

# Les stratégies industrielles de R&D dans le domaine des nanotechnologies : Une analyse fondée sur les bases de connaissance

**Eric Avenel, Anne-Violaine Favier, Simon Ma, Vincent Mangematin, Carole Rieu**  
UMR GAEL (INRA-Université de Grenoble)

## **1. Introduction**

Alors que le développement économique des nanotechnologies ne fait que commencer, plusieurs schémas de développement sont envisageables. Ils diffèrent notamment par la place respective qu'ils accordent aux firmes installées (typiquement de grandes firmes industrielles) et aux nouveaux entrants (start-ups). Pour Darby et al. (2003), les nanotechnologies constituent une rupture (au sens de Griliches) comparable aux biotechnologies pour l'industrie pharmaceutique. A ce titre, elles menacent le leadership des firmes en place car elles dévalorisent leurs compétences (Hill et Rothaermel (2003)), tandis qu'elles créent des opportunités d'entrée pour de nouvelles firmes (Shea (2005)). Ces auteurs parient donc sur un rôle clé des start-ups dans le développement économique des nanotechnologies. Cependant, les nanotechnologies, contrairement aux biotechnologies, reposent sur des avancées technologiques antérieures et les acteurs qui les maîtrisent, notamment les grandes firmes. En cela le développement des nanotechnologies rappelle les premières phases de développement de la microélectronique dans les années 60 et 70. Abernathy et Utterback (1978) ont montré le rôle essentiel que de grandes firmes telles que Fairchild Semiconductors, IBM and Texas Instruments y ont joué. Ceci suggère une place prépondérante des grandes firmes dans l'exploitation commerciale des nanotechnologies.

Au-delà de la question du rôle respectif des différents types de firmes dans les nanotechnologies, on peut s'interroger sur les stratégies mises en œuvre par ces différents types de firmes pour développer leurs activités dans le domaine des nanotechnologies. C'est ce que nous faisons dans cet article, en partant de l'idée que ces stratégies se reflètent dans la structure de la base de connaissance des firmes dans le domaine des nanotechnologies. Dès lors l'attention se porte sur les différences éventuelles de structure entre les bases de connaissance des grandes firmes et celles des petites. Nous formulons différentes hypothèses que nous testons à partir d'une base de données mondiale sur les firmes de nanotechnologies ([www.nanodistrict.com](http://www.nanodistrict.com)).

Les nanotechnologies couvrent des champs scientifiques et techniques divers (physique, ingénierie, biologie moléculaire et chimie) dont elles franchissent les limites pour aller utiliser les propriétés fondamentales de la matière à l'échelle nanométrique. Ainsi, elles ne sont pas simplement la somme de ces disciplines, mais le résultat de leur convergence (Nordmann (2004)). Notre analyse suggère que les stratégies des petites et des grandes firmes en matière de R&D de nanotechnologies se distinguent nettement par leur approche de cette convergence, les petites firmes exploitant beaucoup plus les possibilités d'hybridation créées par la convergence de nombreux champs techniques au sein des nanotechnologies.

## **2. Les nanotechnologies : une introduction**

Les nanotechnologies se définissent comme la manipulation et le contrôle de matériaux vivants et non-vivants à l'échelle du nanomètre (un milliardième de mètre). Leur développement a été rendu possible par l'invention à la fin des années 80 par des chercheurs d'IBM de nouveaux instruments, en l'occurrence le microscope à force atomique (AFM) et le microscope à effet tunnel (STM) qui permettent d'observer et de manipuler la matière à l'échelle nanoscopique (Shea (2005)). Ce domaine de recherche s'est depuis rapidement développé, l'obtention en 1996 par R. Smalley du prix Nobel contribuant fortement à asseoir son statut de domaine de recherche majeur.

La réalisation des promesses économiques des nanotechnologies, qui reste très largement à venir, passera par l'intégration de technologies nanométriques dans des nano-objets (comme des puces) ou dans des produits traditionnels (pneumatiques, par exemple) (The Institute of Nanotechnology, 2005). Cette intégration être opérée selon deux approches distinctes, voire opposées. Dans l'approche "top down", de très petites structures sont produites à partir d'éléments plus grands, par exemple en gravant des circuits sur la surface d'une puce de silicone. Dans l'approche « bottom

up », les structures sont construites atome par atome, molécule par molécule, notamment par des techniques d'auto-assemblage, dans lesquels les atomes ou les molécules se positionnent eux-mêmes dans la structure du fait de leurs propriétés.

