

UNIVERSITE DE STRASBOURG
Faculté des Sciences Économiques et de Gestion

THÈSE DE DOCTORAT
de Sciences Economiques

**Transfert de Technologie : Cas du CNRS
Structure de la Pensée Créatrice Autonome**

*Technology Transfer and Innovation : Case of CNRS
Structure of Autonomous Creative Thinking*

Présentée et soutenue par :

Eric THIBAUT

Directeur de thèse: Professeur **Patrick LLERENA**
Université de Strasbourg

JURY

Professeur Dominique Foray
Ecole Polytechnique de Lausanne
Lausanne - Suisse

Professeur Francesco Lissoni
Université de Brescia
Brescia - Italie

Professeur Patrick Cohendet
Université de Strasbourg
BETA - Strasbourg

Dr. Marc Jacques Ledoux
Directeur de Recherche CNRS
et de la Direction de la Politique
Industrielle DPI - Paris

Janvier 2010

Remerciements

La page des remerciements est de loin la page la plus difficile à écrire d'une thèse, car on voudrait tellement faire passer toute l'étendue réelle de sa reconnaissance, et surtout pas de façons « convenues » et « conventionnelles ».

A n'importe quel âge, une thèse peut s'apparenter à une longue traversée solitaire dont l'épreuve principale est justement de s'affronter soi-même et de rencontrer ses limites et ses incohérences, mais on ne peut pas faire ce voyage (et surtout le terminer) sans le soutien de beaucoup, vraiment beaucoup de gens alors :

. Ma reconnaissance éternelle à **Marc Jacques Ledoux**, Directeur de la DPI du CNRS, à l'ombre duquel j'ai beaucoup appris et sans lequel toute cette aventure n'aurait tout simplement pas pu exister.

. Un grand Merci, à mon Directeur de Thèse, **Patrick Llerena**, auprès duquel j'ai pu mesuré l'énorme distance qui me reste à faire pour être un scientifique et économiste digne de ce nom.

. A mes collègues du BETA, **Mireille, Ming Feng et Laurent** pour leurs conseils avisés et amicaux.

. A mes collègues directs, **Jean-Jacques Ehrhardt et Pierre Roy** pour toutes nos discussions enflammées au déjeuner à la cantine du CNRS, leur soutien constant a été vital pour ce travail.

. A mes fils **Vinh** et **Téo**, qui trouvent un peu masochiste de continuer les études quand on n'est plus obligé...

. A ma femme **Isabelle**, qui a assumé beaucoup plus que sa charge du quotidien et des enfants. Une dette que vais pouvoir commencer à rembourser en «*Ce premier jour du reste de ma vie* ».

. **A ma mère** que j'aurais dû étreindre et embrasser plus fort à l'aéroport d'Ho-Chi-Minh ville, la dernière fois que l'ai quittée. **A mon père**, toujours fier de son fils quoi que je fasse.

. A tous les amis et collègues pour leur soutien, amusé, perplexe, interrogateur, agacé parfois mais toujours affectueux ; soutien qui a tissé un cocon protecteur et amical dans lequel a pu se développer cette étrange métamorphose.

Donc Merci infiniment à :

Aline, Alex, Lydiane, Bernadette et Gilles, Brigitte et Jean-Luc, Catherine et Laurent, Emmanuelle, Marie-Laure, Marie et Jérôme (de Vilars), Martial et Catherine, Martine et Jean-Luc, Micaella, Jean-François, Rose-Marie, Sara, ... et à tous ceux que j'oublie.

Sommaire

Introduction
Structure de la thèse

~ Chapitre I ~ *Historique, Faits et Chiffres*

1. Historique
 - 1.1. L'histoire du Transfert de Technologie (TT) au CNRS
 - 1.2. Le cadre actuel
 - 1.2.1. Dans le sillage du « Bayh-Dole Act » Américain
 - 1.2.2. L'évolution du cadre politico-légal
 - 1.2.3. La loi 1999 –Recherche et Innovation
 - 1.2.4. Le concept de transfert de technologie et de la valorisation
 - 1.3. L'organisation et la structure actuelle
 - 1.3.1. L'organisation générale
 - 1.3.2. Le réseau de SPV
 - 1.3.3. La COPI
 - 1.3.4. La CESPI
2. Les chiffres du transfert de technologie au CNRS
 - 2.1. Inventeur, Invention et brevets
 - 2.1.1. La déclaration d'invention
 - 2.1.2. La procédure de brevet
 - 2.1.3. Les chiffres
 - 2.2. Les Licences
 - 2.2.1. Typologie
 - 2.2.2. Les chiffres
 - 2.2.3. Les revenus
 - 2.3. La création d'entreprise
 - 2.3.1. Typologie
 - 2.3.2. Les chiffres
 - 2.4. Les contrats de recherche
 - 2.4.1. Typologie
 - 2.4.2. Les chiffres

