

# INTÉGRATION TECHNOLOGIQUE ET VALEUR BOURSIÈRE DES FIRMES DE BIOTECHNOLOGIES

**Lionel Nesta**\*

*Département de recherche sur l'innovation et la concurrence de l'OFCE*

**Pier-Paolo Saviotti**\*

*UMR GAEL, Université Pierre Mendès-France, Grenoble, France*

*Nous examinons la relation entre le capital de connaissance, l'intégration technologique d'une part et la valeur boursière des firmes de biotechnologies d'autre part. L'échantillon est constitué des quatre-vingt-quatre firmes actives dans le domaine de biotechnologies. Les estimations économétriques montrent que dans les biotechnologies, l'intégration technologique est un déterminant significatif de la valeur boursière des firmes. Toutefois, la fonction de valorisation boursière des firmes n'est constante ni entre industries ni en dynamique. L'une des raisons majeures réside dans le fait que, premièrement, les conditions d'usage des technologies se modifient en dynamique, et deuxièmement, cette dynamique est spécifique au secteur.*

---

\* Les auteurs tiennent à remercier le rapporteur anonyme pour ses remarques constructives. Les erreurs qui subsistent sont de la seule responsabilité des auteurs.

lionel.nesta@ofce.sciences-po.fr  
ppsavio@grenoble.inra.fr

Les marchés boursiers représentent un mécanisme essentiel d'allocation des ressources financières du système capitaliste pour le financement de la croissance des activités productives des firmes. Pour autant, la compréhension des critères d'investissements demeure un phénomène pour le moins mal compris. Les études empiriques identifient généralement trois types de variables: (i) les opportunités de marché, appréhendées par le rapport entre les revenus et le coût d'utilisation des facteurs de production, tel que la profitabilité de la firme; (ii) les actifs réels, mesurés par la valeur des actifs de la firme évalués à leur coût de remplacement; (iii) les actifs intangibles, typiquement mesurés par la somme des dépenses de recherche et développement (R&D) présentes et passées, par le stock de brevets accumulés (Griliches, 1981; Pakes, 1985; Hall, 1993; Hall *et al.* 2000; Chan *et al.* 2001).

Dans ce travail, nous nous concentrons sur les actifs intangibles comme déterminant de la valeur boursière de la firme. Nous ajoutons au capital de connaissance, indicateur généralement avancé des actifs intangibles, une mesure de son degré d'intégration technologique. Nous le définissons comme la complémentarité moyenne des technologies détenues par une firme. Plus (moins) celles-ci sont complémentaires, plus (moins) son degré d'intégration est élevé. Sur la base de cette proposition, nous développons une mesure quantitative du degré d'intégration technologique que nous utilisons dans un cadre économétrique habituel afin d'en évaluer la pertinence.

Ce papier est structuré comme suit. Dans la section 1, nous définissons le degré d'intégration des connaissances et exposons son rôle attendu sur la valeur boursière des firmes. Dans la section 2, nous développons la mesure du degré d'intégration technologique utilisée dans ce papier. La section 3 présente les données et le modèle économétrique. La section 4 discute les différents résultats auxquels nous sommes parvenus. Nous concluons dans la section 5.

## I. Intégration technologique et biotechnologies

Ces dernières années, la connaissance est apparue comme un facteur de production à part entière du système productif (Abramowitz et David, 1996) si bien que l'on parle aujourd'hui d'économie de la connaissance (Foray, 2000). Dans cet esprit, les travaux récents de R.E. Hall ont montré que le capital intangible des firmes, *i.e.* leur stock de

connaissances, explique la plupart de la variation de la valeur boursière des firmes cotées au *Dow Jones Index* depuis 1970. De même, une série de travaux du *National Bureau of Economic Research* (NBER), menés par Griliches (1998), a montré qu'il existe une relation systématique et significative entre le stock de connaissances scientifiques et techniques d'une firme et sa productivité, sa propension à innover et sa valeur boursière.

Si ces résultats mettent en lumière le rôle économique de la connaissance scientifique et technique, nous pensons qu'ils ne peuvent en circonscrire la contribution d'ensemble. Loin d'être un facteur de production homogène, la connaissance se singularise par son caractère hétérogène, tant dans ses formes (connaissance tacite ou codifiée, incorporée dans des artefacts techniques ou du capital humain), que dans sa nature fondamentale, *i.e.* générale et abstraite, ou au contraire appliquée, *i.e.* locale et concrète (Arora et Gambardella, 1994a). Les connaissances de la firme, ce que nous appelons sa base de connaissance, se réfèrent à des lois scientifiques générales et un ensemble de technologies dont les combinaisons non aléatoires influence les services productifs rendus (Penrose, 1959). Le portefeuille technologique d'une firme ne peut donc pas être le fruit d'une accumulation technologique purement aléatoire, mais doit à tout le moins refléter des synergies productives. Par conséquent, la mesure des actifs intangibles de la firme, par le stock de connaissance uniquement, doit être complétée par une mesure du caractère systémique des connaissances scientifiques et techniques.

Le vecteur technologique d'une firme peut alors être observé du point de vue des complémentarités technologiques. Par complémentarité technologique, nous entendons le fait que certaines technologies sont systématiquement utilisées conjointement avec d'autres technologies. Par exemple, une firme dans l'industrie de la chaussure doit savoir combiner des technologies relatives à la manipulation du cuir et des matières plastiques. Il serait en revanche singulier de constater qu'elle développe des compétences en matière de cimenterie. Aussi par intégration technologique, nous entendons le fait que dans le cadre d'une activité productive donnée, le portefeuille technologique des firmes doit refléter, au moins en partie, l'état des complémentarités technologiques.

Nous appliquons la définition de l'intégration technologique aux biotechnologies. Les biotechnologies sont apparues dans les années 1970, avec le premier transfert de gènes d'organisme à organisme réalisé à l'Université de Stanford aux États-Unis par Cohen et Boyer. L'arrivée de la transgénique ouvrait la voie à un ensemble de possibilités technologiques inimaginables jusqu'alors. Avec son avènement émerge la possibilité d'envisager le vivant par son architecture génétique, fournissant des moyens considérables de le manipuler, en l'hybridant, le recombinant, le clonant, le transférant, l'amplifiant. La compréhension et la manipulation du vivant, bref les biotechnologies,

ouvrent ainsi la voie à des possibilités immenses, explorées ou encore à approfondir pour la plupart. Il devint soudainement envisageable de créer de plantes résistantes à certaines bactéries, de produire de l'insuline en grande quantité, pure et strictement identique à l'insuline humaine plutôt qu'extraite de résidus cadavériques, de contrôler le comportement de micro-organismes dans une optique médicale, chimique, agroalimentaire mais également environnementale.

Les biotechnologies représentent donc un ensemble de techniques de manipulation du vivant avec un potentiel économique relatif à trois secteurs essentiellement : l'industrie pharmaceutique, l'industrie chimique et l'industrie agroalimentaire. Les firmes utilisant les biotechnologies sont donc de grandes firmes déjà existantes, comme les grands groupes pharmaceutiques, chimiques ou agroalimentaire (e.g. Sanofi-Aventis, BASF, Monsanto respectivement) mais également des firmes nouvelles dédiées au développement et à l'exploitation des biotechnologies, ce que l'on nomme généralement comme les nouvelles entreprises de biotechnologies (NEB). Ces dernières ont été créées sur la base de leurs compétences spécialisées en manipulation du vivant. Initialement, leur stratégie d'intégration verticale visait essentiellement à se poser comme concurrentes des firmes déjà en place. Ces stratégies se sont pourtant rapidement heurtées à la difficulté de transformer ces inventions potentielles en innovations réelles. Dans le même temps, les grandes firmes diversifiées ont massivement investi avec succès dans l'acquisition de compétences biotechnologiques. Ainsi privées de avantage comparatif, les NEB se posent dorénavant comme partenaires des grandes firmes et multiplient avec elles des contrats de recherche sur des niches technologiques bien définies.

