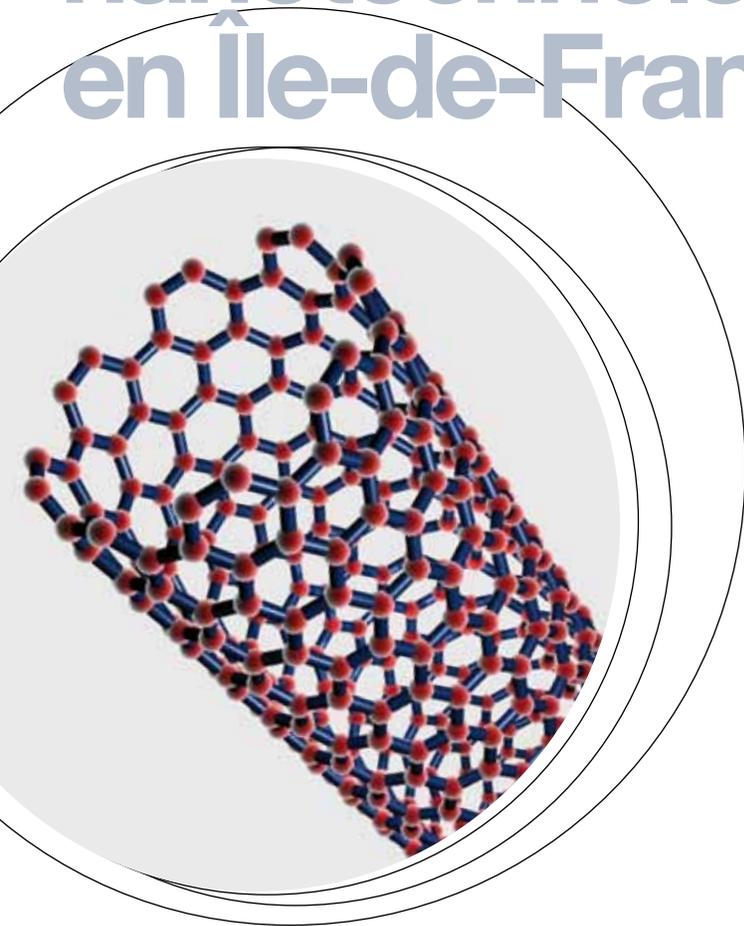


# Enjeux et défis de l'industrie des nanotechnologies en Île-de-France



Édition 2010

**DRIRE**  
Île-de-France

# SOMMAIRE

ÉDITO	1
RÉSUMÉ	2
MATRICE SWOT	4
INTRODUCTION	5

## 1 PRÉSENTATION DES NANOTECHNOLOGIES

1	Premières définitions	6
2	La spécificité de l'échelle nanométrique	6
3	Nanotechnologies ou pas ?	7
4	Comment travailler la matière à l'échelle nanométrique ?	7
5	Comment fabrique-t-on des nano-objets ?	8
6	Quels sont les grands domaines d'activité des nanotechnologies ?	8

## 2 LES INVESTISSEMENTS PUBLICS DANS LES NANOTECHNOLOGIES EN FRANCE ET EN ÎLE-DE-FRANCE

1	Le positionnement de la France en matière d'investissements publics et privés	12
2	Le positionnement de la France en matière de production scientifique et de propriété intellectuelle	12
3	L'Europe et le financement des nanotechnologies	13
4	Les organismes nationaux de soutien à la recherche et à l'innovation	14
5	Les organismes publics de recherche	15
6	La recherche publique en Île-de-France est très impliquée dans les nanosciences et les nanotechnologies	16

## 3 LES ACTIVITÉS INDUSTRIELLES LIÉES AUX NANOTECHNOLOGIES DES PME FRANCILIENNES

1	L'électronique est le domaine d'activité le plus mature	21
2	Les nanomatériaux et nano-objets sur le point d'être intégrés dans de multiples applications industrielles	23
3	Le domaine de la santé est porteur d'espoir pour le diagnostic et le traitement de maladies graves	25
4	Les partenaires franciliens des entreprises	28

## 4 CONTEXTE ET ENJEUX DES PME FRANCILIENNES UTILISANT LES NANOTECHNOLOGIES

1	L'Île-de-France est une région attractive malgré un manque de structuration des activités industrielles liées aux nanotechnologies	30
2	Les nanotechnologies sont trop transversales pour constituer réellement une filière industrielle	31
3	Ces entreprises sont fortement innovantes et tournées vers l'international	32
4	La sécurité relative à la production et à l'utilisation des nanotechnologies est un enjeu majeur pour les entreprises	34

## 5 PROPOSITIONS D'ACTIONS DE LA DRIRE ÎLE-DE-FRANCE

<b>ANNEXES</b>	
ANNEXE 1 : BIBLIOGRAPHIE	37
ANNEXE 2 : SITES INTERNET	38

### Remerciement

*Nous adressons tous nos remerciements aux chefs d'entreprises et aux partenaires du développement économique sans lesquels ce travail n'aurait pas abouti.*



La crise économique que nous avons traversée depuis 2008 a fait ressortir le caractère déterminant de l'industrie pour l'économie française. L'industrie est en effet source de progrès technique : elle occasionne les quatre cinquièmes des dépenses privées de recherche et développement. Elle est également à l'origine d'une part déterminante du commerce extérieur, et a un effet d'entraînement sur l'ensemble de l'économie, notamment sur les services aux entreprises et les commerces.

Sans opposer industrie et services, mais mettant au contraire en avant leur complémentarité, les États Généraux de l'Industrie qui se sont tenus cette année ont permis de faire émerger un nouveau pacte économique et social autour de l'industrie. Son caractère indispensable pour l'économie et la société française fait désormais consensus.

Les États Généraux de l'Industrie ont permis le lancement d'une nouvelle politique industrielle ambitieuse, construite en concertation avec l'ensemble des acteurs concernés. Elle doit permettre d'accompagner l'industrie française vers les marchés durablement porteurs de croissance et d'emploi, de promouvoir l'innovation, de renforcer la compétitivité des entreprises, de renforcer les compétences et savoir-faire, et de mieux structurer les filières industrielles.

En Île-de-France, les services de l'État sont mobilisés pour accompagner la mise en œuvre de cette nouvelle politique industrielle. L'ouvrage réalisé par la DRIRE, l'édition 2010 des « Enjeux et Défis de l'Industrie en Île-de-France », s'inscrit dans cette dynamique forte de soutien au tissu des entreprises industrielles. Autour de quelques thématiques ciblées, sectorielles, territoriales ou transversales, les analyses dégagent des propositions d'actions concrètes en faveur des PME franciliennes, industrielles ou de service à l'industrie.

Je fais confiance à l'ensemble des acteurs du développement économique en Île-de-France pour débattre et échanger sur ces diagnostics et ces propositions, afin d'aider les entreprises à consolider la croissance et les emplois de demain.

Dès cette année, les équipes de la DRIRE en charge du développement industriel iront constituer, au sein de la Direction Régionale des Entreprises, de la Concurrence, du Commerce, du Travail et de l'Emploi (DIRECCTE), le pôle Économie – Emploi – Entreprise. Elles y rejoindront les équipes en charge des thématiques de l'emploi et de la formation professionnelle, celles en charge du commerce extérieur, du commerce et de l'artisanat, ainsi que du tourisme. Cette nouvelle organisation des services de l'État en Île-de-France doit être l'occasion d'apporter un soutien plus intégré, plus complet, au développement économique de notre région.

Loin de diminuer l'importance de l'industrie dans l'action de l'État, la constitution de la DIRECCTE sera l'opportunité de proposer aux entreprises industrielles un accompagnement plus complet et plus intégré. Je fais confiance aux services de l'État intégrés à la nouvelle direction pour travailler résolument en ce sens.



Daniel Canepa  
Préfet de la région d'Île-de-France,  
Préfet de Paris

RÉSUMÉ

# Nano- technologies

Les nanotechnologies représentent l'ensemble des techniques permettant de fabriquer, d'observer, de mesurer des objets, structures et systèmes dont la taille est comprise entre 1 et 100 nm et dont les propriétés découlent spécifiquement de cette taille nanométrique. Le développement des nanotechnologies a été initié au début des années 1980 grâce à l'invention du microscope à effet tunnel qui a été le premier outil à permettre l'observation d'objets à cette échelle. Les nanotechnologies sont par nature transversales et utilisent des disciplines telles que la physique, la chimie et la biologie tout en rendant plus perméables les frontières entre les disciplines scientifiques et technologiques traditionnelles.

Les domaines d'application des nanotechnologies sont principalement les technologies de l'information (augmentation de la puissance et diminution de la taille des composants électroniques, possibilités de stockage accrues...), la santé (nouveaux outils de diagnostic médical, traitement ciblé de cellules malades...), les nouveaux matériaux et l'énergie (économies d'énergie dans le transport, nouvelles cellules photovoltaïques...).

Selon des estimations, le marché mondial des nanotechnologies devrait atteindre entre 1 000 et 3 500 milliards d'euros en 2015. Elles représentent une opportunité exceptionnelle pour l'industrie française. L'investissement public dans les nanotechnologies est donc conséquent : en 2007, la France y a consacré de l'ordre de 280 millions d'euros. Elle se situe au 5<sup>ème</sup> rang mondial avec 5,6 % des publications scientifiques. Mais la France a du mal à convertir ses recherches en applications industrielles : le taux de brevets déposés et le nombre de start-up créées restent assez faibles.

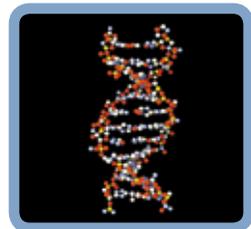
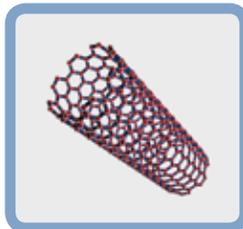
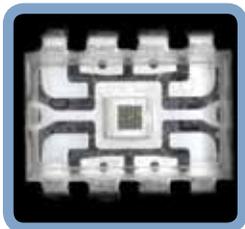
L'Île-de-France est la première région française en terme de recherche académique dans le domaine des nanosciences et des nanotechnologies. Elle constitue un pôle de grande envergure avec presque 2 000 chercheurs académiques (5<sup>ème</sup> rang mondial) et 8,1 % de la dépense intérieure de R&D européenne. Le centre d'intégration de Saclay, prévu par le plan Nano-Innov, a pour ambition de devenir le lieu privilégié de la recherche partenariale privée/publique.

C'est une région attractive pour les entreprises, en raison de la proximité des laboratoires de recherche, de la visibilité internationale de Paris et des ressources en compétences scientifiques de très haut niveau. Cependant, aucun organisme ne structure le monde industriel des nanotechnologies. Les relations entre les PME et le monde académique et les grands groupes ne sont donc pas facilitées.

Sous le terme nanotechnologies, se trouvent des PME diverses qui n'appartiennent pas aux mêmes secteurs d'activités et qui n'ont pas réellement de relations économiques entre elles. Elles ne constituent donc pas une filière mais se situent en amont de différentes chaînes de valeurs. Ce sont des entreprises créées récemment afin de valoriser industriellement une technologie innovante. Elles sont très majoritairement encore en phase de R&D et doivent donc trouver des sources de financement public ou privé. Elles nouent des partenariats scientifiques avec des entreprises et des laboratoires du monde entier, et les marchés ciblés sont à l'échelle internationale. La concurrence, elle aussi, est internationale, et toute avance technologique peut facilement être dépassée par des sociétés étrangères de plus grande taille et ayant plus de moyens financiers.

La problématique de la sécurité lors de l'utilisation des nanotechnologies est un sujet majeur mais elle ne concerne pas de la même manière les différents domaines d'applications : le secteur de l'électronique n'est pas concerné, et le secteur de la santé est déjà très réglementé. Par contre, des problématiques liées à la sécurité de la production et de l'utilisation des nanoparticules et des nanomatériaux apparaissent très nettement. On ne connaît pas la toxicité de ces produits ainsi que les effets sur la santé et l'environnement qu'ils peuvent causer. Les réglementations relatives à la mise en œuvre et à la mise sur le marché de ces produits ne sont pas adaptées et devraient évoluer fortement dans le futur. Enfin la présence de nanoparticules dans des biens de consommation courante provoque une inquiétude importante chez le grand public qui a une image de plus en plus négative de ces technologies.

*Anne-Laure Fauquet, Jérémy Trameçon, Imed Majdi, avec la participation de Catherine Chassagne et Martine Comberousse de la Délégation Régionale à la Recherche et à la Technologie (DRRT)*



## MATRICE SWOT

### FORCES

- L'Île-de-France est la première région française en termes de recherche académique dans le domaine des nanosciences et des nanotechnologies ;
- l'Île-de-France concentre la majorité des financements publics pour les projets de recherche ANR et dispose de deux centrales de technologies ;
- les principales thématiques des nanotechnologies sont présentes : électronique, matériaux et santé ;
- le territoire est attractif en termes de visibilité commerciale et de présence de compétences scientifiques de haut niveau.

### OPPORTUNITÉS

- Plusieurs plans nationaux vont financer très largement le développement des nanotechnologies en Île-de-France : plan campus, plan Nano-Innov, grand emprunt ;
- l'Île-de-France a une carte à jouer dans plusieurs marchés importants impliquant les nanotechnologies : l'électronique, la santé (diagnostic et thérapeutique) ;
- de nouvelles offres de formation interdisciplinaires adaptées aux nanosciences et nanotechnologies sont en cours de développement.

### FAIBLESSES

- Les PME franciliennes sont peu nombreuses et pour la plupart de petite taille ;
- les nanotechnologies ne s'adressent pas à une filière industrielle, mais à plusieurs filières, et par conséquent il n'existe pas d'organisme structurant ou organisant les entreprises utilisant ou travaillant sur les nanotechnologies ;
- l'Île-de-France disperse ses investissements dans plusieurs domaines, contrairement par exemple à la région de Grenoble qui se concentre sur l'électronique avec le pôle de compétitivité Minalogic et le campus Minatec ;
- les laboratoires académiques français ne déposent pas assez de brevets sur cette thématique et les structures de valorisation de la recherche publique ne sont pas adaptées aux problématiques des PME ou à la création de start-up ou spin-off ;
- les nanotechnologies ne constituent pas une thématique centrale des pôles de compétitivité franciliens ;
- les PME franciliennes ne parviennent pas à créer des partenariats avec les grands groupes français sur ces thématiques, ce qui se traduit par une prise de risque pesant uniquement sur les PME ;
- certains territoires franciliens ne disposent pas des moyens d'accès, de transports et de communication en adéquation avec les ambitions affichées (plateau de Saclay).

### MENACES

- La concurrence étrangère est très présente. Beaucoup de pays investissent massivement dans ces nouvelles technologies et favorisent davantage le transfert de technologie public-privé ;
- les investisseurs français comme les capitaux risqués n'accompagnent pas assez les PME ;
- les risques pour la santé liés à l'utilisation des nanomatériaux ne sont pas écartés ;
- il y a un vide juridique relatif à l'utilisation des nanotechnologies, qui ne sont prises en compte spécifiquement dans aucune réglementation ;
- les nanotechnologies disposent d'une mauvaise image en général auprès du grand public.

## INTRODUCTION

En 2006, la Commission européenne a estimé que le marché mondial des nanotechnologies devrait atteindre entre 1 000 et 3 500 milliards d'euros en 2015. À l'heure actuelle, le marché mondial est dominé par les outils rendant possible le développement des nanotechnologies (microscopes, machines à forte précision), la nano-électronique avec ses nombreuses applications dans les Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC), et dans une moindre mesure les nanomatériaux. Les nanobiotechnologies, encore peu présentes sur le marché mondial, représentent cependant le plus fort taux de croissance.<sup>1</sup>

Le développement des nanotechnologies est porteur de progrès dans de multiples domaines :

- nouveaux outils miniaturisés de diagnostic médical ;
- médicaments mieux ciblés sous la forme de nanovecteurs ;
- NTIC plus performantes et de plus en plus intégrées dans les objets de notre quotidien ;
- matériaux à la fois plus résistants et plus légers, plus solides et mieux formables ou déformables ;
- avancées substantielles dans le domaine des énergies nouvelles (photovoltaïque, stockage sécurisé de l'hydrogène, miniaturisation des composants des piles à combustible, réduction de poids...) ;
- écotechnologies plus efficaces...

Même s'il n'y a pas consensus sur la taille réelle du marché des nanotechnologies, car il est difficile d'estimer la part des nanotechnologies dans le produit final mis sur le marché, toutes les analyses prédisent une accélération de la croissance de ce marché dès 2010. Le potentiel économique des nanotechnologies est donc très élevé ce qui explique les investissements actuels publics conséquents dans ces domaines : en 2004, les États-Unis ont investi 1,2 milliard d'euros de financement public, l'Europe 900 millions d'euros et le Japon 750 millions d'euros. L'électronique bénéficie de presque la moitié de ces investissements.

En 2007, l'effort public français a été de l'ordre de 280 millions d'euros. En 2009, près de 7 000 chercheurs ont travaillé en France sur les nanosciences et les nanotechnologies, dont 2 000 relèvent du CEA et 4 500 du CNRS (unités propres du CNRS et unités mixtes avec les universités, autres organismes de recherche ou entreprises). La

recherche publique place la France au 5<sup>e</sup> rang mondial en termes de publications. L'Île-de-France, première région française dans la recherche en nanosciences, bénéficie d'une part importante de ces financements. La recherche publique francilienne dans le domaine des nanosciences et nanotechnologies s'appuie sur un réseau de plus de 84 laboratoires et institutions et quelques 1 810 chercheurs, enseignants-chercheurs et doctorants et 2 grandes centrales de technologie.