3. A l'aune de l'économie de la connaissance
 - 3.1. Le cadre théorique
 - 3.2. Transfert de technologie et innovation
 - 3.3. Conclusion chapitre: Pour un modèle « renouvelé » du transfert

~ **Chapitre II** ~
Cartographie de la connaissance

1. Principes de la cartographie des connaissances
 - 1.1. L'outil cartographique
 - 1.2. Les techniques avancées de cartographie
 - 1.2.1. La stratégie générale
 - 1.2.2. Le TD-IDF
 - 1.2.3. Les analyses factorielles
 - 1.2.4. La classification
 - 1.2.4.1. Hiérarchique et Non Hiérarchique
 - 1.2.4.2. Supervisée ou Non supervisée
 - 1.2.5. La méthode K-Means
 - 1.2.6. Théorème Naïf de Bayes
 - 1.2.7. Data/ Text Mining
 - 1.2.8. Les indicateurs relationnels
 - 1.2.9. Les cocitations
 - 1.3. Modèles de cartographie
 - 1.3.5. Les arborescences
 - 1.3.6. Les « Treemap »
 - 1.3.7. Visualisation de réseaux
 - 1.3.8. Visualisation des thématiques
2. Cartographie et mesure de la connaissance
 - 2.1. Une nouvelle approche de mesure de la Base de connaissance et de la connexité
 - 2.2. Deux approches fondatrices
 - 2.2.1. Méthode « Statistique »
 - 2.2.2. Principe du calcul
 - 2.2.3. Approche méta-heuristique sémantique
 - 2.2.4. Principe de l'approche sémantique
 - 2.3. Cartographie des connaissances à partir des brevets
 - 2.3.1. Selon la méthode statistique

- 2.3.2. Selon la méthode sémantique
- 2.3.3. Discussion
- 2.3.4. D'un espace sémantique à un espace géométrique
- 2.4. Cartographie des contrats de recherche public-privé
 - 2.4.1. Méthodologie
 - 2.4.2. Résultats
 - 2.4.3. Discussion
- 3. Perspectives pour la gestion des connaissances

~ **Chapitre III** ~

Quel modèle pour le transfert de technologie ?

- 1. Facteurs endogènes
 - 1.1. Typologie des Inventions
 - 1.2. Typologie du Transfert
 - 1.2.1. Structure de la connaissance
 - 1.2.2. Caractéristique du transfert
 - 1.2.3. Indice de transférabilité
- 2. Facteurs exogènes
 - 2.1. TT et modèles de processus d'innovation
 - 2.2. TT et maturation de l'invention
 - 2.2.1. Exemple 1 : Le Lupuzor
 - 2.2.2. Exemple 2: Le Taxol
 - 2.2.3. Exemple 3 : La Magnéto-Résistance Géante
- 3. Pour un modèle renouvelé du Transfert de Technologie
 - 3.1. Apport du « Knowledge Management »
 - 3.2. La Pensée Créatrice Autonome
 - 3.3. Conséquences sur les stratégies de valorisation
- 4. Conclusion du chapitre

~ **Chapitre Conclusion** ~

Transfert de technologie et Innovation

- 1. Les principaux résultats
- 2. Une Histoire sans fin

Bibliographie

« Un esprit qui se limite, touche parfois à l'infini »
Stephan Zweig dans le [Le joueur d'échec]

INTRODUCTION

La crise économique et financière actuelle a le « mérite » de mettre encore plus en évidence la place du savoir, des sciences et des technologies dans la dynamique de la croissance. La recherche et l'innovation donne lieu à une intense réflexion au sein du champ économique et politique français actuel¹. Un élément important de ce débat a été le rapport de l'Inspection Générale des Finances et de l'Inspection de l'Administration de l'éducation nationale et de la recherche n° 2006-M-016-01 sur la valorisation de la recherche qui déplore la stagnation du système français *« la valorisation de la propriété intellectuelle représente, selon les années, entre 3 et 5% du budget de la recherche aux Etats-Unis, contre 1% en France »*. Ce rapport conclut à une valorisation insuffisante dont les causes principales, entre autres, sont l'organisation des structures de transfert de technologies des organismes de recherche publics et la « lourdeur » de gestion de la propriété intellectuelle partagée (copropriété) entre les organismes publics.

