The background of the page is a high-magnification scanning electron micrograph (SEM) of a nanomaterial surface. The surface is covered with a dense array of small, interconnected particles, creating a porous, textured appearance. A semi-transparent grid is overlaid on the image, with some grid lines forming a diamond or square pattern. The overall color palette is dominated by warm tones of orange, red, and yellow, with some darker spots and highlights that suggest depth and texture.

# Nanotechnologies et nanomatériaux : état des lieux et axes de développement



# Risques

pour la santé  
et l'environnement

Comment caractériser le danger et l'exposition ?	52
Exposition de la population et atteinte à l'environnement	54
Exposition des travailleurs	62





# Risques

pour la santé  
et l'environnement

53



Des travaux de **normalisation** (création en 2005 du comité technique de l'ISOTC 229 « nanotechnologies ») sont en cours afin de lister des paramètres permettant d'identifier et de classer les nanomatériaux puis de documenter les études de toxicité et de risques.

Par ailleurs, l'élaboration d'une nomenclature dédiée aux nanomatériaux, tenant compte de certains de ces paramètres, est à l'étude. Une fois disponible et accessible, elle permettra d'avancer dans l'évaluation des risques liés à ces éléments. (voir *Moyens déjà mis en œuvre ou envisagés*, pages 111 et 112)



**Étiquette normalisée d'un produit chimique**  
Avant de donner lieu à des mesures d'étiquetage précis, les nanoparticules doivent faire l'objet de travaux de normalisation et de classification.

## DEFINITION

### Qu'est-ce qu'une norme ?

Il s'agit d'une règle commune soit juridique, soit technique. Dans ce cas, elle concerne les caractéristiques d'un produit ou service et son mode de fabrication et de commercialisation. Une norme n'est pas obligatoire, sauf si elle est intégrée dans une loi ce qui est très souvent le cas. Si ce n'est pas le cas, chaque entreprise est libre ou non de la respecter.

Elle est définie par un organisme de normalisation indépendant des fournisseurs, par opposition au standard proposé par un consortium de fabricants ou d'éditeurs.

Les normes prennent le nom de l'organisme : ISO (International standards organization), CEN (comité européen de normalisation), NF (normes françaises).