La recherche en nanotechnologies nécessite des infrastructures et des équipements tels que de grandes salles blanches, des instruments de microscopie, des outils de lithographie, ... Ces infrastructures sont des investissements coûteux qui nécessitent non seulement des bâtiments et des équipements, mais aussi du personnel hautement qualifié. A titre d'exemple, les sites existant en micro/nanoélectronique (notamment Dresde, Imec (Louvain) et Minattec (Grenoble)) ont représenté des investissements de plus de 5 milliards d'euros.

L'implication dans les nanotechnologies est le fait de firmes opérant dans une grande variété de domaines industriels. Parmi celles-ci, les firmes établies dans le domaine de la microélectronique et les anciennes start-ups de biotechnologies des années 80-90 se distinguent par une implication particulièrement forte. C'est ce qui explique la place prise par des sites fortement orientés vers la microélectronique – comme Minattec à Grenoble (Mangematin et al. (2005)) – ou vers les biotechnologies - comme Cambridge (UK) et Øresund (Copenhague/Malmö).

Les acteurs publics portent un intérêt marqué aux nanotechnologies. Cependant, le modèle d'intervention qui s'imposera reste incertain à ce stade de leur développement. Différentes options sont ouvertes, comme le montre l'examen des modes de soutien public au développement des industries high-tech par le passé (grands programmes nationaux pour le nucléaire, programmes nationaux et décentralisés soutenant la formation d'alliances, de clusters et de réseaux pour les biotechnologies et, plus récemment, mobilisation de ressources nationales et européennes par les régions pour la création de « pôles de compétitivité »).

### **3. Nanotechnologies et bases de connaissance des acteurs industriels**

La base de connaissance d'une firme est l'ensemble des connaissances scientifiques et techniques qu'elle maîtrise. Elle est typiquement mesurée par les publications scientifiques et les brevets de la firme. Du fait que les nanotechnologies réalisent la convergence de différents champs scientifiques et techniques, les firmes peuvent adopter différentes stratégies pour développer leur base de connaissances dans ce domaine. Ces stratégies, du fait de leur impact sur les caractéristiques de la base de connaissance, seront déterminantes pour leurs performances de moyen et long terme (Nesta et Saviotti (2005)).

### ***3.1. Taille de la base de connaissance et spécialisation en nanotechnologies***

IBM, Hitachi, Samsung, Lucent Technologies, Eastman Kodak, Siemens, DuPont, Infineon sont autant de grandes firmes qui ont déposé plus de cent brevets nano au cours des dix dernières années. Toutefois, ce domaine compte aussi des acteurs de petite taille qui, pour certains, sont extrêmement spécialisés en nanotechnologies. Au-delà des mesures en termes absolus, il convient donc de regarder la part des brevets nano dans le portefeuille technologique des firmes. Cette spécialisation est extrêmement variable. Elle reflète à la fois l'importance de la base technologique pré-existante et les choix des firmes en matière d'investissement en R&D. Toutes choses égales par ailleurs, les firmes dont la base technologique est plus importante apparaîtront moins spécialisées par un effet de dilution. Cependant l'impact de la base technologique existante dépasse largement cet effet mécanique. Les caractéristiques de la base de connaissance des firmes, au-delà de sa seule taille, ont un impact sur leurs stratégies de R&D dans le domaine des nanotechnologies et sur le degré de spécialisation qui en résulte.

Nesta et Saviotti (2005) et Breschi et al. (2003) montrent que l'ajout et l'intégration de nouvelles connaissances dans la base de connaissances existante sera profitable à la firme dans la mesure où ils accroissent l'étendue de la base de connaissance tout en maintenant une cohérence suffisante de l'ensemble. Ces auteurs pointent ainsi une tension entre deux caractéristiques de la base de connaissance, son étendue et sa cohérence. Cette dernière notion fait écho à l'analyse de Teece et al. (1994) selon laquelle une firme n'est pas une collection d'activités sans liens entre elles. Lorsqu'elle diversifie son activité, elle recherche des économies de gamme, ce qui la conduit à privilégier les domaines d'activités en lien avec les siens (Morel et al. (1999), Ramanujam et al. (1989)).

