologies est de 38,4 milliards de yen (295 millions €) pour l'année 2004.

3. Les principaux acteurs de la R&D japonaise

3.1. Les Universités publiques

Quelques exemples d'universités fortement impliquées dans la recherche en N&N :

- l'Université d'Osaka compte 12 facultés de 1^{er} cycle, 12 écoles supérieures spécialisées, 5 instituts de recherche et 19 aménagements communs. Les recherches dans le domaine des N&N sont principalement effectuées au sein du *Institute of scientific and industrial research* ;
- au sein de l'Université Meijo à Nagoya, le docteur Iijima a été le premier à révéler en 1991 la structure et les caractéristiques des nanotubes de carbone ;

¹⁴ Les fullerènes sont des molécules composées de carbone et peuvent prendre la forme d'une sphère, d'un ellipsoïde, d'un tube ou d'un nano. Les fullerènes tubulaires sont appelés nanotubes.

- *l'Institute of industrial science*, Tokyo University : depuis 40 ans le docteur Hiroyshi travaille sur les effets quantiques présents dans les semi-conducteurs ;
- l'Université de Tsubuka abrite une cité scientifique construite en 1970 qui accueille 46 institutions de recherche active dans différents domaines, employant plus de 13 000 personnes dont 8 500 chercheurs...

3.2. *Les entreprises*

Un grand nombre d'entreprises sont impliquées dans le domaine des nanotechnologies :

- Nec - numéro 1 mondial de l'électronique - est le pionnier en matière de R&D sur les N&N, son laboratoire de recherche fondamentale situé à Tsubuka est internationalement reconnu pour ses activités de pointe dans le secteur ;
- Hitachi compte 2 laboratoires menant des recherches sur les nanotechnologies avec 3 principaux thèmes de recherche : l'électronique moléculaire, les transistors et la mémoire à électron ;
- Mitsubishi corporation a établi son unité commerciale dans les nanotechnologies à partir de 2001 avec un investissement total de 10 milliards de yen soit 77 millions d'euros. Elle a adopté une stratégie de « R&D + Commercialisation » qui se décline de la manière suivante :
 - la recherche pour identifier les besoins, les nouvelles techniques et les techniques « embryonnaires » ;
 - le développement pour acquérir de nouvelles technologies et leurs propriétés intellectuelles, tout en formulant un « business plan » avec l'établissement d'une entreprise pilote ;
 - la commercialisation en sélectionnant les partenaires stratégiques pour créer un réseau d'entreprises opérationnelles liées par des alliances.

Conclusion

Le budget public du Japon alloué à la R&D pour les nanotechnologies en 2003 a continué d'augmenter par rapport aux années précédentes - environ 700 millions € - et se rapproche de celui des États-Unis et de sa « National nanotechnology initiative ». Cet effort est d'autant plus important que le Japon compte une population deux fois moindre. Le Conseil pour la politique scientifique et technologique (CSTP), chargé de définir les axes principaux de recherche et de coordonner les actions, mène une politique volontariste dans le secteur stratégique des nanotechnologies et se soucie activement de compenser une des faiblesses du Japon, la relative coupure entre l'université et l'industrie,

par le renforcement de ses agences de moyens (NEDO, JST...) et l'ouverture de ses organismes de recherche (universités, instituts...) au partenariat industriel.

Ajouté à la création d'un solide réseau humain de soutien aux nanotechnologies au niveau national et international, le Japon possède une forte compétitivité dans les domaines suivants : nano-matériaux (nanotubes de carbone, fullerènes, nano-poudres), nanoélectronique (dispositifs à un électron, nano-électronique sur silicium), nano-fabrication (auto-assemblage, STM pour la nano-caractérisation et la nano-manipulation) et informatique quantique. En outre, le secteur privé, avec des entreprises telles que NEC, Mitsubishi Corporation..., participe activement à la recherche fondamentale grâce à des allocations de fonds très importantes et des laboratoires équipés d'une large gamme de moyens techniques.

Le budget total consacré par le secteur privé aux activités de recherche et développement dans le domaine des nanotechnologies est difficile à évaluer. On se souviendra simplement que, tous secteurs confondus, le budget civil de R&D au Japon est supporté à plus de 75 % par le secteur privé, ce qui conduit à un chiffre environ 3 fois supérieur à celui des sommes allouées aux nanotechnologies par le secteur public soit environ 2,1 milliard d'€.

Les nanotechnologies en sont à une période charnière où la communauté scientifique se rend compte que la commercialisation de nombreuses innovations ne se fera, au mieux, que d'ici une dizaine d'années. La prochaine décennie sera donc déterminante pour le Japon. Il s'agit donc là d'un programme de R&D à long terme que le Japon a décidé d'entreprendre. L'évaluation de l'action entreprise par les pouvoirs publics en direction des nanotechnologies se fera sur la base de la capacité du pays à transformer l'effort de R&D fourni en résultats tangibles en matière de création de jeunes entreprises et de part dans la croissance économique.

C - LES NANOTECHNOLOGIES EN ALLEMAGNE

L'Allemagne, premier investisseur en Europe dans le domaine des nanotechnologies, a développé depuis 1998 la formule des centres de compétences et mise à disposition des moyens importants dont bénéficient les universités et les centres de recherche extra-universitaires.

