

# L'organisation de l'innovation technologique des entreprises : une analyse autour du concept d'exploration

The organization of companies' technological innovation: an analysis based on the concept of exploration

Didier Lebert<sup>1</sup>, François-Xavier Meunier<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Unité d'Économie Appliquée, ENSTA Paris, France, didier.lebert@ensta-paris.fr

<sup>2</sup> Chaire Économie de défense, France, francois-xavier.meunier@fdd-ihedn.fr

**RÉSUMÉ.** Cette contribution propose, à l'aide d'une représentation simple de l'organisation de l'activité d'innovation des entreprises, de mesurer le poids des innovations d'exploration et d'exploitation. L'objectif est d'étudier les déterminants structuraux associés à l'une ou l'autre des activités afin de mieux comprendre les choix des entreprises. A cette fin l'article s'appuie sur des outils issus de la théorie de la cohérence technologique appliqués aux portefeuilles de brevets des 2 000 plus grands groupes innovants au monde.

**ABSTRACT.** This contribution proposes, with the help of a simple representation of the organization of companies' innovation activity, to measure the weight of exploration and exploitation innovations. The objective is to study the structural determinants associated with one or the other of the activities in order to better understand the choices of companies. To this end, the article uses tools from the theory of technological coherence applied to the patent portfolios of the world's 2,000 largest innovative groups.

**MOTS-CLÉS.** Innovation, recherche et développement, brevets, systèmes technologiques, dilemme exploration-exploitation.

**KEYWORDS.** Innovation, research and development, patents, technological systems, exploration–exploitation dilemma.

## 1. Introduction

Les notions d'exploitation et d'exploration ont été largement employées pour décrire l'activité d'innovation des entreprises. [MAR 91] décrit la première comme une innovation ayant un but d'efficience et réductrice de variété technologique, tandis que la deuxième correspond à une prise de risque pour l'expérimentation de nouvelles voies d'innovation.

Pour identifier la part de l'innovation relevant de l'une ou l'autre des catégories, cet article mobilise les outils initialement développés pour analyser la diversification des entreprises proposés par [TEE 94]. Ces auteurs mesurent le degré de cohérence d'une entreprise en utilisant une représentation réticulaire de ses activités productives. Ainsi, deux activités sont liées entre elles (*related*) lorsqu'elles apparaissent souvent ensemble dans les portefeuilles d'activités. [NES 05], notamment, ont adapté cette mesure de la cohérence au portefeuille technologique de l'entreprise, c'est-à-dire à l'ensemble des briques de connaissances technologiques qu'elle produit. Ces briques sont repérées *via* les brevets que l'entreprise dépose. Cet article utilise ces outils pour caractériser l'activité d'innovation des entreprises. L'objectif est de mesurer le poids relatif de ses innovations d'exploration et d'exploitation et d'étudier les déterminants de ces choix.

Cette cartographie de l'organisation de la R&D de l'entreprise nous conduit à formuler et à tester empiriquement trois hypothèses. La première concerne la relation entre la diversité technologique d'une entreprise et l'intensité de ses innovations d'exploration. La deuxième hypothèse a trait à la capacité d'une entreprise à déployer une activité d'innovation exploratoire selon sa position dans le « Réseau Global de R&D » (RGRD). La troisième hypothèse énonce que les entreprises déplacent des innovations de natures différentes selon les marchés technologiques auxquels elles s'adressent.

L'exercice de cartographie et l'étude statistique de l'article porte sur les 2 000 plus grandes entreprises innovantes en termes de dépense en Recherche et Développement (R&D) regroupées au sein de la base COR&DIP [OCD 15] dont les dépôts de brevets sont étudiés à l'aide de la base PATSTAT [EPO 14].

La suite de l'article se compose de quatre sections. La première revient plus en détail sur le cadre théorique et notamment sur les notions d'innovation d'exploration et d'exploitation. A partir du cas de l'entreprise Sanofi-Aventis, la deuxième section présente les trois hypothèses qui seront par la suite testées et discutées dans les deux sections suivantes.

## 2. Positionnement théorique

[FOS 01] posent que la cohérence technologique d'une entreprise consiste à gérer efficacement un dilemme exploration / exploitation. Ce dilemme émane des différentes manières de profiter des connaissances existantes. [MAR 91] l'exprime ainsi : « *The essence of exploitation is the refinement and extension of existing competencies, technologies, and paradigms (...) The essence of exploration is experimentation with new alternatives* » (p. 71). Ce dilemme semble se résoudre dans le temps, les firmes commençant par explorer des opportunités avant d'exploiter les plus profitables [FAU 09]. Ce dilemme apparaît alors comme structurant dans le cycle de vie des technologies.

Pour mieux comprendre l'intérêt de se référer à ce dilemme pour traiter de l'innovation technologique des entreprises, il convient de préciser la théorie de la diversification qui a permis de développer ce cadre d'analyse en termes de cohérence. Elle trouve son origine dans les travaux de [PEN 59], qui souligne que la performance des firmes ne dépend pas seulement du nombre des ressources dont elle dispose, mais aussi de l'articulation de ces ressources entre elles. Une activité est alors associée à une combinaison de ressources. Or, différentes activités peuvent reposer sur des combinaisons similaires de ressources et ainsi donner lieu à des synergies entre les activités. C'est sur l'exploitation des synergies qui existent entre différentes activités que reposent les stratégies de diversification non conglomérales [CHA 62] [ANS 65].

Par ailleurs, [PEN 59] souligne que cette diversification « liée » ne se fait pas nécessairement par le biais de produits déjà existants (exploitation de synergies entre deux activités déjà connues), mais qu'elle passe aussi par la recherche d'opportunités nouvelles liées aux ressources dont elle dispose déjà. En effet, le potentiel synergétique entre les différentes ressources n'est pas une information dont les entreprises disposent toujours *a priori*. Ce n'est parfois qu'après avoir testé des combinaisons de ressources qu'elles sont en mesure de connaître précisément leur potentiel synergétique. La diversification des entreprises passe donc par un arbitrage entre les deux alternatives : exploration et exploitation.

La diversification peut alors être perçue, d'une part, comme un moyen d'optimiser l'exploitation des synergies déjà connues entre les ressources des entreprises, afin d'accroître les « liaisons » entre elles [RUM 74] [MON 79]. D'autre part, elle peut être perçue comme l'exploration de liaisons entre les ressources de l'entreprise dont le potentiel synergétique n'est pas encore connu. Ceci mène, soit à l'ajout de nouvelles activités [NES 05], soit à l'abandon de certaines combinaisons engendrant des coûts organisationnels prohibitifs [REE 91]. Il semble donc qu'il existe un optimum de diversification lié à la nature des compétences que l'entreprise mobilise et associe [MON 94].

Dans ce cadre théorique, comprendre les schémas de diversification des firmes constitue un enjeu. Or, suivant l'approche de [PENS 59], les entreprises se diversifient en fonction de la liaison entre leurs ressources, autrement dit en fonction des synergies qui existent entre elles. Plus ces synergies sont fortes, plus elles incitent les entreprises à suivre des schémas de diversification similaires. *In fine*, les activités les plus liées entre elles sont alors celles qui sont le plus souvent associées au sein d'une même entreprise [ANS 65]. C'est ce qui relève de la logique d'exploitation.

Les combinaisons de ressources plus originales relèvent de l'exploration de nouvelles combinaisons au potentiel synergétique indéterminé.

Le concept de « mou » (*slack*) proposé par [PEN 59] permet lui aussi de mieux comprendre cet arbitrage entre exploitation des liaisons existantes et exploration des liaisons dont le potentiel est incertain. Ce mou correspond à l'ensemble des liaisons possibles entre les ressources d'une entreprise et qui ne sont pas forcément exploitées par elle. Chacune peut puiser au sein de ce vivier afin d'y exploiter des combinaisons communément utilisées, ou bien pour y explorer des combinaisons inédites. Si dans la tradition de la théorie de l'X-inefficience [LEI 66] le *slack* définit directement le degré auquel la production réelle est inférieure à la production maximale pour un niveau donné d'inputs et est source dans l'entreprise d'une mauvaise allocation des ressources, pour [HER 06], suivant [CYE 63], l'innovation réclame des investissements qui vont au-delà de ceux qui sont nécessaires pour répondre aux besoins opérationnels immédiats de l'entreprise, et le *slack* organisationnel constitue une source de financement possible pour l'innovation, permettant d'acquérir et de soutenir les personnels, les équipements, la technologie et l'infrastructure nécessaires à son développement.