L'attitude des firmes vis à vis d'une nouvelle activité dépend de son impact potentiel sur leur base de connaissance. Ainsi, l'intégration des biotechnologies, qui venaient remplacer les compétences acquises par les entreprises pharmaceutiques dans le domaine plus classique de la chimie, s'est traduite par une plus grande diversité de leur base de connaissance, mais au prix d'un affaiblissement de sa cohérence, du fait de la juxtaposition entre nouvelles connaissances et connaissances précédemment acquises. Hill et Rothaermel (2003) ont prédit que cette perte de cohérence conduirait à une baisse des performances de ces firmes en matière d'innovation. Si les nanotechnologies partagent avec les biotechnologies cette caractéristique de détruire la base de connaissance des firmes, les grandes firmes devraient montrer une prudence particulière et donc un degré de spécialisation particulièrement faible, à la fois du fait de l'importance de leur base installée

conduisant à une dilution des éléments nanotechnologiques et du fait d'investissement en R&D de nanotechnologies modérés.

Toutefois, cette logique peut se retourner lorsque les nouvelles technologies permettent au contraire de valoriser les compétences des firmes en créant des opportunités nouvelles d'exploitation de ces compétences fondées sur les synergies entre nouvelles et anciennes compétences. Dans cette situation, les firmes dont la base de connaissance est étendue auront de fortes incitations à la valoriser en investissant massivement dans les nouvelles technologies. Par conséquent, si nous supposons que les nanotechnologies se présentent comme un ensemble de compétences appelées à se combiner aux compétences existantes des firmes pour les valoriser, nous voyons apparaître un effet qui vient s'opposer à l'effet de dilution et va potentiellement renverser le lien entre taille de la base de connaissance et degré de spécialisation dans les nanotechnologies. Toutefois, l'effet de dilution persiste, de sorte que le degré de spécialisation des firmes nouvellement créées pour exploiter les opportunités ouvertes par les nanotechnologies pourra difficilement être atteint par des firmes en place dont les bases de connaissance sont déjà constituées et comportent une part importante d'éléments formés avant l'émergence des nanotechnologies. Par ailleurs, les grandes firmes diversifiées ont plus de chances d'opérer dans des secteurs où les nanotechnologies, malgré leur caractère transversal, ont un impact réduit. Ceci nous amène à formuler notre première hypothèse.

**Hypothèse 1:** Le degré de spécialisation dans les nanotechnologies décroît avec la taille de la base de connaissance des firmes.

### ***3.2 Hybridation et diversité des bases de connaissance nanotechnologiques***

Le champ des nanotechnologies se développe par la convergence des champs scientifiques et techniques traditionnels dont les nanotechnologies effacent les limites. Les bases de connaissance en nanotechnologies des firmes reflètent cette convergence par l'hétérogénéité des champs scientifiques et techniques auxquels elles sont reliées. Ceci nous amène à examiner la diversité des bases de connaissance des firmes en nanotechnologies, c'est-à-dire la diversité des technologies mises en œuvre dans les activités nanotechnologiques des firmes. Cette diversité dépend de la taille de la base de connaissance nano, mais ce lien doit être examiné avec attention en prenant en compte les possibilités de convergence entre champs techniques ouvertes par les nanotechnologies. Ainsi, l'effacement des limites entre champs technologiques crée la possibilité d'une recherche hybride produisant des résultats (brevets notamment) reliés à des champs techniques différents dans des configurations inédites. L'hybridation caractérise précisément le

fait que, dans le domaine des nanotechnologies, chaque élément de la base de connaissance peut être lié à un nombre important de champs technologiques distincts. Cette hybridation ne s'impose cependant pas aux firmes qui peuvent choisir de ne développer les applications de leurs recherches nanotechnologiques que dans les domaines de recherche auxquels elles consacraient leur efforts avant l'émergence des nanotechnologies. Une firme de microélectronique peut ainsi choisir d'ignorer les applications possibles de sa R&D dans le domaine des nanobiotechnologies. Lorsque les firmes font ce choix, leur base de connaissance nanotechnologique atteindra un niveau de diversité qui reflètera la variété des domaines techniques dans lesquels elle investit. Autrement dit, la diversité de leur base de connaissance en nanotechnologie résultera non pas de la diversité de chaque élément de cette base – donc d'une hybridation – mais d'une juxtaposition l'éléments dont chacun est lié à un champ technologique particulier, mais qui globalement peuvent présenter une certaine diversité, la firme étant impliquée dans des champs techniques différents. Ainsi, une firme qui ferait de la nanoélectronique et de la nanobiotechnologie peut être diverse soit parce qu'elle recherche systématiquement les applications de ses recherches dans ces deux domaines (hybridation) soit parce qu'elle poursuit séparément ses recherches dans les deux domaines.