L'investissement privé dans les nanotechnologies est plus difficile à estimer, mais il est beaucoup plus faible en Europe qu'aux États-Unis et au Japon où la recherche industrielle représente plus de la moitié des investissements locaux. Les deux tiers des brevets dans ce secteur sont détenus par l'Asie, distançant nettement les États-Unis et l'Europe. La France n'a déposé, par exemple, que 290 brevets dans ce domaine en 2005, soit moins de 2 % des brevets mondiaux. L'hexagone doit donc surmonter ses difficultés à transformer la recherche en réussites industrielles s'il veut profiter des opportunités que représentent les nanotechnologies.

Les nanotechnologies sont par ailleurs complexes à aborder car ce sont des technologies transversales qui peuvent trouver des applications dans la plupart des secteurs d'activité économiques. Il s'agit d'un domaine aux contours peu précis et pluridisciplinaire par nature (physique, chimie, biologie, etc.)

Au delà d'une première présentation des nanotechnologies et d'un état des lieux sur la situation de la recherche et des investissements publics en Île-de-France, il a nous paru important pour cette première étude sur ce sujet d'aller à la rencontre de PME franciliennes utilisant les nanotechnologies. Ce travail ne dresse pas un panorama exhaustif des activités industrielles basées sur les nanotechnologies en Île-de-France, mais il permet de prendre connaissance de certaines activités dans lesquelles s'investissent des PME et de mesurer le degré de maturité de ces technologies par rapport au marché.

Cette étude fait aussi le point sur les principales problématiques auxquelles sont confrontées les PME dont l'activité est liée fortement à l'utilisation de ces nanotechnologies : investissements, partenariats avec la recherche académique et les grands groupes, recherche & développement (R&D), export, propriété intellectuelle, risques sanitaires et environnementaux, image des nanotechnologies, etc. Elle propose aussi quelques pistes d'actions pour accompagner les PME des différentes filières.

[1] « Nanomatériaux : Positionnement des compétences françaises », Développement et Conseil pour le compte de la Direction Générale des Entreprises, novembre 2007

# 1 PRÉSENTATION DES NANOTECHNOLOGIES

## 1. PREMIÈRES DÉFINITIONS

*Le préfixe « nano » vient du grec et signifie très petit. Les scientifiques l'utilisent comme préfixe dans les unités de mesure pour exprimer le milliardième de l'unité de base : le nanomètre est le milliardième de mètre, soit 0,000 000 001 mètre. Il est d'usage de l'écrire en abrégé « nm ».*

Un nanomètre, 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 ;
- 100 fois plus petit que la molécule d'ADN ;
- 4 atomes de silicium mis l'un à côté de l'autre.

L'échelle des nanotechnologies est immédiatement supérieure à celle des atomes ou des molécules qui constituent la matière. Un atome a une taille de l'ordre du dixième de nanomètre (en moyenne 0,3 nm). Dans un nanomètre on aligne donc environ trois atomes. Les nano-objets sont donc les objets les plus petits que l'homme puisse concevoir. Ils sont cependant toujours intégrés dans des objets plus grands, eux-mêmes inclus dans des dispositifs manipulables à l'échelle humaine.

La **nanoscience** concerne 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,
- les propriétés découlent spécifiquement de cette taille nanométrique (c'est-à-dire qu'elles sont différentes de celles d'un objet, système ou d'une structure similaire de taille plus importante).

La **nanotechnologie** est l'ensemble des techniques permettant de fabriquer, d'observer, de mesurer ces objets, structures et systèmes. C'est également le domaine concernant les applications de la nanoscience.

Les **nano-objets** sont des particules, fibres ou tubes dont la taille est comprise entre 1 et 100 nm et qui peuvent être utilisés en tant que tels.

Les **nanomatériaux** peuvent se définir comme des matériaux composés ou constitués de nano-objets qui confèrent à ces matériaux des propriétés améliorées ou spécifiques liées à la dimension nanométrique. Ils se présentent sous forme de particules libres ou fixées, de fibres ou de tubes, de cristaux ou de lamelles, ou encore de porosités et connaissent un développement industriel remarquable dans le domaine des nanotubes de carbone.

Les **nanoparticules** peuvent exister de manière naturelle (suies et cendres des feux de forêt, poussières volcaniques...), être émises involontairement par des activités industrielles (fumées de soudure) et domestiques comme la cuisine, la fumée de cigarette, le transport (émissions de moteurs Diesel), ou être spécifiquement conçues pour des produits de consommation et des technologies de pointe.

## 2. LA SPÉCIFICITÉ DE L'ÉCHELLE NANOMÉTRIQUE

Quand on réduit la taille d'un objet, sa surface diminue moins vite, en proportion, que son volume. 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 composition, mais de taille macro ou microscopiques (comme la flexibilité, la résistance, l'adhésion ou la répulsion).

Les propriétés spécifiques des nanomatériaux sont multiples : physiques, magnétiques, mécaniques, optiques, électriques, chimiques, ou encore thermiques. Ces propriétés spécifiques découlent notamment de deux caractéristiques des nano-objets, conséquences de leur très faible taille : la quasi-absence de défauts et le fort rapport entre les dimensions de surface et de volume. Par ailleurs, du fait de leurs très faibles dimensions, les nano-objets ont également des propriétés très différentes des

matériaux massifs dans les domaines optique, électrique, magnétique, etc. Les lois de la physique classique ne permettent pas d'expliquer leur comportement et l'on doit alors faire appel aux lois de la physique quantique pour comprendre et identifier ces nouvelles propriétés.

### 3. NANOTECHNOLOGIES OU PAS ?

La définition des nanotechnologies est l'ensemble des techniques permettant de fabriquer, d'observer, de mesurer des objets, structures et systèmes, dont au moins une dimension est comprise entre 1 et 100 nm et dont les propriétés découlent spécifiquement de cette taille nanométrique. Cette définition est conforme avec celle indiquée par l'organisation internationale de normalisation, l'ISO, dans la norme ISO/TS 27687 de 2008.

Elle permet notamment d'exclure tous les objets de taille nanométrique comme les molécules simples de qui ont toujours les mêmes propriétés quelque soit le nombre de molécules présentes. Des molécules polymères dont le degré de polymérisation n'apporte pas de changement de propriété ne sont pas non plus des nano-objets : ainsi l'ADN n'est pas un nano-objet.

Il est cependant souvent difficile de se restreindre à cette stricte définition. En effet les termes « nano » ou « nanotechnologies » sont parfois utilisés pour des raisons de communication sans que l'appartenance aux nanotechnologies ne soit vraiment claire. D'un autre côté, des techniques appartenant aux nanotechnologies peuvent ne pas être identifiées comme telles car cette visibilité pourraient être préjudiciable notamment en raison des craintes suscitées par ces nouvelles technologies. Enfin, les frontières de cette définition peuvent être parfois floues. Par exemple les micelles, structures qui se forment naturellement pour minimiser les répulsions hydrophobes et hydrophiles, sont citées comme appartenant aux nanobiotechnologies.

Ainsi, cette étude s'appuie sur cette définition des nanotechnologies, mais elle peut citer des applications pour lesquelles il n'y a pas forcément de consensus sur leur appartenance aux nanotechnologies, et au contraire ne pas mentionner des applications existantes pour lesquelles il n'y a actuellement pas de visibilité sur le fait qu'elles utilisent des nanotechnologies.

### 4. COMMENT TRAVAILLER LA MATIÈRE À L'ÉCHELLE NANOMÉTRIQUE ?

Les deux outils actuels des nanotechnologies sont le microscope à effet tunnel (ou STM pour Scanning Tunneling Microscope) et le microscope à force atomique (ou AFM pour atomic force microscope). Le microscope à effet tunnel est l'outil essentiel dans l'histoire du développement des nanotechnologies car il fut le premier à permettre l'observation d'objets à cette échelle.

Le microscope à effet tunnel STM fut inventé en 1981 par des chercheurs d'IBM, Gerd Binnig et Heinrich Rohrer, qui reçurent le Prix Nobel de physique pour cette invention en 1986. Ce microscope utilise une pointe métallique extrêmement fine qui se déplace à quelques nanomètres d'une surface conductrice ou semi-conductrice. 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.



*Un microscope à effet tunnel*

*Source « Dossier de présentation 2009 du débat public »*

Le microscope à force atomique AFM est un dérivé du microscope STM, qui peut servir à visualiser la topologie de la surface d'un échantillon ne conduisant pas l'électricité, car il mesure une force de contact au lieu d'un courant électrique. Le principe se base sur les interactions (forces de répulsion ionique, forces de van der Waals, forces électrostatiques, forces de friction, forces magnétiques...) entre les atomes de l'échantillon et une pointe, idéalement atomique, montée sur un microlevier (cantilever). La pointe balaie (scanne) la surface à représenter entraînant la déflexion

## 1 PRÉSENTATION DES NANOTECHNOLOGIES

du cantilever. Un ordinateur enregistre ce mouvement et peut ainsi reconstituer une image de la surface.

Pour effectuer les manipulations à l'échelle nanométrique, deux démarches sont utilisées :

- la méthode dite « descendante » [« top-down » en anglais],
- la méthode dite « ascendante » [« bottom-up » en anglais].

La voie descendante consiste à réduire le plus possible la taille d'un matériau ou d'un composant. On part d'un matériau, on le « sculpte », on le « cisèle » dixième de micron par dixième de micron 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. Elle consiste à réduire et plus précisément à miniaturiser les systèmes actuels en optimisant les technologies industrielles existantes. Les dispositifs ou les structures sont ainsi graduellement sous-dimensionnés ou fractionnés jusqu'à atteindre des dimensions nanométriques. Toujours activement exploitée, elle se heurte de plus en plus à des limites techniques et économiques en descendant vers l'échelle nanométrique.

La voie ascendante consiste, quant à elle, à assembler la matière, atome par atome, pour construire des molécules que l'on intègre ensuite dans des systèmes plus grands, afin d'obtenir les propriétés ou les fonctions désirées. L'assemblage ou le positionnement des atomes, des molécules ou des agrégats s'effectue de façon précise, contrôlée et exponentielle, permettant ainsi l'élaboration de matériaux fonctionnels dont la structure est complètement maîtrisée.

### 5. COMMENT FABRIQUE T-ON DES NANO-OBJETS ?

Les procédés actuels permettant la fabrication de nano-objets ou de nanomatériaux sont classés en trois grandes catégories :

#### Procédés par voie physique

On extrait à partir d'un matériau source une phase vapeur par chauffage ou grâce à un faisceau d'électrons ou d'une pyrolyse laser. La vapeur est refroidie par collisions avec un gaz neutre et le matériau est collecté le plus rapidement possible sur une paroi froide. Une autre voie d'obtention de

nano-poudres consiste à utiliser l'action de micro-ondes sur des poudres de taille millimétrique. Enfin, des couches minces d'épaisseur nanométrique peuvent être réalisées par la voie PVD [Physical Vapor Deposition] ou par croissance épitaxiale.

#### Procédés par voie chimique

- Les réactions en phase vapeur : les matériaux précurseurs vaporisés sont introduits dans un réacteur CVD [Chemical Vapor Deposition] dans lequel ils sont adsorbés à la surface d'un substrat. Cette technique est utilisée pour l'élaboration de certains nanomatériaux tels que les quantum dots de semiconducteur, les matériaux nanostructurés céramiques, les nanotubes de carbone ou le diamant.
- Les réactions en milieu liquide : la précipitation des nanoparticules est obtenue par une modification des conditions de l'équilibre physico-chimique.
- Les techniques sol-gel sont basées sur des réactions de polymérisation inorganiques à partir de solutions d'alkoxydes ou de solutions colloïdales.

#### Procédés par voie mécanique

- La mécanosynthèse consiste généralement à broyer des poudres micrométriques de plusieurs alliages pour les incorporer. Cette technique est adaptée à la production de matériaux en quantité qui s'expriment en kilogrammes, voire en tonnes, contrairement aux autres techniques.
- Consolidation et densification : le processus comporte deux étapes : une opération de compactage mécanique et une opération de frittage, libre ou sous charge.
- La forte déformation d'un matériau cristallin (métal, céramique) provoque un raffinement de sa structure jusqu'à obtenir une taille de grains de quelques dizaines de nm. Différentes techniques peuvent être utilisées (par torsion, extrusion...).

L'approche « ascendante » fait appel à des procédés d'élaboration chimiques et physiques alors que l'approche « descendante » induit, principalement, l'utilisation de méthodes mécaniques.

### 6. QUELS SONT LES GRANDS DOMAINES D'ACTIVITÉ DES NANOTECHNOLOGIES ?

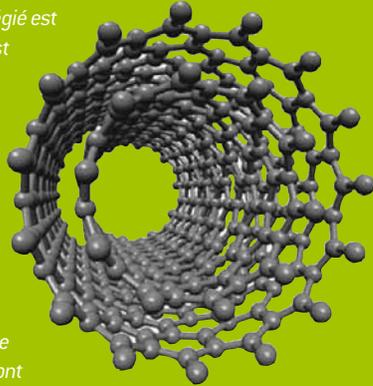
Les nanotechnologies sont par nature transversales, et utilisent des disciplines telles que l'optique, la biologie, la mécanique, la chimie, ou encore la microtechnologie. Les nanosciences et les nanotechnologies se développent en

### La Fabrication des nanotubes de carbone

Trois voies sont possibles pour fabriquer les nanotubes :

- la production dans un arc électrique entre deux électrodes de graphite qui a été à la source de leur découverte : cette méthode a une faible capacité de production car elle nécessite des très hautes températures (supérieure à 3 000 °C) pour pouvoir vaporiser le graphite ;
- l'ablation d'une cible en carbone par un faisceau laser : ce faisceau, suffisamment énergétique, arrache des atomes de carbone de la cible qui se réarrangent sous forme de nanotubes (faible capacité de production) ;
- le dépôt chimique en phase vapeur (CVD) à partir d'hydrocarbures (méthane ou éthylène) : en chauffant à des températures plus modérées, entre 500 et 1200 °C, les hydrocarbures se décomposent à la surface de particules métalliques servant de catalyseur ; ce procédé permet d'envisager des productions plus importantes dans des réacteurs optimisés et donc des coûts **moindres**

Le mode de fabrication des nanotubes de carbone privilégié est donc un procédé par voie chimique en phase vapeur. C'est celui qu'utilise par exemple Arkema depuis 2006 pour produire des nanotubes de carbone multi-parois dans son laboratoire pilote à Lacq. Les nanotubes croissent sur des particules de fer. On obtient une poudre noire dont les caractéristiques sont parfaitement contrôlées et stables dans le temps. Ce mode de synthèse en continu permet de fabriquer les nanotubes de carbone à grande échelle et de façon parfaitement reproductible (20 tonnes par an). Par ailleurs, Arkema a annoncé en septembre 2009, la construction d'une unité pilote de production de nanotubes de carbone sur son site de Mont (France, Pyrénées-Atlantiques). Cette unité, dont le démarrage est prévu début 2011, aura une capacité de 400 tonnes/an.



rendant plus perméables les frontières entre les disciplines scientifiques et technologiques traditionnelles. L'électronique, la chimie, la physique, la biologie, les sciences médicales, les sciences de l'information et de la communication ont de plus en plus d'interactions. On évoque parfois un processus de « convergence » des disciplines.

Plusieurs segmentations des nanotechnologies sont possibles, si l'on cherche à distinguer par exemple les techniques utilisées, les domaines d'applications concernés ou la chaîne de valeurs allant de la structure nanométrique brute aux produits finis destinés au consommateur final. L'approche par les techniques est particulièrement intéressante du point de vue de l'analyse des risques car en fonction des techniques utilisées, le niveau de risques n'est pas du tout le même. L'approche par applications est intéressante afin de faire le point sur l'intégration des nanotechnologies dans l'industrie et notamment les

PME. L'approche par chaîne de valeurs permet de situer chaque acteur dans son environnement et de dégager des problématiques communes.

### Approche par techniques

Une segmentation des nanotechnologies en fonction des techniques utilisées a été effectuée et permet de distinguer trois catégories :

- la **synthèse chimique** des nano-objets qui regroupe les procédés de synthèse de l'industrie chimique. Les risques industriels posés sont classiques, et peuvent être maîtrisés moyennant des évolutions techniques et réglementaires ;
- l'**incorporation** des nano-objets dans des substances nano-composites : les nano-objets sont dispersés ou synthétisés *in situ* dans une matrice ou en surface pour lui donner des propriétés intéressantes. Outre les risques industriels se

# 1 PRÉSENTATION DES NANOTECHNOLOGIES



pose la problématique de la dissémination potentielle des nano-objets par les produits, et donc de l'exposition des consommateurs et des écosystèmes à des substances dont la toxicité est mal connue, problématique qui est plus délicate à gérer que le risque au travail ;

- la **fabrication de nanodispositifs** : cette dernière catégorie rassemble des techniques qui manipulent des quantités de matière extrêmement faibles avec une précision nanométrique. Elles permettent d'organiser la matière selon des architectures précises afin de créer des systèmes miniaturisés. On peut citer dans cette catégorie les techniques de gravure et de dépôt des matériaux semi-conducteurs dans la micro-nano-électronique ou les biopuces dans le domaine du diagnostic. Ces technologies ne présentent pas de risques en soi<sup>2</sup>.

Cette approche a l'avantage de mettre en avant certains risques en fonction des techniques utilisées, mais la frontière entre les deux premières catégories n'est pas très claire, et certaines technologies comme les nano-médicaments s'intègrent mal dans cette segmentation.

## Approche par domaines d'applications

Aujourd'hui, trois grands secteurs sont concernés :

- **la santé avec les nanobiotechnologies** : recherche post-génomique, pharmaceutique et médecine moléculaire,

biopuce pour le diagnostic, ingénierie tissulaire, traitement du cancer, création de matériaux d'inspiration biologique, ...