[DIB 10] reprennent le concept de « mou » afin d'étudier non pas la diversification mais l'innovation technologique au sein des entreprises. Ils prennent comme hypothèse que le potentiel d'innovation, comme le potentiel de diversification, est lié à leur capacité à puiser dans ce « mou », technologique en l'occurrence. Le « mou technologique » concerne pour ces auteurs exclusivement les ressources en termes de connaissances et s'observe ainsi au sein de la base de connaissances des entreprises. Il correspond à l'ensemble des liaisons possibles entre les connaissances technologiques qu'une entreprise maîtrise. Les architectures de connaissances potentielles qu'elles permettent de développer constituent, selon l'expression de [PEN 59], une « structure d'opportunité » pour l'entreprise [COH 10]. Cette structure d'opportunité détermine le potentiel d'innovation des entreprises qu'il est donc possible d'étudier au travers du dilemme exploration / exploitation.

La mesure de la cohérence des entreprises est dérivée du concept de liaison tel qu'il vient d'être décrit. Plus une entreprise diversifiée articule des compétences couramment articulées entre elles, plus elle est cohérente [TEE 94] car cela signifie que cette diversité est le fruit de l'exploitation des synergies entre des ressources complémentaires dont l'entreprise dispose. Il reste que, comme il vient d'être précisé, la mise en œuvre des liaisons est influencée par le processus dynamique du dilemme exploration - exploitation. Ainsi, le niveau de cohérence est lui-même influencé par ce tâtonnement durant le processus de diversification. Il en va de même pour la cohérence technologique durant le processus d'innovation [PIS 00].

Cela influence la manière dont est représentée la base de connaissances d'une entreprise, et ce en raison des deux propriétés majeures du processus de production des connaissances : ses aspects cumulatifs et co-relationnels [KRA 11]. Alors, si on considère la base de connaissances d'une entreprise sous la forme d'un réseau [SAV 09] permettant de distinguer, à la manière de [HEN 90] pour les systèmes techniques, entre brique de connaissance (*component knowledge*) et architecture de connaissances (*architectural knowledge*), nous pouvons étudier la dynamique des mouvements de ce réseau à deux niveaux :

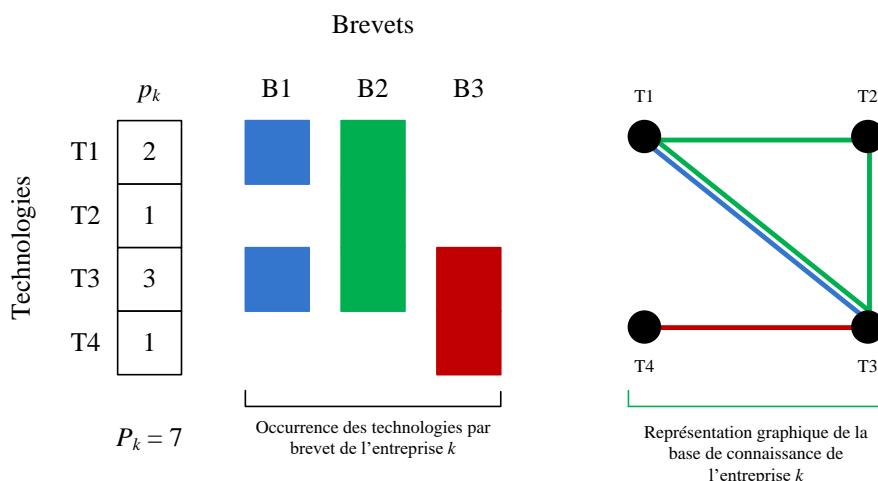
– au niveau des nœuds du réseau, représentant les briques de connaissance. L'apparition ou la disparition de certains noeuds révèle pour une entreprise la décision de développer ou, au contraire, de cesser de développer certaines d'entre elles ;

– au niveau des liens entre les nœuds, représentant les architectures de connaissances. Leurs apparitions ou disparitions représentent les modifications dans la manière dont l'entreprise combine ses connaissances technologiques.

Les mesures de la cohérence introduites par [TEE 94] sont intimement liées à la manière structurale / réticulaire de représenter les bases de connaissances des entreprises (Saviotti, 2009). En s'en tenant aux indicateurs de ces auteurs, cependant, deux entreprises manipulant les mêmes technologies mais les liant de manières différentes dans leurs portefeuilles de brevets auront un même score de cohérence. C'est la raison pour laquelle El Younsi *et al.* (2015) complètent l'étude de la cohérence des bases de connaissances des entreprises en articulant :

- la cohérence « globale », où toutes les liaisons possibles entre les technologies manipulées par l'entreprise sont prises en compte. Cette cohérence se mesure par l'indicateur ***WAR*** – *weighted-average relatedness* – de [TEE 94] adapté au contexte de la cohérence technologique par [NES 05] ;
- la cohérence « de voisinage », ou du « cœur », où seules les associations technologiques les plus fortes sont prises en considération de sorte à former un « arbre couvrant maximal ». Cet indice correspond à ***WARN*** – *weighted-average relatedness of neighbors* – chez [TEE 94] ;
- la cohérence des relations inter-technologiques concrètes, où seuls les liens réellement identifiés entre technologies au sein de la base de connaissances de l'entreprise sont pris en compte [NAS 13]. Nous nommons cet indicateur ***KBC*** (figure 2).

Les données de brevets servent à représenter les bases de connaissances des entreprises de manière réticulaire. Notons  $T$  le nombre total de technologies différentes dans la base de données de brevets,  $p_k$  le vecteur de format  $T \times 1$  indiquant pour chacun de ses arguments le nombre total d'occurrences des  $T$  technologies pour l'entreprise  $k$ ,  $p_{ki}$  ce nombre total pour la technologie  $i$ , et  $t_k$  l'étendue technologique de l'entreprise (le nombre de technologies différentes qu'elle produit), alors  $P_k \equiv \sum_i p_{ki}$  correspond à l'ensemble des occurrences technologiques dans les brevets détenus par l'entreprise (figure 1).



**Figure 1.** Structure des données pour la mesure de la cohérence technologique d'une entreprise

Appelons  $C_k$  l'indice de cohérence pour l'entreprise  $k$ , cet indice pouvant prendre trois formes distinctes selon le contenu de  $M^k$ , matrice booléenne de format  $T \times T$  qui résume les liaisons technologiques selon chacune des trois configurations de la cohérence pour l'entreprise  $k$ . Alors :

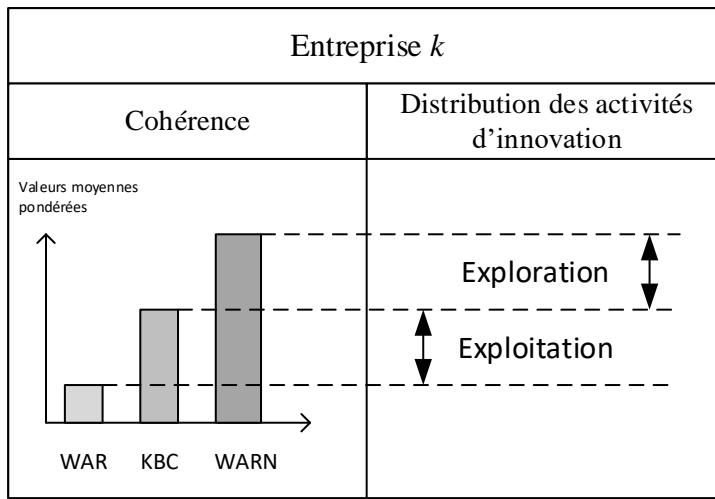
$$C_k = \frac{1}{P_k} \sum_i p_{ki} \left( \frac{\sum_{j \neq i} \tau_{ij} M_{ij}^k p_{kj}}{\sum_{j \neq i} M_{ij}^k p_{kj}} \right) \quad [1]$$

