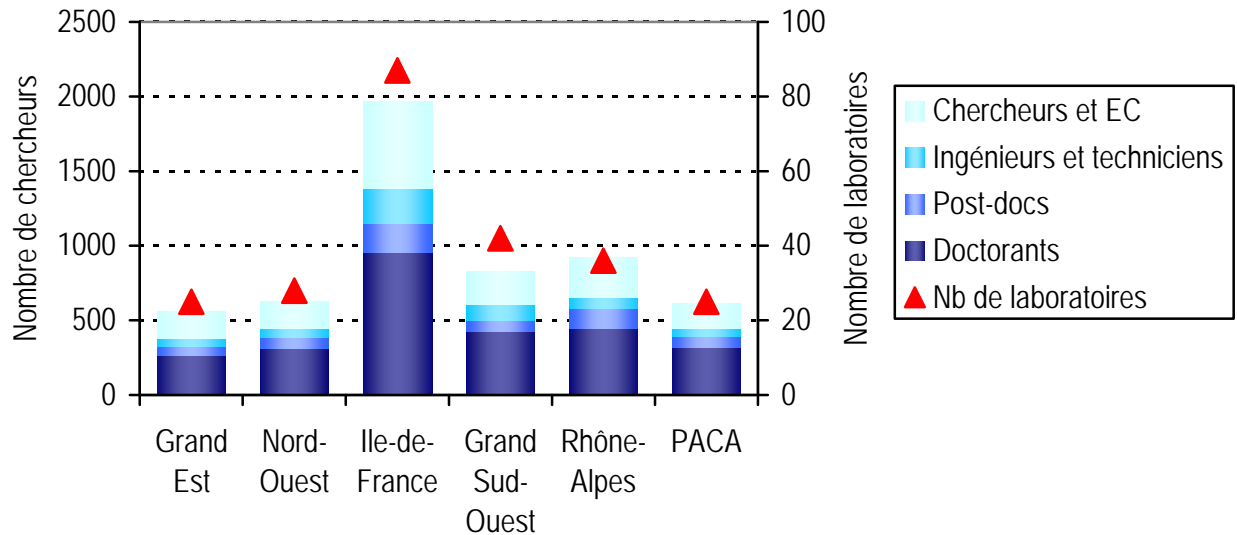


La recherche en nanosciences et nanotechnologies en France

5300 chercheurs et 243 laboratoires dans le domaine des nanotechnologies en France

Répartition géographique des chercheurs en nanotechnologies en France



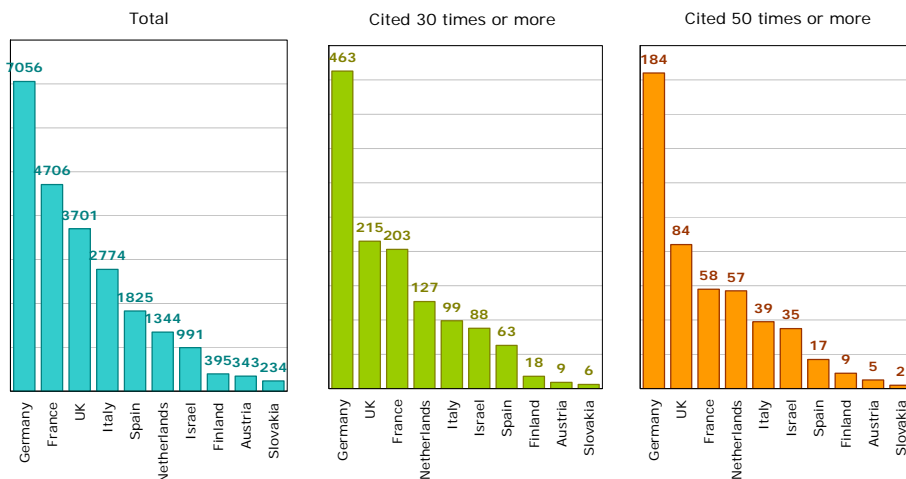
Une production scientifique de qualité

Une étude bibliographique sur ISI-Web of Science a été réalisée dans le cadre du projet Européen ERANET Nanosci-ERA sur les trois sous-domaines qui suivent :