La possibilité d'une R&D en nanotechnologies reposant sur une stratégie d'hybridation vient remettre en cause le lien entre taille et diversité des bases de connaissance en nanotechnologies, tandis que l'hypothèse de juxtaposition conduit à un maintien de ce lien. Ceci nous amène à formuler les deux hypothèses suivantes.

**Hypothèse 2** : Si le développement des bases de connaissance nanotechnologiques des firmes repose sur une stratégie d'hybridation, la diversité de leur base de connaissance nanotechnologique restera stable lorsque la taille de la base de connaissance nanotechnologique augmente.

**Hypothèse 3** : Si le développement des bases de connaissance nanotechnologiques des firmes se fait par juxtaposition, alors la diversité de la base de connaissance nanotechnologique augmentera avec la taille de la base de connaissance dans les nanotechnologies.

L'examen de ces hypothèses nous permettra de déterminer dans quelle mesure la convergence des nanotechnologies, telle qu'elle est mesurée sur l'ensemble des brevets de nanotechnologies, se retrouve dans les bases de connaissance des firmes considérées séparément. En d'autres termes, cela nous permettra de voir si les firmes exploitent effectivement les possibilités créées par l'effacement des frontières entre

champs technologiques qui s'opère dès lors que l'on travaille sur la matière à l'échelle nanométrique.

#### **4. Données et méthodes**

Afin de décrire le schéma de développement des nanotechnologies, nous avons construit une base de données sur les entreprises impliquées dans les nanotechnologies au niveau mondial. Pour ces entreprises, nous disposons d'informations sur leurs bases de connaissance au travers de leurs publications et de leurs brevets sur la période, ainsi que sur leurs performances économiques, au travers d'informations comptables, sur la période 1992-2004. Dans cette section, nous décrivons la méthodologie de construction de la base de données et nous proposons une description globale des firmes impliquées dans les nanotechnologies et de leurs brevets. Nous présentons enfin les variables utilisées dans la suite pour l'analyse des bases de connaissance.

##### ***4.1 Les firmes de nanotechnologies, une perspective globale***

Dans la mesure où les classifications établies ignoraient jusqu'à récemment les nanotechnologies en tant que domaine, l'identification des firmes de nanotechnologies et la description de leurs bases de connaissance dans ce domaine nécessitent une démarche spécifique. Notre liste de firmes est construite à partir de trois sources : (1) les firmes auxquelles l'USPTO a délivré au moins un brevet que nous considérons comme nano, (2) les firmes qui ont au moins une publication référencée dans le Web of Knowledge que nous considérons comme nano, (3) les firmes apparaissant sur les sites NanoVIP et Nano-Invest. L'identification des brevets et publications nano repose sur une équation de recherche développée par ISI-Fraunhofer (Fraunhofer-ISI, 2002, Noyons et al., 2003).<sup>1</sup> La base de données sur laquelle repose cette étude comprend 3091 firmes, dont 1051 ayant au moins un brevet nano sur la période. Dans cet article, nous ne présentons que les résultats portant sur les brevets.

##### ***4.2 Caractérisation de la base de connaissances des firmes***

Pour caractériser les bases de connaissance des firmes et tester nos hypothèses, nous avons construit plusieurs variables relatives à la taille de la base de

---

<sup>1</sup> Pour une présentation plus détaillée sur ce point, voir Avenel et al. (à paraître).

connaissance, à son degré de spécialisation, à sa diversité et à son hybridation. La table 1 décrit la distribution des variables.

*Taille* Nous mesurons la taille des bases de connaissance par le nombre de brevets qu'elles contiennent. Comme il y a très peu de brevets de nanotechnologies avant 1989 (voir figure 1), nous mesurons la spécialisation en nano à partir de 1989, afin de ne pas sous-estimer la spécialisation des firmes déjà en place en 1989. Ceci nous conduit à la définition de trois variables : le nombre de brevets de nanotechnologies obtenus par la firme jusqu'en 2003 (NBPATN), le nombre de brevets de nanotechnologies obtenus par la firme entre 1989 et 2003 (NBPATN89), le nombre total de brevets (nano et hors nano) obtenus par la firme entre 1989 et 2003 (NBPATT89).

La distribution du nombre total de brevets met en lumière le poids des grandes firmes dans la base, avec une moyenne à 695,6 brevets et une médiane à 31,5 brevets. Les dix pourcent de firmes qui brevètent le plus obtiennent au moins 1513 brevets sur la période, tandis que 25 pourcent des firmes obtiennent au plus 5 brevets. Pour les brevets nano, la moitié des firmes obtiennent un seul brevet, tandis que 10 pourcent des firmes en obtiennent au moins 6. La moyenne s'établit à 3,66 brevets de nanotechnologies par firme.

