

Chapitre 1.

Les secteurs concernés par les nanotechnologies

Avant d'aborder l'aspect scientifique du présent exposé, nous croyons utile de décrire rapidement les applications des nanosciences et les secteurs industriels particulièrement impliqués dans les technologies faisant appel à des objets de taille nanométrique. Certains experts prétendent qu'à l'horizon 2015 le chiffre d'affaires mondial de ces activités atteindra mille milliards de dollars et générera environ deux millions d'emplois. Les secteurs impliqués sont ou seront : l'électronique, les transmissions, l'optique, la chimie, la production d'énergie, la médecine, la pharmacie, la cosmétique, l'agroalimentaire, la défense, l'aéronautique, l'automobile, le textile.

1. Les applications actuelles et perspectives des nanosciences

Les applications courantes actuelles sont les suivantes :

L'électronique

Il est de fait que ce sont les technologies utilisées dans le domaine de l'électronique qui, pour une large part, ont

ouvert la voie aux nanosciences. Ce qu'il est convenu d'appeler la microélectronique fait déjà appel à des composants de taille nanométrique. De plus, des structures nouvelles dont les lois de comportement relèvent de la mécanique quantique sont déjà utilisées et l'apparition de nouveaux concepts de composants, implique la recherche et la mise en œuvre de procédés de nanofabrication spécifiques. Les technologies de l'information et de la communication, l'informatique et les instrumentations scientifiques associées à l'ensemble des sciences sont essentiellement concernées par les applications des nanosciences.

Les matériaux composites

Les composites multiphasés dont l'une des phases est constituée de particules nanométriques, comme de l'argile ou des fibres (voire des nanotubes) de carbone sont des matériaux qui combinent des propriétés mécaniques, optiques et électriques améliorées. Ils sont largement utilisés dans diverses industries, dont celle du bâtiment.

Les cosmétiques et crèmes solaires

Les oxydes de zinc et de titane de tailles nanométriques sont transparents à la lumière visible et sont filtrants pour l'ultraviolet. Ils sont, pour ces raisons, présents dans les crèmes et huiles solaires. D'autres particules nanométriques sont également incorporées à de nombreux produits cosmétiques. Le problème de l'innocuité médicale de telles préparations est posé.

Les revêtements de surface

Des revêtements de surface d'épaisseurs nanométriques présentent des propriétés mécaniques, thermiques, optiques, d'adhésion ou de porosité spécifiques et sont donc déjà utilisés dans diverses industries, y compris l'industrie textile.

Les technologies de sécurité

Capteurs RFID (Radio Frequency Identification Devices), étiquettes électroniques.

À court terme seront probablement disponibles les applications suivantes :

Les peintures : Des gains de densité sont obtenus en incorporant des nanoparticules aux peintures et on espère également réduire les quantités de solvants actuellement incluses. À terme des peintures minimisant les pertes thermiques sont envisageables.

Les dispositifs d'affichage : L'usage de divers nanocristaux et de semiconducteurs plastiques (en plus des OLED déjà disponibles).

Les batteries : Des batteries Ni-MH dont le nickel serait nanocristallin, auraient une durée de vie plus longue et seraient chargées moins souvent, compte tenu du rapport surface/volume plus important des grains de nickel.

Les catalyseurs.

Les lubrifiants.

Les technologies de l'énergie : Économies d'énergie (isolation, éclairage), énergies renouvelables (cellules solaires photovoltaïques).

La dépollution atmosphérique.

Les matériaux magnétiques.

À plus long terme :

Les composites à base de nanotubes de carbone.

Les applications médicales : Implants bioactifs, neuroprothèses, tests pour la détection des prédispositions génétiques, détecteurs de pathologies, thérapies (nanovecteurs pour l'administration des médicaments).

Le militaire : Nouvelles armes, vêtements, équipements, amélioration (hypothétique) de la performance humaine.

Le traitement des eaux.

Les applications spécifiques des nanotubes et nanocristaux.

2. Les secteurs industriels concernés et les impacts économiques

Le secteur le plus important, au plan économique, est sans doute celui des matériaux. On peut distinguer quatre familles de nanomatériaux :

▷ Les nano-objets utilisables seuls en tant que catalyseurs chimiques ou marqueurs, par exemple fluorescents. On envisage aussi le stockage d'hydrogène destiné à la production d'énergie dans des nanotubes de carbone ou autres nanomatériaux.