Puisque les biotechnologies concernent des activités intensives en connaissances, on peut s'attendre à ce que le capital de connaissances en général, et l'intégration technologique en particulier, soient des déterminants importants de la performance des firmes. Toutefois, en période de changement technologique rapide, l'accumulation technologique ne peut s'effectuer qu'au détriment du degré d'intégration technologique. Dans les phases initiales d'une nouvelle technologie, comme les biotechnologies au début des années 1980, les firmes percevant leur potentiel économique ont pu préférer l'acquisition de ces nouvelles connaissances scientifiques et techniques constituant une rupture avec leur processus productif traditionnel. De fait, la cohérence technologique de la firme s'en trouve substantiellement réduite. En dynamique, le développement et la diffusion des biotechnologies aident les firmes à percevoir plus distinctement les combinaisons technologiques les plus productives. Par exemple, dans la recherche pharmaceutique, le séquençage à haut débit, la bio-informatique, la génomique fonctionnelle, ou la protéomique sont autant de technologies constituant désormais les outils de base de la modélisation

moléculaires intervenant dans le développement de médicaments nouveaux. Dans ce contexte, Nesta et Saviotti (2005) montrent que l'intégration technologique est devenue un déterminant important de la performance innovante des firmes qu'à partir des années 1990.

Avec la consolidation des biotechnologies autour d'une architecture donnée, les investisseurs boursiers doivent avoir une perception de plus en plus fine des complémentarités technologiques les plus profitables. Ils s'attendent par exemple à observer des firmes compétentes en génie génétique et en chimie combinatoire. L'incidence sur la performance économique de la firme est basée sur l'idée que les coûts de coordination des activités productives sont une fonction décroissante de la complémentarité des technologies mobilisées. Ainsi la recherche d'économie de champs basée sur des activités mobilisant des compétences complémentaires doit améliorer la productivité de la firme, être plus profitable et, au final, augmenter la valeur boursière de la firme. Aussi nous attendons-nous à une relation positive entre la valeur boursière de la firme et son degré d'intégration des connaissances.

## 2. La mesure de l'intégration des connaissances

Imaginons deux firmes de haute technologie à structure capitalistique identique et à même nombre d'employés. Imaginons en outre que ces deux firmes se distinguent uniquement par leur portefeuille technologique. Tout investisseur boursier scrutera alors ce portefeuille afin de choisir la firme gagnante sur la base: (i) d'une asymétrie dans les distributions technologiques entre les deux firmes, i.e. une firme détient une technologie essentielle que l'autre n'a pas; (ii) de la complémentarité moyenne des technologies entre elles. Ceci posé, les points (i) et (ii) exigent qu'au préalable, cet investisseur ait une connaissance au moins intuitive des technologies et des complémentarités technologiques les plus prometteuses. Cette section a pour objet de se doter d'une mesure rendant compte de ces complémentarités technologiques.

Nous avons défini l'intégration technologique comme étant une fonction positive de la complémentarité moyenne des technologies utilisées par une firme. Cet exercice s'effectue en deux temps. Dans un premier temps, nous devons nous doter d'une représentation objective des complémentarités technologiques pour dans un deuxième temps appliquer le résultat de cette mesure au portefeuille technologique des firmes. Le degré d'intégration de la firme est alors défini comme la moyenne pondérée des complémentarités technologiques. Nous appelons cette mesure le degré d'intégration technologique ou encore cohérence technologique.

Nous utilisons les données relatives aux brevets. Un brevet est un titre de propriété intellectuelle relatif à un artefact technique, conférant à son propriétaire un droit d'usage exclusif. Ce droit d'exclusivité oblige, en contrepartie, le propriétaire à en publier le contenu technique afin d'en informer les utilisateurs potentiels. Ainsi, l'existence même des brevets implique leur recensement par une autorité administrative, relative à une aire géographique de protection intellectuelle. Par exemple, la base de données de l'USPTO (*US Patent and Trade Office*) recense sous format électronique plus de trois millions de brevets depuis 1963. Pour chaque brevet, nous connaissons le nom du propriétaire du titre, l'année d'invention, de dépôt, de publication, etc. Une information essentielle est relative au contenu technologique des brevets en fonction de classes technologiques prédéfinies. Par exemple, la classification internationale des brevets n'est autre qu'une arborescence regroupant huit classes technologiques principales se désagrégant en 30, puis 120, puis plusieurs milliers de sous-classes technologiques. Puisque plusieurs classes technologiques peuvent décrire un même brevet, nous pouvons compter les cooccurrences technologiques. Ce nombre observé de cooccurrences technologiques est à la base de la mesure de complémentarité technologique.

Nous nous basons sur les travaux de Teece *et al.* (1994) relatifs à la diversification des activités de firmes et visant à donner un contenu empirique à la notion d'économie de champs. Leur mesure est basée sur l'idée que les combinaisons marchandes les moins profitables mènent à terme les acteurs à ne plus les mobiliser conjointement. Toutefois, et en accord avec l'idée que dans des industries de hautes technologies, les connaissances scientifiques et techniques constituent un facteur de production discriminant, nous appliquons leur méthode aux classes technologiques des brevets (Breschi *et al.*, 2003). Nous faisons l'hypothèse que la fréquence d'utilisation conjointe de deux technologies est un indicateur indirect de leur complémentarité technologique.

La première étape nécessite donc la construction de la matrice carrée symétrique de cooccurrences technologiques obtenue comme suit. Soit l'univers technologique constitué de  $K$  brevets décrits par  $n$  technologies. Soit  $P_{ik} = 1$  si le brevet  $k$  utilise la technologie  $i$ ,  $i = \{1, \dots, n\}$ , 0 sinon. Le nombre total de brevets assignés à la technologie  $i$  est donc égal  $O_i = \sum_k P_{ik}$ . En outre, posons  $P_{jk} = 1$  si le brevet  $k$  utilise la technologie  $j$ , 0 sinon. Le nombre total de brevets assignés à la technologie  $j$  est donc  $O_j = \sum_k P_{jk}$ . Puisque deux ou plusieurs technologies peuvent être mentionnées ensemble au sein d'un même brevet,  $O_i \cap O_j \neq \emptyset$  et donc le nombre de cooccurrences observées  $J_{ij}$  des technologies  $i$  et  $j$  est égal à  $\sum_k P_{ik} P_{jk}$ . Généralisant  $J_{ij}$  à l'ensemble des  $(n \times n)$  couples de technologies, il vient la matrice carrée  $W(n \times n)$  de cellule générique  $J_{ij}$  :

$$\Omega = \begin{bmatrix} J_{11} & \cdots & J_{i1} & \cdots & J_{n1} \\ \vdots & \ddots & & & \vdots \\ J_{1j} & & J_{ij} & & J_{nj} \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ J_{1n} & \cdots & J_{in} & \cdots & J_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Le nombre de cooccurrence est utilisé pour construire notre mesure de la complémentarité technologique. Seul, le nombre  $J_{ij}$  demeure peu informatif. Nous le comparons donc avec sa valeur espérée  $\mu_{ij}$ , sous hypothèse de cooccurrence technologique suivant un processus aléatoire. Ceci posé, nous considérons le nombre  $x_{ij}$  de brevets utilisant à la fois les technologies  $i$  et  $j$  comme une variable hypergéométrique aléatoire d'espérance et de variance (Population  $K$ , membres spéciaux  $O_i$ , et taille de l'échantillon  $O_j$ ):

$$\mu_{ij} = E(X_{ij} = x) = \frac{O_i O_j}{K} \quad (2)$$

$$\sigma_{ij}^2 = \mu_{ij} \left( \frac{K - O_i}{K} \right) \left( \frac{K - O_j}{K - 1} \right) \quad (3)$$