- Nanoobjets, matériaux nanostructurés, assemblage moléculaire
- nanosystèmes et fonctionalisation de surface
- nanobiosciences

Un exemple en est donné dans la figure ci-dessous spécifiquement pour les nano-objets et nanomatériaux:

Nano-objects & Nano-materials - Publications (2000-2004)



D'après ces résultats, on peut voir que la France à la **2^e ou 3^e position européenne** en fonction du nombre de citations des articles.

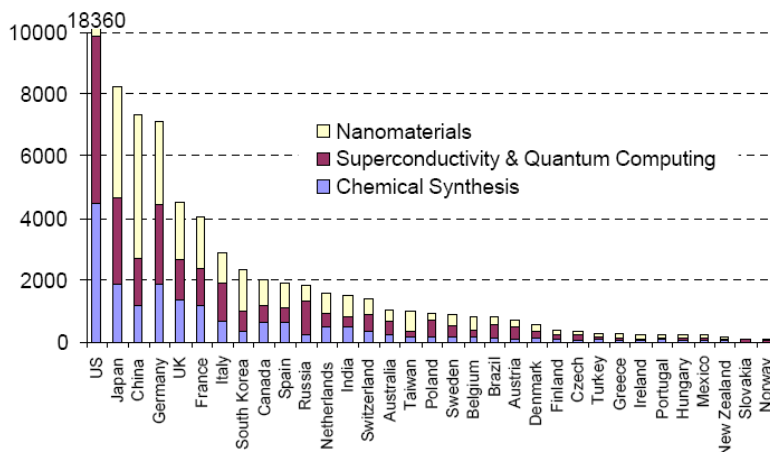
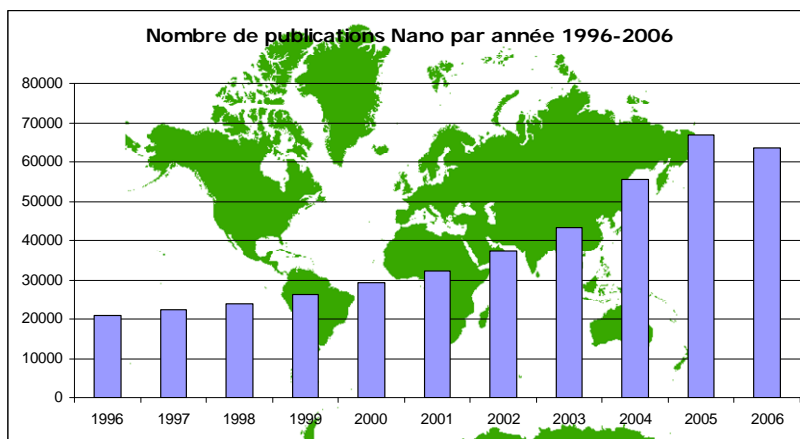


Figure 21: Scientific publications in nanoscience per country and subfield, 1999-2004 (SCI database). Sources: Igami, 2006, Science Citation Index 1999-2004. The analysis has been conducted by NISTEP, 2006.

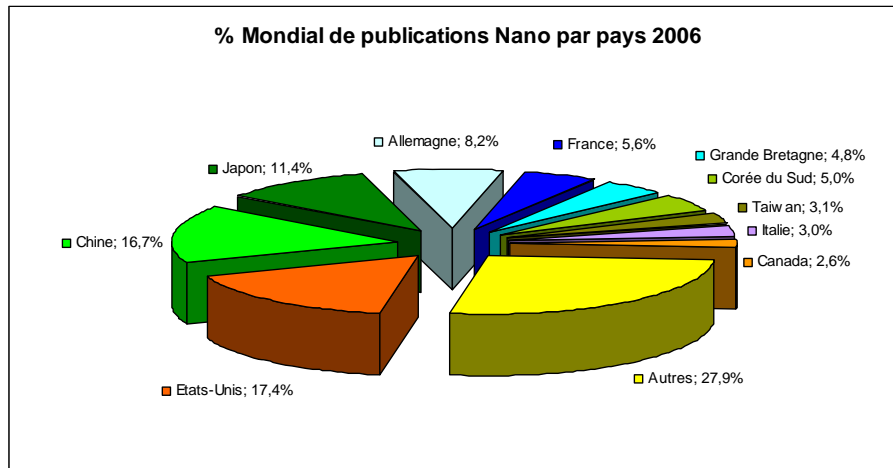
La France se trouve à la **6^e position mondiale** derrière le Royaume-Uni, L'Allemagne et la Chine. ¹