Il nous semble que le débat uniquement axé sur la « rentabilité » du transfert de technologie public, nous éloigne du vrai problème d'un « déficit » d'innovation, en effet pour Foray (2002)² *« les modèles nouveaux de l'innovation dans l'économie de la connaissance sont irréductibles à ces différents « archétypes » ; irréductibles à l'accroissement de l'influence de la science, également irréductibles à l'apparition d'un système d'innovation décentralisé, composé d'une multitude d'agents hétérogènes ; irréductibles encore à l'accroissement de la complexité et de la modularité des technologies et des produits »*. Cette approche nous place d'emblée au-delà du débat sur les problèmes de structuration et d'organisation.

Le transfert de technologie et la valorisation de la recherche selon une approche évolutionniste (Hayek, Schumpeter, Kline & Rosenberg) des modèles d'innovations, n'est qu'un élément du processus d'innovation. Ainsi transplanter un seul élément dans un contexte différent ne peut suffire à enclencher une dynamique vertueuse. Par ailleurs, une partie de ces éléments relèvent pour nous du mythe, comme le monde de la recherche fondamentale considéré comme un « eldorado » d'innovations industrielles non exploitées,

¹ Rapport du Sénat 2007-2008, N° 392, « Recherche et Innovation en France »

² WP IMRI 2eme version décembre 2002

ou encore le mythe d'un paradoxe européen³ d'une science à l'égal du modèle états-unien et d'un transfert de technologie science - industrie européen par suite inefficace.

Le transfert de technologie de la recherche académique n'est pas le lieu de l'innovation, mais par sa position privilégiée elle assiste à un sous - processus fondamental de l'innovation : sa genèse. Cette thèse a l'ambition d'apporter des éléments sur cette étape primordiale afin d'éclairer ce qui constitue pour nous les ressorts de l'innovation : la créativité et l'inventivité scientifique.

Cette recherche a été effectuée au sein du département de valorisation de la recherche du plus grand organisme public de recherche français et européen : Le CNRS Centre National de la Recherche Scientifique, au sein de la Direction de la Politique Industrielle (DPI).

Au niveau méthodologique, nous avons choisi de nous concentrer sur l'activité centrale du « Transfert de Technologie » (TTO: Technology Transfer Office) par l'analyse et la classification effective de plus de 5000 déclarations d'inventions sur les dix dernières années, qui ont conduit à plus de 3600 familles de brevets issues de plus de 1000 laboratoires et équipes de recherche du CNRS (ou associés).

Cette thèse se propose de discuter de l'efficacité du transfert de technologie et de la valorisation de la recherche académique, en dégagant les causes endogènes principales de cette problématique, comme la notion d'« asymétrie d'information » développée notamment par Jensen, Thursby & Thursby⁴ (2003), et de la notion de « complexité » de la connaissance technologique. Nous analyserons plus spécifiquement l'impact des dynamiques sectorielles très différentes et l'hétérogénéité de maturité des inventions. Enfin, dans le cadre de la nécessaire synergie avec le monde industriel, légal et financier, et de la professionnalisation⁵ du « Transfert de Technologie », nous nous intéresserons aussi aux outils et méthodes de la « Gestion des Connaissances » (Knowledge Management)⁶ développés par le monde industriel dans le but d'une meilleure intégration des savoirs et des compétences.