À partir de 1998, le BMBF (ministère fédéral Allemand de la Recherche et de l'enseignement) a renforcé son soutien aux projets dans ce domaine et a mis en place l'infrastructure nécessaire via la création de six réseaux de compétence (on en compte neuf aujourd'hui). Bien qu'elle n'ait pas été très reconnue, cette initiative a été prise deux ans avant que les États-Unis aient donné naissance à leur initiative nationale et quatre ans avant que l'Union européenne (UE) n'ait pris des mesures comparables dans le cadre du 6^{ème} Programme cadre de recherche et développement (PCRD).

Dans le domaine des nanotechnologies, l'Allemagne est en tête en Europe pour ce qui est des moyens publics qui leur sont consacrés ainsi que pour le nombre d'entreprises, d'instituts ou d'organismes universitaires y travaillant.

Le programme « Offensive d'avenir allemande pour les nanotechnologies » est consacré à ce sujet. Sur la base d'intenses discussions avec les représentants de l'économie et de la science, l'objectif du soutien du BMBF aux nanotechnologies est d'identifier leur potentiel d'application en faisant appel à des coopérations de recherche (déclinées en innovations directrices), stratégiquement orientées vers la chaîne de création de valeurs et d'éviter le manque imminent d'experts en agissant au niveau de la politique d'enseignement. Pour nombre de secteurs industriels importants en Allemagne, la future compétitivité de leurs produits dépend également du développement des nanotechnologies et de la disposition de la société à les utiliser. Les dialogues animés par le BMBF sur les chances et les risques pris au niveau des aspects écologiques, sanitaires, sociaux et politiques sont pris en compte afin de garantir de bonnes relations publiques.

1. Soutien par le BMBF

Le BMWI (le ministère fédéral de l'Économie et des technologies) complète chaque année le soutien du BMBF aux nanotechnologies à hauteur d'environ 25 millions d'euros.

Tableau 2 : Dépenses pour les nanotechnologies dans le cadre des différents thèmes prioritaires du BMBF

Soutien du BMBF aux nanotechnologies (en millions d'€)	2002	2003	2004	2005
Nanomatériaux	19,2	20,3	32,7	38,1
Technologies de production	0,2	0,8	2,2	2,2
Technologies optiques	18,5	25,2	26,0	26,0
Techniques des microsystèmes	7,0	7,0	9,4	10,2
Technologies des communications	4,3	4,0	3,6	3,4
Nanoélectronique	19,9	25,0	44,7	46,2
Nanobiotechnologies	4,6	5,4	5,0	3,1
Analyse technique et innovations	0,2	0,5	0,2	
Total (en million d'euros)	73,9	88,2	123,8	129,2

2. Soutien institutionnel de la recherche

Les moyens financiers pour la recherche en nanotechnologies dans le cadre du soutien de la DFG et du soutien institutionnel du *Bund* et les *Länder* sont présentés ci-dessous.

Tableau 3 : Soutien institutionnel à la recherche en nanotechnologie

Soutien institutionnel à la recherche en nanotechnologie (en million d'€)	2002	2003	2004	2005
DFG Agence de moyens pour la recherche	60,0	60,0	60,0	60,0
WGL Communauté des centres Leibniz	23,7	23,6	23,4	23,5
HGF Communauté des centres Helmholtz	38,2	37,1	37,4	37,8
MPG Société Max-Planck	14,8	14,8	14,8	14,8
FhG Société Fraunhofer	4,6	5,4	5,2	4,9
Fondation Caesar	1,8	3,3	4,0	4,4
Total (en millions d'€)	143,1	144,2	144,8	145,4

3. Les innovations directrices

À côté du soutien des projets classiques au sein des associations de recherche, le BMBF traite - en étroite collaboration avec l'économie et la science - de plus en plus de sujets impliquant les nanotechnologies par des coopérations de recherches stratégiques. À ce sujet, les moyens financiers sont mis à la disposition des projets d'innovations industriels compétitifs qui incluent toute la chaîne de création des valeurs (innovations directrices).

Les processus initiés par ces innovations directrices doivent aboutir aux produits, services et procédés innovants réalisés à partir des nanotechnologies. Ils contribuent à l'amélioration de techniques avec un fort potentiel de marché ou tout du moins d'un intérêt important pour un grand nombre de personnes.

Pour cela, un travail multi et interdisciplinaire et une étroite coopération entre les entreprises, les universités et les organismes de R&D extra-universitaires, voire même une coopération au niveau européen ou international, sont nécessaires. La durée de vie typique de ces innovations directrices est de 5 ans.

4. Mesures de soutien du BMBF pour encourager les jeunes chercheurs et renforcer l'attractivité de l'Allemagne

Le BMBF soutient des mesures qui, en promouvant les technologies innovantes de haut niveau, renforcent la compétitivité et l'attractivité de l'Allemagne et encouragent les jeunes chercheurs.

Déjà en 2002, le BMBF a lancé un « concours pour jeunes chercheurs en nanotechnologies » afin de donner à 250 collaborateurs scientifiques la possibilité de faire leur propre recherche dans les domaines de la technologie et des sciences physiques et naturelles proches des nanotechnologies. Pendant 5 ans, ces recherches sont soutenues avec d'importants moyens financiers.