Concernant l'évolution de ce secteur des « nanos », notons que le volume de publications a plus que triplé en 10 ans passant de 20 852 publications en 1996 à 63440 en 2006². Plus du tiers de la production scientifique mondiale sur les nanotechnologies provient des Etats-Unis et du Japon. Viennent ensuite la Chine et l'Allemagne puis la France en 5^e position avec 6,1% (soit 25 831 publications) du nombre total de publications parues sur la période 1996-2006. Sur la seule année 2006 **la France occupe une place très honorable dans la production scientifique mondiale sur les nanotechnologies**, avec une part d'un peu plus de 5% du nombre de publications sur les nanotechnologies (3526 publications en 2006)



¹ Selon les données récoltées par le CEA, la France est en 5^{ème} position avant le Royaume Uni (données 2006)

² Source CEA d'après données de base Scopus, Décembre 2007



L'organisation nationale

Depuis 2003, la France a mis en place un ensemble de dispositifs visant à promouvoir la recherche et l'innovation dans le secteur des nanosciences et des nanotechnologies. Il est basé sur un réseau de grandes centrales permettant de développer l'intégralité d'une filière, de centrales dites de proximité permettant d'initier des recherches plus flexibles et souvent très innovatrices, de groupements régionaux de recherche harmonisés au niveau national par le CNRS et appelés C'NANO permettant de créer des liens et une synergie entre laboratoires, plus récemment en 2006 de 3 Réseaux Thématiques de Recherche Avancée (RTRA) qui ont renforcé, notamment pour l'un d'entre eux, le secteur de la chimie encore peu présent dans le dispositif. Cette structuration, initiée à partir des secteurs de la physique et du secteur de la nanoélectronique, est unique en Europe. Elle a permis et permet encore de maintenir voire d'amplifier une recherche académique et/ou fondamentale de qualité. Par contre, il est moins performant, exception faite du CEA³, en ce qui concerne la valorisation et le transfert de technologie.

Par ailleurs, les nanotechnologies et nanosciences sont clairement affichées comme thèmes prioritaires dans plusieurs grands organismes scientifiques et certaines universités. A noter que certains grands instruments nationaux, principalement utilisés pour la caractérisation des matériaux, développent actuellement une offre spécifique pour ces technologies. On peut d'ailleurs prévoir que les quelques sites français notamment Orsay-Saclay-Palaiseau et Grenoble dédiés aux nanosciences et nanotechnologies tireront avantage de ces instruments.

■ Réseaux nationaux de centrales de technologies, centres de compétences en Nanosciences et RTRA

Les infrastructures mises en place en France dans les années 1990-2000 autour de l'étude et des recherches sur les nanosciences et nanotechnologies tirent leurs origines, pour beaucoup, de la micro, et plus récemment de la nanoélectronique. Elles représentent essentiellement la voie « top-down » ou descendante qui a suivi l'évolution de la loi de Moore depuis les années 1970. L'organisation nationale, que nous allons décrire ici, relève essentiellement de cette voie. L'autre voie « bottom-up » ou ascendante, dérive essentiellement de la chimie avec l'assemblage moléculaire, la chimie de surface et les caractérisations physico-chimiques associées. Elle n'a pas fait l'objet d'une structuration dédiée jusqu'à présent. Pourtant avec l'évolution que prennent aujourd'hui les nanosciences et nanotechnologies, ces techniques dites ascendantes vont jouer un rôle important dans l'avenir. Elles devraient permettre l'obtention d'objets encore plus petits ou de couches minces nanostructurées à propriétés très spécifiques qui, reprises et étudiées par les physiciens et travaillées dans les infrastructures de type « top-down » comme les grandes centrales, devraient permettre l'avènement de la nouvelle ère quantique. Dans ce domaine, la France est très bien placée au niveau mondial. Finalement en 2006, le pacte pour la recherche a introduit la possibilité pour la communauté scientifique