L'ensemble de ces analyses nous amènera à tenter d'éclairer le processus de création et de conception de l'invention qui est à l'origine (genèse) de l'innovation en nous appuyant sur

³ Rapport de la commission européenne (EC 1995, EC2003) : « From the European Paradox to declining competitiveness »

⁴ Pour Jensen, Thursby & Thursby (2003) : « Le TTO sert d'intermédiaire entre l'université et les entreprises, entre l'administration et les laboratoires [...] Situation classique de l'intermédiaire, principal-agent [...] le modèle proposé met en valeur le rôle du TTO pour résoudre ou réduire les coûts de l'Asymétrie d'information »

⁵ Debackere et Veugelers (2005) et P. Llerena (2006)

⁶ Pour Nonaka (1994) la production de nouvelles connaissances repose sur l'importance entre connaissances tacites et connaissances codifiées. Le niveau et la qualité d'interaction sont de la responsabilité du « management » et de l'organisationnel.

l'approche structuraliste de la « pensée créatrice autonome » développée notamment par M.A. Rohrbach dans « *La Pensée Vivante* » (1993).

Nous soutiendrons la thèse selon laquelle la compréhension des mécanismes réels de genèse de l'invention est pour nous essentielle dans le contexte du questionnement sur le transfert de technologie et la valorisation de la recherche.

Une partie des conclusions de ce travail a été implémentée dans la stratégie de transfert de technologie, et aussi de façon très concrète dans l'organisation et les procédures de fonctionnement (structure des formulaires, procédures d'évaluation, procédures d'extension, procédures d'abandon et soutien au transfert effectif) de la Direction de Politique Industrielle du CNRS.

STRUCTURE DE LA THESE

Cette thèse est structurée en 3 parties et un ensemble de conclusions.

Le chapitre I revient sur l'Histoire de la création du CNRS en Octobre 1939. Nous montrerons que la centralité de la relation Recherche – Industrie existait déjà à l'origine de la création du Centre National de la Recherche Scientifique. Cependant pour ses créateurs, notamment Jules Perrin, cette relation n'a de sens (c'est à dire bénéfique pour la société) que s'il existe une Science forte et pérenne et bien sûr ouverte (concept d' « Open Science »).

Nous reviendrons bien entendu sur le cadre légal, administratif et politique qui a conditionné les évolutions du transfert de technologie au CNRS, l'organisation actuelle et sur les « Chiffres du Transfert de Technologie au CNRS », déclarations d'inventions, brevets, contrats et licences. Enfin, nous proposerons une classification des relations Recherche-Industrie observées entre les laboratoires du CNRS et les industriels. Cette classification est basée sur quatre processus d'innovation distincts dans lesquels le transfert de technologie public peine à trouver son positionnement.

Ces données illustrant les principales caractéristiques du transfert de technologie au CNRS vont nous permettre d'installer le cadre de la problématique de cette thèse : Le rôle du transfert de technologie dans le contexte d'une économie basée sur la connaissance et l'innovation.

Dans le second chapitre, nous nous intéresserons à la problématique fondamentale du transfert de technologie public : la structure de la connaissance technologique. A la structure « traditionnelle », montrée notamment par M. Polanyi (1966), constituée d'une partie explicite et d'une partie tacite, nous mettons en évidence une dimension supplémentaire de cette connaissance : la partie implicite. A cette fin, nous avons développé une méthode de « Cartographie de la connaissance » en fusionnant l'approche « économiste » (Griliches - 1990, Breschi et al. -2001) avec une approche méta heuristique (Van Raan -1991, Griffiths - 2001, Verspagen – 2001, Magerman -2006) afin de montrer l'utilité et l'importance de ces outils dans le transfert de technologie dans la perspective élargie d'une économie basée sur la connaissance, selon Le Moigne (1998) « *l'enjeu n'est pas l'accès à des connaissances supposées rares, mais bien la capacité à développer des modalités de navigation cognitive inventive dans un univers informationnel riche, mémorisé et se mémorisant* ». L'application de notre méthode sur les données de transfert de technologie au CNRS, nous permet de

mettre en évidence la notion de complexification des technologies illustrant les propos de K. Pavitt (1999) : « *Theory is rarely sufficiently robust to predict the performance of a technological artefact* ». Nous tenterons enfin d'illustrer cette dimension implicite de la connaissance technologique et la notion d'interdisciplinarité par des méthodes de cartographie dynamique de la connaissance.

Le chapitre III, dégagera les raisons principales, à notre avis, exogènes et endogènes de la problématique de transfert de technologie public à l'aune de l'économie de l'information et de l'économie de la connaissance.