Si le nombre observé  $J_{ij}$  de cooccurrences entre les technologies  $i$  et  $j$  excède leur valeur espérée  $\mu_{ij}$  sous hypothèse de cooccurrence aléatoire, alors nous concluons sur une complémentarité positive entre les deux technologies. Inversement, si le nombre observé  $J_{ij}$  de cooccurrences entre les technologies  $i$  et  $j$  est inférieur à leur valeur espérée  $\mu_{ij}$ , alors nous concluons sur une complémentarité négative entre les deux technologies. Aussi la mesure de complémentarité technologique n'est autre que la différence entre la valeur observée  $J_{ij}$  et la valeur espérée  $\mu_{ij}$ , corrigé de l'écart type de la distribution:

$$\tau_{ij} = \frac{J_{ij} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \quad (4)$$

La matrice carrée  $\Omega'$ , composée des éléments  $\tau_{ij}$ , est calculée pour chaque année, reflétant l'idée que les complémentarités technologiques ne sont pas figées. Pour ce faire, nous utilisons la base de donnée *Derwent Biotechnology Abstracts* (DBA), recensant l'ensemble des dépôts de brevets de biotechnologies dans plus de quarante autorités administratives, depuis 1982. Dans la version DBA de 2000, plus de 90 000 brevets sont ainsi recensés. Sur la période 1982-2000, le nombre de brevets déposés a crû d'année en année, à l'exception des années 1998, 1999 et 2000. Ces trois années sont le résultat du temps nécessaire au recensement des brevets. Aussi notre analyse se limite-t-elle à la période 1982-1997, comptant 80 163 brevets. Chaque brevet est décrit par son année d'invention, l'organisation bénéficiant de la propriété intellectuelle, puis par un vecteur de trente classes technologiques, prenant la valeur 1 si la technologie  $i$  est utilisée dans le brevet, 0 sinon.

Par exemple, si les technologies A et B sont utilisées ensemble dans le brevet  $P$ ,  $P$  est décrit par le vecteur  $l = \{1,1,0\dots 0\}$ <sup>1</sup>. La matrice  $\Omega'$  est symétrique, avec  $n \times (n-1) \div 2 = 435$  complémentarités technologiques possibles. Cette matrice est le résultat de l'ensemble des brevets de biotechnologies dans le monde déposés par une grande variété d'agents (universités, instituts de recherche, entreprises essentiellement). D'une certaine manière, la matrice  $\Omega'$  représente l'ensemble des *complémentarités technologiques objectivées*, résultat d'une grande variété d'agents présents dans le domaine des biotechnologies.

Munis de cette information sur les complémentarités technologiques, nous mesurons pour une firme donnée la complémentarité moyenne de chaque technologie  $i$  vis-à-vis de l'ensemble des autres technologies présentes dans la firme, pondérée par le nombre de brevets  $p_j$  ( $i \neq j$ ) détenus par la firme. Il s'agit donc d'une mesure de la complémentarité espérée de la technologie  $i$  avec toute autre technologie  $j$  tirée au hasard dans la firme. Cette mesure  $WAR_i$  (*weighted average relatedness*) de la technologie  $i$  peut être positive ou négative. Si elle est positive (négative), alors la technologie  $i$  est considérée comme étant (peu ou pas) complémentaire à l'ensemble des autres technologies de la firme. Ainsi, si une firme développe des compétences dans cinq classes technologiques DBA, cinq mesures  $WAR$  sont calculées. Enfin, le degré d'intégration technologique ou cohérence technologique d'une firme est la simple moyenne pondérée ces mesures  $WAR$ :

$$I = \sum_{i=1}^{i=30} (WAR_i \times f_i) \quad \text{où} \quad WAR_i = \frac{\sum_{j \neq i} \tau_{ji} P_j}{\sum_{j \neq i} P_j} \quad \text{et} \quad f_i = \frac{P_i}{\sum_i P_i} \quad (5)$$

L'équation (5) représente le degré de complémentarité moyen de toute technologie tirée au hasard avec l'ensemble des autres technologies de la firme, étant donnée la matrice  $\Omega'$  de complémentarité technologique objectivée. Cette mesure peut être positive ou négative. Si cette mesure est positive, alors le portefeuille technologique de la firme est considéré cohérent, c'est-à-dire conforme aux complémentarités technologiques objectivées. Si  $I$  est négatif, le portefeuille technologique est considéré comme incohérent, i.e. non conforme à l'univers technologique tel qu'il est retranscrit par la matrice  $\Omega'$ . La mesure  $I$  d'intégration technologique peut être calculée pour chaque firme et pour chaque année. Il s'agit d'un scalaire que nous pouvons utiliser comme variable dans les techniques économétriques standards afin d'en tester la validité économique. Nous proposons que, puisque les coûts de coordination sont plus faibles dans les firmes technologiquement intégrées, les marchés boursiers identifient ces firmes comme étant davantage profitables. Il existe donc une relation positive entre le degré d'intégration technologique des firmes et leur valeur boursière.

1. Pour un brevet, un maximum de six technologies peut être mentionné, équivalant à 768,211 combinaisons technologiques possibles.



### 3. La fonction de valorisation boursière

#### 3.1. Le modèle

Nous nous concentrons exclusivement sur l'intuition suivante: deux firmes au capital de connaissances équivalent peuvent avoir des valeurs boursières différentes reflétant l'hétérogénéité des firmes quant à leur propension à intégrer leur portefeuille technologique. Tout comme Griliches (1981), Salinger (1984) et Jaffe (1986), nous adoptons une représentation simplifiée de la valeur boursière de la firme  $V$ , comme étant une fonction linéaire du capital tangible  $C$  et du capital intangible comme suit:

$$V_{nt} = q_{nt} \cdot [C_{nt} + (\gamma_{nt} + \tau \cdot i_{nt}) \cdot K_{nt}] \quad (6)$$

où les indices  $n$  et  $t$  représentent respectivement la firme et l'année,  $q$  est le prix d'une unité de capital tangible et intangible,  $K$  représente le capital de connaissances et  $i$  représente le (log du) degré d'intégration technologique. L'équation (6) signifie que le capital de la firme valeur boursière d'une firme peut varier substantiellement suivant le degré d'intégration technologique. Si  $i = 0$ , le capital de la firme équivaut à la somme du capital tangible et du stock de connaissances ( $C + \gamma K$ ). Si  $i \neq 0$ , alors le capital de la firme devient ( $C + \gamma K + \tau (K \times i)$ ). Les paramètres  $\gamma$  et  $\tau$  sont les paramètres à estimer associés au stock de connaissances  $K$  et au degré d'intégration  $i$ . Notons qu'aucun paramètre n'est associé à  $C$ , ce qui équivaut à faire l'hypothèse de rendement d'échelle constant entre le stock de capital et la fonction de valorisation boursière de la firme. En somme, l'équation (6) stipule que la valeur boursière de la firme  $n$ ,  $n = 1, \dots, N$  au temps  $t = 1, \dots, T$ , dépend de la somme pondérée des actifs tangibles  $C$  et des actifs intangible  $K \times (1 + i)$ . Ces actifs ont un prix d'acquisition  $q$  tels que:

$$q_{nt} = A \cdot \Pi_{nt}^{\beta} \cdot R_{nt}^{\lambda} \cdot \exp(u_{nt}) \quad (7)$$

où  $A$  est une constante,  $\Pi$  et  $R$  représentent respectivement le profit et l'intensité de recherche de la firme  $n$  au temps  $t$ . Les paramètres  $\beta$  et  $\lambda$  sont les paramètres à estimer associés au profit et à l'intensité de recherche de la firme. En substituant  $q$  par l'équation (7), en divisant par  $C$ , en prenant ensuite la transformée logarithmique et en faisant l'approximation  $\log(1+x) = x$ , il vient:

$$(v-c)_{nt} = a + \beta \cdot \pi_{nt} + \lambda \cdot r_{nt} + \gamma \cdot \left(\frac{K}{C}\right)_{nt} + \tau \cdot \left(\frac{K}{C} \times i\right)_{nt} \quad (8)$$

où la variable dépendante  $(v - c)$  n'est autre que le (log du)  $Q$  du Tobin ( $V/C$ ), et les termes  $\gamma$ ,  $\tau$ ,  $\beta$  et  $\lambda$  sont les paramètres à estimer. Les deux premiers représentent les élasticités de la valeur boursière par rapport respectivement au profit et aux dépenses de R&D. Les deux derniers représentent l'effet marginal du capital de connaissances et du

degré d'intégration technologique sur la valeur boursière de la firme. L'équation (8) est celle que nous désirons estimer, mais nous devons préciser les trois éléments suivants. Premièrement, les variables  $(K/C)$  et  $(K/C \times i)$  sont hautement corrélées, ce qui produit des estimations inconsistantes et inefficaces. Nous préférons donc utiliser la variable  $K$  plutôt que  $(K/C)$ . Deuxièmement, puisque  $K$  et  $I$  saisissent des caractéristiques intangibles de la firme, leurs valeurs restent dépendantes de la métrique choisie pour les mesurer. Aussi choisissons-nous d'utiliser les valeurs standardisées du capital de connaissances et du degré d'intégration, afin de rendre les paramètres estimés directement comparables. Enfin, nous décomposons le terme d'erreur  $u_{it}$  en trois composantes  $\eta_n$ ,  $\varphi_t$  et  $v_{nt}$ , où  $\eta_n \sim IID(0, \sigma_\eta^2)$  est un scalaire  $1 \times 1$  étant le terme d'hétérogénéité non observée de la firme  $n$ ,  $\varphi_t \sim IID(0, \sigma_\varphi^2)$  un scalaire  $1 \times 1$  représentant l'effet fixe du temps et  $v_{nt} \sim IID(0, \sigma_v^2)$  et le bruit blanc, où  $v_{nt} = u_{it} - \eta_n - \varphi_t$ .

### 3.2. Les données

L'estimation économétrique de l'équation (8) exige que nous disposions de variables autres que celles concernant de degré d'intégration technologique de la firme. Nous mesurons le capital de connaissances  $K$  par la méthode de l'inventaire permanent du stock de brevets cumulés en utilisant un taux d'obsolescence des connaissances de 15 % par an (Hall, 1993; Hall et al., 2000) :  $K_{nt} = p_{nt} + (1 - \delta) \cdot K_{nt-1}$ , où  $p$  représente le nombre de demande de brevets de la firme  $n$  au temps  $t$  et  $\delta$  représente le taux d'obsolescence des connaissances. Nous utilisons les mesures de R&D intensité, plutôt que les dépenses de R&D, pour indiquer l'intensité d'exploitation du capital intangible. Les données sur les dépenses de R&D, sur le profit d'exploitation  $\Pi$ , sur la capitalisation boursière  $V$  et les actifs réels  $C$  sont issues de *Worldscope Global Researcher* (WGR), de 1989 à 1997. Toutes ces variables ont été déflatées en US dollar constants de 1990 en utilisant le déflateur des prix implicites du département du commerce américain, *Bureau of Economic Analysis*. Les tableaux 1 et 2 présentent les statistiques descriptives et la matrice de corrélation des variables utilisées dans ce travail.

Le modèle empirique est estimé à partir de quatre-vingt-quatre firmes actives dans les biotechnologies. Ces firmes ont été sélectionnées à partir de l'intersection des ensembles définis par la base de données DBA sur les brevets en biotechnologies et la base de données WGR. L'échantillon est composé de trente trois firmes pharmaceutiques, dix-sept firmes de l'industrie chimique et douze firmes issues de l'industrie agroalimentaire. Comme nous l'avons précédemment précisé, ces trois industries sont les principales bénéficiaires de l'essor des biotechnologies. Ces dernières représentent une réelle opportunité technologique, tant pour mettre au point de nouveaux procédés de production que pour introduire sur le marché des biens incorporant les biotechnologies (Orsenigo, 1989).

## 1. Statistiques descriptives de l'échantillon (période 1989-1997)

 Nombre d'observations =  $N \times T = 709$ 

Variabes	Moyenne	Écart type	Minimum	Maximum
V	9 006 474,00	$1,35 \times 10^7$	9 836,70	$9,95 \times 10^7$
C	6 046 695,00	7 460 181,00	4 422,20	$3,62 \times 10^7$
$\Pi$	620 021,00	920 055,00	- 426 524,90	4 510 622,00
R	324 234,00	389 324,60	858,50	1 918,85
K	75,60	69,05	2,08	491,53
I	3,18	5,54	- 6,35	35,13

## 2. Matrice des corrélations (période 1989-1997)

 Nombre d'observations =  $N \times T = 709$ 

Variabes	V	(V/C)	$\Pi$	R	K	I
V	1,000	0,213	0,862	0,787	0,324	- 0,107
(V/C)		1,000	0,086	0,026	- 0,013	0,429
$\Pi$			1,000	0,761	0,197	- 0,181
R				1,000	0,315	- 0,165
K					1,000	- 0,170
I						1,000

N : Nombre de firmes

V : Valeur boursière (Millions de dollars US constants de 1990)

C : Actifs réels (Valeur de remplacement - Millions de dollars US constants de 1990)

 $\Pi$  : Profit d'exploitation (Millions de US dollars constants de 1990)

R : Dépenses de recherche et développement (Millions de dollars US constants de 1990)

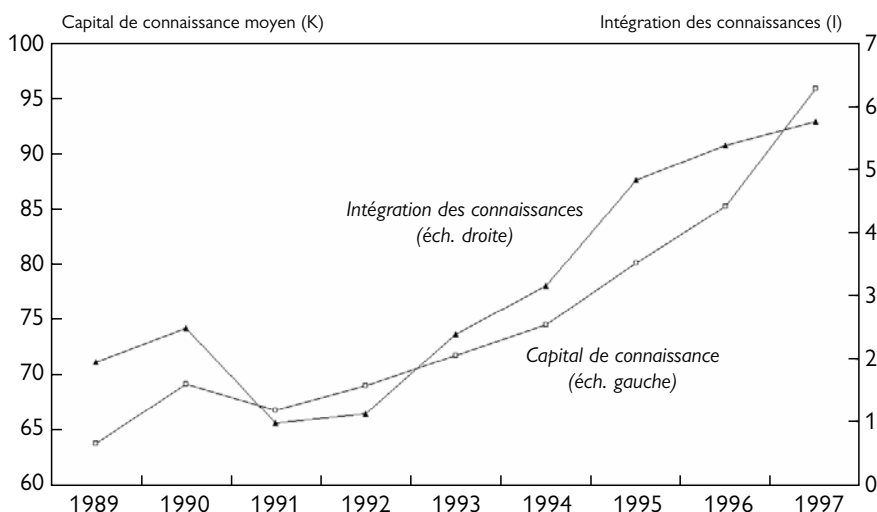
K : Capital de connaissances

I : Intégration des connaissances.