³ Inspection Générale des Finances – Sous la supervision de Henri Guillaume, *Rapport sur la valorisation de la recherche* (janvier 2007), https://www.igf.minefi.gouv.fr/sections/rapports/valorisation_de_la_r/

de créer, avec l'aide financière de l'Etat, des réseaux thématiques de recherche avancée (RTRA) pour conduire des projets d'excellence scientifique et favoriser l'émergence de hauts lieux scientifiques en France, reconnus parmi les tout premiers au plan international. 13 RTRA ont été labellisés dont 3 dans le domaine des nanosciences et nanotechnologies.

- ***La Recherche Technologique de Base ou réseau des Grandes Centrales Technologiques***

En 2003, un programme intitulé « réseau national de grandes centrales de technologie pour la Recherche Technologique de Base (RTB) » a été initié par le ministère chargé de la recherche avec l'objectif de développer au plus haut niveau les recherches et l'innovation dans le domaine des nanotechnologies. Il a permis la mise en place de sept centrales offrant infrastructures, équipements et outils technologiques de pointe. Ces centrales sont réparties sur cinq sites, à Grenoble, Toulouse, Lille, Besançon et Saclay. Elles ont chacune un domaine d'expertise qui leur est spécifique, et forment en commun un ensemble cohérent. Elles ont été financées à hauteur de 80,8 M€ entre 2003 et 2007.

- ***Les centrales de proximité en nanotechnologies***

Parallèlement et pour compléter l'offre des grandes centrales, le ministère a lancé un programme de centrales de proximité. Par rapport au réseau RTB, les centrales de proximité sont plus petites, offrent un environnement moins riche, mais elles sont plus faciles d'accès et plus largement ouvertes à des projets et des utilisateurs extérieurs sur des thématiques diverses. Elles constituent l'instrument indispensable pour la formation initiale et continue dans le domaine des nanotechnologies. Actuellement au nombre de 7, elles ont été financées depuis 2003 à hauteur de 4 M€. Suite à la création de l'ANR en 2005, aucun programme spécifique n'a permis de les soutenir depuis cette date alors qu'elles l'avaient été depuis 2003 par le FNS (Fond National pour la Science). Depuis juillet 2007, un travail de fond initié par le ministère en concertation avec le ministère de la Défense, l'ANR, le CNRS, le CEA, les directeurs des grandes centrales et les centres C'NANO, a permis d'aboutir en juin 2008 à une solution satisfaisante consistant à soutenir ces structures dans le cadre des TGIR (Très Grandes Infrastructures de Recherche). Le ministère y a affecté 1000 k€ d'une manière récurrente, le CNRS 400 k€, le CEA 150 k€ et le ministère de la Défense 100 k€. Un appel d'offre, géré par le CNRS, a été lancé en mai 2008. En 2008, 3 des 12 lauréats français de l'ERC ont bénéficié de la souplesse et la réactivité offertes par ces centrales (*voir encadré en dernière page*).