Le marché mondial des nanoparticules utilisées dans le secteur des biomédicaments et des produits pharmaceutiques s'élevait à 170 M\$ en 2005 et à 205 M\$ en 2006. Au niveau mondial, les brevets dans le domaine des applications des nanotechnologies à la médecine concernent essentiellement les systèmes de délivrance de médicaments (59 %), mais aussi le diagnostic in vitro (14 %) et l'imagerie (16 %). La France ne dépose que 3 % des brevets mondiaux dans ce domaine et se place ainsi loin derrière les États-Unis, le leader (54 %), et l'Allemagne (12 %).

- **les Technologies de l'Information et de la Communication et la nanoélectronique** : importantes applications en optoélectronique et magnétique, informatique, technologies de la communication, électronique moléculaire, domotique, ...;

Le marché mondial des systèmes électroniques et des semi-conducteurs utilisant des nanotechnologies est estimé à 1 600 milliards de dollars.

- **les matériaux** et, à travers eux, l'énergie, l'environnement et les transports : céramiques, verres, métaux, catalyseurs, polymères techniques et composites, textiles, élastomères, peintures et traitements de surfaces, béton, ...

[2] « Fascinantes nanotechnologies, au delà des grandes peurs, des grands doutes et des grands espoirs », Julie Dubois et François Rousseau, Ecole des Mines de Paris, août 2009.

Le marché mondial des nanotubes de carbone atteint 79 millions de dollars en 2007 et devrait dépasser les 800 millions de dollars en 2011.<sup>3</sup>

Les domaines d'application des nanotechnologies sont principalement les technologies de l'information (possibilités de stockage accrues, augmentation de la puissance des composants, diminution de la taille des composants, ...), la santé (implants bioactifs, nouveaux outils de diagnostic médical, traitement ciblé de cellules malades...), les écotecnologies (détection et neutralisation de micro-organismes et de pesticides par exemple) et les technologies de l'énergie (économies d'énergie améliorées dans le transport, développement de nouvelles cellules photovoltaïques en fines couches, ...).

Cette segmentation par domaines d'applications a aussi ses limites, car les nanomatériaux ont des applications en électronique ou dans le domaine de la santé et certains dispositifs présents dans le domaine de la santé comme les biopuces reposent aussi sur des technologies appartenant à l'électronique.

### Approche par chaîne de valeur

La Direction des Sciences de la Matière (DSM) du CEA a présenté une chaîne de valeurs des nanotechnologies :

- 1<sup>re</sup> étape : **structures brutes** à l'échelle nanométrique (structure artificielle avec au moins une dimension inférieure à 100 nm présentant des propriétés spéci-

fiques à l'état brut) par exemple l'oxyde de titane ou le nanotube de carbone. Les brevets sur ces structures ont énormément de valeur.

- 2<sup>e</sup> étape : **produits intermédiaires**, non bruts et non destinés au consommateur final, incorporant des nanomatériaux ou ayant été produits avec des propriétés liées à l'échelle nanométrique comme le nanocatalyseur ou les mémoires magnéto-résistives.
- 3<sup>e</sup> étape : **produits finis** incorporant du nano comme le siège nanocomposite ou l'adhésif dentaire avec 10% de nanoparticules de silice.

Les outils de caractérisation constituent une autre filière en parallèle (instruments pour visualiser, manipuler et modéliser la matière à l'échelle nanométrique tels que l'AFM, les logiciels, etc).

Cette approche est valable pour le domaine des nanomatériaux, mais moins pour les secteurs de l'électronique ou de la santé.

Ainsi, les activités impliquant des nanotechnologies sont très hétérogènes et aucune segmentation ne peut être parfaite. L'approche par domaines d'applications a été choisie pour décrire les activités industrielles en Île-de-France dans le troisième chapitre. Cette approche permet d'appréhender la diversité des entreprises, sans chercher à dresser un portrait exhaustif de l'industrie des nanotechnologies dans la région.

[3] « Les nanotechnologies », Conseil Economique et Social, avis présenté par Alain Obadia, 2008.

## 2 LES INVESTISSEMENTS PUBLICS DANS LES NANOTECHNOLOGIES EN FRANCE ET EN ÎLE-DE-FRANCE

### 1. LE POSITIONNEMENT DE LA FRANCE EN MATIÈRE D'INVESTISSEMENTS PUBLICS ET PRIVÉS

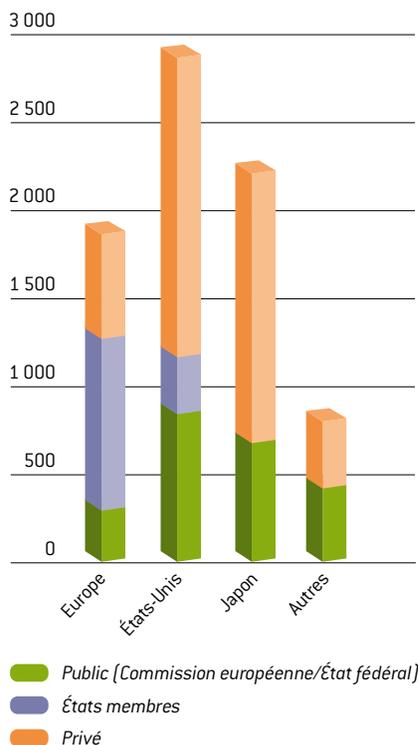
L'effort financier de la France dans le domaine des nanotechnologies place le pays au 2<sup>e</sup> rang européen derrière l'Allemagne. Entre 2001 et 2005, plus d'un milliard d'euros de fonds publics ont été investis en France pour développer la recherche dans le secteur des nanosciences et des nanotechnologies. Pour l'année 2007, l'effort public est de l'ordre de 280 millions d'euros. Un quart du budget relève du ministère en charge de la recherche, un quart du CEA et un tiers du CNRS.

En 2004, l'Europe était en troisième position derrière les États-Unis et le Japon en matière d'investissements (privés et publics confondus). Cependant la répartition public-privé n'est pas du tout la même : dans les pays leaders (États-Unis, Japon), l'investissement privé est largement supérieur au public, alors qu'en Europe c'est l'investissement public qui est majoritaire. En valeur absolue, l'investissement public s'élevait à près d'1,4 milliard d'euros pour l'Europe contre 1,2 milliard d'euros pour les États-Unis.

### 2. LE POSITIONNEMENT DE LA FRANCE EN MATIÈRE DE PRODUCTION SCIENTIFIQUE ET DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

La France et l'Europe apparaissent globalement bien placées dans le domaine de la production scientifique sur le thème des nanotechnologies. **La France se situe ainsi au 5<sup>e</sup> rang mondial** avec plus de 3 500 publications en 2006, soit 5,6% des publications mondiales. Mais l'Europe rencontre des difficultés dans la capacité à convertir ses travaux en produits et en valeur [conversion des connaissances en dépôts de brevets et en création d'entreprises innovantes]. Les deux tiers des brevets dans ce secteur sont détenus par l'Asie (Chine, Japon et Corée du sud), distançant nettement les États-Unis et l'Europe. L'Allemagne

Figure 1 : les sources de financement des nanotechnologies en 2004 (en millions d'euros)

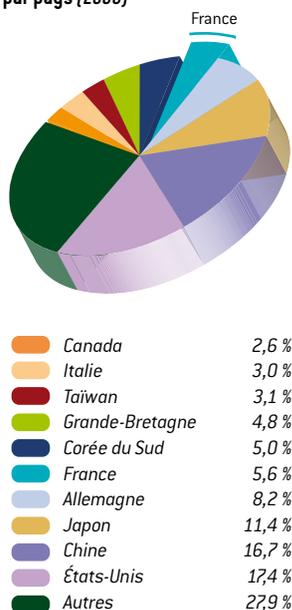
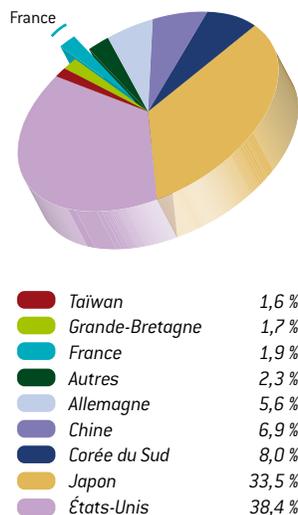


Estimation des investissements publics et privés en milliards d'euros pour la R&D en nanotechnologies dans certaines régions du monde. (source : Commission européenne, 2006)<sup>4</sup>.

totalise les 2/3 des brevets européens devant la France et le Royaume-Uni. La France n'a déposé par exemple que 290 brevets dans le domaine en 2005, soit moins de 2 % des brevets mondiaux. Les déposants sont principalement des industriels à hauteur de 70 % et plus particulièrement des entreprises multinationales.<sup>5</sup>

[4] « Nanomatériaux : Positionnement des compétences françaises », Développement et Conseil pour le compte de la Direction Générale des Entreprises, novembre 2007.

[5] Synthèse documentaire « Les Nanotechnologies » du Cedef, Centre de documentation Économie-Finances, mai 2009.

**Figure 2 : pourcentage mondial de publications Nano par pays (2006)****Figure 3 : pourcentage mondial de brevets Nano par pays (1996-2005)**

Source « Le Nanomonde », Commissariat à l'énergie atomique, 2008.

### 3. L'EUROPE ET LE FINANCEMENT DES NANOTECHNOLOGIES

Les instruments de l'Union européenne en matière de nanosciences et nanotechnologies sont limités à la subvention de programmes de recherche et à des actions d'information pour respecter les principes d'éthiques ou de précaution. La France se situe au second rang en termes de subventions obtenues de la Commission européenne et devrait bénéficier en moyenne de 10 % de la dotation globale, soit environ 50 millions d'euros par an, ce qui équivaut au budget de l'ANR dans le domaine des nanosciences et nanotechnologies.<sup>6</sup>

La Commission européenne finance la recherche sur les nanosciences et les nanotechnologies au travers des PCRD (Programme Cadre de Recherche et de Développement).

Le 4ème PCRD (1994-1998) a financé 80 projets sur les nanotechnologies à hauteur de 30 millions d'euros. Le 5ème PCRD (1998-2002) a financé les nanotechnologies à hauteur de 45 millions d'euros par an. Le 6<sup>e</sup> PCRD (2002-2006) a effectué un important travail sur les nanotechnologies : 1,3 milliard d'euros sur les 17,5 milliards d'euros de financements disponibles ont été dédiés aux nanosciences et nanotechnologies sur l'ensemble de la période.<sup>7</sup> Par exemple, le réseau Nano2Life initié et coordonné par le CEA, est le réseau d'excellence européen en nanobiotechnologies. Ce projet d'une durée de quatre ans (2004-2008) a reçu une aide du 6ème PCRD de 8,8 millions d'euros pour fédérer les 23 partenaires leaders en nanobiotechnologies.

Pour le 7<sup>e</sup> PCRD, portant sur la période 2007-2013, la priorité est donnée à l'élaboration interdisciplinaire de nouveaux produits et matériaux mais également de nouveaux procédés et techniques. Le budget alloué à ce secteur

[6] Synthèse documentaire « les Nanotechnologies » du Cedef, Centre de documentation Économie-Finances, mai 2009.

[7] « Nanomatériaux : Positionnement des compétences françaises », Développement et Conseil pour le compte de la Direction Générale des Entreprises, novembre 2007.

## 2 LES INVESTISSEMENTS PUBLICS DANS LES NANOTECHNOLOGIES EN FRANCE ET EN ÎLE-DE-FRANCE

s'élève à près de 3,5 milliards d'euros. Par exemple, dans le domaine des nanotechnologies, plusieurs plates-formes technologiques européennes ont été mises en place : les ETP (European Technological Platform). Ce sont des initiatives proposées conjointement par l'industrie et par la Commission européenne afin de définir des priorités et une stratégie commune en matière de recherche, de technologie et de développement. Elles ont un rôle clé dans l'alignement de la recherche institutionnelle sur les besoins de l'industrie :

- **ENIAC** (European Nanoelectronics Initiative Advisory Council) : cette plate-forme est centrée sur la nano-électronique et a pour but d'augmenter l'intégration, la miniaturisation et la fonctionnalité des dispositifs électroniques.
- **Photonics21** : c'est une ETP dans le domaine de la photonique, elle regroupe la majorité des industriels et des principaux instituts de recherche européens du domaine.
- **NanoMedicine** : c'est une ETP qui vise à développer les applications des nanotechnologies dans les sciences du vivant. Trois thématiques principales y sont étudiées : diagnostic médical à base de nanotechnologies et d'imagerie, vecteur de médicament et médecine régénérative.
- **NANOfuturs** : cette plate-forme technologique européenne d'intégration et d'innovation (ETIP) en nanotechnologie sera officiellement inaugurée en juin 2010 dans le cadre de la Présidence espagnole de l'Union européenne.

Par ailleurs, 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 permettent 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** : ce 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** : ce réseau Eranet en micro et nanotechnologie soutient des projets de recherche appliquée dans un grand nombre de thématiques [nanoélectronique, nanobiotechnologie...] impliquant au minimum deux partenaires de pays différents. Toutes les thématiques des micro et nanotechnologies sont concernées et l'objectif est de financer l'industrialisation et la commercialisation des produits issus de la R&D. En France, le financement est assuré par OSEO, sous forme d'avance remboursable à taux zéro.

### 4. LES ORGANISMES NATIONAUX DE SOUTIEN À LA RECHERCHE ET À L'INNOVATION

#### L'Agence Nationale pour la Recherche (ANR)

L'ANR a été créée en 2005. Dans le domaine des nanotechnologies, elle a pris le relais du Réseau de recherche en Micro et NanoTechnologies (RMNT) qui avait été créé en 1999 afin de financer des projets de recherche menés en partenariat entre des laboratoires académiques et des entreprises dans les domaines des micro et nanotechnologies.

Dans le cadre des nanotechnologies, ses missions sont les suivantes :

- Financer des projets de recherche partenariaux via des appels à projets spécifiques comme le programme P3N (continuité du programme PNANO) et d'autres programmes non spécifiques aux nanotechnologies.
- Financer les infrastructures de recherche (15 à 17 millions d'euros par an pour les grandes centrales de technologies de la Recherche Technologique de Base RTB).

**70** millions d'euros ont été distribués en 2008 à des projets de recherche liés aux nanotechnologies via les appels à projets

En tout, les nanotechnologies sont concernées par 18 programmes de l'ANR, et en 2008, 70 millions d'euros ont été distribués à des projets de recherche liés aux nanotechnologies via les appels à projets, dont 40 millions pour le programme spécifique Pnano (59 % du budget appels à projets de l'ANR). Les autres programmes sont par exemple le programme CES (Contaminants, Ecosystèmes et Santé) sur les nanoparticules ou le programme HABISOL (Habitat intelligent et solaire photovoltaïque) sur le photovoltaïque avec une partie nanotechnologie. Pour la période 2005-2008, l'analyse des projets financés dans les 18 programmes a permis d'identifier 578 projets pour un montant de 285 millions d'euros. En plus de ces appels à projets, l'agence a financé le programme de recherche technologique de base RTB à hauteur de 69 millions d'euros. Ainsi, pour la période 2005-2008, l'ANR a financé le domaine des nanosciences et nanotechnologies pour un montant de 354 millions d'euros.

Lors des éditions 2007 et 2008, le montant d'aide alloué à l'Île-de-France dans le programme Pnano représente entre 30 et 35 % de l'aide totale (40 millions d'euros en

2008], et le nombre de partenaires financés franciliens représentant également de 30 à 35 % de l'ensemble des partenaires financés. En 2008, 72 % des projets financés impliquait au moins un partenaire francilien. En ce qui concerne l'aide cumulée sur les quatre premières éditions du programme Pnano, deux régions concentrent la très grande majorité des subventions : 49 M€ pour l'Île-de-France et 42 M€ pour Rhône-Alpes.

### Oséo Innovation

Oséo Innovation (regroupant l'ex-Anvar et l'ex-All) a pour objet de promouvoir et de soutenir le développement industriel et la croissance par l'innovation, notamment technologique, ainsi que de contribuer au transfert de technologies. Les aides à l'innovation d'Oséo prennent la forme de subventions et d'avances à taux 0 et remboursables partiellement selon la réussite du programme sur le plan technique et commercial. Oséo intervient aussi pour :

- La création d'entreprise de technologie innovante ;
- Les projets innovants (R&D, adaptation...), et les études de faisabilité préalables (pouvant intégrer le recrutement de cadres de R&D) ;
- La familiarisation aux processus d'innovation grâce à la Prestation Technologique Réseau (PTR) du Centre Francilien de l'Innovation CFI avec les régions ;
- La qualification « entreprise innovante » pour l'accès aux FCPI ;
- Les partenariats technologiques (PCRDT, EUREKA, Era-Net) ;
- Les projets collaboratifs, avec le nouveau programme ISI, ou dans le cadre des pôles de compétitivité.

Aucune aide ou programme spécifique ne vise les nanotechnologies, mais la mise en place des nanotechnologies impliquent très souvent des travaux de R&D, de conception de produits, de ruptures technologiques et d'innovations stratégiques. Beaucoup d'entreprises qui mettent en œuvre les nanotechnologies bénéficient d'une aide financière et d'un accompagnement d'Oséo.

## 5. LES ORGANISMES PUBLICS DE RECHERCHE

### Le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)

Le CNRS est un organisme public de recherche (Etablissement public à caractère scientifique et technologique) placé sous la tutelle du ministère chargé de la recherche. Le CNRS compte plus de 32 000 personnes. Son budget

2009 s'élève à de 3,367 milliards d'euros dont 607 millions d'euros de ressources propres. Son implantation est sur l'ensemble du territoire national et il exerce son activité dans tous les champs de la connaissance, en s'appuyant sur plus de 1 200 unités de recherche et de service.