*Spécialisation* L'indice de spécialisation (SHARE) est calculé comme la part en pourcentage de brevets nano dans l'ensemble des brevets de la firme depuis 1989. Plus l'indice est élevé, plus la firme est spécialisée dans les nanotechnologies. En moyenne, 25% des brevets des firmes de la base sont des brevets de nanotechnologies, mais tandis que 10% des firmes sont totalement spécialisées dans les nanotechnologies, pour la moitié des firmes, les nanotechnologies représentent moins de 6% de leurs brevets.

*Diversité* L'indice de diversité (DIVPATN) mesure l'étendue des activités de la firme dans le domaine des nanotechnologies afin de déterminer si elles sont concentrées ou non sur un faible nombre de champs techniques. La définition retenue des champs est celle de l'International Patent Classification. Empruntant un outil classique de l'économie industrielle, nous calculons DIVPATN comme 1 moins l'indice d'Herfindahl. L'indice de diversité est compris entre 0 et 1. Il est d'autant plus grand que la diversité est grande. Dans l'échantillon, il atteint une valeur maximale de 0,8, soit un niveau très élevé de diversité. Une firme sur quatre concentre son activité sur un seul champ. L'indice est alors nul.

*Hybridation* L'indice d'hybridation (HYBPATN) est le nombre moyen de champs techniques cités par brevet. En moyenne, chaque brevet cite 1,5 champs techniques, mais pour une firme sur quatre, chaque brevet ne cite qu'un champ

technique. A l'autre bout de la distribution, les brevets d'une firme sur quatre citent en moyenne au moins deux champs techniques.

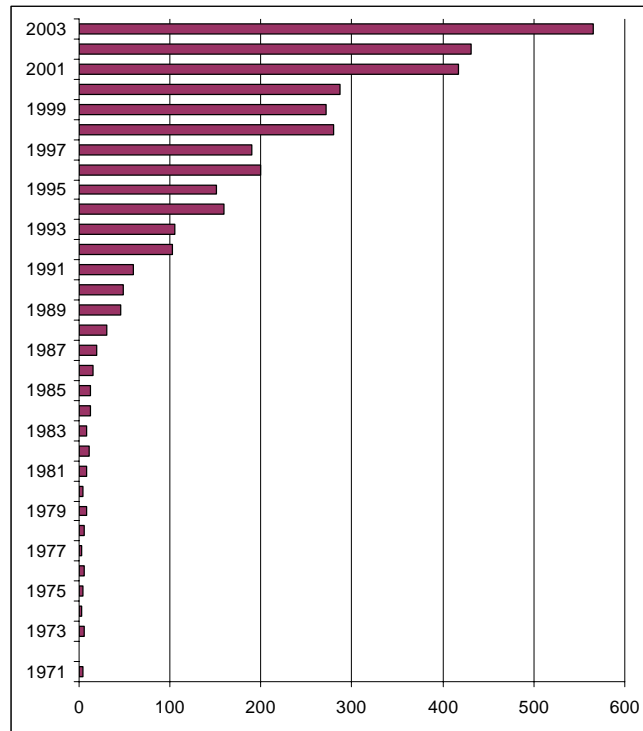


Figure 1 : Brevets de nanotechnologies des firmes

	NBPATN	NBPATT89	DIVPATN	HYBPATN	SHARE
N	1 051	998	1 051	1 051	998
MEAN	3.66	695.6	0.41	1.57	25.66
Q10	1	1	0	1	0.22
Q25	1	5	0	1	0.74
Q50	1	31.5	0.50	1.45	5.79
Q75	3	293	0.67	2	40
Q90	6	1513	0.79	2.33	100

Table 1 : Distribution des variables

## 5. Résultats

L'hypothèse 1 stipule que le degré de spécialisation dans les nanotechnologies décroît avec la taille de la base de connaissance. Afin de tester cette hypothèse, nous croisons dans la figure 2 les variables SHARE et NBPATT89 (en logarithme décimal). La figure 2 confirme l'hypothèse de décroissance du degré de spécialisation avec la taille de la base de connaissance. Ceci suggère que soit les nanotechnologies viennent remplacer les compétences existantes des firmes, ce qui tend à décourager les grandes firmes, soit elles viennent valoriser ces compétences, mais leur transversalité n'est pas telle que des firmes dont les bases de connaissances très larges sont diversifiées apparaissent comme fortement spécialisées en nanotechnologies. Il est possible que les applications des nanotechnologies dans certains domaines se révèlent et soient exploitées par les firmes dans les années à venir, ce qui conduirait à une hausse du degré de spécialisation des grandes firmes dans le futur.