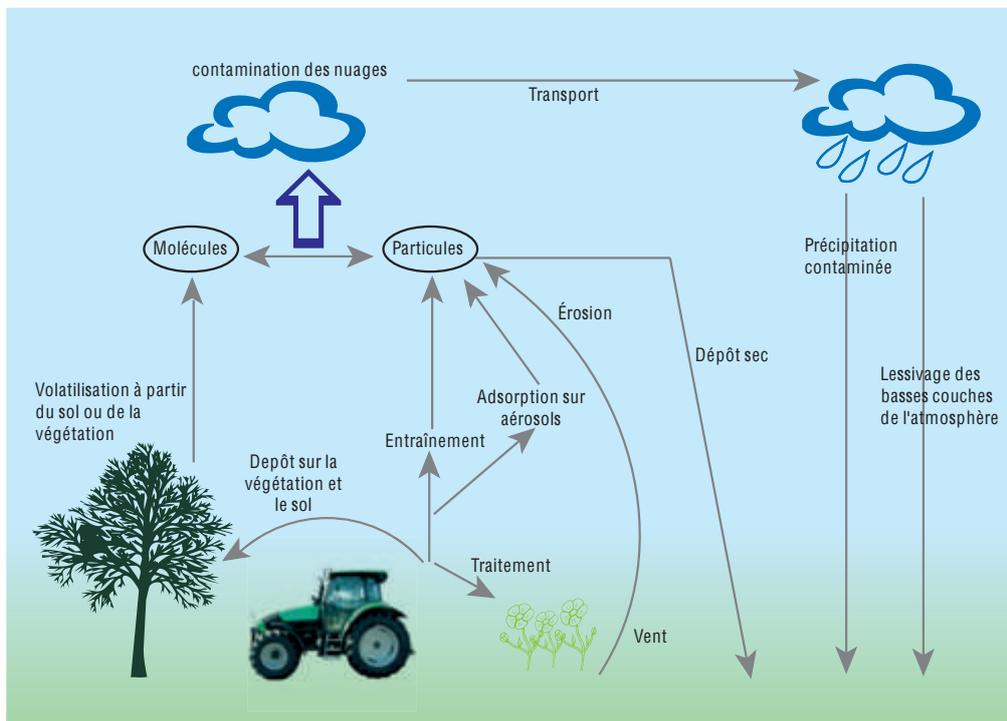
## DEFINITION

L'analyse du **cycle de vie** (ACV) est un outil d'évaluation des impacts environnementaux potentiels d'un produit, bien ou service, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à son élimination en fin de vie, en passant par les phases de distribution et d'utilisation : cette méthode est normalisée au niveau international, série des normes ISO 14 040. (voir Pistes de travail page 113)

Dans ce cadre, l'Afsset a été saisie en juin 2008 afin d'étudier l'impact environnemental des nanomatériaux.

### Dispersion d'un polluant dans l'environnement

Les principaux modes de dispersion des nanoparticules dans l'environnement.



## Nanotechnologies et nanomatériaux : état des lieux et axes de développement



















# Risques pour la santé et l'environnement

63



médical et la formation des travailleurs et la mise en application des moyens de prévention conformément aux règles en vigueur pour le transport des marchandises dangereuses.

Concernant l'efficacité des équipements de **protection individuelle**, les premières études réalisées notamment par l'INRS (ND 2288) et le CEA concernant des médias

filtrants (de type P3) conduisent à estimer que ces protections respiratoires seraient efficaces pour la rétention des nanoparticules. À ce stade, il semble que l'efficacité du média filtrant augmente avec la diminution de la taille des particules jusqu'à un point critique probable mais non déterminé pour l'instant (lire ci-contre).

## EXPLICATION

### Une recommandation de confinement

Le Haut Conseil de santé publique (HCSP), saisi par la direction générale de la santé sur les nanotubes de carbone, a rendu un rapport et un avis le 9 janvier 2009 dans lequel il recommande, en particulier dans l'attente d'une procédure d'enregistrement, d'évaluation et, le cas échéant, d'autorisation, et en vertu du principe de précaution, que la production des nanotubes de carbone et leur utilisation pour la fabrication de produits intermédiaires ou de produits de consommation et produits de santé soient effectuées dans des conditions de confinement strict, visant à protéger les travailleurs d'une exposition lorsque ces activités présentent un risque d'aérosolisation et/ou de dispersion. Cette recommandation s'applique aussi aux laboratoires de recherche.

## EXPLICATION

### Une évaluation en cours

L'Afset a été saisi par les ministères de tutelle, en juin 2008, pour évaluer le risque des nanomatériaux représentatifs du marché et couvrant l'ensemble des voies d'administration, en prenant tout particulièrement en compte l'analyse complète du cycle de vie (y compris les déchets).

## EXPLICATION

### Des masques adaptés

En matière de **protection individuelle** des travailleurs, il est, en tout état de cause, essentiel de veiller à l'étanchéité des masques au niveau de la jointure avec le visage. C'est la raison pour laquelle certaines organisations professionnelles préconisent l'utilisation de masques à ventilation assistée ou à adduction d'air, afin d'assurer une surpression à l'intérieur du masque qui évite l'entrée d'air par des fuites éventuelles de jonction. Des études complémentaires sont en cours de réalisation pour confirmer ces données et vérifier en particulier l'efficacité des gants et vêtements de travail.

En 2007, on estime, en France que 7 000 personnes sont susceptibles d'être exposées aux nanomatériaux dans les laboratoires de recherche publics.





# Nanotechnologies et nanomatériaux : état des lieux et axes de développement





# Recherche, innovation et développement économique



quelques dispositifs spécifiques (comme le moteur à explosion, l'ampoule électrique ou les ordinateurs), mais vont largement être intégrées, en faible quantité et sans parfois être visibles, dans des produits déjà existants pour les améliorer. En ce sens, les nanotechnologies apparaissent, à certains, comme une simple évolution technologique. Cependant les potentialités ouvertes sont colossales et déboucheront très probablement, à l'image de l'informatique, sur des pratiques et des usages nouveaux qu'il reste aujourd'hui impossible de prévoir.