Chaque entreprise est ainsi agrémentée de trois indicateurs de cohérence en valeur absolue (selon la forme de la matrice  $M$ ), et de deux en valeur relative (taux d'exploration et d'exploitation, cf. figure 2) :

– pour *WAR*, la matrice adjacente  $M$  est uniquement composée de 1 pour intégrer toutes les liaisons possibles entre les technologies manipulées dans la base de connaissance de  $k$  ;

– pour *WARN*, la matrice  $M$  intègre la force des liens technologiques dans l'espace de production des innovations de l'entreprise. Alors que *WAR* associe les technologies de l'entreprise en  $t_k(t_k - 1)/2$  liens, il s'agit ici de toutes les associer en  $t_k - 1$  liens seulement (*i.e.* dans un arbre) en ne retenant que l'association – étant donné les valeurs de  $\tau_{ij}$ , mesure de cette force [BOT 10] – qui produit la pondération totale de l'arbre la plus forte. Autrement dit, la définition de  $M$  repose sur une procédure d'arbre couvrant maximal pondéré (*weighted maximum spanning tree*) et  $M_{ij}^k = 1$  si  $ij$  appartient à l'arbre couvrant maximal, 0 sinon ;

– pour *KBC*, la matrice  $M$  rend compte des liens concrètement identifiés entre technologies au sein de la base de connaissance de l'entreprise, avec  $M_{ij}^k = 1$  si la liaison  $ij$  appartient effectivement à la base de connaissance de  $k$ , 0 sinon. C'est l'indicateur de « complémentarité technologique » de [NAS 13].



**Figure 2.** Exploration et exploitation dans la base de connaissance d'une entreprise

[TEE 94] montrent que *WAR* est nécessairement inférieur ou égal à *WARN*. Le cas général montre que *KBC* vient s'insérer dans cet intervalle (figure 2). La séquence  $WAR \leq KBC \leq WARN$  n'est cependant pas toujours vérifiée, notamment pour les entreprises qui manipulent des briques de connaissance déconnectées (sans relation directe et indirecte entre elles).

Nous reprenons l'idée de [ELY 15] selon qui la décision stratégique de l'entreprise en matière d'organisation de sa base de connaissance consiste en un positionnement par rapport au « cœur » des technologies qu'elle combine, *i.e.* par rapport à *WARN*. L'entreprise peut en effet faire deux choix par rapport à ce cœur :

– « explorer d'étranges associations technologiques ». Ce ne sont pas celles que l'on retrouve le plus fréquemment dans l'ensemble de l'échantillon des brevets. Ces liaisons constituent en ce sens un facteur de « différenciation » pour l'entreprise ;

– « ne pas exploiter des associations technologiques évidentes ». Elles se retrouvent souvent dans l'échantillon de brevets et l'on peut envisager qu'elles contribueraient assez facilement à créer de l'innovation localement. Ne pas les exploiter est en ce sens un facteur de « distinction » pour l'entreprise<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Cette absence d'exploitation peut résulter d'un choix stratégique délibéré de l'entreprise ou bien d'une inefficacité managériale. Comme l'indique un rapporteur, si une partie de l'écart entre *KBC* et *WAR* est dû à de l'inefficacité, alors cet écart ne constitue qu'une borne maximale de l'exploration.

Distinction et différenciation constituent l'activité d'exploration de l'entreprise. L'activité d'exploitation – mesurée par la différence entre *KBC* et *WAR* – révèle le poids du « cœur » dans l'organisation concrète de sa base de connaissance.

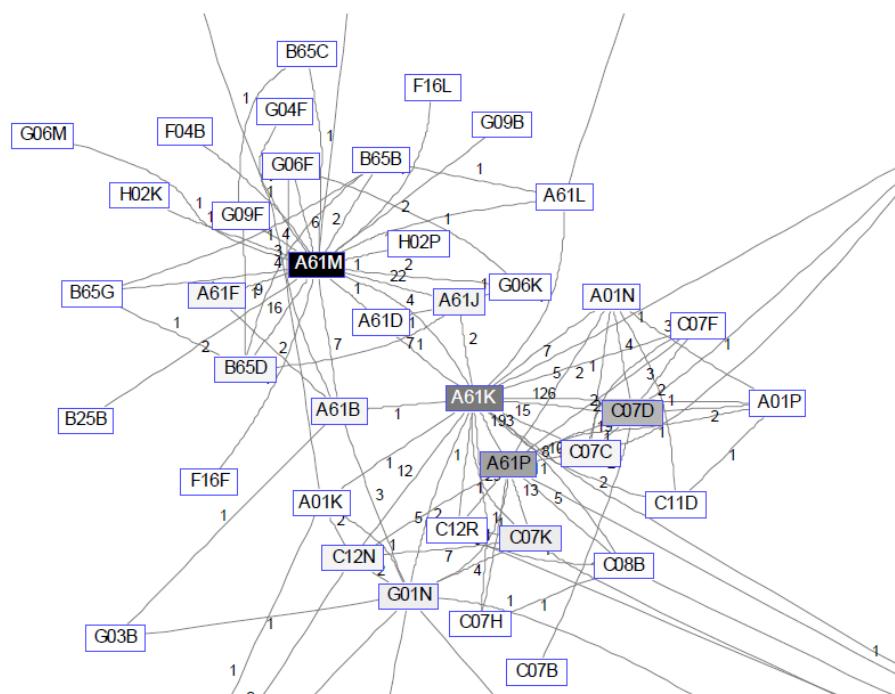
Les deux indicateurs relatifs sont donc :

- le taux d'exploration :  $EXPLOR = (WARN - KBC) / (WARN - WAR)$  ;
- le taux d'exploitation :  $EXPLOIT = 1 - EXPLOR = (KBC - WAR) / (WARN - WAR)$ .

La somme de leur valeur est égale à 1.

### 3. Un exemple : le cas de Sanofi-Aventis

Prenons l'exemple du groupe Sanofi-Aventis au-travers des brevets qu'il dépose à l'Office Européen des Brevets sur la période 2010-2012 (figure 3). Le graphe est construit de la manière décrite plus haut, correspondant aux liaisons technologiques réellement présentes dans le portefeuille de brevets de ce groupe (base de données COR&DIP).