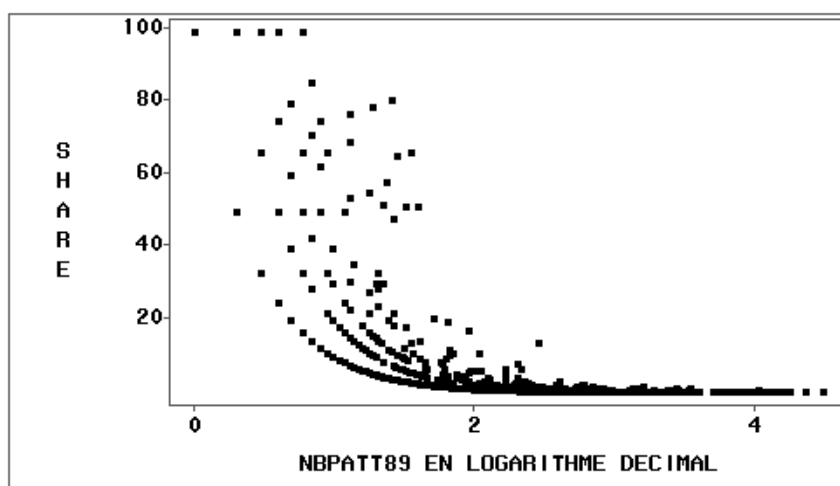


Figure 2 : Spécialisation et taille de la base de connaissance

La figure 3 représente l'évolution de la diversité des bases de connaissance (DIVPATN) relativement à leur taille (NBPATN) en logarithme décimal. Au vu de la figure 3, il n'est pas possible de rejeter l'une ou l'autre des hypothèses 2 et 3. C'est plutôt la coexistence de deux profils de firmes qui se dessine ici, chacun étant cohérent avec une de ces deux hypothèses. Un premier profil, qui concerne les

grandes firmes, illustre l'hypothèse 3 d'un lien entre la taille et une diversité acquise par juxtaposition. On observe en effet qu'il y a très peu de firmes sous la bissectrice, ce qui signifie que les firmes qui ont beaucoup de brevets de nanotechnologies ont une base de connaissance diversifiée dans ce domaine. Un second profil, propre aux petites firmes, illustre l'hypothèse 2. On observe un nombre significatif de firmes au-dessus de la bissectrice, donc de firmes dont les bases de connaissance sont petites et diversifiées, ce qu'on peut attendre dès lors que les firmes développent leurs bases de connaissance par hybridation. Du fait de la coexistence de ces deux profils, il y a une certaine stabilité de la diversité quand la taille des bases de connaissance varie.

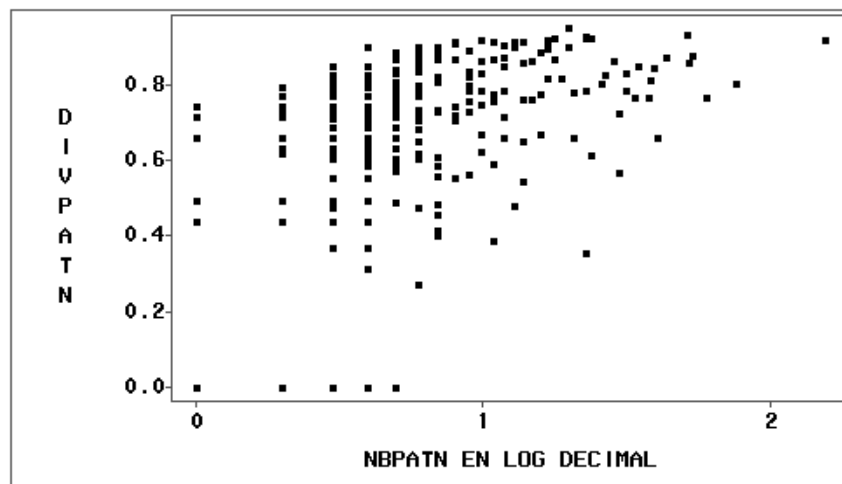


Figure 3 : Diversité et taille des bases de connaissances en nanotechnologies

Afin d'affiner notre analyse de l'hybridation comme stratégie de développement des bases de connaissances de nanotechnologies, nous examinons le lien entre hybridation et diversité pour différents groupes de firmes définis par des tailles différentes de bases de connaissance en nanotechnologies (figure 4). La figure 4 confirme l'existence de deux profils de firmes en fonction de la taille des bases de connaissance. Les grandes firmes pratiquent peu l'hybridation. On les trouve principalement dans le cadran supérieur gauche du graphique. Inversement, certaines petites firmes atteignent des niveaux élevés d'hybridation, ce qui leur permet de construire une base de connaissance diversifiée à partir d'un nombre relativement faible de brevets.