▷ Les matériaux dont la structure de volume est modifiée par l'insertion de nano-objets dans la matrice. On parle alors de matériaux chargés ou renforcés. Le renforcement est quelquefois accompagné d'un allègement. Les matériaux nanochargés peuvent présenter des caractéristiques physiques (mécanique, thermique, électrique ou optique) modifiées. On trouve aussi dans cette catégorie des raquettes de tennis, des clubs de golf, des pneumatiques, des matériaux pour l'aéronautique.

▷ Les matériaux structurés en surface et présentant, par rapport à la matrice initiale des améliorations d'aspect, d'adhérence, de transparence ou de résistance à l'usure ou aux agressions, voire des caractéristiques électriques

modifiées. Les peintures, vernis et les matériaux recouverts d'une couche de nanoparticules d'argent ayant des propriétés bactéricides font partie de cette famille.

▷ Les matériaux structurés en volume par modification de la microstructure, la porosité et la plasticité étant modifiées. La modification peut même être moléculaire par auto-assemblage. De nombreuses nouvelles céramiques ont ainsi vu le jour.

Le secteur électronique est également très important, mais une certaine confusion existe, entre les technologies classiques de réalisation des circuits intégrés à semiconducteurs qui produisent depuis des années des structures nanométriques et les applicatifs prospectifs. Parmi les composants déjà utilisés on peut citer les circuits logiques intégrés, les microprocesseurs, les diodes LED, les diodes laser à puits et boîtes quantiques, les fibres optiques, les mémoires à semiconducteurs et les mémoires magnétiques, les écrans LED et OLED, etc. Parmi les thèmes prospectifs on trouve les matériaux hybrides associant les semiconducteurs et les nanotubes de carbone, de nouveaux ferrites pour applications hyperfréquences, les polymères conducteurs autres que les OLED, certains affichages, diverses mémoires, l'électronique moléculaire et l'électronique de spin, sauf les vannes de spin, déjà en production. Le concept d'ordinateur quantique fait aussi partie des thèmes que nous aborderons.

Le secteur médical, pharmaceutique et celui des cosmétiques réalisent déjà un chiffre d'affaires important. Des vecteurs de médicaments sous forme de nanocapsules et fullerènes sont envisagés. Le dépistage et le diagnostic de certaines maladies sont déjà possibles à l'aide de nanocristaux fluorescents (boîtes quantiques). Des nanoparticules pourraient servir de produit de contraste pour l'imagerie médicale et des nanocapteurs pourraient être constitués de particules magnétiques. Des nanomembranes serviront à l'assainissement et la désalinisation de l'eau. Enfin l'industrie

des cosmétiques introduit dans ses produits des nanoparticules d'oxydes dont la densité de dispersion est élevée. La filtration UV s'obtient avec du dioxyde de titane et la tenue des rouges à lèvres est améliorée avec de l'oxyde de zinc. Des pigments nanométriques colorés vont être proposés pour le maquillage.

La chimie est concernée par la production de catalyseurs et de diverses nanocapsules : pots catalytiques pour l'automobile, nanocapsules pour la distribution d'herbicides et pour la détection de polluants. Toutes les techniques de synthèse de nanostructures relèvent également de la chimie.

La construction commence à mettre en œuvre des ciments spéciaux dont la surface est autonettoyante, des matériaux et revêtements plus solides et plus légers et des verres dopés filtrant certaines radiations.

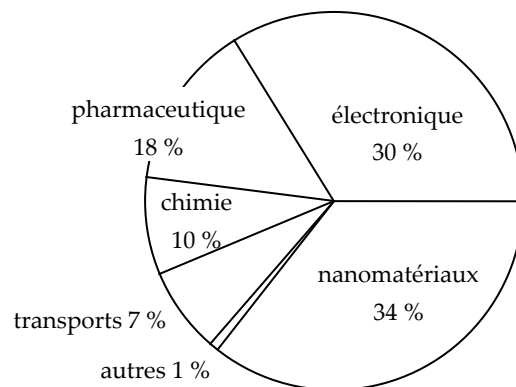
L'industrie automobile est concernée, depuis peu, par l'utilisation de matériau nanocomposite polypropylène pour les carrosseries et pare-chocs.