Plus de 540 laboratoires CNRS, pour la plupart en partenariat avec des établissements d'enseignement supérieur et d'autres organismes publics ou privés, se situent en Île-de-France, ce qui représente près de 40 % des laboratoires CNRS au niveau national. Les agents CNRS représentent en Île-de-France près de 12 000 personnes, soit 38,3 % de l'effectif global de l'organisme.

Le CNRS fait des nanosciences et des nanotechnologies une de ses priorités. Aujourd'hui, ces recherches, menées au sein d'environ 170 laboratoires par 2 000 chercheurs, concernent la physique, la chimie, la biologie et tous les domaines suivants :

- Les nano-objets et molécules individuelles (nanotubes de carbone, agrégats) ;
- La nanophysique et les technologies de l'information (spintronique ou électronique de spin et la nanophotonique) ;
- Les nanomatériaux ;
- La nanobiologie (nanoparticules servant de marqueurs, nanopores, nanoélectrodes, nanofluidique, encapsulage, vectorisation des médicaments, laboratoires sur puce...) ;
- La nanofabrication avec les deux approches complémentaires « top down » (montante) et « bottom up » (descendante) ;
- Les nanosystèmes.

90 % des unités de recherche sont en partenariat avec d'autres établissements.

Cette priorité s'est aussi traduite par une augmentation des projets de recherche du CNRS dans ces domaines. À titre d'exemple, les unités du CNRS Île-de-France Sud (87 unités de recherche) ont signé six contrats de recherche en nanosciences en 2006, dix projets en 2007, 18 projets

*Pour être toujours plus performants, les chercheurs s'appuient désormais sur une Unité Mixte de Service (UMS), l'Observatoire des micro et nanotechnologies, et sur un réseau de plates-formes technologiques à l'initiative du CEA et du CNRS.*

## 2 LES INVESTISSEMENTS PUBLICS DANS LES NANOTECHNOLOGIES EN FRANCE ET EN ÎLE-DE-FRANCE

en 2008 et 27 projets en 2009. Au total, le CNRS compte plus de 140 projets en cours dans les nanotechnologies.

Du côté de l'innovation et du transfert technologique, le CNRS a affiché une volonté très forte de partenariat avec l'industrie, et des laboratoires communs ont été mis en place avec Alcatel, ST Microelectronics et Thalès dans le domaine de la nanophotonique, de la nanoélectronique, du nanomagnétisme et de l'électronique moléculaire. De même, certaines start-up ont été créées à partir des travaux de recherche du CNRS et de ses partenaires (CEA, universités).

### Le Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA)

Le CEA est un organisme de recherche technologique dans trois grands domaines : énergie, défense et technologies de l'information et de la santé. Il est structuré sur la base de quatre directions opérationnelles : défense (DAM), nucléaire (DEN), recherche technologique (DRT) et recherche fondamentale (Direction des sciences de la matière DSM et Direction des sciences du vivant DSV). La valorisation est considérée comme un enjeu essentiel pour le CEA : environ 400 brevets sont déposés par an et 120 start-up ont été créées. Le CEA Saclay, centre pluridisciplinaire, compte près de 5 000 chercheurs. Toutes les directions scientifiques du CEA y sont présentes, à l'exception de la Direction des applications militaires.

Au CEA, près de 2 000 ingénieurs, chercheurs et techniciens sur les 15 000 collaborateurs du CEA travaillent dans le domaine des nanosciences et nanotechnologies. Multidisciplinaire et totalement transversal, ce domaine fait surtout intervenir des spécialistes de la Direction de la Recherche Technologique (DRT) et de la Direction des Sciences de la Matière (DSM).

Les recherches en nanosciences sont menées au sein de la Direction des Sciences de la Matière (DSM), principalement à Saclay à l'Institut du rayonnement de la matière (Iramis) qui comprend 500 chercheurs et doctorants, et à l'INAC (Institut de Nanosciences et de Cryogénie) à Grenoble. La cellule valorisation de la DSM existe depuis 2002 et dépose une trentaine de brevets par an, soit environ 250 brevets en vigueur. Presque la moitié de ces brevets sont en co-propriété avec les autres organismes de recherche fondamentale : CNRS et universités. 59 % de ces brevets concernent le domaine des nanosciences-chimie-électronique.

C'est au sein de la Direction de la Recherche Technologique (DRT), sur le centre de Grenoble qu'ont lieu les recherches sur les nanotechnologies :

- le CEA-Liten (Laboratoire d'Innovation pour les Technologies des Énergies nouvelles et des Nanomatériaux) développe des nanomatériaux aux propriétés inédites dans un objectif de transfert vers les industries de la chimie, de l'environnement, de l'énergie, etc ;
- le CEA-Léti (Laboratoire d'Électronique et des Technologies de l'Information) développe des nano-composants qui s'adressent principalement au secteur industriel de l'information et de la communication. Le département des Technologies pour la Biologie et la Santé développe de nouveaux objets en interface avec le vivant en direction des industriels de la santé et des cliniciens.

### 6. LA RECHERCHE PUBLIQUE EN ÎLE-DE-FRANCE EST TRÈS IMPLIQUÉE DANS LES NANOSCIENCES ET LES NANOTECHNOLOGIES

L'Île-de-France peut se comparer à d'autres pôles mondiaux des nanotechnologies avec :

- 7,2 % des effectifs de chercheurs européens (5<sup>e</sup> rang mondial) ;
- 5,8 % des publications scientifiques européennes ;
- 8,1 % de la dépense intérieure de recherche et développement européenne.

Cette région s'appuie sur un réseau de recherche publique très important et bien structuré dans un certain nombre de domaines à la pointe de l'innovation :

- Nanoélectronique (nano magnétisme, électronique de spin, affichage de prochaine génération, stockage de données) ;
- Nanophotonique (nanostructures autoorganisées, boîtes quantiques, cristaux photoniques) ;
- Microsystèmes (micro-bobines, réseau de micro-lentilles, fabrication de couches minces) ;
- Nanobiotechnologie (biopuce ADN, laboratoire sur puce, dispositifs microfluidiques) ;
- Nanomatériaux (nanotubes de carbone, nanoparticules, catalyse).<sup>8</sup>

### Le C'Nano Île-de-France

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 associent les laboratoires de recherche sur le plan régional (Île-de-France – Grand Est – Rhône Alpes – Nord Ouest

[8] « Les nanotechnologies en France », Invest in France Agency.

– Grand Sud Ouest – PACA). Ces centres inter-régionaux concentrent 243 laboratoires pour 5 300 chercheurs et enseignants-chercheurs à la pointe des recherches menées en nanosciences.

Le centre C'Nano Île-de-France a été labellisé par l'État en 2006. Il est également soutenu par le Conseil Régional en tant que porteur du Domaine d'Intérêt Majeur (DIM) « Nanosciences ». C'Nano Île-de-France regroupe dans le domaine des nanosciences et nanotechnologies :

- Plus de 80 laboratoires et institutions ;
- 2 centrales nationales de technologie ;
- Plus de 200 équipes ;
- 7 universités ;
- 6 grandes écoles ;
- quelques 1 810 chercheurs, enseignant-chercheurs et doctorants.

Le C'Nano Île-de-France a pour objectif de structurer et d'animer la recherche fondamentale en nanosciences en Île-de-France. Il coordonne les actions des laboratoires, facilite leur accès aux infrastructures, organise des rencontres scientifiques et appuie les projets de la communauté francilienne qui favorisent la collaboration entre équipes ou avancées inter-disciplinaires. Ses activités sont structurées selon cinq axes : Electronique de Spin, Electronique Moléculaire et Quantique, Nanophotonique et Information

Quantique, Nanobiosciences et Nanochimie. Il s'appuie sur deux actions transverses : nanofabrication et nanostructuration, et nanosciences et société. En partenariat avec la Région Île-de-France, le CNRS et le CEA, C'Nano Île-de-France propose des allocations doctorales et post-doctorales. Depuis 2007, plus de 13 millions d'euros ont été accordés par le Conseil régional d'Île-de-France au réseau C'Nano.

### Deux des six grandes centrales de technologie RTB sont situées en Île-de-France

Le réseau national de grandes centrales de technologies pour la Recherche Technologique de Base (RTB) a été mis en place en 2003. Son objectif est de permettre à la recherche publique française de faire face aux enjeux des micro-nanotechnologies et nanosciences pour les années à venir en disposant d'une infrastructure propre à fournir les technologies nécessaires à la réalisation des projets de recherche et de développement des laboratoires. Le réseau RTB d'infrastructures et de moyens lourds en micro et nanotechnologie (salles blanches, équipements, instrumentation...) est réparti sur le territoire national au sein de six laboratoires et couvre des compétences scientifiques allant du matériau au système. Ces laboratoires reçoivent une dotation spécifique pour acquérir des équipements de pointe et développer au plus haut niveau la recherche

Figure 4 : les principaux centres de recherche en nanotechnologie en France



Source : « Dossier de présentation 2009 du débat public ».

## 2 LES INVESTISSEMENTS PUBLICS DANS LES NANOTECHNOLOGIES EN FRANCE ET EN ÎLE-DE-FRANCE

en nanosciences et nanotechnologies. Parallèlement, ce réseau doit permettre à l'ensemble des laboratoires de la communauté nationale de bénéficier d'un accès à ces moyens. Ainsi, ces centrales doivent être ouvertes à des projets extérieurs, académiques ou industriels (au moins 15 % de l'activité).

Le pôle de l'Île-de-France comprend la centrale du Laboratoire de Photonique et de Nanostructures (LPN) et celle de l'Institut d'électronique fondamentale (IEF).

### Le Laboratoire de photonique et de nanostructures (LPN)

Le LPN est une unité propre du CNRS située à Marcoussis (91). Le LPN est présent sur toute la chaîne de l'innovation : de la recherche sur de nouveaux concepts créateurs et de nouvelles fonctionnalités, recherche sur de nouveaux matériaux et de nouvelles technologies, ainsi que sur leur mise en œuvre et leur faisabilité. 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.

La centrale de technologie du LPN est animée par une équipe technique, composée d'une vingtaine d'ingénieurs et de techniciens permanents. Y travaillent également à plein temps des chercheurs, thésards et post-doctorants. Les moyens technologiques sont regroupés dans 1 000 m<sup>2</sup> de salles blanches (700 m<sup>2</sup> + 300 m<sup>2</sup> épitaxie) et 150 m<sup>2</sup> de salles grises. Les thématiques étudiées sont classées en deux catégories :

- les thématiques majeures sont la nanophotonique et la nanoélectronique quantique ;
- les thématiques mineures sont la microfluidique et la spintronique (électronique de spin).

Certains moyens sont accessibles à tous après formation, d'autres sont en accès restreint.

### L'Institut d'Électronique Fondamentale (IEF)

L'IEF est une Unité Mixte de Recherche (UMR) CNRS/Université Paris Sud-XI, implantée sur le Centre scientifique d'Orsay. Quatre thématiques de recherche sont menées à l'IEF concernant les nanotechnologies :

- 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 micro-nano-systèmes.

La centrale de technologie de l'IEF comprend 560 m<sup>2</sup> de salles blanches et 440 m<sup>2</sup> de salles grises (caractérisations, élaboration de matériaux) et 12,5 M€ d'équipements. En 2008, environ 70 personnels IEF et 60 extérieurs y ont travaillé. 28 projets ont été menés en partenariat avec des industriels via des projets ANR, des projets européens, les pôles de compétitivité et des conventions CIFRE. 34 projets extérieurs ont été accueillis, que ce soient des projets de laboratoires académiques ou d'industriels (grands groupes et PME).

### Projet de fusion de l'IEF et du LPN

Le CNRS et l'Université Paris-Sud XI ont décidé d'unir leurs efforts pour doter la région parisienne d'un Centre de Nanosciences et Nanotechnologies (le C2N) qui sera situé sur le plateau de Saclay (91). Il sera à la fois une des opérations structurantes du projet campus du plateau de Saclay et une des composantes stratégiques du plan Nano-Innov. Plus de 30 millions d'euros d'équipements y seront présents.

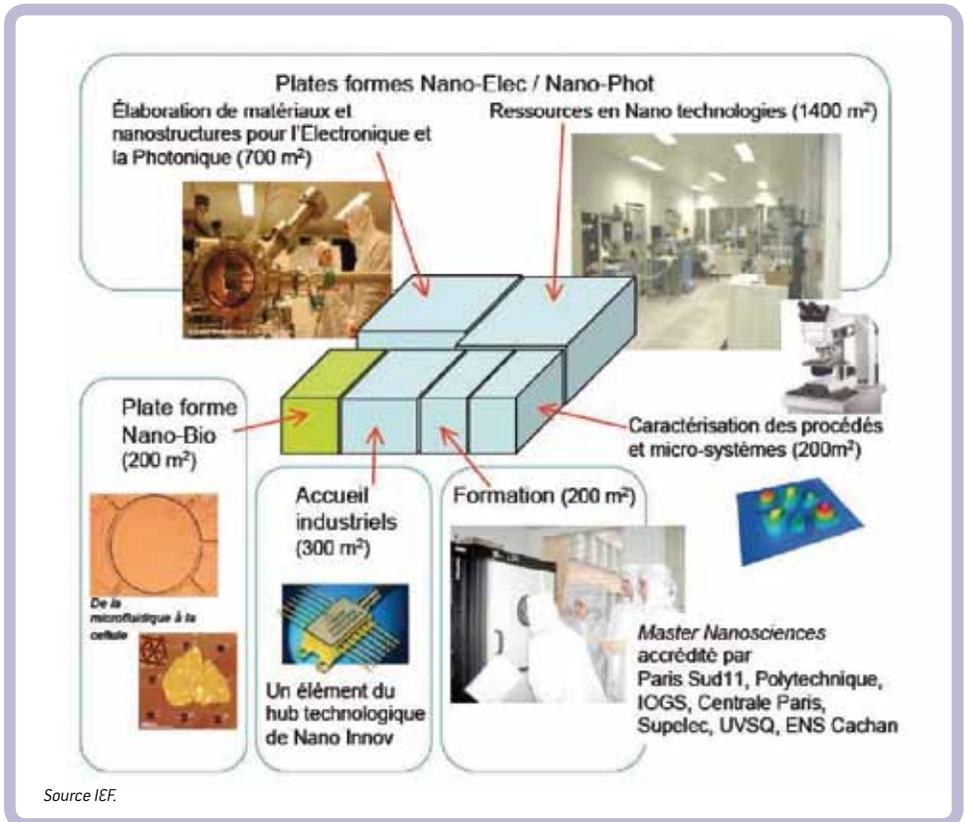
Le C2N sera :

- la seule grande centrale dans la région parisienne du réseau RTB ;
- la plate-forme Nano-électronique, Nano-photonique et Nano-biologie du dispositif Nano-Innov de la région parisienne ;
- un laboratoire de classe mondiale comprenant 400 à 500 personnes ;
- un centre de formation en nanotechnologie pour toute la région parisienne.

### Un des trois RTRA dans le domaine des nanosciences est situé en Île-de-France

Les RTRA (Réseaux Thématiques de Recherche Avancée) sont des fondations de coopération scientifique qui rassemblent des laboratoires de recherche situés dans une région géographique donnée, avec des chercheurs de très haut niveau et ayant des objectifs scientifiques communs. Les RTRA disposent d'une grande souplesse de fonctionnement, en particulier pour recruter et accueillir des scientifiques étrangers. Le statut de fondation leur permet également de lever des fonds grâce à des avantages fiscaux consentis aux donateurs. Trois RTRA ont été créés dans le domaine des nanosciences, dont un en Île-de-France : le Triangle de la Physique à Orsay (91).

Le Triangle de la Physique rassemble les laboratoires du triangle géographique Palaiseau-Orsay-Saclay (91) autour de certaines thématiques de physique : optique, physique de la matière diluée et condensée, physique des milieux complexes, nanophysique et physique statistique. Ce RTRA bénéficie de la présence des très grands



instruments de recherche comme le Synchrotron Soleil, le réacteur à neutron Orphé ou les lasers de puissance du laboratoire LULI. Les laboratoires de ce RTRA appartiennent aux structures suivantes : Université Paris Sud, CNRS, École Polytechnique, CEA, ONERA (Office National d'Études et de Recherches Aéronautiques), IOTA (Institut d'Optique Théorique et Appliquée), ENSTA (École Nationale Supérieure de Techniques Avancées) et Sup'Elec (École Supérieure d'Électricité).

### Saclay (91) : un des trois centres d'intégration du Plan Nano-Innov

Le ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche a présenté le 5 mai 2009 Nano-Innov, le Plan « Nano-techs », visant à mettre en place une stratégie d'innovation dans les nanotechnologies. Ce plan doit donner à l'industrie française les moyens de réussir le virage des nanotechnologies sans altérer la capacité des scientifiques à comprendre les propriétés de la matière et à en déduire les applications possibles.

Ce plan repose notamment sur la création de centres d'intégration des nanotechnologies à Grenoble, Saclay et Toulouse, où la recherche fondamentale travaillera avec les entreprises pour mettre au point des technologies, déposer des brevets et créer des produits. En 2009, 70 millions d'euros ont été consacrés à ce plan dans le cadre du plan de relance :

- 46 millions d'euros pour la construction d'un centre d'intégration sur le site de Saclay (91) sous la maîtrise d'ouvrage du CEA ;
- 7 millions d'euros pour des financements complémentaires d'équipements technologiques dans le cadre du programme RTB (réseau technologique de base) confié à l'Agence Nationale de la Recherche ;
- 17 millions d'euros pour l'appel à projets spécifique Nano-Innov ajouté à la programmation 2009 de l'ANR.