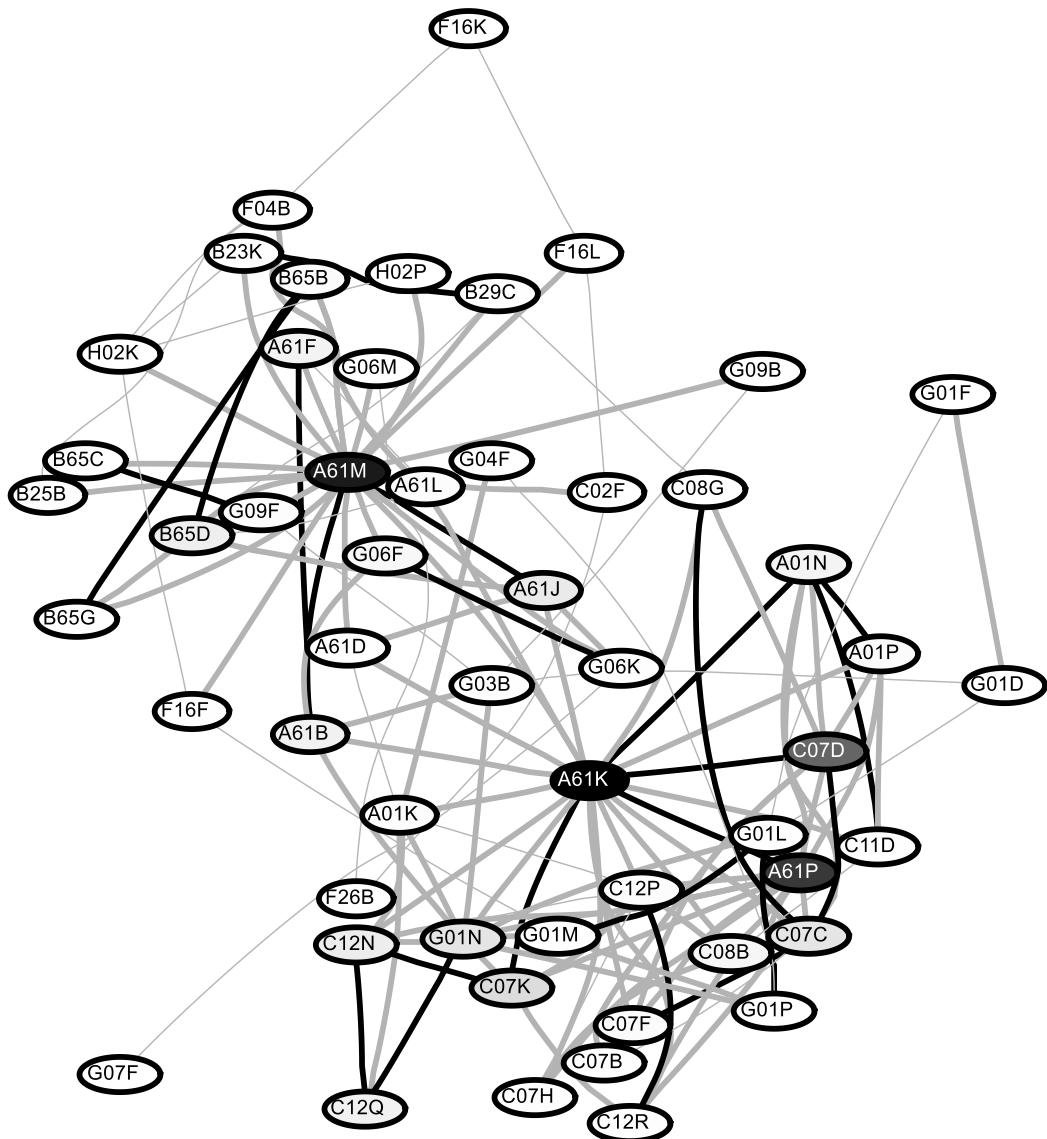


**Figure 3.** Le graphe des connexions technologiques chez Sanofi-Aventis (EPO, 2010-2012)

Les noeuds du graphe de la figure 3 correspondent aux technologies produites par Sanofi-Aventis sur la période 2010-2012, *i.e.* elles apparaissent dans les brevets déposés à l'office européen. Les technologies sont appelées par leur code de la Classification Internationale des Brevets à 4 caractères, ce qui correspond à des « sous-classes » technologiques. L'existence d'une connexion entre deux sous-classes signifie qu'il existe au moins un brevet déposé qui les combine. Le nombre qui s'associe à chaque connexion indique son intensité, c'est-à-dire le nombre de brevets déposés par Sanofi-Aventis où cette combinaison se retrouve. Les noeuds sont plus ou moins grisés en fonction de la somme des intensités de connexions qu'ils portent. Les technologies de ce point de vue les plus importantes sont liées au domaine médical (A61K, A61M, A61P) et à celui de la chimie (C07D).

Cette cartographie brute de la R&D de Sanofi-Aventis est intégrée au paysage technologique global, celui qui somme les portefeuilles de tous les groupes de la base de données COR&DIP. Les

forces des liaisons entre les technologies dans ce paysage global et celles pour l'entreprise étudiée sont comparées statistiquement afin de produire les indicateurs ***WAR***, ***WARN*** et ***KBC*** et de qualifier les liens entre technologies selon leur caractère exploratoire ou d'exploitation. Ces liaisons nous informent sur cinq points (figure 4) :



**Figure 4.** L'organisation de la R&D chez Sanofi-Aventis (EPO, 2010-2012)

1. Les liens épais en noir sont des liens présents chez Sanofi-Aventis et dans le cœur du paysage technologique global. Autrement dit, il est assez commun d'innover en associant les technologies qui sont liées en noir dans ce graphe.
2. Les liens épais en gris sont des liens présents chez Sanofi-Aventis qui ne font pas partie du cœur technologique global. Autrement dit, il est peu commun de voir ces technologies associées dans les portefeuilles de brevets. En ce sens, Sanofi-Aventis se différencie.
3. Les liens fins en gris sont absents du portefeuille du groupe alors qu'ils apparaissent fréquemment ailleurs. Sanofi-Aventis se distingue en ne les exploitant pas.
4. L'intensité des productions technologiques dans ce groupe est forte pour ce qui relève de la pharmacie et de la chimie organique (densité de gris sur les nœuds, ce qui n'apprend rien au-delà du fait que l'histoire des constituantes de ce groupe – Rhône-Poulenc, Hoechst, Sanofi – est encore présente dans sa R&D récente).

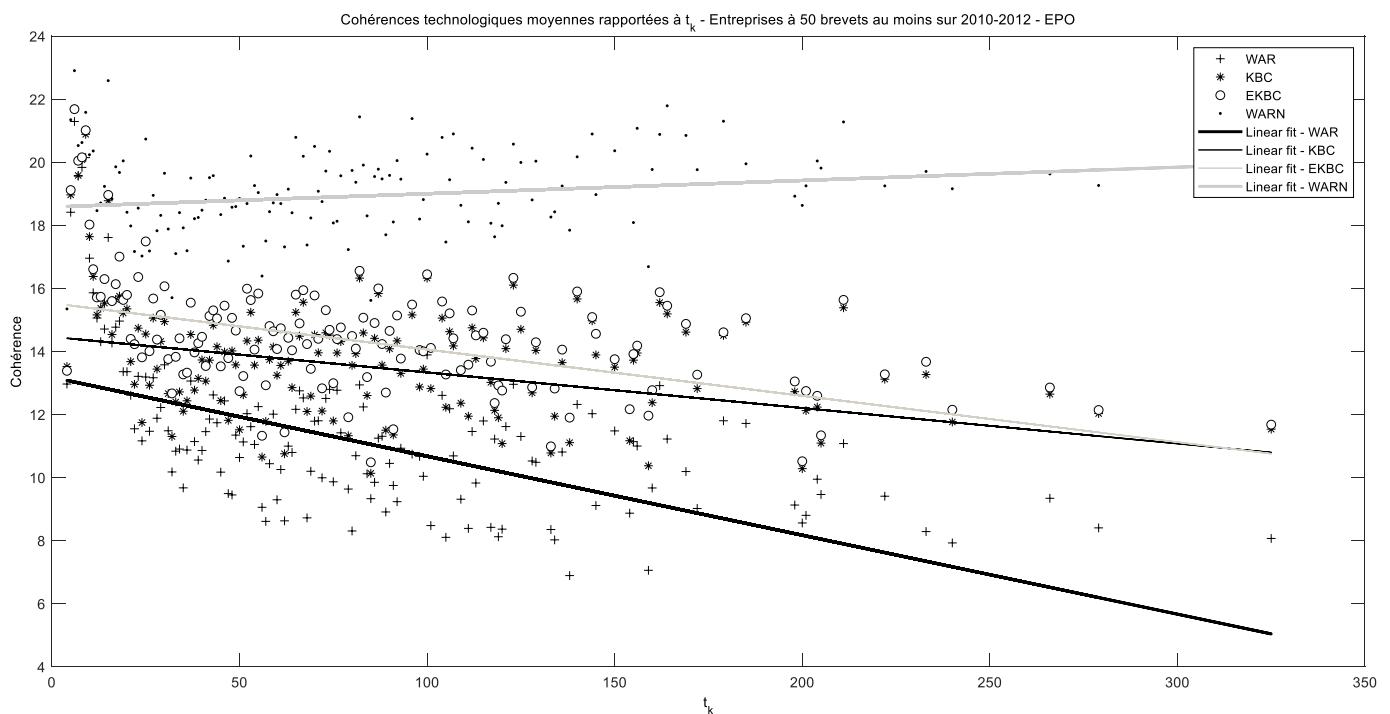
5. Les scores de cohérence (globale, de cœur et « concrète ») donnent un score d'exploration à l'entreprise (tableau ci-dessous). Si, au-delà des seuls brevets déposés à l'office européen, on considère l'ensemble des environnements institutionnels dans lesquels le groupe valorise sa R&D (ici, dans l'ordre, Europe, Etats-Unis et Japon), on peut mettre en évidence des stratégies de valorisation spécifiques.