## L'ÉTAT DES LIEUX ET LES ENJEUX ACTUELS

Les nanotechnologies s'adressent à des secteurs industriels très diversifiés. Elles ont néanmoins en commun de mettre en œuvre des techniques à une échelle nanométrique. À cette échelle, on l'a vu, la matière possède des propriétés originales, différentes de celles des échelles micro et millimétriques.

### L'apport de la recherche en nanosciences

Visant à comprendre les lois qui régissent le comportement des objets à l'échelle nanométrique, les nanosciences mobilisent et génèrent des connaissances dans de nombreuses disciplines. Les nanosciences et les nanotechnologies concernent trois domaines principaux :

- la nanoélectronique, considérée au sens large comme le traitement de l'information à l'échelle nanométrique. Elle succède à la révolution de la microélectronique qui avait déjà rapproché la physique et la mécanique et devrait concerner bientôt la biologie. On décrit les phénomènes de base liés aux dimensions nanométriques notamment dans

l'électronique quantique et moléculaire, le nanomagnétisme et l'électronique de spin et la nanophotonique ;

- les nanobiotechnologies représentent la rencontre entre macromolécules du vivant et nano-objets, du fait de la similarité d'échelle. La rencontre se fait dans les deux sens, en s'inspirant du vivant (biomimétisme) pour développer de nouveaux matériaux et en utilisant les effets des nanomatériaux sur le vivant. Les nanobiotechnologies constituent donc un champ d'expériences et de développement considérable, depuis les composants jusqu'aux systèmes multiformes et complexes ;
- les nanomatériaux. Il s'agit de contrôler précisément la morphologie et les dimensions des particules et des substances afin de produire des matériaux dotés de nouvelles propriétés. La nanochimie va pouvoir toujours mieux contrôler l'organisation de la matière en termes de propriétés physiques, chimiques ou biologiques.

Les nanosciences et nanotechnologies requièrent également des compétences transversales :

- la nanosimulation pour modéliser, simuler de manière réaliste et prédictive le comportement d'assemblages d'atomes dans une vision multi-échelles et multiphysiques ;
- l'instrumentation et la métrologie à l'échelle nano : la caractérisation des matériaux et structures à l'échelle nanométrique est indispensable pour comprendre et maîtriser leurs propriétés ;
- la sécurité à l'échelle nano : le domaine couvre les méthodologies, moyens de caractérisation, protection et études de toxicologie nécessaires à la gestion des risques liées à la manipulation de nanomatériaux. Il s'agit également de la mise

en sécurité des procédés d'élaboration de nanomatériaux et de traitements des produits en série.

### Des enjeux majeurs en termes de compétitivité

Pour tirer parti de ces nouvelles propriétés, chercheurs et industriels ont imaginé deux voies : procéder par miniaturisation, voie dite descendante ou top-down ou directement par assemblage d'atomes, voie ascendante ou bottom-up. (Lire page 13).

Ces procédés s'appliquent, de fait, à des activités différentes : la démarche descendante conduit à l'élaboration et la mise en œuvre de nanomatériaux comme produits intermédiaires de transformation ; la démarche ascendante concerne surtout les technologies de l'information. Dans les deux cas, les potentialités d'innovation sont très importantes et elles touchent tout autant les procédés de mise en œuvre que les produits.

Pour valoriser ce potentiel d'innovation, il faut toutefois mobiliser des moyens considérables et recourir à la production de masse qui permet ainsi de rentabiliser les investissements. Les nanotechnologies apparaissent paradoxales : d'une part, certaines de leurs applications envahissent des produits à faible valeur ajoutée technique mais massivement consommés (articles de sport, revêtements pour carrosserie automobile, surfaces autonettoyantes) et d'autre part, elles permettent la réalisation de systèmes complexes de très haute technicité, mais produits de façon plus ciblée, comme tout ce qui touche à la nanoélectronique ou à la nanobiologie.