À l'avenir, le BMBF renforcera son soutien aux projets de recherche en nanotechnologies qui incluent une coopération intensive des PME, favorisent la création de *start-up* et stabilisent les jeunes entreprises. Dans le domaine des nanotechnologies, ces mesures seront développées par un programme de soutien spécifique pour les PME (« NanoChance »).

Le soutien institutionnel du *Bund* et des *Länder* représente également une part non négligeable du financement public de la recherche par exemple, 71 millions d'euros sont ainsi attribués à la DGF (Agence de moyens de la recherche allemande) autour de 5 projets thématiques propres aux nanotechnologies ; 17 millions d'euros pour la société max Planck ; 13 millions d'euros pour la société Fraunhofer...

5. Les efforts privés de R&D

La R&D est effectuée à hauteur de 70 % par l'industrie (contrairement à la plupart des autres acteurs européens), 16 % par l'Université et 14 % par le secteur extra-universitaire. Les 400 entrepreneurs en nanotechnologies (Infineon, DaimlerChrysler, Schott, Karl Zeiss, Siemens, BASF...) représentent la moitié de l'ensemble des sociétés européennes de ce secteur.

Pour un grand nombre d'entre elles, la future compétitivité de leurs produits dépend notamment du développement des nanotechnologies et de l'acceptabilité par la société à les utiliser. Les instances de dialogue animées par le BMBF sur les bienfaits et les risques potentiels du point de vue écologique, sanitaire, social..., sont essentielles pour maintenir une relation de confiance entre les acteurs de la recherche et les citoyens.

6. Exemple de coopération franco-allemande dans les domaines des N&N

Depuis quelques années, les deux pays travaillent à la constitution de centres de compétence franco-allemand afin de former une région européenne de connaissance ayant un rayonnement mondial, au travers de diverses actions : rapprochement entre les pôles de compétitivité français et les *Kompetenznetze* allemands ; des appels d'offres communs entre l'ANR et la DGF ; des partenariats entre la fédération des Instituts Carnot et la société Fraunhofer...

Il existe ainsi une coopération entre l'Alliance Fraunhofer pour la microélectronique et le CEA-Leti en nanoélectronique depuis novembre 2004, auquel s'est adjoint le Centre suisse d'électronique et de microtechnique, pour la réalisation de projets de recherche communs et le développement de produits innovants pour l'industrie.

En février 2007, un atelier a été organisé à Berlin pour favoriser le partage des informations stratégiques, la définition de projets de R&D communs, des échanges d'étudiants et de chercheurs, des projets communs dans le cadre du 7^{ème} PCRD et la définition d'une offre globale de propriété intellectuelle.

D - LA CORÉE DU SUD AU QUATRIÈME RANG MONDIAL

La Corée du Sud a atteint le quatrième rang mondial dans le domaine des nanotechnologies, se positionnant ainsi devant la France et la Grande-Bretagne. Citant un rapport de la société américaine de conseils Lux research, le ministère de la Science et de la technologie coréen a indiqué que la Corée du Sud avait obtenu d'excellentes notes grâce aux investissements importants effectués dans le domaine par le gouvernement et le secteur privé, ainsi qu'à la commercialisation réussie de certaines technologies intégrées notamment dans les écrans plats de dernière génération et l'électronique grand public.

Les États-Unis restent le leader mondial en la matière, suivis du Japon, de l'Allemagne et de la Corée du Sud. Alors que Taïwan et la Chine ont accompli des progrès significatifs dans le domaine, la France et la Grande-Bretagne semblent distancées compte tenu des difficultés à valoriser les résultats de leurs recherches. Les entreprises et le gouvernement sud-coréens se sont employés à développer cette technologie dans divers secteurs, notamment les semi-conducteurs, la médecine, l'industrie chimique et la mécanique microscopique.

À l'heure actuelle, 16 % du Produit intérieur brut (PIB) de la Corée du Sud provient des secteurs industriels de pointe et le pays investit 3 % de son PIB en recherche et développement, selon le rapport. « *Notre objectif est de rejoindre le top 3 mondial d'ici à 2015* », précise un communiqué du ministère. Le gouvernement a accru rapidement ses investissements dans les nanotechnologies, lesquels sont passés de 83 milliards de wons (environ 66,4 millions d'euros) en 2001 à 277 milliards de wons (environ 221,6 millions d'euros) en 2006. D'autre part, le nombre de programmes universitaires en nanotechnologies a pratiquement doublé en trois ans, passant de 17 en 2002 à 31 en 2004. En conséquence, les scientifiques et ingénieurs coréens ont acquis une plus grande confiance dans le développement de leurs technologies. D'après l'étude du gouvernement, les scientifiques locaux estiment avoir accompli en 2001, dans le domaine des nanotechnologies, le quart de ce que leurs collègues américains avaient réalisé dans ce domaine. Mais l'écart s'est considérablement réduit puisqu'ils pensent qu'aujourd'hui la Corée a accompli 62 % du niveau atteint par les États-Unis.

E - LA CHINE FUTUR NUMÉRO DEUX DANS LES NANOTECHNOLOGIES ?

Selon une étude réalisée par une équipe sino-hollandaise de l'Amsterdam « *School of communications research* », les chercheurs chinois seraient deuxièmes au monde dans le domaine des nanotechnologies. La position de la recherche dans divers pays a été jugée en fonction du nombre d'articles de recherche publiés dans les principaux journaux spécialisés en nanotechnologie.