L'objectif de l'appel à projet Nano-Innov 2009 est de démontrer les potentialités des nanotechnologies dans la vie courante, et il est centré sur les trois thématiques suivantes : énergie, internet et santé. Il impose le dépôt

## 2 LES INVESTISSEMENTS PUBLICS DANS LES NANOTECHNOLOGIES EN FRANCE ET ÎLE-DE-FRANCE

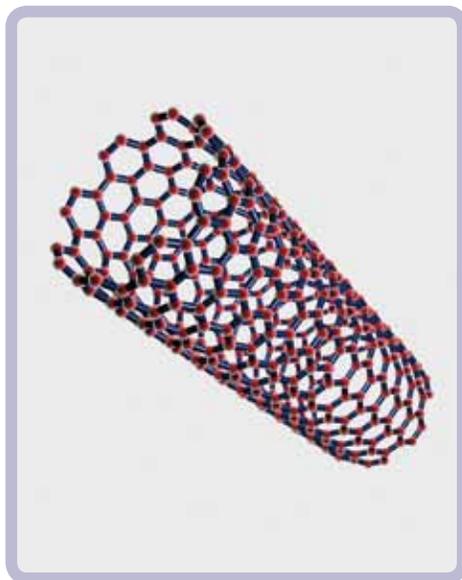
de brevets et concerne des projets d'environ 2,5 millions d'euros, donc plus importants que ceux de Pnano de l'ANR de 800 000 euros en moyenne). 31 projets ont été déposés et 9 ont été retenus. 22 % du montant des projets concernent le centre d'intégration de Saclay.

Le dispositif national de Nano-Innov permettra de passer à une seconde phase après la mise en place des grandes centrales pour assurer la compétitivité en Europe des centrales françaises. La création des trois centres d'intégration facilitera la mise en commun d'équipements, de méthodologies et de ressources humaines pour concevoir, fabriquer et tester les produits de plus en plus complexes demandés par l'industrie. L'objectif est de faire émerger trois territoires innovants de dimension mondiale qui devront atteindre la taille critique par agrégation des compétences et des moyens. La gouvernance du dispositif est assurée par un comité de pilotage composé de trois collèges (nanosciences, nanotechnologies et industriels).

Les bâtiments du centre d'intégration Nano-Innov Paris Région seront construits sur Palaiseau [91] dans la zone située à l'Ouest de l'Ecole Polytechnique et de l'Institut d'Optique, déjà existants. Cette implantation est intégrée dans le plan campus de Saclay dont une des douze thématiques est Nanosciences – Nano-Innov. Des discussions très avancées doivent permettre le positionnement des futurs bâtiments du Centre de Nanosciences à proximité immédiate des bâtiments Nano-Innov. Cette implantation est cohérente avec l'initiative DIGITEO. Cette implantation a pour objectif de permettre au centre d'intégration Nano-Innov Paris Région de remplir sa mission d'innovation, en facilitant la rencontre entre la recherche académique, la recherche technologique publique et la recherche technologique privée. Située à proximité des centres de recherche industrielle comme celui Thalès, déjà implanté, ceux en projet d'HORIBA, d'EDF et de nombreuses autres sociétés, le centre d'intégration Nano-Innov a pour ambition de devenir le lieu privilégié de la recherche partenariale privée/publique.

### Saclay et le grand emprunt

L'attribution à l'opération Saclay d'un milliard d'euros grâce à l'emprunt national, en plus de la dotation de 850 millions d'euros déjà prévue au titre de l'opération Campus, rendra possible tous les regroupements prévus des grandes écoles. La mise en synergie sur le plateau de Saclay des grandes écoles de Paristech, de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, de l'Ecole Centrale de Paris, de l'Université de Paris XI réorganisée et rénovée avec les autres institutions et les laboratoires des organismes de recherche déjà présents a l'ambition de faire de ce site un des meilleurs



centres mondiaux de recherche et d'innovation. Lors de son discours sur le grand emprunt, à la mi-décembre 2009, le Président de la République a placé les nanotechnologies en tête des priorités avec les biotechnologies.

### Un institut labellisé « institut Carnot »

Le Label Carnot est attribué pour une période de quatre années renouvelable à des structures de recherche publique, les Instituts Carnot. Ces instituts mènent simultanément des activités de recherche amont, propres à renouveler leurs compétences scientifiques et technologiques, et une politique volontariste en matière de recherche partenariale au profit du monde socioéconomique. Le Label Carnot est destiné à favoriser la recherche partenariale, c'est-à-dire la conduite de travaux de recherche menés par des laboratoires publics en partenariat avec des acteurs socioéconomiques, notamment avec des entreprises. Les laboratoires de recherche labellisés « Institut Carnot » reçoivent un abondement financier de l'État calculé en fonction du volume et de l'accroissement des contrats conclus avec leurs partenaires socioéconomiques.

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 nanophotonique, les matériaux non linéaires, les lasers et les systèmes optiques.

## 3

LES ACTIVITÉS INDUSTRIELLES LIÉES AUX NANOTECHNOLOGIES  
DES PME FRANCILIENNES

*L'un des objectifs de cette étude est de faire un premier état des lieux des PME franciliennes utilisant les nanotechnologies. Cette étude n'a pas vocation à être exhaustive mais plutôt à donner une vision globale des PME franciliennes de la filière avec lesquelles les chargés de mission de la DRIRE Île-de-France sont entrés en contact. Cette étude s'adresse volontairement à plusieurs secteurs d'activité afin de mettre en avant la variété des acteurs recensés sur le territoire.*

Cette étude se consacre exclusivement aux PME, qui sont les destinataires des actions de soutien et d'accompagnement financées par la DRIRE. Les grands groupes ont été volontairement exclus de l'étude puisqu'ils n'ont pas vocation à bénéficier de ces actions.

Un certain nombre de grands groupes travaillant avec les nanomatériaux sont mentionnés dans une base de données réalisée sous l'impulsion de la DiGITIP<sup>9</sup> en 2004 : Areva, Arkema, Dassault, EADS, Essilor, Gaz de France, Isochem, Renault, Rhodia, Sagem, Saint-Gobain, Snecma, etc. D'autres grands groupes sont cités pour leurs investissements en R&D dans l'étude de 2007 de la Direction Générale des Entreprises (DGE) : L'Oréal, Michelin, Thalès, Air Liquide, Philips, Sanofi-Aventis, Alcatel, Veolia, etc. À Grenoble, STMicroelectronics, un des principaux fabricants mondiaux de circuits intégrés, est le chef de file du programme de coopération public/privé Nano 2012 dans les technologies de production de semi-conducteurs.

En Île-de-France, d'autres groupes sont présents : Altis Semiconductor est spécialisé dans la fabrication de composants électroniques de logique avancée, Horiba Jobin Yvon fournit des équipements de spectroscopie optique ayant des applications en nanotechnologies, Picogiga International, filiale du groupe Soitec, se focalise sur le développement et la fabrication de substrats semi-conducteurs composés, et Guerbet commercialise des nanoparticules utilisées en imagerie IRM.

L'emploi industriel est difficile à estimer car les nanotechnologies ne constituent ni un secteur ni une branche au sens de la comptabilité nationale, ni une filière en référence à

l'économie industrielle. Les entreprises travaillant avec les nanotechnologies échappent donc aux tableaux d'échange inter-industriel, aux statistiques du commerce extérieur, aux nomenclatures d'activité et de produit française ou européenne ainsi qu'aux tables de correspondance de l'OCDE.

Une étude de l'ARIST en 2007 a estimé que la région Île-de-France accueille un peu plus d'une centaine d'acteurs dans le secteur des microtechnologies et nanotechnologies, pour un effectif d'environ un millier de personnes composé à 40 % de techniciens-commerciaux. La plupart des produits vendus portent sur les micromatériaux, les micro-systèmes en optique et les produits de microélectronique dédiés à l'industrie de l'aéronautique et de l'énergie régionale (secteur électrique et dérivés). Cette étude a également constaté que les domaines « Outils » et « Matériaux » semblaient relativement mal dotés en Île-de-France et que seuls les domaines « Sciences de la vie » et « Électronique et technologies de l'information » disposaient de bases plus conséquentes en région.<sup>10</sup>

**Nous nous focalisons sur trois domaines d'application des nanotechnologies qui concentrent les activités en Île-de-France :**

- **l'électronique**, qui est le domaine d'activité le plus mature concernant l'intégration des nanotechnologies ;
- **les nano-matériaux et nano-objets** qui peuvent faire l'objet d'une multitude d'applications industrielles ;
- **la santé**, où les nanotechnologies apportent de nouvelles pistes dans les domaines du diagnostic et du traitement.

### 1. L'ÉLECTRONIQUE EST LE DOMAINE D'ACTIVITÉ LE PLUS MATURE

#### Quelques éléments de contexte

L'électronique a jusqu'à présent orienté une large proportion des nanotechnologies. Une grande partie du processus de miniaturisation des puces d'ordinateurs a fait appel aux nanosciences et aux nanotechnologies. La micro-

[9] <http://www.nanomateriaux.org/>

[10] « Micro, nano- et nanobiotechnologies : des marchés de niche en développement en Île-de-France », CCIP – ARIST Paris, avril 2007

### 3 LES ACTIVITÉS INDUSTRIELLES LIÉES AUX NANOTECHNOLOGIES DES PME FRANCILIENNES

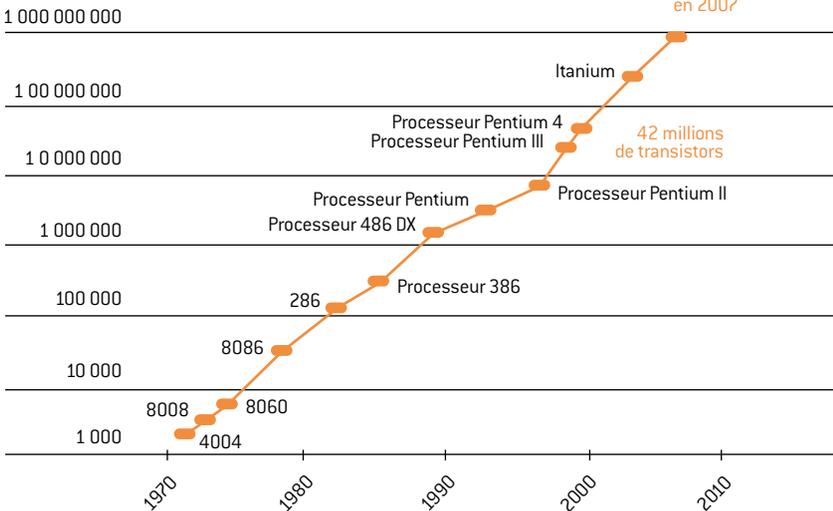
électronique a pour but de fabriquer des circuits intégrés, des semi-conducteurs, des transistors..., contenant des puces électroniques, véritables « cœur du système ». Dans les circuits intégrés, les fabricants parviennent à assembler plusieurs centaines de millions de transistors de taille inférieure 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. 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. En effet, en diminuant la taille des transistors, éléments de base des circuits, on peut en mettre d'avantage dans une puce et gagner ainsi en puissance de calcul.

Figure 6 : le principe de la loi de Moore

#### Loi de Moore

Nombre de transistors par processeur



Source : « Dossier de présentation 2009 du débat public ».

Les applications actuelles des nanotechnologies sont :

- les puces électroniques avec un souci de miniaturisation toujours plus poussée ;
- le stockage de l'information (soit sur des mémoires à état solide soit sur des disques durs magnétiques dont la taille a décliné aussi vite que la capacité de stockage a augmenté) ;
- l'optoélectronique qui tend également à la miniaturisation avec l'utilisation de composants comme les puits quantiques ou les afficheurs à cristaux liquides. La photonique utilise les photons de la lumière pour coder l'information au lieu des électrons des systèmes traditionnels. Le domaine de la nano-photonique permet de concevoir

et de réaliser de nouveaux composants optiques ou optoélectroniques.

#### Les activités industrielles franciliennes : fabrication d'équipements de production innovants permettant de réaliser des composants électroniques d'échelle nanométrique

Afin de pouvoir fabriquer des composants toujours plus petits, il est nécessaire de développer des équipements de production innovants capables de répondre aux problématiques causées par ces puces de nouvelles générations.

Ces équipements sont vendus aux producteurs de semi-conducteurs. Des équipements basés sur l'épitaixie par jets moléculaires permettent un dépôt de couches très fines, c'est-à-dire composées de seulement quelques plans d'atomes, sous un vide très poussé. De nouveaux lasers émettant dans l'ultra-violet permettent de traiter thermiquement des couches de transistors de quelques dizaines de nanomètres d'épaisseur. Des nouveaux outils de lithographie qui utilisent des sources de rayonnement ultraviolet extrême EUV, beaucoup plus puissantes pour imprimer les substrats, sont en cours de développement.

Dans le domaine de l'opto-électronique, des composants actifs sont produits par croissance de couches atomiques, à l'échelle nanométrique. Les principales retombées attendues concernent les télécommunications optiques, les systèmes de visualisation, l'imagerie biomédicale ainsi que les interconnexions optiques à la frontière entre les circuits électroniques et l'optique.

Les nanotechnologies obligent les entreprises de l'instrumentation, les entreprises qui réalisent les tests sur les produits ainsi que les intégrateurs à faire évoluer leurs procédés et leurs modes opératoires afin de répondre aux défis de l'échelle nanométrique.

### La situation actuelle des PME franciliennes

Dans ce domaine, certaines entreprises sont en phase de production alors que d'autres se consacrent à la R&D. Les équipements peuvent être vendus à la recherche académique ou privée, mais aussi à l'industrie, notamment aux fabricants de semi-conducteurs. Ceux-ci sont situés très majoritairement en Asie et aux États-Unis, les entreprises sont donc très fortement exportatrices. Par ailleurs, le service associé à la vente de l'équipement, notamment la maintenance, constitue une forte valeur ajoutée car

leurs clients n'ont plus les compétences en interne. Les phases de test de l'équipement chez le client peuvent durer jusqu'à 3 ans, ce qui retarde d'autant la vente de plusieurs équipements pour la phase de production à grande échelle des nouveaux composants. La qualité et la capacité à répondre aux nouvelles problématiques de leurs clients sont les atouts de leur réussite. Côté production, la fabrication de chaque machine peut prendre plusieurs mois, d'où un besoin en fonds de roulement très important pour ce type d'entreprise. La concurrence internationale est très importante, surtout de la part d'entreprises disposant de moyens humains et financiers plus importants, ce qui peut remettre en cause à tout moment les avancées technologiques acquises.

Les techniques utilisées et les produits réalisés peuvent, grâce aux propriétés des nanotechnologies, s'appliquer à de nouveaux secteurs d'activités comme le médical (nouvelle biocompatibilité). Dans ce cas certaines PME rebâtissent de nouvelles stratégies grâce aux nanotechnologies.

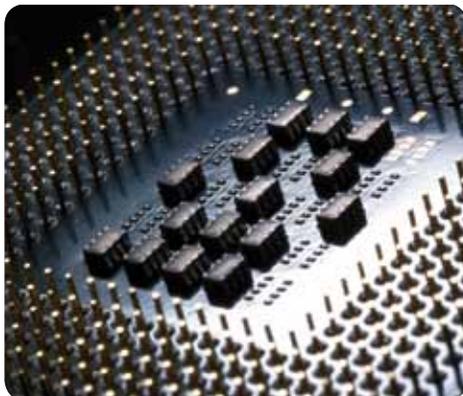
#### Quelques PME franciliennes présentes sur ce secteur :

*3S Photonics, Adveatec, Alchimer, EPPRA, Excico, Nano-UV, Ribier, Systrel, UMS*

## 2. LES NANOMATÉRIAUX ET NANO-OBJETS SUR LE POINT D'ÊTRE INTÉGRÉS DANS DE MULTIPLES APPLICATIONS INDUSTRIELLES

### Quelques éléments de contexte

La structure des matériaux détermine leurs propriétés optiques, mécaniques, électriques, magnétiques, thermiques, etc. Le contrôle à l'échelle nanométrique de la taille et de la forme des grains qui constituent un matériau permet d'améliorer certaines de ses propriétés physiques, par exemple pour être plus résistants à des contraintes extrêmes, 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



### 3 LES ACTIVITÉS INDUSTRIELLES LIÉES AUX NANOTECHNOLOGIES DES PME FRANCILIENNES

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.

Plusieurs types de nanomatériaux existent :

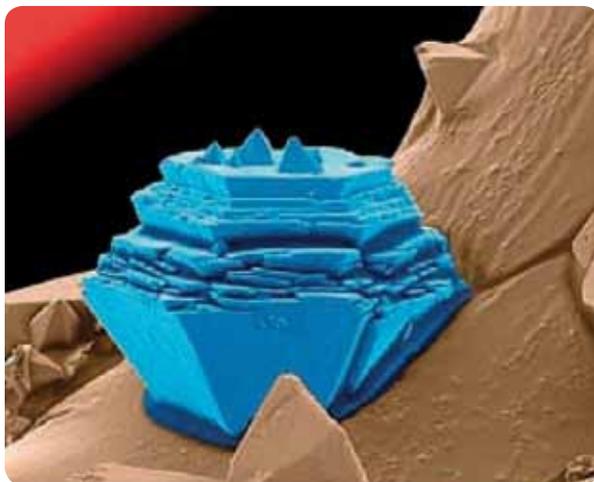
- Les matériaux nano-renforcés ou nano-chargés : les nano-objets, comme les nanotubes de carbone, sont incorporés ou produits dans une matrice pour apporter une nouvelle fonctionnalité ou en modifier les propriétés. Ces nano-objets sont déjà utilisés dans de nombreuses applications industrielles : les fumées de silice dans le béton, pour améliorer sa fluidité et ses propriétés mécaniques, l'alumine ultra fine destinée au polissage des wafers et disques durs en microélectronique, le noir de carbone utilisé dans les encres d'imprimante et les pneumatiques,

les pigments colorés organiques et minéraux pour les peintures et vernis, les nano-particules de dioxyde de titane comme protection au rayonnement ultraviolet dans les crèmes solaires, etc.