Par ailleurs, la compétition internationale s'intensifie et le positionnement relatif des pays émergents et des pays très développés dans le leadership durable des nanotechnologies est loin d'être établi. Il est donc crucial de se positionner sur ce secteur,

Nanotechnologies et nanomatériaux : état des lieux et axes de développement



# Recherche, innovation et développement économique



les nanotechnologies sont indubitablement un secteur majeur de l'activité mondiale. Les estimations font apparaître des sommes très élevées avoisinant à présent les 750 milliards d'euros, à comparer aux chiffres d'autres marchés : en 2005, le marché mondial de la chimie (pharmacie comprise) était de 1 800 milliards d'euros, celui de l'automobile de 1 100 milliards d'euros et celui de la sidérurgie de 800 milliards d'euros.

Cette comparaison permet de comprendre les intérêts que suscitent les nanotechnologies et, en retour, souligne la nécessité de s'assurer que leur déploiement répond aux exigences d'un développement responsable et qu'il respecte les impératifs de sécurité sanitaire et environnementale.

## Un impact sur l'emploi et la création d'entreprises

Les prévisions de la NSF font état d'environ 2 millions de travailleurs dans le secteur des nanotechnologies à l'horizon 2015. Ces emplois seraient répartis de la façon suivante : 0,8 million aux États-Unis, 0,5 au Japon, 0,4 en Europe, 0,2 en Asie (hors Japon) et 0,1 sur les autres zones. À ces emplois directs, il convient d'ajouter environ 5 millions d'emplois indirects, ce qui illustre globalement le poids de l'activité économique autour des nanotechnologies. Néanmoins, comme pour les volumes de marché, ces chiffres sont très variables selon

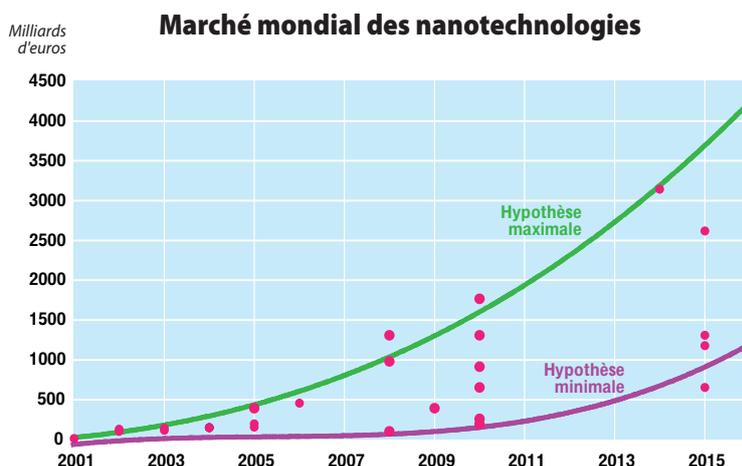
les études. Lux Research prévoit, par exemple, plutôt 10 millions d'emplois directs et indirects en 2014. Quoiqu'il en soit, le poids en terme de ressources humaines, dans un vaste spectre d'entreprises, des start-up aux grands groupes, est considérable et on peut retenir qu'environ 10 % des emplois manufacturiers seront liés aux nanotechnologies d'ici à 2015.

Certains groupes sont déjà très présents dans ce secteur, comme des groupes chimiques mais également des groupes industriels utilisateurs. Cependant, il apparaît que ce champ concerne majoritairement des entreprises récentes et la plupart du temps créées à cette fin. Ces entreprises sont, pour environ un tiers, impliquées dans la production et la transformation des nanomatériaux, pour un autre tiers en nanobiologie et pour le troisième sur les nanosystèmes et nanocomposants.



Certaines études (Lux Research notamment) estiment à 10 millions le nombre d'emplois directement et indirectement liés aux nanotechnologies en 2014, des start-up aux grands groupes. D'ici à 2015, elles pourraient mobiliser 10 % des emplois manufacturiers.

**Évolution du marché des nanotechnologies**  
Les perspectives d'évolution du marché des nanotechnologies sur la période 2001-2015 (d'après « The economic development of nanotechnology – an indicators based analysis » EC DG Research, 28 novembre 2006).



Source : The economic development of nanotechnology, European Commission

## Nanotechnologies et nanomatériaux : état des lieux et axes de développement



# Recherche, innovation et développement économique



différente selon les pays. Si la production scientifique reste relativement stable aux États-Unis et semble amorcer un déclin au Japon depuis 2005, la production scientifique **chinoise** dans le domaine des nanotechnologies est en pleine croissance.