En 2004, les articles d'auteurs chinois représentaient 10 % des publications dans ces journaux, derrière les Américains, largement en tête avec 50 % des publications. Les articles chinois restent cependant moins cités que ceux d'autres pays industrialisés mais depuis 1998, le nombre de publications chinoises n'a cessé d'augmenter.

En 2004, la Chine a investi 7,7 milliards de yuan (soit environ 650 millions d'€) dans la recherche sur les nanotechnologies. Parmi les pays asiatiques, elle est particulièrement puissante dans le développement de nanomatériaux. Le nombre d'étudiants chinois en ingénierie en premier cycle universitaire est de plus de 39 % contre 5 % aux États-Unis en 2001 et la tendance est à la hausse en Chine alors qu'elle est à la baisse aux États-Unis. La Chine fait aussi partie des pays dont le nombre de brevets déposés est en forte hausse.

L'administration des standardisations de Chine a inauguré le 20 juin 2005 à Pékin le Comité technique national sur les nanotechnologies qui sera hébergé par le Centre national des nanosciences et des nanotechnologies de l'Académie des sciences chinoise.

Ce nouveau comité témoigne des priorités de la Chine en terme de recherche. Elle souhaite devenir un acteur majeur de la recherche dans le domaine des nanotechnologies au niveau international en développant ses propres. Les nanotechnologies font partie des domaines clés de développement technologique de la Chine cités pour le 10^{ème} plan quinquennal (2000-2005).

Les priorités chinoises dans le domaine des nanosciences et des nanotechnologies ont été présentées au cours de la conférence ChinaNANO 2005 qui s'est tenue à Pékin du 9 au 11 juin 2005.

F - LA RUSSIE NE VEUT PAS SE LAISSER DISTANCER

Après une décennie difficile marquée par la baisse des financements et la fuite des cerveaux, les conditions de développement de la R&D russe redeviennent favorables. Dans ce cadre, le développement des nanotechnologies est devenu une priorité en Russie, coordonnée au plus haut niveau politique, et bénéficiant de moyens significatifs.

On observe une intense activité dans les principaux centres scientifiques russes pour le développement des nanotechnologies. S'appuyant sur la base de très bonnes connaissances fondamentales en physique des solides, cristallographie, mécanique quantique, physique théorique, physique des lasers, biophysique et génétique, la recherche russe a su prendre le tournant vers ces nouvelles technologies, d'abord dans un certain désordre dû à un manque de concertation des principaux acteurs. Aujourd'hui, le ministère de l'Éducation et la science a mis en place une politique nationale qui vise à coordonner et fédérer les recherches menées. Des moyens importants y sont consacrés.

Avec un budget croissant pour la recherche depuis 2002, les principaux instituts ont pu se doter d'appareillages ultra-modernes. Le parc expérimental disponible s'étend depuis les microscopies nanométriques en champ proche (dont les Russes sont d'ailleurs eux-mêmes fabricants et exportateurs) jusqu'aux Synchrotrons dont les performances restent toujours d'un bon niveau. Cet investissement permanent est dû aux différents soutiens financiers sur appels d'offre russes ou étrangers.

Les nanotechnologies représentent 40 % des financements de R&D planifiés suivant le Programme fédéral ciblé pour la période 2007-2012, soit près de 43,5 Md de roubles (environ 1,25 Md €) sur six ans. En outre, les recherches menées dans le domaine des nanotechnologies ne se font pas uniquement dans le cadre de ce programme fédéral ciblé. Il existe aussi des demandes « hors budget », pour des travaux accomplis par les instituts de l'académie des sciences d'État et par les établissements d'enseignement supérieur, dans le cadre de financement par devis. Ainsi, au sein du *Praesidium* de l'académie, 2 programmes concernent les nanosciences sur les matériaux et sur les équipements électroniques.

Enfin, à côté de ce programme fédéral (dans lequel plus de la moitié des financements sont des salaires), un programme spécifique pour les infrastructures a été proposé en 2007, doté de près d'1 Md d'€ sur 3 ans, qui vise à créer une vingtaine de centres sectoriels (un par grand secteur d'activité : nucléaire, aéronautique, chantiers navals, etc.) d'équipements et de métrologie. Ces centres, placés sous la coordination globale du Centre Kurchatov, travailleront en réseau.

L'accent est mis sur la commercialisation des résultats scientifiques : l'annonce a été faite au printemps 2007 de la création d'un consortium public-privé (NanoTech) chargé de commercialiser les résultats de la R&D, et qui serait doté d'environ 4 Md d'€. Mais les discussions sont en cours sur son statut, sa gouvernance...

Un groupe de travail russo-européen « Nano » a été créé pour définir les thèmes d'intérêt commun, afin de favoriser la participation des équipes russes au 7^{ème} PCRDT, mais aussi pour inclure la Russie dans les instances d'évaluation des projets.

G - L'INDE DE PLUS EN PLUS INTÉRESSÉE PAR LES NANOTECHNOLOGIES

En retard sur ses voisins asiatiques, la recherche indienne a d'abord souffert d'un faible soutien financier, d'une mauvaise distribution de ses ressources, d'un manque de centralisation et de coordination entre les organismes de recherche et les programmes de recherche dans le secteur privé, ainsi que des difficultés administratives pour l'obtention de visas pour les acteurs étrangers.