Source : Calculs des auteurs.

Enfin, notre échantillon est constitué de 22 NEB, c'est-à-dire de firmes créées expressément sur leurs compétences biotechnologiques distinctes. Ces 22 firmes représentent un échantillon particulier des NEB. En effet, la plupart des NEB a rencontré maintes difficultés dans leur stratégie d'intégration, devant dès lors se positionner en partenaires des activités de recherche des grandes firmes, davantage que comme leurs concurrentes. Aussi les accords de collaboration entre NEB et grandes firmes se sont-ils multipliés, assurant aux NEB des revenus immédiats (Arora et Gambardella, 1994b). Ceci a eu pour conséquence de retarder, voire annuler, les stratégies d'introduction en Bourse si bien qu'aujourd'hui, la plupart des NEB reste détenues par des capitaux privés. Or, l'exercice même de ce papier suppose de disposer de firmes dites publiques puisque sur les marchés boursiers. Les NEB de notre échantillon ont sont généralement américaines, plus âgées que la plupart des NEB et de plus grandes tailles puisque au-delà de 1 000 employés en fin de période (1997). Au total, nous avons un échantillon non équilibré de 709 observations composé de 84 firmes.

1. Accumulation et intégration des connaissances des firmes de biotechnologies



Source : Calculs des auteurs.

Le graphique 1 retrace l'évolution du stock de capital et du degré d'intégration technologique de 1989 à 1997. Nous observons une croissance des deux variables après 1992 seulement, suggérant qu'accumulation et intégration technologique vont de pair. Ce constat est cohérent avec notre connaissance des biotechnologies qui ont vu arriver un ensemble de technologies nodales au début des années 1990: les anticorps monoclonaux pour le diagnostic, la PCR permettant de répliquer à l'infini de brins infimes d'ADN, la bio-informatique permettant de modéliser les molécules d'ADN. Cet ensemble de technologies, arrivées entre 1988 et 1992, a posé les bases d'une accumulation technologique à la fois plus intense et plus cohérente.

## 4. La valeur des bases de connaissances intégrées

### 4.1. Résultats préliminaires

Le tableau 3 présente les résultats des paramètres de l'équation (8) utilisant différents estimateurs: les moindres carrés ordinaires (MCO); les MCO avec effet fixe des firmes prenant en compte l'hétérogénéité non observée des firmes; le modèle autorégressif d'ordre 1 où le facteur commun  $\rho \in [0;1]$  est une estimation de la corrélation sérielle des données longitudinales; la méthode des moments généralisés (MMG), contrôlant la corrélation de la variable dépendante retardée

avec le terme d'erreur (Arellano et Bond, 1991 ; Kiviet, 1995). L'objectif de l'utilisation de ces différentes spécifications est de tester la robustesse des résultats vis-à-vis de l'introduction de variable explicative nouvelle comme l'intégration technologique.

### 3. Les déterminants de la valeur boursière des firmes de biotechnologies

Variable à expliquer : Log de Q de Tobin

	MCO (1)	MCO Effet fixe (2)	MCO Autorégressif (3)	MMG (4)
Profit	0,284 [0,031]***	0,186 [0,095]*	0,154 [0,113]	0,054 [0,127]
Intensité de R&D	0,179 [0,037]***	0,198 [0,063]***	0,147 [0,063]**	0,321 [0,081]***
Capital de connaissances	0,076 [0,017]***	0,097 [0,041]**	0,051 [0,051]	0,084 [0,143]
Intégration du C <sup>ai</sup> de connaissances	0,018 [0,030]	0,056 [0,026]**	0,089 [0,030]***	0,095 [0,040]**
Constante	- 3,073 [0,487]***	- 1,485 [1,316]	- 1,234 [0,614]**	0,048 [0,011]***
Nombre d'observations	709	709	625	374
Coefficient de détermination	0,487	0,145	0,018	
Sargan				75,26
Wald				124,80
AR1				- 2,58
AR2				- 1,518

Erreur standard entre parenthèses. \* Significatif à 10 % ; \*\* Significatif à 5 % ; \*\*\* Significatif à 1 %.

Tous les modèles comprennent un vecteur complet de variables muettes d'année. MCO se réfère aux moindres carrés ordinaires. MMG se réfère à la méthode des moments généralisés. La spécification MMG comprend 374 observations avec un retard de 3 années. Les variables comptables sont considérées comme endogènes et les variables d'actifs intangibles sont considérées comme prédéterminées. Les variables muettes d'année sont utilisées comme instrument. Les paramètres estimés se réfèrent à la première étape de la MMG, alors que les statistiques de Sargan, AR1 et AR2 se réfèrent à la seconde étape. Toutes les erreurs standard sont ajustées pour l'hétéroscédasticité en utilisant la correction de White.

Source : Calculs des auteurs.

Nous faisons les observations suivantes. Premièrement, les paramètres estimés associés aux variables traditionnelles de profit et de recherche sont positifs, bien que dans les spécifications dynamiques des colonnes (3) et (4), l'effet estimé du taux de croissance du profit sur la valorisation boursière ne soit pas significatif. Dans la colonne (2), nous observons qu'en moyenne, une croissance de 1 % du profit d'exploitation entraîne une croissance de 0,186 % de la valeur boursière de la firme. De même en moyenne, une croissance de 1 % de l'intensité de recherche de la firme est associée à une croissance de 0,2 % de la valeur boursière de la firme. Sachant que  $q = \log(V/C)$ ,  $\beta = (\partial V/V)/(\partial \Pi/\Pi)$  et  $\lambda = (\partial V/V)/(\partial R/R)$ , nous dérivons l'effet espéré d'un dollar supplé-

mentaire de profit et de dépenses de R&D sur la valeur boursière. Nous trouvons que 1 dollar supplémentaire de profit augmente la valeur boursière de la firme de 2,70 dollars, alors que 1 dollar supplémentaire d'investissement en recherche accroît la valeur boursière de 5,50 dollars. Ces effets marginaux estimés sont supérieurs à ceux de Connolly et Hirschey (1988) puis de Griliches (1981) qui ont trouvé qu'un dollar supplémentaire investi en recherche entraîne une croissance de la valeur boursière de la firme de 3,60 puis de 2 dollars respectivement. Ces résultats sont toutefois cohérents avec l'idée que dans des secteurs de haute technologie, une partie importante de la valeur des firmes provient de leurs savoirs scientifiques et techniques.