- Les matériaux nano-structurés en surface : la réalisation d'un revêtement à partir de nano-couches élémentaires ou de multi-nanocouches permet de doter la surface de propriétés préalablement déterminées (résistance à l'érosion, résistance à l'oxydation, revêtements hydrophobes, résistance à l'abrasion, etc.) ou de lui conférer de nouvelles fonctionnalités. De tels revêtements existent déjà, comme par exemple pour colorer des emballages en verre, apporter une fonction autonettoyante ou encore renforcer la surface des polymères.<sup>11</sup>



*Nanopoudres et batterie lithium-ion. Les batteries lithium-ion, déjà utilisées pour les ordinateurs portables et les téléphones mobiles, et des associations de nanopoudres de lithium de fer et de phosphate permettront de réduire la taille des batteries.*



*Nanocristal d'oxyde de zinc intégré à une crème solaire. Les nanocristaux filtrent les UV et ne diffusent presque pas la lumière visible ce qui permet de produire une crème transparente et évite le blanchissement après son application.*

Source : « Dossier de présentation 2009 du débat public ».

#### Les activités industrielles franciliennes : des modèles économiques variés

La plupart des nanopoudres sont destinées à entrer dans la compositions de matériaux spécifiques. Les nanopoudres ne sont pas des matériaux fins mais plutôt les ingrédients d'un matériau plus complexe. Des particules ultra fines, de 10 à 20 nanomètres, notamment à base d'oxyde

d'aluminium ou de carbure de silicium, sont utilisées pour la réalisation de matériaux hautes performances à usage industriel : les céramiques techniques, matériaux très résistants à l'abrasion et aux hautes températures.

Les nanotechnologies permettent aussi de nouveaux types plus performants de fonctionnalisation des surfaces pour apporter à la surface d'un objet une valeur décorative, une

[11] « Etude prospective sur les nanomatériaux », Développement et Conseil pour le compte de la DIGITIP, mai 2004.

protection (anti-corrosion) ou une propriété active spécifique (métallisation, lubrification, action anti-bactérienne, etc.). On peut aussi rendre les matériaux biocompatibles. Des techniques innovantes de traitement de surface à l'échelle nanométrique permettent de greffer des molécules à la surface de matériaux. Le greffage de couches fines de polymères sur des matériaux conducteurs ou semi-conducteurs peut se faire par voie électrochimique en appliquant un potentiel électrique à la surface du matériau. D'autres techniques permettent d'accrocher chimiquement des polymères sur tout type de matériau (isolants ou conducteurs), grâce à des trempages en phase aqueuse.

Les nanomatériaux peuvent aussi être introduits dans certains dispositifs : des composants optiques utilisant des nanotubes de carbone sont en cours de développement pour des applications dans les écrans d'affichage de grand format. Des nanomatériaux peuvent aussi être utilisés pour faciliter la production des biocarburants.

### La situation actuelle des PME franciliennes

Dans ce secteur, la plupart des entreprises sont en phase de R&D ou en phase de pré-industrialisation. Les clients potentiels appartiennent à des domaines extrêmement variés : biomédical (prothèses biomédicales, stents), mécanique (outils de coupe, pièces mécaniques en céramique, pièces hautes pureté), environnement (traitement de l'eau, suppression des polluants), énergie, matériaux composites, pneumatiques, revêtement de sol, etc. Ces entreprises ont un fort potentiel d'export et la concurrence sur ces marchés est internationale. Les modèles économiques sont aussi variés : les entreprises peuvent vendre des nanoparticules comme matières premières, ou des dispositifs intégrant des nanomatériaux, certaines vendent les équipements innovants de production, d'autres sont des sociétés de R&D qui vendent leur technologie. Elles se positionnent souvent sur des marchés de niche : des produits à très forte valeur ajoutée. L'enjeu pour ces sociétés est d'arriver à faire accepter ces nouvelles technologies chez leurs clients, ce qui passe par la mise au point du prototype et des phases de tests assez longues. Elles ont aussi besoin de différents équipements d'analyse qui sont très chers à l'achat. Se pose également la question pour les fabricants de nano-particules de l'implantation géographique des locaux de production lors de la phase industrielle et de la nécessité d'un cadre juridique et normatif clair pour la fabrication et l'utilisation de ces nano-particules. Enfin, la prise en compte des risques liés à la manipulation des nanopoudres par les opérateurs est souvent une priorité

pour ces entreprises dès la conception des unités de production. La manipulation des poudres se fait généralement sans contact via des containers étanches.

#### Quelques PME franciliennes présentes sur ce secteur :

*Alchimedics, NanoE, Nanomakers, Newstep Technologies, Pegastech, Photofuel*

### Les industries utilisatrices de nanoparticules

Les industries utilisatrices de nanoparticules ne sont pas facilement identifiables, et les PME encore moins. Quelques PME utilisatrices contactées ne se sont pas senties concernées par les nanotechnologies, ni par les risques éventuels. Ce ne sont pas toujours des entreprises innovantes, elles n'ont pas nécessairement les compétences techniques pour appréhender ces thématiques. Le travail de recherche est souvent mis en œuvre, seul en ou partenariat avec le client, par le fournisseur de nanoparticules qui s'occupe de développer tous les tests pour le compte de ses clients.

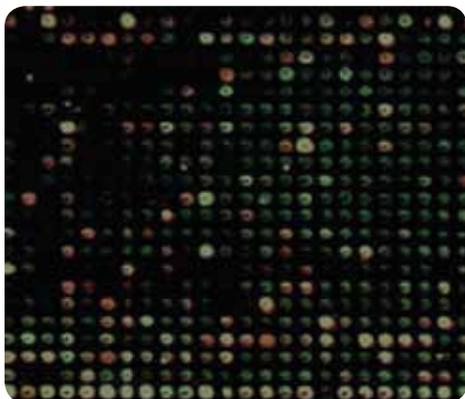
### 3. LE DOMAINE DE LA SANTÉ EST PORTEUR D'ESPOIR POUR LE DIAGNOSTIC ET LE TRAITEMENT DE MALADIES GRAVES

#### Quelques éléments de contexte

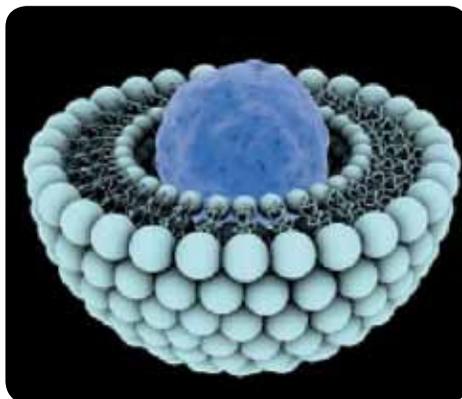
Le développement des nanotechnologies est à l'origine de plusieurs évolutions capitales dans le domaine de la santé telles que le développement dès 1990 de biopuces, microsystèmes réalisant le lien entre les nanotechnologies et le monde macroscopique. Ce sont des outils de recherche pour détecter l'expression des gènes qui sont maintenant commercialisés pour le diagnostic de maladies grâce aux biomarqueurs<sup>12</sup>. Outre les diagnostics, les biopuces servent également à la recherche pharmaceutique pour comprendre l'action des médicaments, leur efficacité ou leurs effets indésirables. Les biopuces ont l'avantage d'automatiser, de miniaturiser et de paralléliser les différentes étapes utilisées en biologie, elles permettent d'analyser simultanément plusieurs milliers de séquences d'ADN différentes.

[12] « BIOPUCES 2007 : les biopuces une technologie en mouvement », Paris Développement, septembre 2007.

### 3 LES ACTIVITÉS INDUSTRIELLES LIÉES AUX NANOTECHNOLOGIES DES PME FRANCILIENNES



Une puce à ADN.  
Source « Dossier de présentation 2009 du débat public ».



Modélisation informatique d'un liposome encapsulant un médicament.  
Source « Dossier de présentation 2009 du débat public ».

Les biopuces (ou en anglais biochip ou microarray) sont fabriquées en positionnant de façon sélective sur un support solide (verre, plastique, silicium) des fragments d'acides nucléiques (les sondes) qui vont se lier avec les ARN messagers contenus dans l'échantillon à analyser. On suit la liaison plus ou moins intense entre la sonde et les ARNm par fluorescence<sup>13</sup>. Les biopuces à protéines sont basées sur le même principe : on dépose dans le support solide de la puce des molécules qui pourront capturer de manière spécifique des protéines. Les outils de nanofluidique sont utilisables notamment dans les applications d'analyse biologique en « lab-on-a-chip » : les « laboratoires sur puces ». Il s'agit de laboratoire miniaturisé réalisant des analyses automatisées et en parallèle sur de très petites volumes permettant ainsi de réduire les coûts des réactifs, de surface et d'énergie.

Appliquées aux médicaments, les nanotechnologies permettent de transporter une molécule biologiquement active dans un nano-vecteur adapté pour se fixer spécifiquement au niveau des cellules à traiter. Ces techniques permettent à la fois d'augmenter l'efficacité du médicament et de diminuer sa toxicité, ce qui est important dans le cas de traitements contre le cancer. L'arsenal de nanovecteurs est très varié : micelle (vésicule constituée d'une monocouche amphiphile), liposome (vésicule constituée d'une double couche amphiphile comme les membranes cellulaires), nanosphères et des nanocapsules constituées de polymères biodégradables, etc.

Les nanovecteurs ont d'abord un rôle de protection du principe actif car ils protègent les fonctions sensibles de l'anticancéreux de la métabolisation et des systèmes de défense des cellules. Ils peuvent aussi contrôler la libération du médicament par réponse à un stimuli externe. Par ailleurs, grâce à leur taille spécifique, les nanovecteurs ressemblent donc aux particules naturelles et ils sont reconnus par les macrophages de l'organisme qui les amènent jusqu'au foie. Ainsi, les nanovecteurs particules de première génération permettent de traiter spécifiquement les pathologies du foie comme les cancers. On peut aussi équiper la surface des nanovecteurs d'une série de fonctionnalités : des polymères empêchant la reconnaissance du non soi et évitant le ciblage du foie (vecteurs de deuxième génération) ou des éléments de reconnaissance moléculaire de la cible comme des anticorps (vecteurs de troisième génération). Pour guider le principe actif jusqu'à la cible, on peut aussi introduire des nanoparticules magnétiques et ainsi utiliser la force magnétique comme stimulation externe en plaçant un aimant près de la tumeur.

D'autres propriétés des nanoparticules peuvent être utilisées pour la thérapie, comme le traitement des tumeurs par hyperthermie : les nanoparticules, activables par une source extérieure, détruisent par un effet thermique très localisé les cellules dans leur voisinage immédiat. Les nanovecteurs équipés de nanoparticules d'oxydes de fer de quelques nanomètres sont sensibles au champ magnétique et donne un signal en résonance magnétique IRM, ce qui rend possible d'associer simultanément le traitement et le diagnostic.

[13] « Nanosciences et progrès médical », rapport de l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, MM. Jean-Louis LORRAIN et Daniel RAOUL, sénateurs, mai 2004.

## Les activités industrielles franciliennes dans le domaine du diagnostic

Les travaux de R&D de certaines entreprises franciliennes portent sur le développement de biopuces pour diagnostiquer des maladies génétiques. D'autres travaillent sur de nouveaux marqueurs fluorescents des micropuces pour augmenter leur sensibilité ou de nouveaux modes de détection sans marqueur fluorescent. De nouveaux robots de dépôt d'échantillons permettent de produire des nanopuces en diminuant le volume des dépôts et en augmentant le nombre d'échantillons déposés. Cela permet de baisser les coûts de production des biopuces grâce à une utilisation minimale des ressources coûteuses comme les anticorps.

Des tests de diagnostic autres que les biopuces sont aussi développés : une technique innovante permet d'extraire et de travailler sur des molécules uniques d'ADN, ce qui apporte une très grande précision par rapport aux autres techniques. Des tests biologiques pour détecter la présence de certains virus ou bactéries sont basés sur des nanoparticules associées à des anticorps qui se lient spécifiquement à la cible recherchée et qui sont ensuite quantifiées via des dispositifs de détection innovants. Des polymères innovants de taille nanométrique ont été mis au point pour mieux séparer les brins d'ADN et permettre ainsi de détecter plus rapidement et pour un coût moindre les mutations sur certains gènes. Enfin, les outils de microfluidique ou

nanofluidique permettent un écoulement constant et rapide des fluides dans des microcanaux.

La plupart des PME franciliennes sont en phase de R&D. Afin de générer des revenus, certaines PME commercialisent des dispositifs ou réalisent des activités de services, des prestations « sur mesure », à destination des laboratoires académiques ou des centres de recherche privés. À l'heure actuelle, le marché des biopuces et autres tests de diagnostic concernent majoritairement le monde de la recherche, aussi bien publique que privée, mais l'objectif de la plupart des PME est d'arriver à développer des tests de diagnostic de routine pour les patients. Ces tests sont souvent constitués d'équipements auxquels sont ajoutés des kits spécifiques à chaque maladie que l'on souhaite diagnostiquer (consommables) et des logiciels de traitement des informations. La phase de développement de ces tests peut durer plusieurs mois et il faut ensuite les valider sur des cohortes de patients en lien avec les cliniciens concernés (études cliniques) ce qui allonge de plusieurs années la mise sur le marché. Etant donné la petite taille

**Quelques PME franciliennes présentes sur ce secteur :**

*Fluigent, Genomic Vision, Microbiochips*



### 3 LES ACTIVITÉS INDUSTRIELLES LIÉES AUX NANOTECHNOLOGIES DES PME FRANCILIENNES

des PME, l'accès au marché du diagnostic passera souvent par des partenariats industriels avec des grandes sociétés de diagnostic américaines et européennes, qui s'occuperont de la mise sur le marché et de la commercialisation. Les USA représentant un marché très important, étant donné la présence de la plupart des sociétés de diagnostic, et ces PME ont donc vocation à devenir fortement exportatrices, même si les premiers clients sont souvent nationaux pour des raisons de proximité.

#### Les activités industrielles franciliennes dans le domaine thérapeutique

Plusieurs médicaments utilisant les nanotechnologies sont en cours de développement. Quelques exemples peuvent être cités : un médicament (nanosphères qui encapsulent le principe actif dans un polymère spécifique) est en cours d'essais cliniques pour le traitement du cancer du foie avec des résultats très prometteurs. Une autre société a réalisé la preuve de concept en traitant des animaux avec des nanoparticules obtenues par couplage entre différents médicaments (anticancéreux, anti HIV) et un lipide spécifique. Des nanoparticules, sans principe actif, peuvent aussi traiter localement et spécifiquement des tumeurs en étant activées à distance par des rayons X.

Les PME sont en phase de R&D (développements pré-cliniques et cliniques), par conséquent aucun médicament n'a encore été mis sur le marché, même si certains ont déjà été administrés chez l'homme. Les sociétés doivent donc trouver les investisseurs leur permettant de financer les coûts de développement des médicaments. La production des médicaments à base de nanoparticules est chère car la technologie n'est pas industrialisée et les procédures d'enregistrement auprès des autorités ne sont pas adaptées à ces nouvelles technologies. Une autre voie de financement est possible grâce à des accords avec des industries pharmaceutiques pour développer ces nouvelles technologies avec leurs propres principes actifs.

#### Quelques PME franciliennes présentes sur ce secteur :

*BioAlliance Pharma, Medsqual, Nanobiotix*

#### 4. LES PARTENAIRES FRANCILIENS DES ENTREPRISES

##### Les pôles de compétitivité

###### System@tic Paris Région

System@tic est le pôle de compétitivité francilien dédié aux systèmes complexes. Le principal défi que veut relever le pôle est de développer de nouvelles approches et avancées pour concevoir les futures générations de systèmes complexes. Ce pôle participe au développement d'outils et de technologies clés dans les domaines suivants : systèmes embarqués, infrastructures distribuées, interface homme système, logiciels, électronique et optique. Ce positionnement à la croisée de marchés applicatifs et de technologies a donné lieu à une organisation du pôle en cinq groupes thématiques au sein desquels les acteurs définissent leurs visions stratégiques et élaborent des projets collaboratifs de R&D. Trois groupes thématiques concernant les marchés applicatifs « Automobile & Transports », « Télécoms », « Sécurité & Défense » et deux groupes thématiques concernant les technologies : « Outils de Conception et Développement de Systèmes », et « Logiciel Libre ».

Ainsi, aucun groupe thématique ne vise directement les nanotechnologies, par contre la nano-électronique figure comme une des neuf technologies clés visées par le pôle et qui sont transverses aux cinq groupes thématiques. Le pôle a pour objectif de structurer et d'animer les acteurs de l'écosystème propre à chaque technologie-clé (PME, grandes entreprises et laboratoires publics). Cette ambition est confirmée par le fait que le président du pôle System@tic, appartenant à la société Thalès, est fortement impliqué dans le projet Nano Innov et il fait partie de son comité de pilotage.

###### Medicen

Medicen est le pôle de compétitivité francilien dédié à la santé. Le pôle a pour ambition de donner à l'Île-de-France la place de leader européen, au plan industriel, dans les domaines du progrès diagnostique et thérapeutique ainsi que dans celui des hautes technologies pour la santé. Il a placé l'innovation thérapeutique et le malade au cœur de ses préoccupations et a souhaité se focaliser sur trois axes prioritaires : la médecine translationnelle, les outils biologiques et le bio-numérique.

Les nanotechnologies ne sont donc pas directement citées dans les axes stratégiques du pôle, mais à l'intérieur de la priorité stratégique dédiée aux outils biologiques, le pôle a pour objectif de concevoir

de nouvelles approches technologiques pour les biothérapies innovantes, dont font partie les nanotechnologies. Par ailleurs, le pôle réunit les acteurs publics et privés franciliens s'impliquant dans les nanobiotechnologies. Les projets de R&D collaborative et les projets de plateformes d'innovation s'appuyant sur les nanotechnologies ont donc vocation à être soutenus et labellisés par le pôle Medicen.