Depuis 4 ans, l'Inde a trouvé une dynamique grâce des programmes mis en place par le gouvernement pour la recherche académique et aussi par l'intermédiaire de ses scientifiques expatriés ayant joué un rôle important dans le domaine des nanotechnologies.

De nombreux scientifiques indiens ont migré il y a quelques années aux États-Unis et ont brillé par leurs réalisations. Or depuis peu, ces scientifiques ont tendance à revenir avec un bon niveau de connaissance et de méthodologie, tout en disposant d'importants moyens financiers.

Pour permettre à l'Inde de rattraper son retard, ces scientifiques, associés à des entreprises américaines, ont créé une société d'information sur les nanotechnologies. Cette société, IndiaNano, est une plate-forme entre les centres d'excellences américains et indiens avec pour objectif de promouvoir la recherche, les alliances stratégiques et la création d'entreprises.

Sous l'impulsion d'IndiaNano et du réseau d'expertise indien, les initiatives privées dans les instituts de recherche indiens commencent à apparaître. Les financements privés occupent ainsi une part de plus en plus importante représentant désormais plus de 40 % du budget total consacré aux nanotechnologies.

On peut citer le « CraneCsi Mems lab », joint venture en 2001 entre « Cranes Software International Ltd » et l'IISc, spécialisé dans les Mems. Cette société collabore avec plusieurs institutions étrangères dont l'Université Joseph Fourier de Grenoble.

Dans le domaine des biotechnologies, Biomix Network Ltd développe une instrumentation propre aux nanotechnologies et Velbionanotech développe des produits en nano-biotechnologie.

Dans le domaine du textile, NanoTex - compagnie californienne de textiles innovants - a installé en Inde son premier centre de R&D hors du sol américain et créé un partenariat avec Madura Garment. Les marques Parx, Arrow, Allen Solly, Dockers, Louis Phillipe et Van Heusen y développent des textiles incorporant des éléments nanométriques leur permettant d'acquérir de nouvelles propriétés hydro et lipo-phobiques, thermiques, odorantes ou diffusantes pour la lumière.

La dynamique industrielle est également favorisée par le faible coût, la haute qualification et la maîtrise de l'anglais du personnel et par l'existence et le dynamisme des industries physico-chimiques déjà installées. L'harmonisation récente des droits de propriété intellectuelle va également permettre à l'Inde de se placer dans la course mondiale des dépôts de brevets en nanotechnologies.

Fiche n° 9 : des enjeux de normalisation et de réglementation

1. La première réunion internationale sur la normalisation des nanotechnologies s'est tenue à Londres

Dans le cadre d'une enquête sur les nanotechnologies, les députés de la Chambre des Communes recommandaient au gouvernement britannique de s'assurer que le Royaume-Uni se trouve aux avant-postes des initiatives internationales pour la normalisation des nanotechnologies en raison notamment de l'énorme potentiel de ce marché à l'avenir.

Dans sa réponse à ce rapport, l'exécutif rappelait que le Royaume-Uni avait contribué à l'établissement d'un groupe de travail au sein du Comité européen de normalisation (CEN), le groupe WG 166. Le pays a également pris une part active dans la création, en 2005, du Comité Technique 229 de l'Organisation internationale de normalisation (ou *International Organization for Standardisation* - ISO) à tel point que le Royaume-Uni en assure la présidence et le secrétariat jusqu'en 2010.

La première réunion de ce comité, aussi appelé ISO/TC 229, s'est tenue à Londres du 9 au 11 novembre 2005. La rencontre, qui réunissait des délégations de 22 pays dont l'Association française de normalisation (AFNOR) pour la France, était organisée par la *British Standards Institution* (BSI), l'organisme de normalisation britannique) qui en assure également la présidence et le secrétariat.

Le travail du comité TC 229 recouvre tout le domaine de la normalisation des nanotechnologies, en particulier la classification, la terminologie et la nomenclature, la métrologie de base, la caractérisation (y compris l'étalonnage et la certification) ainsi que les questions de risque et d'environnement. Les méthodes d'essais portent notamment sur la détermination des caractéristiques physiques, chimiques, structurelles et biologiques des matériaux ou dispositifs dont la performance, dans le cadre d'une application donnée, dépend de façon critique d'une ou plusieurs dimensions de l'ordre d'1 à 100 nanomètres. Le domaine des travaux du comité technique comprend, d'une part, les méthodes d'essai pour des applications et, d'autre part, des normes de produit. Le comité regroupe 23 pays participants et 9 pays observateurs.

La réunion de Londres constituait l'occasion pour les pays participants de discuter et de déterminer le domaine d'action du comité ainsi que d'évaluer sa structure. Le BSI a proposé quatre axes principaux pour le développement de normes ISO dans le domaine des nanotechnologies :

- la terminologie ;
- la métrologie et les méthodes de test ;
- la santé, la sécurité et l'environnement ;
- les produits et procédés.

L'objectif est d'offrir aux scientifiques et ingénieurs un vocabulaire et des méthodes communs, la normalisation des nanotechnologies devant faciliter un développement et une production plus rapides et plus sûrs des produits.

Ces actions, initiées par le gouvernement britannique, traduisent son souhait d'occuper une place stratégique dans tout ce qui touche à la normalisation des nanosciences et des nanotechnologies.