3. Les prévisions

En 2003, la DIGITIP (Direction générale de l'industrie, des technologies de l'information et des postes) a publié une prévision de la répartition en pourcentage de l'impact économique global des nanotechnologies en 2010. Elle apparaît sur la figure qui suit. Mais il est de fait que beaucoup d'applications sont, pour l'instant, au stade prospectif et qu'elles ne deviendront, éventuellement, réalisables que dans une ou plusieurs décennies, car le développement à maturité des nanotechnologies demandera certainement beaucoup de temps. Il est également probable que certains projets seront tout simplement abandonnés car, pour être adoptée, toute nouvelle technologie doit être performante, compétitive sur le plan économique, fiable sur le plan technique et sûre en ce qui concerne la santé

humaine. Et il ne faut pas minimiser les problèmes de fiabilité des systèmes intégrés, ni la probabilité d'avoir de mauvaises surprises sur le plan technique longtemps après l'apparition d'une technologie. L'exemple du phénomène de "verrouillage maintenu (latch-up)" dans les circuits intégrés logiques sur substrat silicium massif en est un exemple.

**Répartition en % de l'impact économique
des nanotechnologies en 2010 (DIGITIP 2003)**



4. Les dépenses de recherches et de développement des nanotechnologies

La National Science Foundation (États-Unis) a publié en 2004 le tableau suivant qui détaille ces dépenses dans le monde (à l'exception des dépenses de RD relatives à la microélectronique). Ce tableau nous semble suffisamment explicite pour ne rendre nécessaires ni commentaires ni traduction :

Aux États-Unis, la NNI (National Nanotechnology Initiative) disposait d'un budget de 3,7 milliards de dollars pour la période 2004-2007.

Le 7^e PCRD (Programme cadre de Recherche et Développement) de l'Union européenne a prévu des crédits de

3,5 milliards d'Euros pour la période 2007-2013. Sept domaines sont listés par ce programme¹ :

- ▷ Matériaux et nouvelles technologies de production
- ▷ Technologies de l'information et de la communication
- ▷ Santé
- ▷ Énergie
- ▷ Alimentation, agriculture et biotechnologies
- ▷ Information and Communication Technologies
- ▷ Transport.

Estimated Government Nanotechnology R&D Expenditures, 1997-2004 (\$ Millions/Year)

Region	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
W. Europe	126	151	179	200	~ 225	~ 400	~ 650	~ 950	1,050
Japan	120	135	157	245	~ 465	~ 720	~ 800	~ 900	950
USA*	116**	190**	255**	270**	465**	697**	863**	~ 989	1,081
Others	70	83	96	110	~ 380	~ 550	~ 800	~ 900	1,000
Total	432	559	687	825	1,535	2,367	3,113	3,739	4,081
(% of 1997)	(100%)	(129%)	(159%)	(191%)	(355%)	(547%)	(720%)	(866%)	(945%)

Explanatory notes: Estimates include research in nanotechnology as defined by the NNI (this definition does not include MEMS, microelectronics, or general research on materials), and reflect the publicly reported government spending.

"W. Europe" includes countries in EU (15) and Switzerland. Rates of exchange \$1 = 1.1 Euro until 2002, = 0.9 Euro in 2003, and = 0.8 Euro in 2004-2005. National and EU funding are included.

Japanese rate of exchange \$1 = 120 yen until 2002, = 110 yen in 2003, = 105 yen in 2004-2005.

"Others" includes Australia, Canada, China, Eastern Europe, former Soviet Union, Israel, Korea, Singapore, Taiwan, and other countries with nanotechnology R&D.

* A fiscal year begins in USA on October 1, six months before most other countries.

** Denotes the actual expenditures recorded at the end of the respective fiscal year.

En France, le groupement technologique phare des nanotechnologies est installé à Grenoble. Le pôle, appelé MINATEC, a été inauguré le 2 juin 2006. Lancé à l'initiative du CEA-Leti et de l'INP Grenoble, cet ensemble de laboratoires a pour ambition de devenir le pôle d'innovation et d'expertise majeur, en Europe, pour les micro et nanotechnologies.

L'Agence Nationale de la Recherche (ANR) française a lancé en février 2007 son édition 2007 du Programme

¹ http://cordis.europa.eu/nanotechnology/src/eu_funding.htm