- ***Les centres de compétence en nanosciences C'Nano***

Afin de structurer la recherche nationale, 6 centres de compétence en nanosciences ont été créés en 2004. Ils sont basés en Ile-de-France, en Rhône-Alpes, en Provence-Alpes-Côtes d'Azur (PACA), dans le Grand Est, dans le Nord-Ouest (du Nord-Pas de Calais à la Bretagne et aux Pays de Loire), dans le « Grand Sud-Ouest » (Aquitaine, Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon). Ces centres inter-régionaux concentrent 243 laboratoires pour 5300 chercheurs et enseignants-chercheurs à la pointe des recherches menées en nanosciences. Ils bénéficient également d'un réseau d'établissements d'enseignement supérieur important et de la proximité d'entreprises utilisatrices des fruits de la recherche. S'appuyant sur les ressources technologiques et de caractérisation existant dans leur environnement, notamment avec les centrales du RTB et celles de proximité, ils sont bien placés pour faciliter, dans un avenir proche, la production des innovations technologiques nécessaires au tissu industriel.

Le système de formation

■ Un manque de formations interdisciplinaires

L'interdisciplinarité offre un grand intérêt pour les Nanosciences et Nanotechnologies, mais les systèmes d'éducation et de formation traditionnels n'y préparent pas. Les nouveaux produits, les nouveaux services et les nouvelles méthodes de production entraîneront une demande de métiers inédits. Il est donc nécessaire d'encourager la formation interdisciplinaire et l'enseignement dans la

R&D sur les nanosciences et nanotechnologies en mettant l'accent sur la physique, la chimie, la biologie, la toxicologie et l'écotoxicologie ainsi que sur l'ingénierie, sans oublier pour autant l'étude des retombées entrepreneuriales, l'évaluation des risques et les sciences sociales et humaines le cas échéant. Concernant la formation continue, des programmes devraient aussi être spécifiquement ciblés sur les PME qui manquent souvent de l'expertise ou des ressources internes nécessaires.

■ **La formation en micro et nanoélectronique : la coordination nationale de formation en micro et nanoélectronique (CNFM)**

Le développement des entreprises de la micro et de la nanoélectronique nécessite une formation pratique d'excellence pour les étudiants de ces filières. Les équipements associés à ces formations sont souvent onéreux tant en termes d'investissement que de fonctionnement. C'est pourquoi il est nécessaire d'assurer une mutualisation nationale de ces moyens. Ce constat a conduit à la création d'un GIP (groupement d'intérêt public), le CNFM fédéré en douze pôles. Ces pôles, 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. Dans son récent rapport, le Sénateur Claude Saunier appelle à soutenir fortement cette structure.

Cependant il faut signaler que les centrales de proximité réalisent également des actions de formation pratique pour les universités et certaines PME locales. Par ailleurs elles ont élargi leur offre à d'autres secteurs que celui l'électronique notamment à la physique et à la chimie. Il est donc nécessaire d'optimiser au mieux, au niveau national, l'ensemble de ce dispositif et de clarifier les objectifs de chacune des structures.

Les nanosciences et les nanotechnologies : une priorité européenne

Au sein du PCRD, la thématique: nanosciences et nanotechnologies se trouve dans un programme plus global intitulé NMP (*Nanotechnologies, Materials and Productions*). Doté entre 2002 et 2006 de 1276 M€, ce programme bénéficie de 3500 M€ dans le 7^e PCRD (2007-2013). Il est difficile de savoir à l'avance la part qui sera réservée aux nanosciences et nanotechnologies dans le nouveau programme. Par ailleurs, il ne faut pas oublier de considérer également la partie électronique et microélectronique du programme IST (correspond aujourd'hui à ICT), partie riche en nanoélectronique et dotée de 3722 M€ entre 2002-2006. Le prochain programme ICT (technologies de l'information et de la communication) sera doté de 9100 M€ dans le 7^e PCRD 2007-2013.

■ **Bilans des financements reçus dans le cadre du 6^e PCRD 2002-2006**

Les nanosciences et les nanotechnologies concernent majoritairement deux programmes européens : ICT pour tout ce qui concerne la micro et nanoélectronique et NMP pour les nanosciences et nanotechnologies concernant le reste des disciplines. Il est à noter que pour les financements acceptés, les équipes françaises occupaient une meilleure place dans ICT (*2^e position*) que dans NMP (*3^e position*). Comme ces programmes européens sont à fortes connotations partenariales, ceci peut s'expliquer par une présence française importante des industriels de la micro et nanoélectronique dans ICT et par un tissu de PME mal adapté aux objectifs de NMP.