## Des technologies militaires convoitées

Au plan mondial, de nombreux pays s'intéressent aux applications militaires des nanotechnologies. Les États-Unis figurent en première ligne, avec un effort de recherche d'environ 350 millions d'euros par an pour les nanotechnologies militaires (soit 34 % du budget alloué globalement aux nanotechnologies par ce pays) et la création d'un institut dédié (*Institute for Soldier Nanotechnology*).

Par comparaison, l'effort militaire français reste modeste, tant en valeur absolue que relative : environ 20 millions d'euros par an, soit seulement 7 % du budget total consacré par la France aux nanotechnologies.

Les États-Unis sont suivis par le Japon, le Royaume-Uni, l'Allemagne et Israël. Il est néanmoins difficile, dans la masse d'applications évoquées publiquement, de faire la part entre les applications réelles et les projections futuristes ou purement spéculatives, voire tenant de la désinformation. La Chine, l'Inde et la Russie investissent aussi fortement dans ces technologies, mais l'ampleur et le contenu de leurs programmes restent mal connus.

Enfin, de nombreux pays émergents, comme le Brésil ou l'Afrique du Sud, ou du Sud dont l'Iran, l'Algérie, le Nigeria et l'Arabie Saoudite, s'intéressent aussi aux nanotechnologies pour des objectifs déclarés de souveraineté nationale. Sans doute y voient-ils un moyen de contrebalancer la puissance occidentale en investissant dans le développement de technologies du futur.

## Les programmes de l'Union européenne

Au niveau européen, la coopération entre États, pas toujours aisée de manière bilatérale, ne peut que tirer bénéfice, en particulier pour la recherche, des programmes et dispositions mis en œuvre dans le cadre de l'Union et permettre aux nouveaux entrants de s'ouvrir davantage à ces aspects et s'associer à leurs enjeux.

Les programmes financés par l'**Union européenne** s'articulent notamment au sein du programme-cadre de recherche et de développement technologique (PCRDT), autour des réseaux ERA Net et autour des plateformes technologiques européennes, ETP pour European Technological Platform.

### EXPLICATION

#### Une accélération en Chine

L'éveil chinois en matière de nanotechnologies est relativement récent, puisque la période 2005-2006 représente près de la moitié de la production scientifique chinoise de ces dix dernières années dans le domaine (20 000 publications en 2005-2006 sur les 44 400 publications entre 1996 et 2006). En 2005, la Chine avait déjà largement dépassé le Japon. En 2006, la Chine représente 16,6 % de la production scientifique mondiale sur les nanotechnologies, juste derrière les États-Unis (17,4 %), qu'elle devrait dépasser dans les années à venir si les tendances actuelles de croissance pour la Chine et de relative stabilité de la production scientifique pour les États-Unis se maintiennent.

### REPÈRES

Les fonds dédiés par l'**Union européenne** aux nanotechnologies s'élevaient à 530 millions d'euros en 2006, à comparer aux 1,775 milliard de dollars des États-Unis et 1,650 milliard de dollars consacrés par les pays de la zone Asie (Japon, Corée du Sud, Chine, Taiwan, Inde).

*La photonique étudie la lumière et développe les technologies capables de la contrôler, notamment dans le but de transmettre des informations via des faisceaux lumineux. Elle concerne de très nombreux secteurs. Un pôle de compétitivité lui est consacré dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur.*



Nanotechnologies et nanomatériaux : état des lieux et axes de développement



# Recherche, innovation et développement économique



À signaler, dans le programme européen de santé publique 2008-2013, une action conjointe publiée en février 2009 sur la sécurité des nanomatériaux sous l'impulsion de la présidence française de l'Union européenne en décembre 2008. Cette action a fait l'objet d'un appel d'offres. La France en a assuré la coordination et a présenté un dossier pour un programme dénommé Nanogenetox visant à établir une méthodologie robuste relative à la détection de molécules potentiellement génotoxiques, c'est-à-dire pouvant compromettre l'intégrité du génome. Quinze nanoparticules déjà sur le marché et utilisées dans divers produits (silice, dioxyde de titane et nanotubes de carbone) vont être soigneusement caractérisées au plan physique et chimique et faire l'objet de tests. Cette action, sur 3 ans, regroupe 17 institutions et 13 États membres.