	EPO	USPTO	JPO
<b>Nombre de brevets appliqués</b>	951	1032	89
<b>Etendue technologique</b>	53	66	21
<b>WAR</b>	13,3226	18,2154	18,4880
<b>KBC</b>	16,7267	20,0100	18,8055
<b>WARN</b>	21,5817	24,9879	23,9858
<b>Exploitation (%)</b>	41,21	26,49	5,77
<b>Exploration (%)</b>	58,79	73,51	94,23

**Tableau 1.** Cohérence de Sanofi-Aventis sur plusieurs marchés technologiques (2010-2012)

Appliquons ces principes à l'ensemble des entreprises de la base COR&DIP, toujours sur l'Office Européen des Brevets en guise d'illustration (figure 5), et nous obtenons des résultats conformes à ceux obtenu par [BOT 10] :

- **WARN** est une fonction croissante de l'étendue technologique d'une entreprise (*i.e.* de sa capacité à produire des inventions dans des sous-classes technologiques différentes) ;
- **WAR** est une fonction décroissante de l'étendue technologique d'une entreprise.



**Figure 5.** Cohérences technologiques moyennes rapportées à l'étendue technologique – Entreprises à 50 brevets au moins (EPO, 2010-2012)

Bien que les données sur les brevets offrent des informations riches et cohérentes sur le contenu technologique et la localisation de l'activité inventive sur de longues périodes, elles comportent plusieurs lacunes qu'il convient de garder à l'esprit dans les étapes analytiques et interprétatives de la section suivante [GRI 90] [BRU 06] [OCD 09] [DOS 18] :

- l'utilisation des brevets diffère grandement selon les secteurs productifs des entreprises ;
- en raison du coût des brevets et des ressources en temps, les grandes entreprises ont tendance à recourir davantage aux brevets que les petites entreprises ;
- les entreprises peuvent déposer une demande de brevet à des fins stratégiques, au-delà de la protection juridique d'une invention [BLI 06] [TOR 16].

En dépit de ces limites, les brevets constituent un moyen pertinent et unique d'étudier les activités inventives des entreprises [ACS 89] [OCD 09] [DER 13]. Le fait de traiter les données relatives aux brevets comme des données relationnelles, par exemple par le biais de citations, offre également des possibilités considérables pour analyser les structures et les dynamiques des réseaux de connaissances et d'innovation [TER 09].

#### 4. Hypothèses et modèle empirique

Selon la distinction faite par [MAR 91] entre invention d'exploration et invention d'exploitation, l'invention exploratoire exige de battre en brèche les domaines de compétences maîtrisées par l'entreprise, alors que l'invention d'exploitation s'appuie sur ses routines éprouvées. Dit autrement, l'exploitation vient renforcer les (processus de production de) connaissances dominantes – et les inventions produites sont de nature incrémentale – alors que les inventions radicales nécessitent une transformation significative des processus et des productions routinières et sont donc issues de l'exploration. La relation entre diversité technologique et capacité d'exploration a été consolidée théoriquement et empiriquement par [QUI 08].

Une hypothèse centrale de la théorie évolutionniste de l'entreprise [NEL 82] est que la « recherche locale » favorise le développement de technologies similaires à celles que l'on déploie déjà, et les entreprises deviennent progressivement de plus en plus expertes dans leurs domaines de compétence ordinaires. Elles améliorent petit à petit leurs produits et leurs procédés, et leurs routines se transforment à la marge. D'autres auteurs indiquent cependant que la diversité technologique est une caractéristique nécessaire d'un changement technologique radical plutôt que d'un changement « à la marge ». La diversité est, pour [PAT 97] par exemple, essentielle pour adopter des choix efficaces dans des conditions de grande incertitude environnementale. [KOG 92] suggèrent quant à eux qu'un avantage concurrentiel durable repose en partie sur la capacité de l'entreprise à aller au-delà de la « recherche locale » et à intégrer une capacité à reconfigurer radicalement ses connaissances. Dans ce cadre, la diversité technologique impacte la propension d'une entreprise à trouver de nouvelles façons de résoudre les problèmes environnementaux existants ou « perçus », cette dernière terminologie faisant référence à un courant inspiré par le behaviorisme en théorie des organisations qui donne un poids prépondérant aux capacités managériales dans le traitement de l'incertitude environnementale (*cf.* p.ex. [ORL 96]).

En conséquence, la diversité technologique influe sur le taux de production des inventions, mais son impact est plus important sur l'exploration que sur l'exploitation.

La deuxième relation théorique concernant l'exploration porte sur les liens que celle-ci entretient avec la position de l'entreprise dans le « réseau global de recherche et développement ». En distinguant les liens indirects et les liens directs, [GUA 16] discutent de l'influence de cette position dans un réseau de connaissances sur les activités d'exploration et d'exploitation. Dans le prolongement de ces travaux et inspiré par [GRA 73], nous formons l'hypothèse que les liaisons

faibles s'associent positivement aux inventions d'exploration, alors que les liaisons fortes s'associent négativement à ces mêmes inventions.

Pour distinguer les liaisons fortes des liaisons faibles nous proposons de calculer de deux manières la « centralité » de l'entreprise en matière de production d'invention. Pour cela nous construisons des matrices de flux technologiques [SCH 82] à une date donnée (matrices dites *backward*). Chaque entreprise correspond à une « couche » de cette matrice de flux technologiques globale : l'entreprise contribue pour une partie des flux totaux dans le réseau global des technologies. Soit cette entreprise alimente des connexions par ailleurs densément fournies entre technologies et elle entretient alors des « liaisons fortes » dans le réseau global. Soit elle participe à tisser des liens entre *clusters* technologiques denses, et elle développe alors des « liaisons faibles » dans ce même réseau.

Pour valider empiriquement cette hypothèse, nous produisons un indice de centralité d'intermédiairité des couches pour les liaisons faibles [LEB 17] et une adaptation de l'indice de [OPS 10] pour les liaisons fortes. Le premier de ces indices mesure la capacité d'une « couche » (*i.e.* d'une entreprise) à créer des liens entre les éléments du réseau (*i.e.* entre technologies). Le deuxième indice combine des informations sur les « degrés » (nombre des connexions) et les « forces » (intensité des connexions) d'une couche. Plus l'entreprise s'insère dans des liaisons denses et intenses entre technologies, plus cet indice composite prendra une valeur élevée.

La troisième hypothèse que nous posons est exploratoire. Elle résulte notamment de l'observation du cas Sanofi-Aventis du tableau 1 : les entreprises explorent moins sur leur propre marché technologiques – le marché sur lequel elles sont le plus mature – que sur des marchés technologiques « éloignés » autrement dit moins mature pour l'entreprise en question. L'exploitation constitue alors une sorte de mesure de la distance structurelle entre ces marchés. Cette hypothèse combine deux éléments qui relèvent, pour le premier, de la stratégie des entreprises et, pour le second, de la structure des institutions propres à chaque marché des technologies. En effet, les stratégies de valorisation de la propriété intellectuelle par les entreprises peuvent être du type « essai-erreur », où l'on teste « loin » (*i.e.* sur des marchés moins importants pour la firme) des combinaisons technologiques particulières pour l'entreprise, et où l'on verrouille « localement » (*i.e.* sur le marché domestique de la firme) les solutions qui se sont avérées pertinentes. L'hypothèse signifie aussi en partie qu'il existe un écart structurel entre les marchés des technologies, de telle sorte que la proximité ou l'adéquation d'une entreprise avec son propre marché résulte de conditions institutionnelles maîtrisées et d'une structure concurrentielle plus déterminante sur le comportement des entreprises en matière de choix de R&D.

Ces trois hypothèses se traduisent par un ensemble de variables explicatives du niveau du score d'exploration des entreprises.

L'hypothèse 1 (H1) postule que la variable expliquée  $\text{EXPLOR}_i$  croît avec  $\text{SCOPE}_i$ , l'étendue technologique de l'entreprise  $i$ . Nous contrôlons cette association technologique par la variable  $\text{NB\_PAT}_i$ , nombre de brevets demandés par l'entreprise  $i$ .

L'hypothèse 2 (H2) associe positivement  $\text{EXPLOR}_i$  à la centralité d'intermédiairité de l'entreprise,  $\text{BETW}_i$ , et négativement à sa centralité globale mesurée à la manière de [OPS 10] (paramètre d'association des degrés et des forces fixé à 0,5),  $\text{CENTR}_i$ .