## Les associations

### Optics Valley

L'association Opticsvalley a pour objet de fédérer, d'animer et de soutenir les trois filières que sont l'optique, l'électronique et l'ingénierie logicielle en Île-de-France. L'association agit pour accompagner les acteurs de l'innovation de ces filières dans leur développement et d'accroître la visibilité de marchés en expansion et de leurs acteurs.

Les axes d'actions de l'association sont :

- le développement des PME de son réseau ;
- l'animation du réseau OEL (Optique, Electronique et Logiciel) par l'incitation à la valorisation de la recherche, au développement à l'international, à la communication et à la veille et à la diffusion d'informations technologiques et industrielles ;

- l'animation et la fédération des thématiques sur les segments applicatifs télécoms, éco-activités, instrumentation et biomédical.

Les nanotechnologies ne sont pas affichées comme un axe d'action de l'association. Cependant les nanotechnologies connaissent un fort développement dans les secteurs cibles de l'association que sont l'optique et l'électronique. Ainsi plusieurs adhérents de l'association se trouvent être des acteurs des nanotechnologies.

### La Plate-forme Technologique Française de Nanomédecine (FTP)

Elle a été créée pour répondre aux besoins de coordination, de fédération et de communication au sein de la communauté française en nanomédecine : industriels, organismes de recherche, universités, écoles, hôpitaux, associations de patients... La plate-forme est hébergée par l'association Adebiotech sous la forme d'une « Groupe Thematique Adebiotech » c'est-à-dire une entité composée d'un bureau et dotée d'un financement propre. La FTP se positionne comme l'interlocuteur privilégié de la plate-forme technologique européenne en nanomédecine (ETP Nanomedicine) et transmet la position française au niveau européen.

## 4

## CONTEXTE ET ENJEUX DES PME FRANCILIENNES UTILISANT LES NANOTECHNOLOGIES

**1. L'ÎLE-DE-FRANCE EST UNE RÉGION ATTRACTIVE MALGRÉ UN MANQUE DE STRUCTURATION DES ACTIVITÉS INDUSTRIELLES LIÉES AUX NANOTECHNOLOGIES**

### L'Île-de-France, une région attractive pour les entreprises en création

Beaucoup d'entreprises en création dans les domaines des nanotechnologie choisissent de s'implanter en Île-de-France, qui est pour elles une région très attractive. Souvent la technologie provient de laboratoires académiques franciliens, et il est donc plus facile de rester à proximité. La visibilité internationale de Paris et les accès aux aéroports internationaux sont des raisons supplémentaires de s'y installer. En matière de ressources humaines, il est aussi plus facile de trouver les compétences scientifiques très pointues qu'exigent ces nouvelles technologies. Pour toutes ces raisons, les entreprises rencontrées ont exprimé leur intention de rester en Île-de-France.

### Peu de locaux industriels sont disponibles pour les entreprises au développement plus avancé

Par contre, tous les acteurs soulignent la difficulté pour trouver des locaux adaptés en région parisienne. Ces problèmes seront encore plus importants quand les entreprises auront atteint le stade de maturité et auront besoin de véritables locaux industriels. Il n'y a pas, par exemple, d'offre de locaux adaptée à l'industrie chimique pour les fabricants de nanomatériaux. Les zones de grande couronne comme le plateau de Saclay sont peu attractives car mal desservies au niveau des transports et des infrastructures. Les sociétés de biotechnologies implantées à Paris intra muros ont peu de solutions immobilières proches de la capitale à la sortie des pépinières. Certaines de ces sociétés bénéficient d'offres très intéressantes de la part d'autres régions françaises pour venir s'y implanter. Le potentiel d'innovation étant en comparaison moins dense dans les autres régions françaises, les nouvelles filières et les besoins des jeunes entreprises innovantes paraissent à priori mieux pris en compte dans celles-ci.

### La valorisation de la recherche : un problème français et francilien

La très grande richesse de la recherche publique académique francilienne dans les domaines des nanotechnologies profite peu aux PME. La valorisation des résultats de la recherche académique francilienne est difficile, que ce soit au niveau du dépôts de brevets académiques, de la vente de licences à l'industrie ou de la création de start-up.

Un premier constat concerne le faible nombre de brevets déposés dans cette thématique par la recherche française en général et francilienne en particulier. Diverses causes peuvent expliquer ce constat, parmi lesquelles les lourdeurs administratives incompatibles avec la rapidité avec laquelle les brevets doivent être déposés afin de ne pas perdre l'antériorité. Par ailleurs, le dépôt de brevets ne fait pas partie des indicateurs d'évaluation de la recherche publique, contrairement au nombre de publications. Ce faible taux de dépôt de brevets est un point essentiel pour comprendre les difficultés qui entourent la valorisation de la recherche académique car le brevet est l'outil qui permet, via la vente de licences, aux sociétés privées d'utiliser les résultats des recherches académiques et aux laboratoires académiques de recevoir des revenus pour continuer leur recherche.

De plus, même quand les brevets existent, très peu sont valorisés et défendus en cas de plagiat. La négociation des licences entre les PME et le monde académique est complexe et la démarche non adaptée aux PME. Le coût des licences est souvent bien trop élevé pour des entreprises de petite taille. Par ailleurs, dans le domaine des nanotechnologies, un brevet n'est pas forcément égal à un produit mis sur le marché, ce qui rend difficile le calcul des royalties. En plus des conditions de rétribution des licences, la détention partagée des brevets entre différents partenaires académiques pose aussi problème.

Un autre outil de valorisation de la recherche est la création de start-up. Cet outil est adapté au domaine extrêmement concurrentiel des nanotechnologies car il favorise des développements rapides de la recherche fondamentale. Dans ce domaine également, la recherche académique française et francilienne n'est pas bien classée car, pour

un même nombre de brevets, elle crée beaucoup moins de start-up que d'autres organismes de recherche étrangers. Des raisons culturelles sont surtout avancées pour expliquer ces différences : les chercheurs académiques créent très peu de société car le système ne valorise pas ce type d'évolution. Il y a très peu d'exemples de réussites de chercheurs ayant choisi cette voie. Un modèle comme celui de certaines écoles d'ingénieurs qui favorise la mise en relation entre les chercheurs et les jeunes ingénieurs pour la création d'entreprises innovantes paraît être une solution intéressante.

D'une manière générale, on ne peut que constater une méconnaissance réciproque entre les PME et les laboratoires académiques. Les PME connaissent mal le fonctionnement des laboratoires, et par conséquent ne savent pas trouver les bons interlocuteurs ni formuler des demandes adaptées. Même pour accéder aux équipements des plates-formes académiques, les PME, qui n'ont pas souvent le personnel formé, sont donc obligées de faire appel à l'université via des contrats sous des conditions non adaptées au monde industriel.

### **Des liens PME – grands comptes français à renforcer**

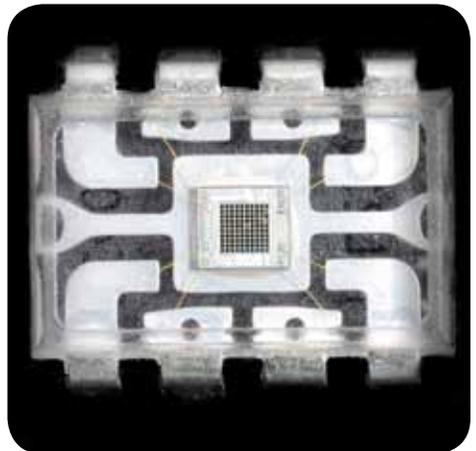
Les partenariats entre les PME franciliennes et des grands groupes français ont aussi du mal à se mettre en place sur les thématiques des nanotechnologies. Les PME rencontrées lors de cette étude ne travaillent généralement pas avec les grands groupes français. Ceux-ci sont le plus souvent dans une position de veille plutôt que d'exploitation des nanotechnologies. En effet, celles-ci ne sont pas encore considérées comme assez sûres au point de vue de l'exploitation. Par contre les grands groupes travaillent en collaboration avec les universités et les laboratoires de recherche sur la recherche amont. Par ailleurs, certains grands groupes refusent de travailler sur ces thématiques car l'image des nanotechnologies auprès du grand public n'est pas bonne. Le lien avec des entreprises étrangères semble parfois plus facile à mettre en place pour les PME franciliennes.

### **Un manque de structuration du monde industriel**

Si la structuration de la recherche publique francilienne dans les domaines des nanotechnologies a bien lieu autour du centre de compétences Cnano, il n'existe aucun organisme structurant le monde industriel et facilitant les relations entre le monde académique et le monde industriel. Les PME sont donc isolées sur cette thématique et les contacts avec les autres PME, les grands groupes et les laboratoires

académiques ne sont pas favorisés. Les pôles de compétitivité franciliens ne se positionnent pas principalement sur cette thématique et les nanotechnologies représentent un sujet périphérique. Il n'y a pas de logique, comme pour la région de Grenoble, avec la création d'un pôle d'excellence autour d'un grand laboratoire académique en partenariat avec un grand donneur d'ordres industriel qui structure un réseau de PME.

La recherche publique francilienne, mieux organisée que le monde industriel, bénéficie de la très grande majorité des subventions dédiées aux nanotechnologies. Ainsi, sur le programme Pnano 2005-2008, parmi les partenaires franciliens financés, 15 % sont des industriels et 75 % sont des académiques. Le centre d'intégration de Saclay, prévu par le plan Nano Innov, a pour objectif principal de coupler le très fort potentiel de recherche fondamentale dans les nanotechnologies avec le tissu industriel francilien. Cependant, tout reste encore à faire, car les PME rencontrées dans cette étude, qui sont celles qui s'investissent déjà dans les nanotechnologies, méconnaissent le plan NanoInnov et ne sont pas associées à sa mise en œuvre. Le plan est piloté par une majorité de chercheurs académiques et le collégé industriels est représenté par des grands groupes.



## **2. LES NANOTECHNOLOGIES SONT TROP TRANSVERSALES POUR CONSTITUER RÉELLEMENT UNE FILIÈRE INDUSTRIELLE**

Comme on l'a vu précédemment, les domaines d'applications des nanotechnologies sont extrêmement variés et par conséquent les PME rencontrées lors de cette étude appartiennent à différents secteurs d'activités. Le position-

## 4 CONTEXTE ET ENJEUX DES PME FRANCILIENNES UTILISANT LES NANOTECHNOLOGIES

nement par rapport à la thématique des nanotechnologies dépend fortement du domaine d'activité auxquelles elles appartiennent.

L'**électronique** a été la pionnière dans le domaine des nanotechnologies. Depuis 40 ans, l'amélioration des procédés de gravure de la microélectronique a permis de miniaturiser des composants électroniques de base de taille macrométrique à une dimension micrométrique et maintenant nanométrique via la voie descendante top-down. Les PME qui fabriquent des nouveaux composants actifs ou des équipements qui permettent de les produire sont donc amenées progressivement à travailler à l'échelle nanométrique. Les nanotechnologies sont donc déjà une réalité pour ces PME, mais elles ne constituent pas une fin en soi.

Le secteur de la **santé** est assez hétérogène vis-à-vis des nanotechnologies. Le développement des biopuces, tests de diagnostic et autres dispositifs médicaux relève de la même approche descendante que pour l'électronique. Les techniques de fabrication des biopuces sont maintenant proches de celles utilisées pour les puces électroniques. Elles permettent de travailler beaucoup plus rapidement en réalisant de nombreuses opérations simultanées avec des échantillons biologiques de plus en plus petits avec le même objectif de réduction des coûts. Les nanotechnologies permettent aussi d'utiliser de nouvelles techniques de détection plus puissantes ou de travailler la matière à un niveau de précision extrême. Mais il faut noter que la majorité des entreprises appartenant à ces domaines d'activité ne se sentent pas réellement concernées par les nanotechnologies. Elles leur permettent simplement de développer des produits avec des caractéristiques qui répondent aux besoins de leurs clients. Leurs problématiques de développement, qui sont typiques de la filière des biotechnologies, ne sont pas directement liées aux nanotechnologies.

Toujours dans le domaine de la santé, le développement des nanovecteurs bouleverse la façon de transporter et d'administrer les principes actifs aux cellules cibles. Par ailleurs, des nanoparticules peuvent avoir elles-mêmes des activités thérapeutiques. Il s'agit donc de techniques très innovantes qui représentent une vraie rupture avec les méthodes thérapeutiques classiques. Les nanotechnologies sont donc plus facilement mises en avant par ces entreprises. Par contre, elles refusent d'être assimilées aux industries qui fabriquent les nanomatériaux. Selon elles, le terme « nano » est source de confusion pour le grand public qui n'est pas suffisamment informé des applications actuelles de la nanomédecine et qui les confond avec les utilisations des nanomatériaux dans les biens de consommation.

Les fabricants de **nanoparticules** ou de **nano-objets** revendiquent plus facilement leur utilisation des nanotechnologies. En effet, les nanotechnologies apportent aux matériaux concernés de nouvelles propriétés qui sont mises en avant pour mieux répondre aux besoins de leurs clients. Ces entreprises sont en amont de la chaîne de valeurs. Par contre, leurs clients qui peuvent appartenir à d'innombrables secteurs d'activité ne se sentent généralement pas concernés par les nanotechnologies. Cela pose clairement la question de la traçabilité des produits incorporant des nanoparticules, surtout quand ils sont à destination du grand public.

On voit donc que sous le terme nanotechnologies se trouvent des industries diverses qui n'appartiennent pas aux mêmes secteurs d'activités et qui n'ont pas de relations commerciales entre elles. Elles ne constituent donc pas une filière au sens propre du terme. Les entreprises rencontrées se situent en général en amont des chaînes de valeurs et proposent des produits innovants qui répondent aux besoins de leurs clients industriels, qui eux, même ne se sentent pas concernés par les nanotechnologies.

### 3. CES ENTREPRISES SONT FORTEMENT INNOVANTES ET TOURNÉES VERS L'INTERNATIONAL

#### Le financement de la R&D : une vraie problématique pour les PME

Toutes les entreprises rencontrées s'appuient sur des technologies fortement innovantes pour développer leurs produits qui visent des marchés internationaux.

La plupart des entreprises rencontrées sont des entreprises créées récemment (moins de 10 ans) afin de valoriser industriellement une technologie innovante. Elles sont très majoritairement encore en phase de R&D, leur chiffre d'affaires encore faible ne leur permet pas de financer leur R&D, et elles doivent donc trouver d'autres sources de financement : fonds d'investissements, partenariats commerciaux, financements publics de la R&D, etc. Elles ont plus ou moins de difficultés pour trouver des investisseurs privés, mais lorsque les investissements demandés sont conséquents, elles soulignent un manque d'implication des capitaux-risqueurs français. Elles sont alors contraintes de s'adresser à des fonds d'investissements étrangers.

Les problématiques d'investissements sont particulièrement importantes pour les sociétés de biotechnologie qui développent des médicaments car elles doivent trouver

des financements pendant les nombreuses années de recherche et d'études pré-cliniques et cliniques avant la mise sur le marché du médicament. Le secteur de l'électronique présente aussi une problématique spécifique de financement car la forte concurrence internationale impose des investissements très importants pendant les fenêtres d'opportunité du marché qui sont des laps de temps très courts. En effet, les coûts de développement et de production sont très élevés (achat d'équipements, salles blanches, personnel hautement qualifié) d'où un besoin important en fonds propres ou en fonds de roulement lors de la phase de production.

Les modèles économiques choisis par les entreprises sont divers : dans certains cas, elles assurent la fabrication de matières premières qui seront incorporées dans les produits de leurs clients. D'autres sociétés commercialisent des équipements ou des dispositifs qui sont souvent associés à des consommables ou à des services de haute valeur ajoutée. Des sociétés de R&D valorisent leurs développements de solutions technologiques à travers des spin-offs ou des cessions de licences à de grands groupes.

### **L'international : un impératif**

Ces entreprises ont toutes une forte dimension internationale. Elles nouent des partenariats scientifiques avec des entreprises et des laboratoires du monde entier, et les marchés ciblés sont à l'échelle internationale.

*L'Europe est mentionnée pour sa proximité et sa relative facilité d'accès, les USA sont la cible privilégiée des entreprises dans le secteur de la santé et l'Asie dans le secteur de l'électronique.*

La concurrence, elle aussi, est internationale, et les sociétés sont conscientes que toute avance technologique peut facilement être dépassée par des sociétés étrangères de plus grande taille et ayant plus de moyens financiers.

### **Une relation indispensable entre les laboratoires académiques et les PME**

La relation avec le monde académique est souvent très forte, surtout lorsqu'un laboratoire académique est propriétaire de la technologie initiale. Le transfert de technologie s'inscrit dans la durée pour que la start-up puisse continuer à bénéficier des avancées scientifiques et s'adapter aux

évolutions technologiques qui se produisent lors de la longue phase d'incubation. Même lorsque la technologie à l'origine de l'innovation est privée, les entreprises nouent de fortes relations avec un ou plusieurs laboratoires académiques et participent souvent à des projets collaboratifs financés par l'ANR, le Fonds Unique Interministériel FUI (labellisés par des pôles de compétitivité situés dans d'autres régions en France), Oseo ou des programmes européens. On peut souligner la présence de partenaires industriels dans des projets de recherche fondamentale financés par l'ANR. Plusieurs PME s'associent souvent pour développer des briques technologiques complémentaires.