## La place de la France

En dehors du nombre de publications, vu plus haut, le positionnement de la France peut s'apprécier grâce aux indicateurs que sont la création de start-up, la valorisation de la recherche et le transfert de ses résultats vers l'industrie, le financement (public, privé), les moyens mobilisés (humains et matériels) et l'efficacité de l'organisation.

La France a mis en place un ensemble de dispositifs de soutien à l'innovation : 5 pôles de compétitivité directement concernés par les micro et nanotechnologies et plusieurs

**instituts Carnot.** Néanmoins, en 2005, la France déposait seulement 1,5 % des brevets dans le monde et se positionnait derrière des pays tels que la Corée du Sud et Taiwan. Ainsi, le financement de la recherche privée est très inférieur en pourcentage à celui consenti dans d'autres pays. Les conditions d'une stratégie de valorisation efficace vers l'industrie ne sont donc pas réunies. Les freins à la création, et surtout au développement des start-up, sont bien réels en comparaison avec les pays comme les États-Unis, le Canada, le Royaume-Uni ou Israël.

## Un financement public important, mais une structuration variable selon les champs

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

Le niveau des dépenses publiques en France est significatif, les programmes variés et relativement larges. La structuration est toutefois variable selon les champs.

### REPÈRES

#### Les instituts Carnot

Le réseau des instituts Carnot a pour mission de développer des partenariats de recherche avec les acteurs socio-économiques (grands groupes, PME, start-up, collectivités territoriales) et de favoriser les transferts de technologies.

### REPÈRES

Micro et nanotechnologies : un effort croissant  
En 2008, l'Agence nationale de la recherche (ANR) a consacré 83 m€ aux nanosciences et nanotechnologies soit 12,5 % du volume de ses appels.

### EXPLICATION

#### Mise en réseau, mise à niveau

La France a mis en place des groupements de recherche C<sup>2</sup>Nano assurant une mise en réseau des laboratoires et des deux réseaux de centrales technologiques (grandes centrales et centrales de proximité), couvrant l'ensemble du territoire. Les investissements effectués dans ces centrales ont permis de remettre à niveau les équipements indispensables au développement de filières innovantes et adaptés aux besoins industriels.

### REPÈRES

#### Programme ICT

Programme-cadre européen dans les technologies de la communication

#### Programme NMP

Programme-cadre européen nanosciences, nanotechnologies, matériaux et nouvelles technologies de production.



# Recherche, innovation et développement économique



Les **grands instruments**, principalement les sources de rayonnement synchrotron et de neutrons, servent à la caractérisation des nanomatériaux et matériaux nanostructurés.

En micronanotechnologies pour les sciences du vivant, la situation de la France est contrastée avec des forces en recherche (biophysique, biomicrofluidique, nanoparticules et vectorisation) mais une faiblesse liée au nombre insuffisant d'industriels en instrumentation biomédicale. Ce marché est actuellement dominé par les États-Unis. Mais depuis peu se développent en France des start-up issues de la recherche, moteur privilégié du développement de l'innovation.

La France dispose d'atouts incontestables en micronanoélectronique avec une solide

recherche de base universitaire, un centre de recherche technologique majeur en microélectronique CEA-LETI (laboratoire d'électronique et de technologie de l'information) et un investissement public et privé considérable (supérieur à 1 milliard d'euros).

Dans le champ des matériaux innovants, qui concerne à la fois la mécanique, la chimie et la biologie, une collaboration étroite s'est établie entre les laboratoires académiques et les industriels. Malgré la forte incitation de partenariat et de transfert soutenue par l'ANR, la structuration est difficile à mettre en place compte tenu de la diversité des thématiques et des produits.

## EXPLICATION

### Les grands instruments en France

Quatre de ces grands instruments existent en France : le synchrotron Soleil et le laboratoire Léon Brillouin basés à Saclay, l'institut Laue Langevin et l'European Synchrotron Radiation Facility basés à Grenoble.

Les évolutions récentes, ou à venir, de ces centres les ouvrent encore davantage aux nanosciences.