Deuxièmement, nous observons que le capital de connaissances et l'intégration technologique sont positivement associés à la valeur boursière des firmes, bien que les niveaux de significativité des paramètres estimés change d'une spécification à l'autre. L'effet conjoint du capital de connaissance et de l'intégration technologique devient significatif une fois que nous prenons en compte l'hétérogénéité non observée de firmes actives dans le domaine des biotechnologies, suggérant que les firmes développent différents niveaux d'intégration technologique. Ces observations corroborent notre intuition initiale: la diversification du portefeuille technologique des firmes doit s'appuyer sur des complémentarités technologiques existantes. Elles facilitent leur coordination, donc leur intégration, et se reflètent dans la fonction de valorisation boursière des firmes de biotechnologies. Nos résultats sont également cohérents avec ceux de Scott et Pascoe (1987) puis de Scott (1993), montrant que les processus de diversification marchande et technologique des firmes sont loin de suivre une marche aléatoire. Bien au contraire, les firmes optent pour des diversifications tirant parti des similarités marchandes et complémentarités technologiques. De nouveaux, ces travaux montrent que ces processus non aléatoires déterminent positivement la performance économique de la firme. Notre étude montre bien que dans les biotechnologies, les marchés boursiers valorisent l'intégration technologique tout autant que le capital technologique.

## 4.2. Décomposition sectorielle

La relation statistique entre ressources intangibles et valeur boursière identifiée dans la section précédente est susceptible de varier d'un secteur à l'autre, reflétant ainsi les succès contrastés des biotechnologies selon leur secteur d'application. Dans cette section, nous explorons la stabilité des paramètres estimés en décomposant l'échantillon par secteur d'activité. Le tableau 4 présente les moyennes de chaque variable par type de secteur. En outre, une analyse de la variance suggère que pour chaque variable, il existe des différences intersectorielles significatives.

## 4. Décomposition sectorielle des variables mobilisées (valeur moyennes 1989-1997)

Secteurs	N	V	C	(V/C)	IT	R	(R/C)	K	I
Firmes de biotechnologies	22	1 145,6	327,3	3,240	21,8	59,5	0,237	45,013	8,079
Pharmacie	33	14 400,0	6 647,4	2,061	900,3	485,5	0,079	79,601	3,015
Chimie	17	7 850,9	10 200,0	0,800	698,0	417,4	0,037	92,218	1,156
Agroalimentaire	12	7 552,9	7 006,8	1,105	633,4	143,4	0,028	86,637	-0,783
Tous secteurs	(84)	9 006,5	6 046,7	1,912	620,0	324,2	0,097	75,601	3,185
Statistique de Fisher <sup>a</sup>		40,16	60,18	89,54	36,62	65,96	208,26	15,46	91,71
Coefficient de détermination		0,146	0,204	0,276	0,135	0,220	0,470	0,062	0,281

a. Significatif au niveau 1 %.

N : Nombre de firmes

V : Valeur boursière (Millions de dollars US constants de 1990)

C : Actifs réels (Valeur de remplacement - Millions de dollars US constants de 1990)

IT : Profit d'exploitation (Millions de US dollars constants de 1990)

R : Dépenses de recherche et développement (Millions de dollars US constants de 1990)

(R/C) : Intensité de R&D

K : Capital de connaissances

I : Intégration des connaissances.

Source : Calculs des auteurs.

Un examen rapide du tableau 4 montre que les firmes de biotechnologies sont en moyenne plus petites en termes de capitalisation boursière ( $V$ ), d'actifs réels ( $C$ ), de profit ( $II$ ) et de dépenses de R&D ( $R$ ). Toutefois en termes relatifs les firmes de biotechnologies sont mieux valorisées ( $V/C$ , *i.e.* le  $Q$  de Tobin) et ont une intensité de recherche ( $R/C$ ) plus forte que dans les autres industries (23,7 %). Ce constat fait écho aux attentes considérables émanant des capitaux-risqueurs et des marchés financiers dédiés aux hautes technologies (*e.g.* NASDAQ, EASDAQ, etc.) sur le potentiel économique des biotechnologies. En effet durant les années 1990, les NEB sont encore perçues comme le véhicule essentiel de transformation des inventions biotechnologiques en innovation marchande. De leur côté, les compagnies pharmaceutiques ont de loin la capitalisation boursière la plus importante, bien que les firmes de l'industrie chimique aient des actifs tangibles plus importants. En somme, les marchés boursiers valorisent davantage les entreprises pharmaceutiques que celles issues des industries chimique ou agroalimentaire. Ces propos illustrent les attentes importantes des marchés boursiers quant aux applications potentielles des biotechnologies dans les domaines de la santé humaines ou vétérinaires.

Concernant les variables liées aux actifs intangibles, nous observons que les firmes de la chimie ont un capital de connaissances plus important, alors que les firmes de biotechnologies ont un degré d'intégration technologique plus important. Remarquons que la décomposition sectorielle est nettement plus informative pour l'intégration technologique que pour le stock de connaissances (statistique de Fisher et Coefficient de détermination), suggérant que l'intégration technologique est spécifique au secteur, car les combinaisons technologiques doivent en dernier ressort refléter les applications finales. En résumé, le tableau 4 souligne la singularité des firmes de biotechnologies en terme de taille et de capital intangible vis-à-vis des autres secteurs. Elles sont plus valorisées, font davantage de recherche et exhibent un degré de d'intégration technologique plus important.

Le tableau 5 présente, par secteur, les paramètres estimés de l'équation (8) par la méthode des MCO avec effet fixe des firmes. Ces résultats illustrent la diversité intersectorielle des applications biotechnologiques. De nouveau, les entreprises de biotechnologie se singularisent. L'intégration technologique est la seule variable qui contribue positivement à la valeur boursière de la firme, alors que les profits d'exploitation et le capital de connaissances y contribuent négativement. Bien que contre intuitifs de prime abord, ces résultats sont pourtant cohérents avec le fait que nombre de NEB ont eu des résultats d'exploitation négatifs et n'ont pu se financer qu'en vertu de la confiance des investisseurs en leur potentiel innovateur, *i.e.* leur capacité à générer des innovations futures profitables. De toute évidence, les investisseurs ont accepté des pertes immédiates dans la perspective de profit positif



à moyen terme. Ce constat souligne le rôle particulier des NEB comme intermédiaire situé entre la découverte scientifique et l'innovation. Ces NEB doivent se spécialiser dans des niches thérapeutiques et combiner des technologies de manière cohérente afin d'en développer de nouvelles applications.

5. Les déterminants de la valeur boursière des firmes de biotechnologies  
 Disparités sectorielles  
 Moindres carrés ordinaires avec effets fixes des firmes (LSDV)

Variable à expliquer : Log de Q de Tobin

	Biotechnologie (5)	Pharmacie (6)	Chimie (7)	Agroalimentaire (8)
Profit	-1,323 [0,434]***	0,952 [0,131]***	0,062 [0,105]	-0,063 [0,392]
Intensité de R&D	-0,145 [0,135]	0,383 [0,078]***	0,645 [0,150]***	0,497 [0,283]*
Capital de connaissances	-0,329 [0,129]**	0,113 [0,045]**	0,076 [0,117]	0,356 [0,145]**
Intégration du C <sup>a</sup> de Conn.	0,088 [0,037]**	1,356 [0,632]**	0,417 [0,498]	1,702 [1,284]
Constante	16,955 [5,599]***	-10,979 [1,816]***	1,363 [1,627]	3,448 [5,418]
Nombre d'observations	159	292	152	106
Nombre de firmes	22	33	17	12
Coefficient de détermination	0,392	0,419	0,383	0,443

Erreur standard entre parenthèses. \* Significatif à 10 % ; \*\* Significatif à 5 % ; \*\*\* Significatif à 1 %.

Tous les modèles comprennent un vecteur complet de variables muettes d'année.

Source : Calculs des auteurs.