### **Une bonne connaissance des aides à l'innovation**

Les entreprises sont bien informées des différents systèmes d'aides publiques à l'innovation et y font souvent appel. Elles sont toutes très satisfaites du Crédit Impôt Recherche et du statut Jeune Entreprise Innovante, même si certaines souhaiteraient que la durée du dispositif soit allongée pour ces secteurs où les durées d'incubation des projets sont particulièrement longues. En raison de leur petite taille, les entreprises ont des difficultés pour s'impliquer dans les projets de R&D collaboratifs car elles n'ont le temps de se consacrer au montage et au suivi de ces projets tout en assurant le développement de la société. Par ailleurs, l'appel à projets de l'ANR PNano spécifique aux nanotechnologies n'est pas adapté aux PME, ce qui explique notamment leur faible participation à des projets financés. Les critères d'évaluation de ces projets privilégient plus les projets académiques ou portés par les grands groupes que les projets portés par des PME de petite taille et peu solides financièrement.

### **L'enjeu de la propriété intellectuelle**

La propriété intellectuelle est un enjeu majeur pour ces entreprises fortement innovantes. Elles y consacrent un budget très important, que ce soit pour acquérir les licences des brevets qu'elles utilisent, pour se faire aider par des cabinets de conseil, ou pour payer les extensions de brevets à l'international. Mais elles n'ont pas les capacités financières pour défendre leur propriété intellectuelle face à des grands groupes internationaux. Par ailleurs, établir une bonne stratégie au moment du dépôt de brevet est essentiel, car la brevetabilité des nanotechnologies n'est pas simple. L'approche top-down pose problème car la miniaturisation n'est pas considérée en soi comme une activité inventive. L'approche bottom-up qui met en avant des propriétés inattendues de la matière est considérée plus facilement comme inventive mais peut poser des problèmes en cas d'insuffisance de la description, et au

## 4 CONTEXTE ET ENJEUX DES PME FRANCILIENNES UTILISANT LES NANOTECHNOLOGIES

niveau de l'industrialisation. Ainsi, si la structure macrométrique est déjà protégée, la structure nanométrique ne sera pas facilement brevetable en tant que telle. Par ailleurs, des brevets très larges relatifs à une nanostructure de base verrouillent complètement l'utilisation cette nanostructure. La connaissance de la propriété intellectuelle autour des nanotechnologies est donc un enjeu important pour celui qui souhaite lancer une application industrielle dans le domaine des nanotechnologies.

### 4. LA SÉCURITÉ RELATIVE À LA PRODUCTION ET À L'UTILISATION DES NANOTECHNOLOGIES EST UN ENJEU MAJEUR POUR LES ENTREPRISES

Comme on l'a vu précédemment, les entreprises mettant en œuvre des nanotechnologies, même si elles appartiennent à des secteurs d'activité différents ont beaucoup de caractéristiques communes liées à l'innovation et à l'international. Ces caractéristiques ne sont pas spécifiques aux nanotechnologies. Cependant, les enjeux relatifs à la sécurité de l'utilisation des nanotechnologies eux sont plus spécifiques de ces nouvelles technologies.

La problématique de la sécurité lors de l'utilisation des nanotechnologies est un sujet majeur mais elle ne concerne pas de la même manière les différents domaines d'applications et il convient de bien faire la distinction afin de pas provoquer des amalgames préjudiciables.

Il convient premièrement de considérer à part le domaine de l'électronique : ce secteur n'est pas concerné par les problématiques d'effets sur la santé des nanoparticules. En effet, il faut dissocier nanoparticules et nanotechnologies. Les nanoparticules sont des particules qui peuvent être disséminées dans l'atmosphère. Par contre, on ne peut pas respirer de nanoparticules en prenant son téléphone portable dont la fabrication est pourtant basée sur les nanotechnologies. Le fait de travailler avec des composants électroniques à l'échelle nanométrique n'apporte pas de risques particuliers pour les utilisateurs de ces technologies.

Par contre, des problématiques liées à la sécurité de la production et de l'utilisation des nanomatériaux apparaissent très nettement. En effet, on ne connaît pas la toxicité des nanoparticules et des nanomatériaux sur la santé et l'environnement, ce qui provoque un vide juridique et normatif concernant leur production et leur mise en œuvre. 3 % des budgets publics de recherche sur les nanotechnologies sont aujourd'hui consacrés aux

**3%** *des budgets publics de recherche sur les nanotechnologies sont aujourd'hui consacrés aux études sur les risques.*

études sur les risques. Il s'agit d'un des principaux enjeux mis en avant par les sociétés productrices de nanoparticules. Toute une série de réglementations existantes (européennes et françaises) relatives à la sécurité leur est applicable, mais aucune ne les vise explicitement. Il manque notamment une réglementation précise fixant des taux d'exposition maximales ainsi que des méthodes fiables pour caractériser, identifier et quantifier spécifiquement les diverses formes de nanomatériaux dans les différents milieux. Les entreprises prennent des dispositions pour limiter au maximum les risques (utilisation de containers étanches réutilisables dans des process sans contact homme-nanopoudre). Mais même si les entreprises mettent en œuvre des mesures de protection de leurs salariés très strictes, l'absence de règles de sécurité précises les place dans une situation très incertaine en terme de responsabilité vis-à-vis de leurs salariés.

En ce qui concerne la réglementation de mise sur le marché des produits chimiques, le règlement européen Reach n'est pas adapté à ces nouveaux produits. Il n'y a pas d'enregistrement spécifique pour les matériaux à l'échelle nanométrique : seule la formule chimique du produit importe. Par ailleurs, ce règlement ne concerne que les substances mises sur le marché à plus d'une tonne par an et par producteur. Les entreprises n'ont pas de visibilité sur l'évolution de ce règlement dans le futur pour prendre en compte l'échelle nanométrique et pourtant cette évolution pourrait avoir des conséquences très importantes sur le développement des petites entreprises qui produisent des matériaux très spécifiques. En effet, les coûts d'enregistrement, qui se répartissent entre les différents producteurs européens, pourraient être très élevés pour une petite structure qui est la seule à produire ce matériau en Europe.

La responsabilité de ces entreprises est aussi grande vis-à-vis de leurs clients. Elles ont un important rôle de conseil en ce qui concerne l'utilisation de leurs produits chez leurs clients (règles de manipulation, gestion des déchets,...). Ce conseil est d'autant plus important que les nanomatériaux ne présentent pas tous les mêmes risques lors de leur intégration : tout dépend de la manière avec laquelle les nanoparticules ou les revêtements nanométriques sont liés au produit final. Certaines nanoparticules sont dangereuses à l'état de poudres, mais ne posent plus de problèmes lorsqu'elles ont intégrées dans des matériaux très solides, certaines couches nanométriques sont liées

de manière très forte au matériau, les nanomatériaux peuvent être intégrés dans des capsules qui empêchent tout contact direct. Au contraire, la présence de nanoparticules qui peuvent être libérées dans des biens de grande consommation peut être très problématique : textiles, peintures, cosmétiques, alimentation, etc.

Ce sujet a été mis en avant lors du débat public sur le développement et la régulation des nanotechnologies qui s'est déroulé entre octobre 2009 et février 2010 à la demande des pouvoirs publics. Ce débat national sur les risques ne s'est pas déroulé dans de bonnes conditions notamment en raison de l'opposition très importante d'un certain nombre d'acteurs. Le débat a souligné le manque d'information du grand public sur ces sujets très vastes et hautement scientifiques ainsi que l'importance à la traçabilité des produits incorporant des nanomatériaux. Par ailleurs, le débat national sur les risques a pu paraître un peu prématuré pour certains, étant donné toutes les incertitudes et les manques de connaissances sur les effets sanitaires. Pour d'autres, le débat est arrivé trop tard car les décisions publiques de développement des nanotechnologies ont déjà été prises, et il y a déjà plus de mille produits sur le marché. Cependant, il existe un consensus sur le fait que les efforts de recherche publique consacrés à la toxicologie et à l'écotoxicologie sont très insuffisants. La sécurité des nanomatériaux est donc une problématique majeure car leur développement peut être complètement bloqué si les risques sont avérés.

La problématique de la sécurité est particulière pour les producteurs de nanomédicaments. Il convient de bien faire la distinction entre la nanomédecine et les applications des nanomatériaux pour la vie courante. Le cadre réglementaire qui s'applique aux produits de santé permet de qualifier le rapport bénéfices/risques ainsi que les aspects de qualité et de fabrication, ce qui n'est pas le cas des autres nanoproduits de consommation courante. L'administration à l'homme de produits issus des nanotechnologies est ainsi soumise à la contraignante réglementation de la mise sur le marché des médicaments et des dispositifs médicaux impliquant des essais expérimentaux (dont des études de toxicité) et cliniques approfondis. Il faut compter environ une dizaine d'années de recherche puis d'essais pré-cliniques et cliniques avant d'envisager l'autorisation pour commercialisation d'un nouveau médicament. À ce titre, les nanomédicaments présents aujourd'hui sur le marché ont tous été approuvés spécifiquement par les autorités de santé. De plus, ces médicaments sont notamment utilisés pour améliorer l'efficacité des chimiothérapies contre les cancers résistants. Les sociétés qui développent ces médicaments sont des pionnières et doivent donc faire des efforts encore plus importants pour réussir à passer toutes les étapes réglementaires auprès des autorités qui sont très vigilantes vis-à-vis de ces nouvelles technologies. Le comportement des nanoparticules dans l'organisme étant encore peu connu, les sociétés ont besoin de faire appel à des compétences plus transversales et pluridisciplinaires.

## 5

## PROPOSITIONS D' ACTIONS DE LA DRIRE ÎLE-DE-FRANCE

La DRIRE souhaite soutenir des actions sur les problématiques et enjeux identifiés précédemment en partenariat avec les structures ayant un lien avec les nanotechnologies. Ces actions ont pour objectif de soutenir l'émergence et le développement de nouvelles entreprises utilisant ces technologies fortement innovantes.

### Favoriser la structuration et l'organisation des entreprises utilisant les nanotechnologies

#### → Constat :

La recherche publique francilienne dédiée aux nanosciences et nanotechnologies s'est organisée sous la forme d'un réseau animé par un centre de compétences. Les entreprises, et en particulier les PME, ne bénéficient pas de la même organisation et sont isolées sur cette thématique.

#### → Proposition :

Favoriser l'émergence d'une ou plusieurs structures ayant pour objectif de rassembler et représenter les PME utilisant ces technologies. Ces structures, qui pourront s'appuyer sur des structures déjà existantes sur certains secteurs d'activité, faciliteront la mise en relation des entreprises entre elles. Elles permettront aussi de défendre les intérêts des PME lors de la mise en œuvre des plans favorisant l'émergence des nanotechnologies : plan Nano-Innov, mise en place du centre d'intégration de Saclay, appels à projets spécifiques, mise en œuvre du grand emprunt, etc. Elles informeront aussi les entreprises sur les réglementations existantes et à venir sur la sécurité des nanotechnologies et les aideront à les appliquer.

### Valoriser la recherche fondamentale francilienne et favoriser les échanges entre le monde académique et privé

#### → Constat :

La recherche académique francilienne est très importante en nombre de laboratoires et de chercheurs impliqués. Cependant, la valorisation de cette recherche est trop faible, notamment car la recherche française ne dépose pas assez de brevets, et les brevets ne sont pas suffisamment valorisés grâce à des accords de licences aux entreprises. Par ailleurs, il n'y a pas assez d'échanges entre le monde académique et le monde privé. Les PME

n'ont pas toujours une vision claire de ce que peuvent leur apporter les laboratoires.

#### → Proposition :

- Soutenir les structures de valorisation de la recherche académique francilienne afin de favoriser le dépôt de brevets et la vente de licences aux industries dans des conditions adaptées à la situation des PME.
- Accompagner toutes les initiatives visant à rapprocher le monde académique et le monde privé, que ce soit au niveau de l'accès aux plates-formes et équipements académiques, de l'adaptation des offres de formations universitaires transversales et adaptées aux besoins des entreprises, de la mise en œuvre de partenariats scientifiques transdisciplinaires, etc.

### Soutenir la création et le développement des entreprises mettant en œuvre les nanotechnologies

#### → Constat :

Les PME franciliennes mettant en œuvre les nanotechnologies sont des entreprises innovantes, jeunes et de petite taille.

#### → Proposition :

- Soutenir toutes les initiatives, spécifiques ou non aux nanotechnologies, permettant à ces entreprises fortement innovantes de se développer plus rapidement :
- Offre de locaux adaptés à des activités technologiques et de production ;
  - Mise en relation avec les investisseurs et les grandes entreprises ;
  - Accompagnement à l'élaboration de la stratégie en matière de propriété intellectuelle ;
  - Aide au montage et suivi de dossier de R&D collaborative, aide à l'ingénierie de projets ;
  - Accompagnement à des salons sur les nanotechnologies à l'étranger.

## ANNEXES

### ANNEXE 1 : BIBLIOGRAPHIE

« Etude prospective sur les nanomatériaux », Développement et Conseil pour le compte de la DIGITIP, mai 2004.

« Nanosciences et progrès médical », rapport de l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, MM. Jean-Louis LORRAIN et Daniel RAOUL, sénateurs, mai 2004.

« Nanosciences et nanotechnologies, une réflexion prospective », Mission scientifique technique et pédagogique, mai 2005.

« Les technologies clés 2010 », Direction Générale des Entreprises, Les Éditions de l'Industrie, 2006.

« Micro, nano- et nanobiotechnologies : des marchés de niche en développement en Île-de-France », CCIP – ARIST Paris, avril 2007.

« Nanomatériaux : Positionnement des compétences françaises », Développement et Conseil pour le compte de la Direction Générale des Entreprises, novembre 2007.

« BIOPUCES 2007 : les biopuces une technologie en mouvement », Paris Développement, septembre 2007.

« Les nanotechnologies », Conseil Economique et Social, avis présenté par Alain Obadia, 2008.

« Le Nanomonde », Commissariat à l'énergie atomique, 2008.

« Applications des nanotechnologies à la médecine », Bionest pour le compte du LEEM, mars 2009.

« Synthèse documentaire les Nanotechnologies », Cedef, Centre de documentation Économie-Finances, mai 2009.

« Fascinantes nanotechnologies, au delà des grandes peurs, des grands doutes et des grands espoirs », Julie Dubois et François Rousseau, Ecole des Mines de Paris, août 2009.

« Les promesses tenues des nanos », Le journal du CNRS, octobre 2009.

« Dossier de présentation 2009 du débat public », Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, Ministère de l'économie, de l'industrie et de l'emploi, Ministère du travail, des relations sociales, de la famille, de la solidarité et de la ville, Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, Ministère de la défense, Ministère de la santé et des sports, Ministère de l'alimentation, de l'agriculture et de la pêche.

« Les nanotechnologies en France », Invest in France Agency.

ANNEXES

ANNEXE 2 : SITES INTERNET

[cordis.europa.eu/nanotechnology/](http://cordis.europa.eu/nanotechnology/)

[www.agence-nationale-recherche.fr](http://www.agence-nationale-recherche.fr)

[www.cea.fr/technologies/nanotechnologies\\_et\\_nanosciences](http://www.cea.fr/technologies/nanotechnologies_et_nanosciences)

[www.cnanoidf.org](http://www.cnanoidf.org)

[www.cnrs.fr](http://www.cnrs.fr)

[www.debatpublic-nano.org](http://www.debatpublic-nano.org)

[www.ief.u-psud.fr](http://www.ief.u-psud.fr)

[www.industrie.gouv.fr](http://www.industrie.gouv.fr)

[www.lpn.cnrs.fr](http://www.lpn.cnrs.fr)

[www.nanomateriaux.org](http://www.nanomateriaux.org)

[www.nanomicro.recherche.gouv.fr](http://www.nanomicro.recherche.gouv.fr)

[www.nanoroad.net](http://www.nanoroad.net)

[www.nanowerk.com](http://www.nanowerk.com)

[www.observatory-nano.eu](http://www.observatory-nano.eu)

[www.omnt.fr](http://www.omnt.fr)

[www.r3n.org](http://www.r3n.org)

[www.rtb.cnrs.fr](http://www.rtb.cnrs.fr)

**N° ISBN : 978-2-11-099387-8. Dépôt légal : juin 2010.**

Crédits photos : Gobelins (visuels Oktadi-animation) / Drire Ile-de-France

Édité en atelier imprim'vert sur du papier respectueux de l'environnement



*Liberté • Égalité • Fraternité*

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

CHANTAL ADAMSKI CHRISTINE BALIAN ALEXANDRE BARBERO GISELE BLANCHARD HOANG  
BUI SANDIE CHAMBARET ELISE CHARLIER SYLVIE CHATY FLORENCE CHEREAU ELODIE  
CONAN SOPHIE DEHAYES SEBASTIEN DELHOMMELLE BERNARD DOROSZCUK SYLVAIN  
DROUIN ANNE-LAURE FAUQUET MARIE-CHRISTINE FOESSEL FREDERIQUE FRETARD REMI  
GALIN ERIC GIUDICI ETIENNE KALALO DANIEL HELLEBOID CAROLINE HENRY LAURE  
LATRILLE CATHERINE LANDOYS ISABELLE LE DREAN EUGENIE LE QUERE CHRISTINE LHOMME  
SAMUEL LOISON IMED MAJDI YOHANN MARBRIER YVES MARIE MARIE MASFAYON RONAN MEAR  
JEAN-FRANCOIS MORAS EMMANUEL MOREAU MARIELLE MUGUERRA PHILIPPE NADAL  
NATHALIE NOEL ANNE-MARIE POINSOT EMILIE RACHENNE FRANCOIS-XAVIER ROCHE  
JOCELYNE SATGE NELLY SCHMIDT YVES SCHOEFFNER ERWAN TROMEUR JEREMY TRAMECON  
DOMINIQUE RIVAL ALMAÏDE RODARY JAN RUGE-SAWICKI AGNES SCIPION CELINE VILLE

En juillet 2010, l'équipe Développement industriel de la DRIRE rejoint la DIRECCTE Ile-de-France, Direction Régionale des Entreprises, de la Concurrence, de la Consommation, du Travail et de l'Emploi.

[www.ile-de-france.drire.gouv.fr](http://www.ile-de-france.drire.gouv.fr)