L'hypothèse 3 (H3) lie positivement  $\text{EXPLOR}_i$  à la localisation du siège d'une entreprise lorsque celle-ci est localisé en dehors du marché technologique étudié. Les zones géographiques retenues des sièges sont celles qui possèdent le plus de représentants dans la base COR&DIP : pays du sud-est asiatique (TIGERS), BRIC, Union Européenne (EU), Japon (JAPAN), Suisse (SWITZ), Etats-Unis (US) et reste du monde (ROW) (tableau 3).

Des variables de contrôle portant sur l'entreprise sont ajoutées à la régression robuste : son budget moyen de R&D sur la période 2010-2012 ( $RD_i$ ), sa taille par son nombre d'employés moyen sur la période ( $EMP_i$ ), son âge par une variable binaire prenant la valeur 1 si elle a moins de 50 ans en 2010 – l'idée étant que des modes d'organisation productive et administrative postfordistes sont prédominants dans les entreprises les plus jeunes ( $YOUTH_i$ ), et l'intensité technologique de son activité principale selon une échelle allant de 1 (faible) à 4 (forte) (score attribué dans le *Scoreboard European Commission, 2013*) où l'on isole par une variable binaire les fortes (valeur 1) des autres (valeur 0) ( $HIGH\_TECH_i$ ).

## 5. Résultats

Les résultats des régressions robustes sont reproduits dans le tableau 2. Les statistiques descriptives sont reproduites dans les tableaux 3 et 4. Globalement, étant donné la valeur des  $R^2$ , la capacité prédictive des variables ayant un signe significativement différent de zéro reste limitée.

L'hypothèse première de l'article – H1 – est validée sur tous les marchés des technologies. Il existe une relation positive entre la diversité technologique des entreprises et leur taux d'exploration approché par des différentiels de cohérences. Ce résultat vient appuyer les intuitions théoriques de [PAT 97] et de [KOG 92] et les résultats empiriques de [QUI 08]. Préserver ou approfondir un avantage concurrentiel dans des environnements institutionnels et technologiques mouvants semble jouer en faveur des entreprises à forte diversité technologique. Ces entreprises bénéficient de deux sources possibles d'adaptation : la différenciation, qui repose sur le développement de combinaisons technologiques rares, et la distinction, qui les sort de formes routinières d'invention. L'empirie (*cf. figure 5*) suggère que c'est la première forme qui est privilégiée sur la seconde, et ce de plus en plus lorsque l'entreprise est technologiquement diversifiée.

Ce résultat concernant H1 suggère également que la gestion de la diversité technologique ne s'appréhende pas dans notre modèle de la même manière que la gestion de la diversité des produits et des marchés dans la littérature d'économie industrielle et de management stratégique sur l'arbitrage diversification / recentrage (*cf. p.ex. [MAR 95]*). Sur ces deux dernières dimensions, la littérature insiste sur les coûts de la diversité, en termes de coordination et de gestions des risques non systématiques [REE 91]. De tels coûts associés à la diversité technologique ne s'identifient pas dans notre étude. Il serait prudent d'adoindre dans de futures études des variables de performance des entreprises, que celle-ci soit à composante comptable (ROA, ROIC, etc.) ou financière (Q de Tobin, ratio de Marris, etc.). L'idée est, par analogie avec [MAR 95], de voir s'il existe une relation en cloche entre diversité technologique et performance – *i.e.* s'il existe un seuil en-deçà duquel il est intéressant de se diversifier et au-delà duquel le recentrage (ici technologique) doit s'imposer. Nous pouvons émettre l'hypothèse que ce seuil – s'il existe – est d'autant plus élevé que les incertitudes environnementales touchant l'entreprise sont fortes.

L'hypothèse H2 est entièrement vérifiée sur les marchés japonais et américain des technologies, et aucunement sur le marché européen. Sur les deux premiers, le taux d'exploration s'associe à la position des entreprises dans le réseau de R&D. Plus elles y sont intégrées, plus elles exploitent relativement. Plus elles y jouent un rôle d'intermédiaire, plus elles explorent relativement.

Au-delà de la manière particulière de mesurer le score d'exploration d'une entreprise, l'article propose des mesures originales de la centralité. Les deux mesures reposent sur la construction de matrices de flux technologiques qui ont pour objectif d'identifier les techniques de production des technologies nouvelles [SCH 82] à une date donnée (matrices dites *backward*).

La méthode retenue pour  $BETW_i$  est adaptée à une matrice de relation dirigée et pondérée, comme peut l'être la matrice des flux technologique. Cette méthode [LEB 17] repose sur une mesure de la robustesse de la structure à la suppression de l'entreprise que l'on évalue. Plus la

structure des relations entre technologies est perturbée par cette suppression, plus l'entreprise évaluée contribue à créer des liens entre technologies à l'échelle de la structure dans son ensemble. Cette démarche est ici conforme aux préconisations de [FRI 91] sur la mesure de l'intermédiarité dans des structures de ce type.

Pour la mesure des liens forts dans lesquels une entreprise s'insère au niveau global, la démarche de [OPS 10] permet d'associer une approche par la diversité des connexions qu'une firme entretient – *i.e.* une approche par les *degrés* – à une approche par l'intensité de ces mêmes connexions – *i.e.* une approche par les *forces*. L'indicateur multiplie degrés et forces d'une entreprise en leur accordant le même poids – exposant de 0,5 donné à chacun.

	<b>EXPLOR<sub>i</sub></b>	<b>EPO</b>	<b>JPO</b>	<b>USPTO</b>
<b>H1</b>	SCOPE <sub>i</sub>	0.0254*** (6.44)	0.0128** (2.48)	0.0241*** (4.61)
	NB_PAT <sub>i</sub>	-0.00153*** (-10.66)	-0.0000501 (-0.78)	-0.0000938 (-1.47)
<b>H2</b>	CENTR <sub>i</sub>	-8.735 (-0.21)	-87.61** (-3.10)	-81.41** (-2.54)
	BETW <sub>i</sub>	6.195 (1.94)	3.731** (3.18)	5.892** (3.02)
<b>H3</b>	TIGERS	0.156** (2.90)	-0.240 (-0.98)	0.995*** (22.31)
	BRIC	-0.0556 (-0.86)	-2.565*** (-11.39)	1.183*** (12.03)
	EU		-0.350 (-1.56)	0.302*** (13.57)
	JAPAN	0.0263 (0.39)		0.252*** (9.53)
	ROW	0.422*** (12.82)	-0.0624 (-0.24)	-0.288*** (-6.59)
	SWITZ	0.138** (3.21)	-0.865** (-3.57)	0.341*** (6.56)
	US	0.678*** (13.09)	-0.277 (-1.14)	
	RD <sub>i</sub>	-0.0000786 (-1.02)	-0.0000177 (-0.32)	-0.0000565 (-0.86)
<b>Contrôles</b>	EMP <sub>i</sub>	-0.00000155* (-2.16)	0.00000402*** (6.33)	-0.00000410*** (-4.27)
	YOUTH <sub>i</sub>	-0.313 (-1.32)	-0.362* (-2.26)	-0.424*** (-3.85)
	HIGH_TECH <sub>i</sub>	-0.565* (-2.02)	0.108 (0.66)	-0.530** (-2.49)
	Constante	-1.973 (-0.61)	0.0510 (0.03)	-0.892 (-0.49)
Obs.		1080	884	1313
R2		0.088	0.143	0.117

**Tableau 2.** Les déterminants du taux d'exploration sur les principaux marchés des technologies (2010-2012)

Ces deux indicateurs sont retenus car ils introduisent précisément les notions de liaisons faibles et fortes. Ce que nous dit l'étude, c'est que les liens faibles sont importants pour l'exploration sur deux des trois principaux marchés technologiques de la planète. C'est un résultat classique en analyse des

réseaux sociaux, mais qui avait besoin d'être transposé et vérifié pour des réseaux d'autres natures – ici les transferts de connaissances technologiques. Les approches du capital social ont largement utilisé ce résultat pour en tirer des conséquences en termes de performance dans la découverte et la valorisation d'opportunités économiques depuis [GRA 74]. Peut-on déployer en matière d'organisation de la R&D d'une entreprise cette analogie ? L'importance des liens faibles s'associerait positivement à la capacité de l'entreprise à saisir davantage d'opportunités techniques et, ainsi, les entreprises qui les développent bénéficieraient plus largement de leurs propres activités de recherche : elles seraient plus *inventives*. L'inventivité ne correspond pas un nombre d'invention, mais aux inventions qui entretiennent les compétences « cœur » de l'entreprise, et qui permettent de les faire évoluer en phase avec les exigences environnementales « sélectives » [DOS 82]. Voici donc une hypothèse d'économie industrielle et de l'innovation que nous pourrions émettre en relation avec le niveau des liens faibles.