Nous montrerons notamment que les spécificités du transfert de technologie public comme des dynamiques sectorielles très différentes, ou le caractère immature des inventions sont difficilement gérables par une organisation qui ne serait pas pérenne et sans une gestion stratégique (suivi et soutien) à moyen et long terme de la propriété intellectuelle.

Par ailleurs, l'analyse et la typologie de maturité des inventions (sans pré-affectation à une industrie) issues de la recherche académique, nous permettra de montrer, la difficulté majeure du transfert de technologie : l'évaluation.

Afin de réduire la criticité de cette étape fondamentale, nous proposons une approche de « vectorisation quantique » du transfert de technologie. Dans cette approche une invention n'est plus considérée seulement par des critères de brevetabilité et de marchés, mais vectorisée selon son origine (fondements et centralité scientifiques), sa destination (trajectoires technologiques, applications étendues), et son intensité (pensée créatrice, volonté de l'inventeur).

Ce dernier paramètre (intensité) nous amènera à tenter d'éclairer le processus initial de genèse d'une invention : le processus de conception issu d'une « Pensée créatrice autonome » constituée d'une pensée *Mémoire*, d'une pensée *Inventive*, d'une pensée *Réflexive* et d'une pensée *Créative*.

Ces éléments confortent pour nous la nécessité d'une évolution proactive du rôle de la valorisation de la recherche publique dans les processus d'innovation, en amont pour « reconnaître » et soutenir la création, en aval pour la maturation. Nous proposerons enfin, une méthodologie de valorisation basée sur cette vectorisation des inventions à l'usage du transfert de technologie académique.

Le dernier chapitre (et conclusion de cette thèse), mettra en perspective ces résultats à l'aune de l'économie de la connaissance et de l'innovation et proposera un « modèle renouvelé » de la valorisation de la recherche académique.

Le rôle du transfert de technologie, par sa position privilégiée dans le processus d'innovation : genèse de l'invention, a une place fondamentale dans l'écosystème d'innovation.

Nous défendrons la thèse selon laquelle une meilleure compréhension du (des) mécanismes de créativité et d'inventivité de l'esprit scientifique dans le contexte de « l'Open Science » est plus importante pour comprendre les ressorts de l'innovation technologique que des changements de structures et d'organisations du système national d'innovation.

Les éléments que nous avons mis en évidence permettent peut-être d'expliquer en partie, l'échec de politiques d'innovations qui n'adresseraient pas les « bons leviers » de la créativité et de l'inventivité scientifique.

Nous concluons ces travaux par une synthèse de toutes ces observations dans un « modèle 4x4x4 » de processus d'innovation issus de la relation Recherche – Industrie observée au CNRS.

Chapitre I

“Les faits n’appartiennent tous qu’au problème, non à sa solution”
L. Wittgenstein in [« Tractatus logico-philosophiques », 1921, Ed. Gallimard]

Le transfert de technologie au CNRS : Structure et évolution

Résumé: Ce premier chapitre pose les éléments historiques et factuels du transfert de technologie et de la valorisation de la recherche du CNRS. A travers l’histoire même de la création du CNRS en 1939, nous retraçons l’évolution de la politique, du cadre légal et administratif du transfert de technologie. Enfin, nous présentons les statistiques et chiffres des principaux indicateurs de cette activité ces dix dernières années au niveau des déclarations d’inventions, des brevets, des licences d’exploitation et de la création d’entreprise. Ces éléments nous permettent d’installer la problématique du transfert de technologie issu de la recherche publique à l’aune de l’économie de la connaissance.

Abstract: In this first chapter, we present a brief history, main facts and figures of CNRS technology transfer. From the history of CNRS creation in 1939, we describe the evolution of policy, legal frame of technology transfer. Then, we present statistics and figures of this activity these last 10 years regarding main indicators like as disclosure inventions, patents, licensing and startup creation. Thus, these elements allow us to introduce and debate the major issue of technology transfer of Academic Research in the perspective of the knowledge economy.