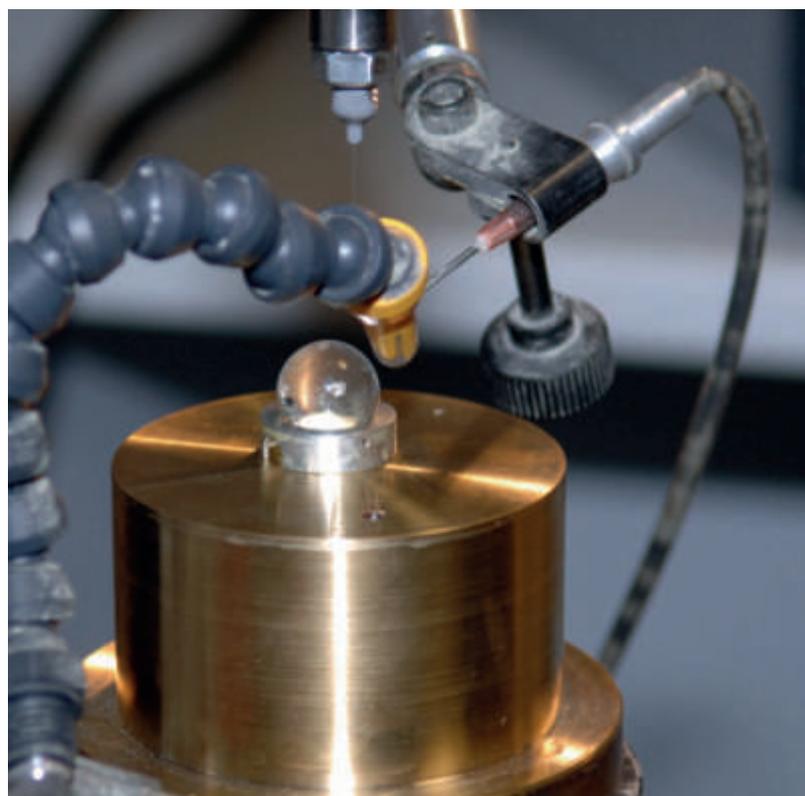
le synchrotron Soleil et le laboratoire Léon Brillouin basés à Saclay

## DEFINITION

### Agence nationale de la recherche (ANR)

Agence de financement de projets de recherche qui s'adresse à toute la communauté scientifique, aussi bien aux laboratoires publics qu'aux entreprises. La mission de l'agence est de financer des projets de recherche originaux (répondant aux appels qu'elle lance) et d'encourager le partenariat entre ces acteurs. L'ANR organise chaque année des appels à projets sur des domaines thématiques spécifiques. Les projets sont sélectionnés sur des critères de qualité scientifique, auxquels s'ajoute la pertinence économique dans le cas des projets de recherche appliquée faisant intervenir des entreprises.

La micronanoélectronique, au carrefour de la micromécanique, de la microélectronique et des nanotechnologies, est un secteur de pointe pour la France. Elle déploie quatre axes de recherche fondamentale et technologique décisifs : le développement de solutions pour fabriquer de nouveaux composants, la révolution des objets intelligents, l'électronique hybride et l'intégration matériel logiciel (systèmes embarqués).





# Recherche, innovation et développement économique



– **SCS (Solutions Communicantes Sécurisées)**, situé dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, vise l'intégration des matériels et des logiciels pour transmettre, échanger et traiter des informations de manière sécurisée et fiable. Applications dans la téléphonie mobile numérique, les télécommunications par satellite, la carte à puce, l'étiquette électronique (RFID), les transactions électroniques, la géolocalisation. S'adresse aussi à la banque, la distribution, la santé, le tourisme, la sécurité et la défense.

Les membres de SCS : des laboratoires publics appartenant au CNRS, École centrale de Marseille, École des mines de Saint-Étienne, Eurecom, ENST, Inria, universités de Marseille, université de Nice, des grands groupes industriels comme Alcatel Space, Altran, Amadeus, Atmel, France Télécom, Gemalto, Hewlett-Packard, IBM, In neon, NXP, Oracle, Safran, SAP, STMicroelectronics, Texas Instruments et des PME comme Apsis, DataComsys, IBS, Impika, Orsay Physics, Polymage, Shaktiware, Trusted Logic, Visioscopie ;

– **S2E2 (sciences et systèmes de l'énergie électrique)**, situé dans la région Centre, vise l'ensemble de la chaîne de valeur de l'énergie électrique et s'adresse aux marchés suivants : énergies nouvelles, équipements grand public et nomades, bâtiment résidentiel et tertiaire, équipements industriels. . .