Variables	EPO					JPO					USPTO				
	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
SCOPE	1295	27,98	36,08	2	325	1044	42,16	60,81	2	405	1593	35,41	44,82	2	362
NB_PAT	1295	136,86	362,53	1	4471	1044	447,23	1722,71	1	21532	1593	266,92	961,31	1	16819
CENTR	1295	0,0015	0,0040	6,43E-06	0,0562	1044	0,0022	0,0071	7,68E-06	0,0983	1593	0,0017	0,0045	2,68E-06	0,0569
BETW	1295	1,02	0,04	1,00	1,77	1044	1,03	0,11	1,00	3,00	1593	1,01	0,03	1,00	1,32
RD	1286	351,29	881,12	12,61	7658,67	1036	412,09	968,71	12,61	7658,67	1580	302,27	803,32	11,40	7658,67
EMP	1094	31382,69	58200,37	46,67	551287,70	891	34428,70	62924,54	32,67	551287,70	1333	28346,99	56658,99	2,00	551287,70
YOUTH	1277	0,56	0,50	0	1	1038	0,53	0,50	0	1	1572	0,62	0,49	0	1
HIGH_TECH	1295	0,38	0,49	0	1	1044	0,39	0,49	0	1	1593	0,44	0,50	0	1

**Tableau 3.** Statistiques descriptives sur les variables du modèle de régression

	TIGERS	BRIC	EU	JAPAN	ROW	SWITZ	US
EPO	75	30	381	297	55	42	415
JPO	81	13	250	324	27	28	321
USPTO	128	42	387	319	75	47	595

**Tableau 4.** Observations géographiques par marché des technologies

L'hypothèse exploratoire H3 est globalement validée sur les marchés européen et américain, et inversée au Japon (pour les entreprises des zones BRIC et Suisse). Pour des raisons stratégiques ou structurelles (notre étude ne permet pas *a priori* de le déterminer) les entreprises « osent » davantage loin de leurs bases ... sauf au Japon, donc (et pour les zones citées) où la prudence par l'exploitation (l'adaptation aux conditions locales de valorisation des inventions) prend le pas.

H3 est exploratoire, certes, mais la différence des résultats selon les marchés des technologies laisse penser que la stratégie joue un rôle important dans l'obtention de ceux-ci. Au moins une littérature d'économie industrielle vient en appui de cette assertion. Elle s'intéresse aux choix des firmes en matière de localisation de leurs entités de R&D. Développé dans le courant des années

1990 avec les transformations majeures connues par certains secteurs industriels en matière de production d'inventions (télécommunication, biopharmacie), l'argument général est que les processus de recherche amont tendaient à se rationaliser et à se localiser indépendamment des marchés pour être au plus près des sources académiques de production de connaissances nouvelles et bénéficier des avantages des proximités géographiques et institutionnelles entre centres de recherche, alors que la phase de développement affirmait au contraire davantage son encrage « marchés ».

Dans le domaine de la biopharmacie, par exemple, [CHI 96] et [CHI 97] analysent les raisons pour lesquelles la structure organisationnelle des grandes entreprises pharmaceutiques tend depuis la « révolution biotechnologique » à séparer les activités de recherche de celles du développement. La nature des activités de recherche d'un côté et la nature des activités de développement de l'autre diffèrent fortement dans ce secteur. Si l'activité de recherche suit une logique expérimentale, des procédures routinières régulent les activités de développement. Les modalités d'organisation et de localisation s'avèrent finalement spécifiques à chaque type d'activité. En contrepoint, [CHI 96] note que la séparation géographique entre recherche et développement pose un problème d'intégration de ces activités. [OMT 97] illustrent ce problème en constatant que le management de la recherche répond à un double objectif : les chercheurs doivent avoir conscience de participer au processus global de production des inventions, sans pour cela se sentir exclus de la logique académique. Le cas de l'industrie pharmaceutique restructurant sa R&D avec l'arrivée des nouvelles biotechnologies à la fin du siècle dernier illustre la dimension stratégique de la valorisation des inventions pour les entreprises sur des marchés technologiques divers et plus ou moins connectés à leurs marchés commerciaux.

Dans ce cadre où l'on considère qu'il est pertinent de séparer géographiquement ce qui a trait à la recherche et au développement et où la deuxième est une activité plus routinière que la première, les résultats portant sur H3 peuvent se réinterpréter de la manière suivante : la logique exploratoire de la recherche domineraient en Europe et aux Etats-Unis – on vient y bénéficier des externalités de connaissances – et la logique d'exploitation du développement domineraient au Japon – on vient y chercher une adéquation au marché commercial local.

## 6. Conclusion

Les cartographies des processus d'innovation technologiques des entreprises, les indications que l'on peut en tirer en matière de choix fait dans la gestion du dilemme exploration / exploitation, les déterminants de ces choix en termes de diversité technologique, de position de l'entreprise dans le réseau global de R&D et de comportement sur différents marchés des technologies reste encore un champ de recherche à défricher. Les pistes présentées dans cet article permettent d'envisager des questions claires associant stratégies des entreprises et performance des processus d'invention faisant écho à des problèmes classiques en économie industrielle et en management stratégique :

- comment qualifier le lien entre diversité technologique et diversité productive ?
- quels sont les facteurs venant favoriser l'inventivité des entreprises, *i.e.* leur capacité à se transformer par leur R&D pour s'adapter aux contingences technologiques, concurrentielles et institutionnelles changeantes ?
- quels sont les types d'inventions à privilégier selon le degré d'adéquation entre les marchés technologiques et commerciaux de l'entreprise ?

Utiliser ce cadre d'analyse pour étudier non pas l'innovation d'exploration ou d'exploitation séparément, mais le déploiement par les entreprises des deux types d'innovations simultanément, autrement appelé ambidextrie, nous permettrait de prolonger notre étude.