Les paramètres estimés pour les firmes pharmaceutiques sont tout aussi intéressants. Les paramètres sont tous positifs et significatifs : les firmes pharmaceutiques les plus profitables sont davantage valorisées. De même, dans une concurrence de type schumpéterienne, i.e. basée sur l'innovation technologique, les firmes exécutant davantage de recherche, et dédiant une partie importante de leurs ressources à l'accumulation et l'intégration de leurs connaissances biotechnologiques sont mieux cotées. Quant aux grandes firmes chimiques et agroalimentaires, elles sont dans des positions intermédiaires. L'intensité de R&D est le déterminant principal de leur valeur boursière, alors que dans l'agroalimentaire, le capital de connaissances en est également un déterminant positif et significatif. La non-significativité du degré d'intégration technologique illustre le retard important de ces industries dans l'adoption et surtout l'application des biotechnologies dans ces domaines d'activité. Nous revenons sur ce point dans la sous-section suivante.

### 4.3. Changements structurels

Les résultats précédents partent de l'hypothèse d'absence de changement structurel dans les processus d'adoption et d'exploitation des biotechnologies. Or, l'arrivée d'un ensemble de technologies liées à l'exploitation des biotechnologies dans les activités de recherche et de production a potentiellement modifié la fonction de valorisation des firmes. S'il était concevable de ne pas investir dans la bio-informatique à la fin des années 1980, il est probable qu'un retard significatif de son adoption et son intégration soit sanctionné par les investisseurs boursiers. Nous testons la présence de changement structurel de la fonction de valorisation en groupant les observations en deux groupes : nous définissons la variable muette  $D_{89-93}$  étant égale à l'unité si l'observation est effectuée avant ou en 1993, 0 sinon, puis la variable muette  $D_{94-97}$  étant égale à l'unité si l'observation est strictement postérieure à 1993, 0 sinon. Nous multiplions ensuite les variables explicatives par  $D_{89-93}$  et  $D_{94-97}$  respectivement et les introduisons comme régresseurs dans l'équation (8) comme suit :

$$(v-c)_{nt} = a + \left( \beta \cdot \pi_{nt} + \lambda \cdot r_{nt} + \gamma \cdot K_{nt} + \tau \cdot \left( \frac{K}{C} \times i \right)_{nt} \right) \times D_{89-93} + \left( \beta \cdot \pi_{nt} + \lambda \cdot r_{nt} + \gamma \cdot K_{nt} + \tau \cdot \left( \frac{K}{C} \times i \right)_{nt} \right) \times D_{94-97} \quad (9)$$

Le tableau (6) présente les paramètres estimés de l'équation (9) pour l'ensemble de l'échantillon (colonne 9), puis en distinguant les NEB (colonne 10), les entreprises pharmaceutiques (colonne 11), les firmes chimiques (colonne 12) et agroalimentaires (colonne 13). Au début des années 1990, l'intensité de recherche et le capital de connaissances sont des déterminants importants de la valeur boursière des firmes mobilisant les biotechnologies (colonne 9). Dans la seconde partie des années 1990, nous observons que les paramètres associés aux profits d'exploitation et à la cohérence technologiques croissent et deviennent significatifs. Dans le même temps, l'effet estimé de l'intensité de recherche et du capital de connaissances, bien qu'ils demeurent positifs et significatifs, diminue. Ce trend général est l'illustration d'un changement important des investisseurs dans les attentes liées à l'exploitation des biotechnologies. En début de période, les investisseurs financent des projets de recherche à long terme alors qu'en fin de période, ils s'intéressent davantage à la profitabilité des firmes et à l'intégration des biotechnologies dans un dispositif productif cohérent et surtout rentable.

6. Les déterminants de la valeur boursière des firmes de biotechnologies  
 Changement structurel et disparités sectorielles  
 Moindres carrés ordinaires avec effets fixes des firmes (LSDV)

Variable à expliquer : Log de Q de Tobin

	Tous secteurs (9)	Biotech. (10)	Pharma. (11)	Chimie (12)	Agro-ali. (13)
Profit $\times D_{89,93}$	0,122 [0,103]	- 0,920 [0,646]	0,844 [0,155]***	- 0,072 [0,108]	0,184 [0,373]
Intensité de R&D $\times D_{89,93}$	0,138 [0,067]**	- 0,101 [0,158]	0,362 [0,079]***	0,730 [0,146]***	0,414 [0,267]
Capital de connaissances $\times D_{89,93}$	0,167 [0,050]***	- 0,145 [0,308]	0,058 [0,060]	0,117 [0,118]	0,336 [0,151]**
Intégration du $C^{\text{al}}$ de Conn. $\times D_{89,93}$	- 0,056 [0,043]	0,066 [0,064]	2,190 [0,982]**	0,618 [0,673]	2,180 [1,171]*
Profit $\times D_{94,97}$	0,238 [0,097]**	- 1,246 [0,462]***	0,844 [0,148]***	0,239 [0,116]**	0,491 [0,369]
Intensité de R&D $\times D_{94,97}$	0,131 [0,065]**	- 0,167 [0,160]	0,350 [0,123]***	0,598 [0,147]***	0,165 [0,266]
Capital de connaissances $\times D_{94,97}$	0,076 [0,041]*	- 0,300 [0,136]**	0,119 [0,047]**	0,024 [0,110]	0,315 [0,178]*
Intégration du $C^{\text{al}}$ de Conn. $\times D_{94,97}$	0,091 [0,029]***	0,090 [0,046]*	0,680 [1,084]	1,094 [0,996]	3,878 [1,413]***
Constante	- 0,782 [1,411]	11,960 [8,311]	- 9,326 [2,136]***	3,553 [1,623]**	- 0,070 [5,053]
Nombre d'observations	709	159	292	152	106
Nombre de firmes	84	22	33	17	12
Coefficient de détermination	0,172	0,398	0,439	0,480	0,588

Erreur standard entre parenthèses. \* Significatif à 10 % ; \*\* Significatif à 5 % ; \*\*\* Significatif à 1 %.

Tous les modèles comprennent un vecteur complet de variables muettes d'année.

Source : Calculs des auteurs.

Ce changement général doit être affiné à des estimations spécifiques aux secteurs. En dynamique, l'impact du degré d'intégration des biotechnologies décroît pour les firmes pharmaceutiques, alors qu'il croît pour les NEB (colonnes 10 et 11). Ceci illustre le rôle de développeurs de biotechnologies joués par les NEB. En fin de compte, quel qu'ait pu être la stratégie initiale des NEB (visant notamment à se positionner en concurrent direct des grandes firmes pharmaceutiques), les NEB sont positionner comme complémentaires aux entreprises de la pharmacie, plutôt que comme substitut (Pyka et Saviotti, 2002). Aujourd'hui, les NEB doivent se positionner sur des marchés de niche, typiquement des domaines thérapeutiques étroits, et situer les activités de R&D en amont et en compléments des grandes firmes. Ceci est cohérent avec le constat d'une croissance de l'intégration technologique

des firmes. En revanche, les grandes entreprises pharmaceutiques ont diversifié de manière significative les classes thérapeutiques auxquelles elles se destinent. Pour ce faire, elles ont eu un recours accru à l'externalisation de leurs activités de recherches amont: elles ont confiés une partie de leurs projets de recherche fondamentale aux NEB et ont diversifiées leur bases de connaissances. Dans l'ensemble, l'évolution inverse des paramètres estimés illustre bien la nouvelle division du travail dans les activités d'innovation entre NEB et grandes firmes pharmaceutiques. Les premières explorent et développent des nouvelles pistes de recherche alors que les dernières adoptent et coordonnent une grande variété de projet de recherche en biotechnologies.