Le comité TC 229 a constitué trois groupes de travail (*Working Group - WG*), exprimant une structuration des travaux à venir autour des trois thèmes correspondants :

- WG 1 « Terminologie et nomenclature » (à animation canadienne) ;
- WG 2 « Mesurage et caractérisation » (à animation japonaise) ;
- WG 3 « Santé, sécurité et environnement » (à animation américaine).

Ces groupes ont vocation à définir leurs propres programmes de travail sous l'égide du comité technique ISO.

Les titres, objets et domaines d'application des trois groupes de travail sont les suivant :

a) WG 1 : Terminologie et nomenclature

Objet et domaine d'application : définir et développer une terminologie et une nomenclature sans équivoque et uniforme dans le domaine des nanotechnologies afin de faciliter la communication et la promotion d'une compréhension commune.

b) WG 2 : Mesurage et caractérisation

Objet et domaine d'application : développement de normes pour la mesure, la caractérisation et les méthodes de test concernant les nanotechnologies prenant en considération les besoins de la métrologie et les substances de référence.

c) WG 3 : Santé, sécurité et environnement

Objet et domaine d'application : le développement sur des bases scientifiques de normes relatives aux aspects santé, sécurité et environnement des nanotechnologies.

Les travaux concernant le TiO₂ et le carbonate de calcium nanométrique devraient être prochainement intégrés dans un WG4 dont le titre qui reste à définir fera vraisemblablement référence aux produits.

Au-delà des sujets très techniques déjà adoptés, des réflexions sont engagées afin d'identifier la meilleure façon d'aborder les liens existant entre la caractérisation des nanomatériaux et la toxicité qu'ils sont susceptible de présenter.

2. Au niveau européen (CEN)

Suite aux recommandations du CEN/BT/WG 166, le CEN a créé, fin novembre 2005, un comité technique (TC) pour les nanotechnologies, le CEN/TC 352 « Nanotechnologies », sous présidence britannique. Ce comité doit travailler en concertation avec le comité technique ISO pour éviter toute duplication des travaux. Il pourra engager des travaux sur des sujets non traités à l'ISO.

La mise en place de cette structure permet la reprise des normes internationales en normes européennes (reprise des normes ISO en normes EN ISO). Ce qui entraîne alors la transposition à l'identique des normes EN ISO en normes nationales par les membres du CEN (pour la France, AFNOR, qui transpose ces dispositions en normes françaises NF EN ISO). La mise en œuvre de cette procédure est une garantie d'harmonisation technique au niveau européen (CEN).

De plus, le CEN/TC 352 a établi des liaisons de travail avec la Commission européenne (DG Entreprises et industrie, DG Environnement, DG Santé et protection des consommateurs, DG Recherche). Ceci notamment dans une perspective d'utilisation des normes européennes en appui à la réglementation communautaire.

Les premiers débats au sein du CEN TC 352 nanotechnologies ont validé le principe d'un examen au cas par cas des sujets adoptés par l'ISO en vue de leur introduction dans le programme de travail du CEN.

Le CEN a adopté un domaine de travail identique à celui de l'ISO.

À ce jour il n'y a pas de sujet spécifique au CEN.

3. Au niveau français (AFNOR)

Pour organiser la participation et les contributions françaises aux travaux CEN et ISO précités, l'AFNOR a constitué, en juin 2005, une commission de normalisation.

Les grandes lignes de la position et de l'action de l'AFNOR sont présentées ci-après :

a) Stratégie française : constats

- Le périmètre des travaux est très large mais dans les faits il existe une focalisation sur les nanotubes de carbone, les fullerènes et les nanoparticules en général.
- Absence des travaux de certains acteurs industriels (crainte de l'apparition d'un syndrome « OGM » et amiante).
- Les grands industriels à l'échelle internationale semblent cibler leurs actions en fonction d'une stratégie basée sur des applications très spécifiques, mais susceptibles d'une très large diffusion. (dioxyde de titane, ions argent, nanotubes de carbone, fullerènes)

b) Les risques pour la France

- Être noyée sous une quantité de travaux sans véritable fil conducteur.
- Les méthodes classiques de toxicologie ne sont pas capables d'accompagner le développement des nanotechnologies tout particulièrement dans le contexte français du principe de précaution.
- Devoir renoncer à toute activité de production en France faute de ligne directrice à l'usage des industriels (protection des travailleurs et responsabilité vis à vis des produits mis sur le marché).

c) Les pistes pour une solution

- Élaborer une stratégie de la précaution qui éviterait les écueils suivants :
 - mise en place systématique d'un moratoire faute d'information complète ;
 - vouloir traiter toutes les nanoparticules (même celles déjà présentes dans le milieu) ;
 - être dans une logique binaire (interdiction ou absence totale de précaution).

d) Plan adopté par la commission

- Faire évoluer le titre de la Commission française de « Nanotechnologies » vers « Nanotechnologies et nanomatériaux »
- Lancer une campagne de recrutement de nouveaux experts sur la base du programme de travail suivant :
 - la métrologie ;
 - classification des nanoparticules et risques associés des points de vue Hygiène, Santé, Sécurité et Environnement (identification des paramètres et critères significatifs induisant la toxicité et l'écotoxicité) ;
 - le conditionnement et le transport des nanoparticules ;
 - l'hygiène et la sécurité des postes de travail y compris la gestion des situations accidentelles.
- À l'initiative du ministère de l'Industrie, mobiliser les acteurs français par le biais d'une candidature française à l'organisation d'une réunion de l'ISO TC 229 début juillet 2008.