Sommaire du Chapitre I

1. Historique
 - 1.1. La création CNRS
 - 1.2. Le cadre actuel
 - 1.2.1. Dans le sillage du « Bay-Dole Act » Américain
 - 1.2.2. Evolution du cadre politico-juridique en France
 - 1.2.3. La loi 1999 –Recherche et Innovation
 - 1.2.4. Le concept de transfert de technologie et de la valorisation
 - 1.3. L'organisation et la structure actuelle
 - 1.3.1. L'organisation générale
 - 1.3.2. Le réseau de SPV
 - 1.3.3. La COPI
 - 1.3.4. La CESPI
2. Les chiffres du transfert de technologie au CNRS
 - 2.1. Inventeur, Invention et brevets
 - 2.4.3. La déclaration d'invention
 - 2.4.4. La procédure de brevet
 - 2.4.5. Les chiffres
 - 2.2. Les Licences
 - 2.2.1. Typologie
 - 2.2.2. Les chiffres
 - 2.2.3. Les revenus
 - 2.3. La création d'entreprise
 - 2.3.1. Typologie
 - 2.3.2. Les chiffres
 - 2.4. Les contrats de recherche
 - 2.4.1. Typologie
 - 2.4.2. Les chiffres
3. A l'aune de l'économie de la connaissance
 - 3.1. Le cadre théorique
 - 3.2. Transfert de technologie et innovation
 - 3.3. Conclusion chapitre: Pour un modèle « renouvelé » du transfert

“Qui scribit bis legit”
[Celui qui écrit, lit deux fois]

1. Historique

L’histoire, l’évolution et la problématique du transfert de technologie du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) sont intimement liées à la genèse de la création de cet organisme de recherche national, unique en Europe. Comme nous le verrons dans cet historique la naissance du CNRS s’effectue dans un contexte historique très particulier, conçu après la première guerre mondiale, le CNRS sera créé officiellement dans la confusion du début de la seconde guerre mondiale. De cette histoire que nous retraçons brièvement ici, nous allons essayer de dégager la « place » (de ce qui sera identifié plus tard) de l’activité de transfert de technologie et de la valorisation de la recherche académique et fondamentale.

1.1. La Création du CNRS

La (pré) histoire du CNRS regroupe toutes les institutions antérieures, comme la caisse de la recherche scientifique, la **CRS**⁷ créée en 1901 par le sénateur de Roanne Jean-Honoré Audiffred afin d’ *« aider les savants capables de réaliser les découvertes appelées à délivrer l’humanité des fléaux qui la déciment »*, et l’office national de la recherche scientifique et des inventions, l’**ONRSI** (l’Office National de la Recherche Scientifique et des Inventions qui intègre la **CSI**, Commission Supérieure des Inventions) fondée en 1922 par le député socialiste (et inventeur prolifique) **Jules Louis Breton** (fig.1) qui déclare *« la science va jouer dans les luttes économiques en temps de paix, le même rôle prépondérant qu’elle a joué pendant la guerre »*⁸. Il est à l’origine de la création et du lancement en 1923 du « Salon des Arts Ménagers »⁹. Les revenus de cet évènement ont été une source de financement non négligeable pour la recherche dite « pure », comme par exemple pour la réalisation du premier électro-aimant « géant » qui sera un outil important aux travaux de recherche

⁷ CRS : Caisse de la Recherche Scientifique. A cette époque les « caisses » ont été créées pour gérer principalement les bourses et la retraite des scientifiques in « Histoire du CNRS », Denis GUTHLEBEN, Chap.1, CNRS Edition, Septembre 2009.

⁸ Journal du CNRS, Janvier -Février 1989

⁹ Le CNRS contribuera à l’organisation du salon jusqu’en 1983. Source : Il y a dans les archives (Gif / Fontainebleau Versement N° 900035 MDRE) les factures et bilans de participation au salon des arts ménagers.

fondamentale de Paul Langevin sur l'électromagnétisme. L'ONRSI sera remplacé en 1938 par le CNRSA (Centre National de la Recherche Scientifique Appliquée) qui est dirigé par le physicien **Henri Longchambon**.

Le sigle CNRS apparaît cependant dès 1935, sous le gouvernement Laval, une enquête de la cour des comptes pointe (déjà à l'époque) la multitude et la concurrence des « caisses » de recherche, et propose la création de **La** CNRS (La Caisse Nationale de la Recherche Scientifique).