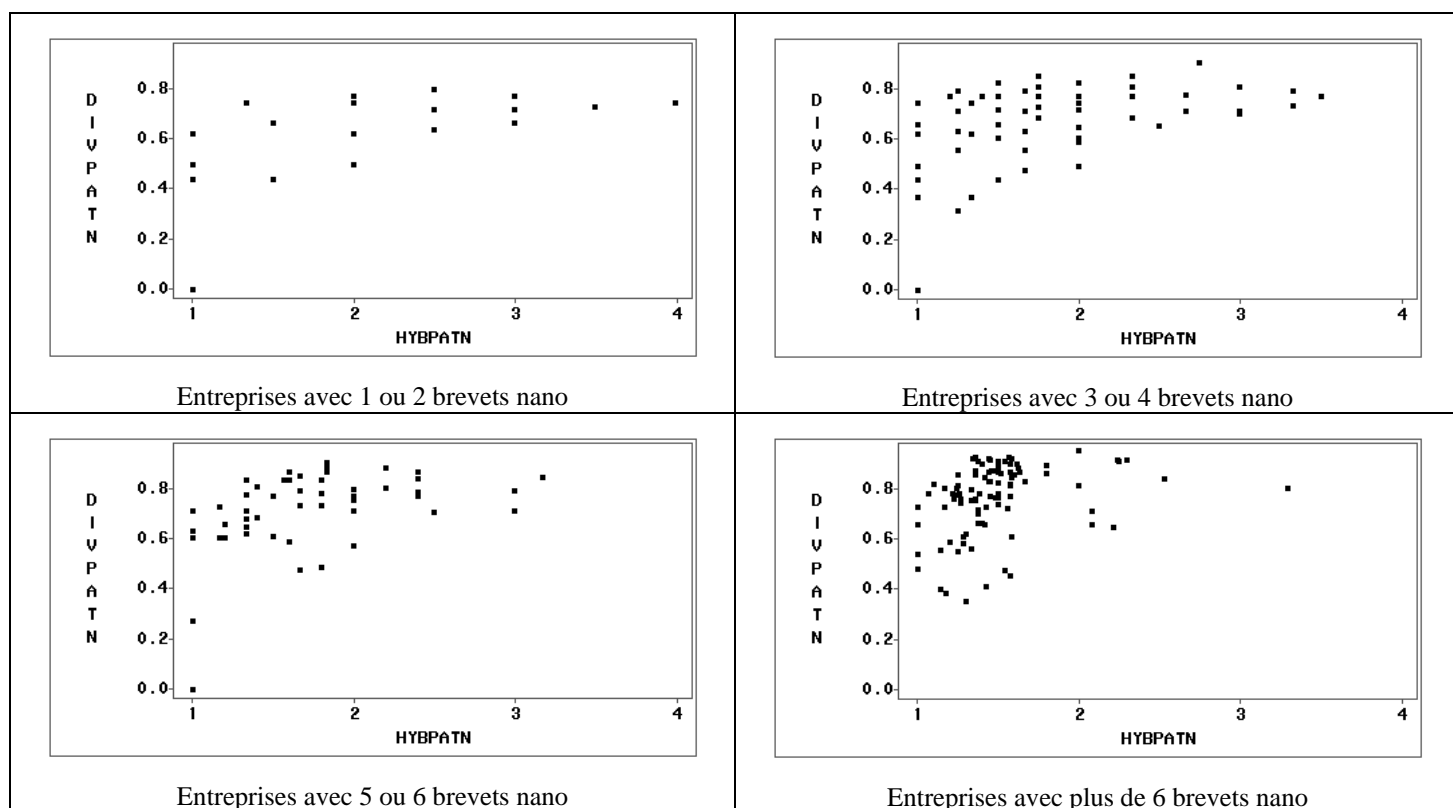


Figure 4 : Diversité et hybridation

L'hybridation permet aux firmes de tirer pleinement parti des opportunités offertes par les nanotechnologies en passant outre les frontières traditionnelles entre champs technologiques. Elle est donc susceptible de rendre plus profitable l'investissement en R&D de nanotechnologies. Dans la mesure où l'hybridation apparaît comme l'appanage des petites firmes, on peut supposer que ceci contribue à expliquer la plus forte spécialisation des petites firmes dans les nanotechnologies.