En France, les pouvoirs publics ont décidé de favoriser un dialogue citoyen sur le thème des nanotechnologies afin que le débat s'établisse sur des bases factuelles et scientifiques.

Dans ce contexte, deux manifestations ont eu lieu, permettant à la normalisation d'apparaître au cœur des débats et des enjeux :

- Le 6 octobre 2006, Consultation citoyenne sur les nanotechnologies, organisée par Entreprises pour environnement (EPE) en partenariat avec l'association pour la prévention de la pollution atmosphérique, APPA.

Un panel représentatif de citoyens français a été réuni afin d'auditionner des experts (parmi lesquels, l'AFNOR était représentée). L'objectif était de formuler des recommandations à destination des pouvoirs publics.

Parmi les recommandations finales, la normalisation n'a pas été oubliée.

- Les 19-20 mars 2007, Conférence à la cité des sciences et de l'industrie. Trois tables rondes successives (Recherche, industrie, pouvoirs publics) ont eu pour objectif de faire un état des lieux concernant les nanotechnologies. L'AFNOR a été invitée à participer à la table ronde des industriels afin de mettre en valeur les enjeux de la normalisation.

4. Perspectives pour 2008

La France accueille la 6^{ème} réunion de l'ISO TC 229 « nanotechnologies » à Bordeaux du 26 au 30 mai 2008.

La localisation en France devrait permettre de réunir une délégation Française conforme au rang de notre pays.

La commission de normalisation conformément au plan d'action retenu a lancé des travaux franco français relatifs aux aspects hygiène, santé, sécurité et environnement (incluant les aspects conditionnement et transport)

La représentativité de la commission est également dans une phase d'amélioration significative compte tenu de l'arrivée récente de Rhodia, de l'Oréal et prochainement de Michelin.

TABLE DES SIGLES

AFNOR	Association française de normalisation
AII	Agence pour l'innovation industrielle
AMM	Autorisations de mise sur le marché
ANR	Agence nationale pour la recherche
ANVAR	Agence nationale de valorisation de la recherche
BMBF	Ministère fédéral allemand de la recherche et de l'enseignement
CEN	Comité européen de normalisation
CENELEC	Comité européen de normalisation électrotechnique
CIME	Centre interuniversitaire de microélectronique
CIRFC	Centre international de recherche aux frontières de la chimie
CIRST	Comité interministériel de la recherche scientifique et technologique
CSTP	Conseil des politiques en sciences et technologies
DGA	Délégation générale pour l'armement
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i> – organisme de normalisation allemande
ENSEEG	École nationale supérieure d'électrochimie et d'électrometallurgie de Grenoble
ENSIEG	École nationale supérieure d'ingénieurs électriciens de Grenoble
ENSIMAG	École nationale supérieure d'informatique et de mathématiques appliquées de Grenoble
ENSM	École nationale supérieure de mécanique et de microtechniques
ESISAR	École nationale supérieure des systèmes avancés et réseaux
ETSI	Institut européen des standards de télécommunication
FEMTO-ST	Institut Franche-Comté électronique mécanique thermique et optique - Sciences et technologies
FMNT	Fédération de recherche en micro nanotechnologie
FNS	Fondation nationale pour la science
IEF	Institut d'électronique fondamentale
IEMN	Institut d'électronique et de microélectronique et de nanotechnologie
IMEP	Institut de microélectronique, électromagnétisme et photonique
INPG	Institut national polytechnique de Grenoble
INSA	Institut national des sciences appliquées
INSTN	Institut national des sciences et techniques nucléaires
IOTA	Institut d'optique théorique et appliquée
ISEN	Institut supérieur d'électronique et du numérique
ISTG	Institut des sciences et techniques de Grenoble
LAAS	Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes

LEOM	Laboratoire d'électronique, optoélectronique et microsystèmes
LETI	Laboratoire d'électronique et de technologies d'instrumentation
LLB	Laboratoire Léon Brillouin
LMGP	Laboratoire des matériaux et du génie Physique
LOA	Laboratoire ondes et acoustiques
LPM	Laboratoire de physique de la matière
LPN	Laboratoire de photonique et de nanostructures
LTM	Laboratoire des technologies de la microélectronique
LULI	Laboratoire pour l'utilisation des lasers intenses
MEMS	<i>Micro Electro-Mechanical Systems</i>
MINAS	Micro et nano systèmes
MITI	<i>Ministry of international trade and industry</i>
MOCOSY	Modélisation, optimisation et conduite des systèmes
MOS	<i>Metal Oxide Semiconductor field effect</i> , transistor à effet de champ à Metal oxyde semi-conducteur
NIH	<i>National Institutes of Health</i>
NSF	<i>National science foundation</i>
OMNT	Observatoire des micro et nano technologies
PCRD	Programme cadre de recherche et développement
PNANO	Programme national nanosciences
RFID	<i>Radio Frequency Identifier</i>
RIA	Robotique et intelligence artificielle
RMNT	Réseau de recherche en micro et nano technologies
RNMP	Réseau national matériaux et procédés
RNRT	Réseau national de recherche en télécommunication
RNTS	Réseau national des technologies pour la santé
RRIT	Réseaux de recherche et d'innovation technologiques
RTRA	Réseaux thématiques de recherche avancée
R2IT	Réseaux de recherche et d'innovation technologique
R3N	Réseau national en nanosciences et en nanotechnologies
SCS	Solutions communicantes sécurisées
SEST	Santé-environnement et santé-travail
SFCAA	Service formation continue alternance et apprentissage de l'université Joseph Fourier
SHS	Sciences humaines et sociales
SINC	Systèmes informatiques critiques
SPINTEC	Laboratoire de spintronique et technologie des composants
STIC	Sciences et technologies de l'information et de la communication
ST2I	Sciences et technologies de l'information et de l'ingénierie
S2E2	Sciences et systèmes de l'énergie électrique
UFC	Université de Franche-Comté
UJF	Université Joseph Fourier