Les membres de S2E2 : des laboratoires publics appartenant au CNRS, CEA, université de Tours, université d'Orléans et des industriels comme ST Microelectronics, Legrand, Thermor, Dalkia, AZE Technologies, Vermon, Mecagis ;

– le pôle **Photonique**, situé dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, est spécialisé dans les systèmes complexes d'optique et d'imagerie dédiés aux milieux hostiles (observation de l'espace et de la Terre, optique marine et sous-marine, outils photoniques pour la fusion nucléaire) et à des marchés connexes (microélectronique, sciences de la santé, environnement et risques naturels et industriels, procédés industriels).

Les membres du pôle **Photonique** : une vingtaine de laboratoires publics appartenant à l'Ifremer, CNRS, DGA, Inria, Ensam et une centaine d'entreprises comme Thales Alenia

Space, Eurocopter, Thales Microsonics, ST Microelectronics, Texas Instruments, Atmel, Siemens, Bertin technologies, Seso, Dassault Systèmes, Image Technologies, Nano Physics, Valmecca, Sema Group, Comex, Cégelec, Cybernetix ;

– le pôle **MicroTechniques**, situé à Besançon (Franche-Comté), est centré autour du savoir-faire de l'usinage au sens large (automobile, téléphonie, aéronautique, électroménager, secteur biomédical. . .). Il s'adresse aux domaines industriels où les volumes, les poids, les dimensions des composants et des produits diminuent en augmentant leur densité fonctionnelle.

Les membres du pôle Microtechniques : des laboratoires, CNRS, ENSMM, institut Femto-ST, université de Franche-Comté, université de technologie de Belfort-Montbéliard et un grand nombre de PME comme Alcis, Cheval Frères, Digital Surf, Imasonic, Micro Mega, NanoJura, Optec, Photline Technologies, Silmach, Statice Santé.

Trois **réseaux thématiques de recherche avancée** (RTRA) ont également été créés dans le domaine des nanosciences :

– **Nanosciences à la limite de la nanoélectronique** (Grenoble) fédère les initiatives du CEA, du CNRS, de l'INPG et de l'UJF pour les thématiques électronique quantique, magnétisme, photonique, matériaux, sciences du vivant, caractérisation et métrologie, modélisation ;

– **Triangle de la physique** (Orsay) rassemble les laboratoires du triangle géographique Palaiseau-Orsay-Saclay (université Paris sud XI, CNRS, École polytechnique, CEA, Onera, Iota, ENSTA et Sup'Elec) dans les domaines optique, physique de la matière diluée et condensée, physique des milieux complexes, nanophysique et physique statistique ;

– **Centre international de recherche aux frontières de la chimie** (Strasbourg) rassemble l'université Louis Pasteur, le CNRS et les sociétés BASF (chimie) et Bruker (instrumentation) dans le domaine de la chimie en interface avec la physique, les matériaux et la biologie.

## DEFINITION

### Pôles de compétitivité

Un pôle de compétitivité rassemble, sur un territoire donné, des entreprises, des laboratoires de recherche et des établissements de formation pour développer des synergies et des coopérations.

D'autres partenaires, dont les pouvoirs publics, nationaux et locaux, ainsi que des services aux membres du pôle sont associés.

L'enjeu : s'appuyer sur les synergies et des projets partenariaux et innovants pour permettre aux entreprises impliquées de prendre une position de premier plan dans leurs domaines, en France et au niveau international.

## DEFINITION

### Centrales technologiques

Le réseau national de grandes centrales technologiques vise à fournir aux chercheurs les technologies nécessaires (salles blanches, équipements et instrumentation. . .) à la réalisation des projets de recherche et de développement des laboratoires. Il est complété par des centrales de proximité, de moindre envergure, qui complètent, à l'échelle locale, l'infrastructure des grandes centrales. Elles sont réparties sur l'ensemble du territoire.