## 6. Conclusion

En exploitant une base mondiale des entreprises entrées dans les nanotechnologies, nous examinons les modalités du développement de leurs bases de connaissance dans ce domaine. Nous suggérons que l'entrée des grandes entreprises dans les nanotechnologies ne les a pas conduites à remettre en cause les grandes orientations de leur recherche et développement, mais plutôt à rechercher

dans les nanotechnologies les moyens de poursuivre leurs objectifs. En conséquence, leurs bases de connaissance se caractérisent par une juxtaposition de brevets liés à des champs techniques séparés. En revanche, les petites firmes manifestent une propension très nette à exploiter les possibilités offertes par les nanotechnologies de dépasser le cloisonnement traditionnel des champs technologiques et fondent leurs stratégies de développement dans les nanotechnologies sur une recherche et développement hybride. Cette stratégie accroît la profitabilité de l'investissement en nanotechnologies et contribue à expliquer la plus forte spécialisation des petites firmes en nanotechnologies.

Dans cette étude nous avons abordé les stratégies des firmes en matière de nanotechnologies uniquement du point de vue du management de la connaissance. Nos conclusions restent donc à valider dans une analyse plus large, prenant notamment en compte le rôle des infrastructures de recherche dans le secteur des nanotechnologies. La R&D dans ce domaine nécessite l'accès à des infrastructures très coûteuses, ce qui redonne un certain avantage aux grandes entreprises qui sont capables de les financer.

## 7. Bibliographie

*Abernathy WJ, Utterback J. 1978. Patterns of Industrial Innovation. Technology Review 80: 41-47*

*Avenel, E., A.-V. Favier, S. Ma, V. Mangematin, C. Rieu, Diversification and hybridisation in firm knowledge bases in nanotechnologies, avril 2006, à paraître dans Research Policy.*

*Breschi S, Lissoni F, Malerba F. 2003. Knowledge-relatedness in firm technological diversification. Research Policy 32(1): 69-87*

*Darby M, Zucker L. 2003. Grilichesian Breakthroughs: Inventions of Methods of Inventing and Firms Entry in Nanotechnology. NBER, Working Paper 9825*

*Fraunhofer-ISI. 2002. Search Methodology for Mapping Nano-Technology Patents. ISI: Karlsruhe*

*Hill CWL, Rothaermel FT. 2003. The performance of incumbent firms in the face of radical technological innovation. Academy of Management Review 28(2): 257-274*

*Mangematin V, Rip A, Delemarle A, Robinson DKR. 2005. The Role of Regional Institutional Entrepreneurs During the Emergence of Clusters in Nanotechnologies. WP*

*Morel B, Ramanujam R. 1999. Through the looking glass of complexity: The dynamics of organizations as adaptive and evolving systems. Organization Science 10(3): 278-293*

*Nesta L, Saviotti PP. 2005. Coherence of the Knowledge Base and the Firm's Innovative Performance. Evidence from the US Bio-pharmaceutical Industry. The Journal of Industrial Economics LIII(1): 105-125*

*Nordmann A. 2004. Converging technologies - Shaping the future of the European Societies, HLEG Foresighting the New Technology Wave,. EC: Brussels*

*Noyons CM, Buter RK, van Raan AFJ, Schmoch U, Hinze S, Rangnow R. 2003. Mapping excellence in Science and Technology accross Europe in Nanoscience and nanotechnologies. Draft report of project EC-PPN CT-2002-0001 to the European Commission: Brussels*

*Ramanujam V, Varadarajan P. 1989. Research on Corporate Diversification: a Synthesis. Strategic Management Journal 10: 523-551*

*Shea CM. 2005. Future Management research Directions in nanotechnology: A Case Study. Journal Engineering and Technology Management 22: 185-200*

*Teece DJ, Rumelt R, Dosi G, Winter SG. 1994. Understanding Corporate Coherence : Theory and Evidence. Journal of Economic Behavior and Organisation 23(1): 1-30*

*The Institute of Nanotechnology. 2005. Research, Applications and Markets in Nanotechnology in Europe. The Institute of Nanotechnology: London*