Dans l'industrie chimique (colonne 12), l'évolution est conforme à celle de l'ensemble de l'échantillon: le rôle de la profitabilité et de l'intégration des connaissances augmente alors que celui de la recherche et du capital de connaissances diminue. Pourtant, les variables relatives au capital et à l'intégration des connaissances de biotechnologies demeurent non significatives. Selon nous, cela illustre le retard de l'exploitation (profitable) des biotechnologies relativement aux applications médicales et à l'intégration inégales des biotechnologies dans les procédés chimiques de production. Cette dernière interprétation nous semble davantage valide, dans la mesure où l'industrie chimique regroupe des firmes extrêmement diversifiées quant à leurs débouchés. Dans la chimie, les biotechnologies (principalement l'enzymologie) présentent un ensemble d'opportunités marchandes, allant de la production de pesticides respectueux de l'environnement à la biocatalyse. Nous interprétons la non-significativité du paramètre associé au degré d'intégration comme l'expression de la grande variété d'usage des biotechnologies dans l'industrie chimique.

Les résultats pour l'industrie agroalimentaire (colonne 13) sont également cohérents avec l'évolution d'ensemble. Le degré d'intégration des connaissances croît sur la période, alors que les variables issues des comptes de résultats (profit d'exploitation et intensité de recherche) ne sont pas significatives. Ceci suggère une intégration croissante sur la période analysée des biotechnologies dans les procédés de fabrication agroalimentaire et dans leurs produits finis. Pourtant, nous restons dubitatif quant à la validité de ces résultats après 1997. Si les biotechnologies ont permis la mise au point d'organismes génétiquement modifiés (OGM), elles se sont heurtées à une hostilité croissante de la demande finale.

## 5. Conclusion

Cet article a examiné la relation entre la valeur boursière des firmes de biotechnologie et leur capital intangible. Nous avons défini ce dernier par deux caractéristiques: son stock de connaissances et son degré d'intégration technologique. Nous avons montré que dans les biotechnologies, l'intégration technologique est un déterminant significatif de la valeur boursière des firmes. Ces résultats confirment la valeur économique de l'intégration technologique. Celle-ci croît avec l'identification croissante des complémentarités technologiques les plus profitables. Alors que le capital de connaissances est important, la manière dont les firmes combinent leur portefeuille technologique est également valorisée par les marchés financiers.

L'interprétation d'ensemble est finalement assez simple: avec le développement des biotechnologies, les services productifs qu'elles sont susceptibles de rendre et les conditions de leur mise en œuvre deviennent de mieux en mieux identifiés. Cet apprentissage est effectué à la fois par les firmes, dans le cadre de leurs activités productives, mais également par les investisseurs institutionnels, tels que les capitaux-risqueurs et les marchés boursiers. Ces derniers doivent avoir une appréciation au moins tacite des déterminants de l'intégration technologique. Au fur et à mesure que les biotechnologies révèlent leurs potentialités économiques, les investisseurs gagnent une connaissance intime des conditions de leur exploitation les plus profitables.

Nos résultats montrent enfin que la fonction de valorisation des firmes n'est constante ni entre industries ni en dynamique. L'une des raisons majeures réside dans le fait que, premièrement, les conditions d'usage des technologies se modifient en dynamique, et deuxièmement, cette dynamique est spécifique au secteur. À l'instabilité initiale du régime technologique succède une connaissance croissante des combinaisons technologiques les plus profitables. Les firmes, de même que les marchés boursiers, font l'apprentissage de la technologie de manière séquentielle: une période d'exploitation des technologies, *i.e.* accumulation et intégration technologique, succède à un temps d'exploration technologique.

## Références bibliographiques

- ABRAMOWITZ M. et P.A. DAVID, 1996 : Technical change and the rise of intangible investments: The US economy growth-path in the twentieth century, series on: Employment and growth in the knowledge-based economy (OECD, Paris).
- ARELLANO M. et S.R. BOND, 1991 : Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to unemployment equations, *Review of Economic Studies*, 58, 277-287.
- ARORA A. et A. GAMBARDELLA, 1994a: The Changing Technology of Technological Change: General and Abstract Knowledge and the Division of Innovative Labour, *Research Policy*, 23, 523-532.
- ARORA A. et A. GAMBARDELLA, 1994b: Evaluating technological information and utilizing it: scientific knowledge, technological capability, and external linkages in biotechnology, *Journal of Economic Behavior and Organization*, 24, 91-114.
- BRESCHI S., F. LISSONI et F. MALERBA, 2003 : Knowledge-relatedness in firm technological diversification, *Research Policy*, 32, 69-87.
- CHAN L.K.C., J. LAKONISHOK et T. SOUGIANNIS, 2001 : The stock market valuation of research and development expenditures, *Journal of Finance*, 56, 2431-2456.
- CONNOLLY R.A. et M. HIRSCHHEY, 1988 : Market value and patents: a Bayesian approach, *Economics Letters*, 27, 83-87.
- DUCOS C. et P.-B. JOLY, 1988 : *Les biotechnologies*, Paris, La Découverte, 128 pages.
- GAMBARDELLA A., 1995 : Science and innovation: the US pharmaceutical industry during the 1980s (Cambridge University Press: Cambridge).
- GRILICHES Z., 1981 : Market value, R&D, and patents, *Economics Letters*, 7, 183-187.
- GRILICHES Z., 1998 : R&D and productivity. The econometric evidence (The University of Chicago Press, Chicago).
- HALL B.H., 1993 : The stock market's valuation of R&D investment during the 1980s, *American Economic Review*, 83, 259-264.
- HALL B.H., A.D. Jaffe et M. Trajtenberg, 2000 : Market value and patent citations: a first look. Working Paper E00-277 (Economics Department University of California).
- HALL R.E., 2001 : The stock market and capital accumulation, *American Economic Review*, 91, 185-202.

- JAFFE A.D., 1986 : Technological opportunity and spillovers of R&D: evidence from firms patents, profits and market values, *American Economic Review*, 76, 984-1001.
- KIVIET J.F., 1995 : On bias, inconsistency, and efficiency of various estimators in dynamic panel data models, *Journal of Econometrics*, 68, 53-78.
- NESTA L. et P.P. SAVIOTTI, 2005 : The coherence of the knowledge base and innovation in the US biopharmaceutical industry, *Journal of Industrial Economics*, 53, 123-142.
- ORSENIGO L., 1989 : The emergence of biotechnology (Palgrave Macmillan, St. Martin's Press).
- PAKES A., 1985 : On patents, R & D, and the stock market rate of return, *Journal of Political Economy*, 93, 390-409.
- PENROSE E., 1959 : The theory of the growth of the firm (Basic Blackwell, Oxford).
- PYKA A. et P.P. SAVIOTTI, 2002 : Innovation networks in biotechnology-based sectors, in: A. Pyka and G. Kuppers, eds., *Innovation networks: theory and practice* (Edward Elgar Cheltenham).
- SALINGER M.A., 1984 : Tobin's q, unionization, and the concentration-profits relationship, *Rand Journal of Economics*, 15, 159-170.
- SCOTT J.T., 1993 : Purposive diversification and economic performance. (Cambridge University Press Cambridge, New York and Melbourne).
- SCOTT J.T. et G. PASCOE, 1987 : Purposive diversification of R&D in Manufacturing, *Journal of Industrial Economics*, 36, 193-205.
- TEECE D.J., R. RUMELT, G. DOSI et S. WINTER, 1994 : Understanding corporate coherence: theory and evidence, *Journal of Economic Behavior and Organisation*, 22, 1-30.