- ***Bilan de la partie Nanosciences de NMP pour le 6^e PCRD 2002-2006***

La totalité du programme a été subventionnée à hauteur de 1276 M€ dont 140 M€ pour des équipes françaises. Dans la thématique spécifique nanosciences et nanotechnologies, 275 M€ ont été attribués dont 30 M€ pour des équipes françaises.

- ***Bilan de la partie Electronique et Microélectronique de IST (correspond aujourd'hui à ICT) pour le 6^e PCRD 2002-2006***

La totalité du programme a été subventionnée à hauteur de 3722 M€ dont 536 M€ pour des équipes françaises. Dans la thématique spécifique nanosciences et nanotechnologies, 806 M€ ont été attribués dont 159 M€ pour des équipes françaises).

Trois lauréats français pour les financements Advanced Grants ERC en physique

(European Research Council – Conseil européen de la recherche)

Les ruptures technologiques de demain grâce aux nanosciences



Lauréat	Organisation
Thomas EBBESEN	Université Louis Pasteur Strasbourg
Wolfgang WERNSDORFER	CNRS Institut Néel Grenoble
Christian GLATTLI	CEA Saclay

Thomas Ebbesen – Plasmonique : les plasmons de surface pour la photonique

Les plasmons de surface constituent une onde électromagnétique piégée à la surface de métaux par interaction avec les électrons libres. Les outils modernes de la nanofabrication permettent de sculpter une surface métallique pour contrôler leurs propriétés. La propriété probablement la plus intéressante des plasmons de surface est leur capacité à concentrer les champs électromagnétiques dans des volumes sub-longueur d'onde donnant lieu ainsi à des champs locaux intenses.



Un phénomène mis en évidence par T. Ebbesen est celui d'une transmission extraordinaire de la lumière à travers des trous sub-longueur d'onde percés dans des films métalliques, grâce à l'exaltation des champs induite par les plasmons de surface. Le potentiel applicatif des plasmons de surface est très

important (composants optiques, circuits).

Wolfgang Wernsdorfer – Spintronique moléculaire avec des molécules-aimants

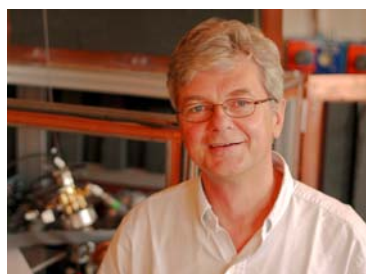
La spintronique moléculaire est le mariage de deux domaines :

- L'électronique moléculaire dont le but est de réaliser des dispositifs à molécule unique pour des applications potentielles en électronique
- L'électronique de spin (ou spintronique), introduisant les effets liés au spin dans les propriétés de transport électronique (responsable en particulier de l'effet magnéto-résistance géante).

L'objectif est de développer de nouveaux dispositifs qui manipuleront le spin et la charge d'une molécule-aimant unique. Un grand avantage des systèmes moléculaires est la faible contribution du couplage spin-orbite et des interactions hyperfines qui sont les causes principales de la décohérence du spin observée en transport à longue distance dans les solides.



Christian Glattli – Mesure et utilisation du bruit quantique mésoscopique



Quelles sont les limites ultimes de la conduction quantique dans les nano-conducteurs quand le courant se réduit à quelques dizaines de charges ? Comment les lois de la mécanique quantique modifient la statistique de charge transférée ? Ces fluctuations statistiques de charge, souvent vu comme un bruit en courant limitant la mesure, peuvent-elles au contraire être mises à profit pour des applications, suivant la phrase célèbre de R. Landauer d'IBM : « the noise is the signal » ? Pour répondre à ces questions, de nouvelles techniques de

génération de courant transitoire réduit à quelques quantum de charge et un nouveau type de détection de charges vont être développés.