UPS	Université Paul Sabatier
USTL	Université des sciences et technologies de Lille
UTBM	Université technologique de Belfort-Montbéliard
UVHC	Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis

LISTE DES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Académie des technologies (avril 2004), *Nanosciences - Nanotechnologies*, rapport sur la science et la technologie n°18.

Académie des technologies, *Les nanotechnologies : enjeux et conditions de réussite d'un projet national de recherche* - rapport du groupe de travail « Nanotechnologies » (24/11/2002).

AFNOR, Fiche informative du Département - Services, Management et Consommation - *Sur les enjeux de la normalisation*.

Ambassade de France en Allemagne, *Les nanotechnologies - analyse comparative de l'état actuel des efforts institutionnels en Allemagne, en Europe et dans le reste du monde* (21/04/2006).

Avis du COMETS (Comité d'éthique du CNRS), *Enjeux éthiques des nanosciences et nanotechnologies* » (12/10/2006).

Comité consultatif national d'éthique pour les sciences de la vie et de la santé - avis n° 96, *Questions éthiques posées par les nanosciences, les nanotechnologies et la santé*.

Conseil économique et social - Actes du 55^{ème} Forum d'Iéna - *La révolution des nanotechnologies : quels espoirs ? Quels enjeux ?* (1/02/2007).

Inspection générale de l'administration de l'éducation nationale et de la recherche, *Le financement des nanotechnologies et des nanosciences - L'effort des pouvoirs publics en France* - Comparaisons internationales, rapport de janvier 2004.

Jean-Pierre Dupuy, ingénieur général des Mines et Françoise Roure, inspecteur général des Postes et télécommunications, *Les nanotechnologies : éthique et prospective industrielle*, Conseil général des Mines - Conseil général des technologies de l'information (15/11/2004).

Mission pour la science et la technologie - Sciences physiques États-Unis - *Comment maîtriser les risques posés par les nanotechnologies ? L'approche américaine* (octobre 2006).

Rapport d'étonnement de l'IHEST, *La question des nanotechnologies*, Promotion 2006-2007.

Rapport du Comité de prévention et de la précaution du ministère de l'Écologie et du développement durable, *Nanotechnologies-nanoparticules - quels dangers - quels risques ?* - (mai 2006).

Roger Moret, *Nanomonde - Des nanosciences aux nanotechnologies*, Centre de vulgarisation de la connaissance - CNRS Éditions.

Sites internet :

À la découverte du nanomonde : plaquette grand public du ministère de la Recherche (2^{ème} édition 2005).

Bulletins électronique.com - veille technologique international - un service ADIT - ministère des Affaires étrangères.

CEA - Technologies - *Nanosciences : nouvel âge d'or ou apocalypse ?*
Nanotechnologies : quels enjeux ? Une sélection de livres, articles, films (Médiathèque-Cité des sciences et de l'industrie).

Cité des sciences.fr

CORDIS : *Nanotechnology Homepage of the European Commission.*

Dossiers du CEA consacrés aux nanotechnologies (consultables en PDF).

EurActiv.com – science et recherche – nanotechnologies.

Minattec, pôle européen de nanotechnologies.

Nanoforum - *European Nanotechnology Gateway*. Réseau thématique de l'UE, informations sur les nanotechnologies, le secteur industriel apparenté, la communauté scientifique et sociale.

Nanomicro.recherche.gouv.fr - Nanosciences & Nanotechnologies.

Nanosciences et nanotechnologies : enjeux environnementaux et craintes (CEREGE).

Nanotechnologies et Santé : dossier Sagascience du CNRS
Portail officiel français des NST.

Observatoire des micro et nanotechnologies (CEA-CNRS), veille stratégique sur les principales thématiques du secteur.

Portail nanosciences du ministère de la Recherche et de l'enseignement supérieur.

Sites du CEA - Leti, CNRS, Minatec, les centrales technologiques, les centrales de proximité, les centres de formation, OCDE, Commission européenne, NNI, bcc recherche, STMicroelectronics, AFNOR, RMNT, R3N...

CONSEIL ECONOMIQUE ET SOCIAL

Le développement des nanosciences et des nanotechnologies est un enjeu incontournable pour notre avenir. Elles sont à l'origine de progrès dans des domaines aussi essentiels que la santé, l'environnement, les TIC...

Comme pour toute avancée scientifique et technologique, des craintes et des interrogations s'expriment déjà dans le débat public, notamment sur les nanoparticules.

Seule une application raisonnée et responsable du principe de précaution sera à même d'assurer leur essor indispensable en toute transparence et sécurité.