## Bibliographie

- [ACS 89] ACS Z.J., AUDRETSCH D.B., « Patents as a measure of innovative activity », *Kyklos*, vol. 42, p. 171-180, 1989.
- [ANS 65] ANSOFF H.I., *Stratégie du développement de l'entreprise*, Edition Hommes et Techniques (traduction française, 1981), Paris, 1965.
- [BLI 06] BLIND K., EDLER J., FRIETSCH R., SCHMOCH U., « Motives to patent: empirical evidence from Germany », *Research Policy*, vol. 35, p. 655-672, 2006.
- [BOT 10] BOTTAZZI G., PIRINO D., « Measuring industry relatedness corporate coherence », *LEM Working Paper Series*, 2010.
- [BRU 06] BRUSONI S., CRESPI G., FRANCOZ D., GAMBARDELLA A., GARCIA-FONTES W., GEUNA A., GIURI P., GONZALES R., HARHOFF D., HOISL K., LE BAS C., LUZZI A., MAGAZZINI L., MARIANI M., NESTA L., NOMALER O., PALOMERAS N., PATEL P., ROMANELLI M., « Everything you always wanted to know about inventors (but never asked): evidence from the PatVal-EU Survey », *CEPR Discussion Paper*, 5752, 2006.
- [CHA 62] CHANDLER A.D., *Strategy and structure: chapters in the history of the American industrial enterprise*, MIT Press, Cambridge (MA), 1962.
- [CHI 96] CHIESA V., « Separating research from development: evidence from the pharmaceutical industry », *European Management Journal*, vol. 14, p. 638-647, 1996.
- [CHI 97] CHIESA V., MANZINI R., « Managing virtual R&D organizations: lessons from the pharmaceutical industry », *International Journal of Technology Management*, vol. 13, p. 471-485, 1997.
- [COH 10] COHENDET P., GAFFARD J.-L., « Coordonner autant qu'inciter pour connaître », dans L. DIBIAGGIO, P.-X. MESCHI, *Le management de l'économie de la connaissance*, Pearson, Montreuil, 2010.
- [CYE 63] CYERT R.M., MARCH J.G., *A behavioral theory of the firm*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs (NJ), 1963.
- [DER 13] DE RASSENFOSSE G., DERNIS H., GUELLEC D., PICCI L., VAN POTTELSBERGHE DE LA POTTERIE B., « The worldwide count of priority patents: a new indicator of inventive activity », *Research Policy*, vol. 42, p. 720-737, 2013.
- [DIB 10] DIBIAGGIO L., MESCHI P.-X., *Le management dans l'économie de la connaissance*, Pearson, Montreuil, 2010.
- [DOS 82] DOSI G., « Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change », *Research Policy*, vol. 11, p. 147-162, 1982.
- [DOS 18] DOSSO M., LEBERT D., « A geography of corporate knowledge flows across world regions: insights from the world leading R&D investors », Mimeo, EC - JCR Seville et ENSTA ParisTech, 2018.
- [ELY 15] EL YOUNSI H., LEBERT D., MEUNIER F.-X., ZYLA C., « Exploration, exploitation et cohérence technologique », *Economie Appliquée*, vol. 68, n° 3, p. 187-204, 2015.
- [EPO 14] EUROPEAN PATENT OFFICE, « Data Catalog PATSTAT 2014 autumn edition », disponible à <http://www.epo.org/searching/subscription/raw/product-14-24.html>, 2014
- [FAU 09] FAUCHART E., KEILBACH M., « Testing a model of exploration and exploitation as innovation strategies », *Small Business Economics*, vol. 33, p. 257-272, 2009.
- [FOS 01] FOSS N.J., CHRISTENSEN J.F., « A market-process approach to corporate coherence », *Managerial and Decision Economics*, vol. 22, p. 213-226, 2001.
- [FRI 91] FRIEDKIN N.E., « Theoretical foundations for centrality measures », *American Journal of Sociology*, vol. 96, p. 1478-1504, 1991.
- [GRA 73] GRANOVETTER M.S., « The strength of weak ties », *American Journal of Sociology*, vol. 78, p. 1360-1380, 1973.
- [GRA 74] GRANOVETTER M.S., *Getting a job: a study of contacts and careers*, Harvard University Press, Cambridge (MA), 1974.
- [GRI 90] GRILICHES Z., « Patent statistics as economic indicators: a survey », *Journal of Economic Literature*, vol. 28, p. 1661-1707, 1990.

- [GUA 16] GUAN J., LIU N., « Exploitative and exploratory innovations in knowledge network and collaboration network: a patent analysis in the technological field of nano-energy », *Research Policy*, vol. 45, p. 97-112, 2016.
- [HEN 90] HENDERSON R.M., CLARK K.B., « Architectural innovation: the reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms », *Administrative Science Quarterly*, vol. 35, p. 9-30, 1990.
- [HER 06] HEROLD D.M., JAYARAMAN N., NARAYANASWAMY C.R., « What is the relationship between organizational slack and innovation? », *Journal of Managerial Issues*, vol. 18, p. 372-392, 2006.
- [KOG 92] KOGUT B., ZANDER U., « Knowledge of the firm, combinative capabilities, and the replication of technology », *Organization Science*, vol. 3, p. 383-397, 1992.
- [KRA 11] KRAFFT J., QUATRARO F., SAVIOTTI P.P., « The knowledge base evolution in biotechnology: a social network analysis », *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 20, p. 445-475, 2011.
- [LEB 17] LEBERT D., EL YOUNSI H., *Les dynamiques des spécialisations internationales*, ISTE Press, Londres, 2017.
- [LEI 66] LEIBENSTEIN H., « Allocative efficiency versus 'X-efficiency' », *American Economic Review*, vol. 56, p. 392-415, 1966.
- [MAR 91] MARCH J.G., « Exploration and exploitation in organizational learning », *Organization Science*, vol. 2, Special Issue: Organizational Learning: Papers in Honor of (and by) James G. March, p. 71-87, 1991.
- [MAR 95] MARKIDES C.C., *Diversification, refocusing, and economic performance*, MIT Press, Cambridge (MA), 1995.
- [MON 79] MONTGOMERY C., *Diversification, market structure, and firm performance: an extension of Rumelt's model*, Unpublished doctoral dissertation, Purdue University, 1979.
- [MON 94] MONTGOMERY C.A., « Corporate diversification », *The Journal of Economic Perspectives*, vol. 8, p. 163-178, 1994.
- [NAS 13] NASIRIYAR M., NESTA L., DIBIAGGIO L., « The moderating role of the complementary nature of technological resources in the diversification–performance relationship », *Industrial and Corporate Change*, doi:10.1093/icc/dtt058, 2013.
- [NEL 82] NELSON R.R., WINTER S.G., *An evolutionary theory of economic change*, Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge (MA), 1982.
- [NES 05] NESTA L., SAVIOTTI P.P., « Coherence of the knowledge base and the firm's innovative performance: evidence from the U.S. pharmaceutical industry », *Journal of Industrial Economics*, vol. 53, p. 123-142, 2005.
- [OCD 09] OCDE, « The use and analysis of citations in patents », dans *OECD Patent Statistics Manual*, OECD Publishing, 2009.
- [OCD 15] OCDE, EC-JRC/OECD COR&DIP© database, 2015, IP bundle of top corporate R&D investors, disponible à <https://survey.oecd.org/ViewContent.aspx?contentID=2172>, 2015
- [OMT 97] OMTA S.W.F., BOUTER L.M., VAN ENGELEN J.M.L., « Management control of biomedical research and pharmaceutical innovation », *Technovation*, vol. 17, p. 167-179, 1997.
- [OPS 10] OPSAHL T., AGNEESSENS F., SKVORETZ J., « Node centrality in weighted networks: generalizing degree and shortest paths », *Social Networks*, vol. 32, p. 245-251, 2010.
- [ORL 96] ORLIKOWSKI W.J., « Improvising organizational transformation over time: a situated change perspective », *Information Systems Research*, vol. 7, p. 63-92, 1996.
- [PAT 97] PATEL P., PAVITT K., « The technological competencies of the world's largest firms: complex and path-dependent, but not much variety », *Research Policy*, vol. 26, p. 141-156, 1997.
- [PEN 59] PENROSE E.T., *The theory of the growth of the firm*, Sharpe, New York, 1959.
- [PIS 00] PISCITELLO L., « Relatedness and coherence in technological and product diversification of the world's largest firms », *Structural Change and Economic Dynamics*, vol. 11, p. 295-315, 2000.
- [QUI 08] QUINTANA-GARCIA C., BENAVIDES-VELASCO C.A. (2008), « Innovative competence, exploration and exploitation: the influence of technological diversification », *Research Policy*, vol. 37, p. 492-507, 2008.
- [REE 91] REED R., « Bimodality in diversification: an efficiency and effectiveness rationale », *Managerial and Decision Economics*, vol. 12, p. 57-66, 1991.
- [RUM 74] RUMELT R.P., *Strategy, structure, and economic performance*, Harvard University Press, 1974.

- [SAV 09] SAVIOTTI P.P., « Knowledge networks: structure and dynamics », dans A. PYKA, A. SCHARNHORST (eds.), *Innovation networks: understanding complex systems*, Springer-Verlag, Berlin, 2009.
- [SCH 82] SCHERER F.M., « Inter-industry technology flows and productivity growth », *The Review of Economics and Statistics*, vol. 64, p. 627-634, 1982.
- [TEE 94] TEECE D.J., RUMELT R., DOSI G., WINTER S., « Understanding corporate coherence: theory and evidence », *Journal of Economic Behavior and Organization*, vol. 23, p. 1-30, 1994.
- [TER 09] TER WAL A.L., BOSCHMA R.A., « Applying social network analysis in economic geography: framing some key analytic issues », *The Annals of Regional Science*, vol. 43, p. 739-756, 2009.
- [TOR 16] TORRISI S., GAMBARDELLA A., GIURI P., HARHOFF D., HOISL K., MARIANI M., « Used, blocking and sleeping patents: Empirical evidence from a large-scale inventor survey », *Research Policy*, vol. 45, p. 1374-1385, 2016.