C'est à l'effort constant et continu de **Jean Perrin**, prix Nobel de Physique (1926), dès 1930, que l'on doit la création du CNRS en Octobre 1939¹⁰ (deux mois après l'entrée en guerre de la France). Jean Perrin a rallié à son idéal¹¹ d'une recherche scientifique fondamentale indépendante, de grands noms de la science comme Henri Bergson (littérature), Louis de Broglie (Physique), Marie Curie (Physique et Chimie), Charles Nicolle (Médecine) et Paul Sabatier (Chimie), mais il s'est attiré aussi beaucoup d'inimitiés comme avec les Physiciens Paul Langevin ou Yves Rocard et surtout le géologue Charles Jacob, ennemis jurés de la « Bande à Perrin », sous couvert (déjà) à l'époque de l'amertume des ambitions contrariées des Universités. L'organisme CNRS va dès ses débuts, s'employer à coordonner le travail de 1200 chercheurs répartis dans 200 laboratoires¹².

¹⁰ « Décret organisant le Centre National de la Recherche Scientifique », 19 Octobre 1939, J.O.R.F. du 24 Octobre 1939.

¹¹ « *Il n'est pas en effet de science possible où la pensée n'est pas libre, et la pensée ne peut être libre sans que la conscience soit également libre.. chacun de nous peut bien mourir mais nous voulons que notre idéal vive..* » extrait d'un discours de Jean Perrin sur les ondes de la RDF en 1935.

¹² Picard, Jean-François, « La création du CNRS », in Revue pour l'histoire du CNRS, N°1, Nov. 1999, p.51



Fig. I.1 : Jules-Louis Breton, « Directeur des inventions » et sa famille, dans le premier laboratoire installé à Meudon-Bellevue et fondateur de l'office national de la recherche scientifique et des inventions : ONRSI.

Source : Comité pour l'histoire du CNRS

Il est difficile de dégager la « petite » histoire du « Transfert de Technologie et de la Valorisation de la Recherche » de cette grande histoire du CNRS. En fait, il n'y a pratiquement rien dans les textes et déclarations de Jean Perrin concernant cet aspect de la recherche. Nous ne pouvons pas conclure que « cela ne l'intéressait pas ». En effet, remis dans le contexte de l'époque où l'effort de guerre était une obligation nationale, il se devait d'afficher et de conserver une position « extrême »¹³ pour défendre les intérêts de la « Science Pure ». D'ailleurs, il approuve les propositions de Jean Zay¹⁴ sur les liaisons entre la recherche pure et la recherche appliquée, et ne s'oppose pas à l'intégration du CNRSA (et autres CNS, CSI, ONRSI) et à la nomination de Henri Longchambon à la tête de la Recherche Appliquée. Ces deux parties du CNRS, Recherche Appliquée et Recherche Fondamentale fonctionneront de façon quasi-indépendante, c'est-à-dire sans coordination ou stratégie concertée. Des exemples révélateurs montrent en effet une non-coordination entre ces deux branches du CNRS, des laboratoires dits « fondamentaux » vont avoir leur propre

¹³ L'histoire lui donnera raison, puisque le budget public « réservé » à la recherche passera de 8 millions de Francs en 1930 à plus de 27 millions de Francs en 1938.

¹⁴ Discours de Jean Zay prononcé le 2 Mars 1938 devant le CSRS (Comité Supérieure de la Recherche Scientifique), Maison de la Chimie, *ibid* (1)

activité de transfert de technologie, par exemple quand Frédéric Joliot-Curie décide de breveter (et valoriser) ses résultats sur le contrôle de la fission nucléaire.

L'activité proprement dite de ce qu'on appelle aujourd'hui le « Transfert de Technologie » semble donc avoir été en très grande partie sous la responsabilité du CNRSA, qui ayant intégré CSI (commission supérieure des inventions créée en 1914), a en charge une problématique essentielle et toujours très actuelle du transfert de technologie : l'instruction et l'évaluation des propositions d'inventions, de tous les inventeurs en France, quelque soit leur statut.

Une anecdote cocasse rapportée par Henri Longchambon¹⁵, est l'évaluation en 1939 par le chercheur Jean Wyart du « Rayon de la Mort » supposé pouvoir détruire un avion à 3000 mètres d'altitude. Jean Wyart en analysant les incohérences technico-scientifiques de l'invention, reporte à Longchambon «C'est une farce !». Mais sous la pression d'industriels, de militaires et des politiques il est contraint d'effectuer un essai « réel » avec l'inventeur. Cet essai s'effectue sur un pigeon placé dans une cage à 10 mètres, en présence de militaires et de représentants du gouvernement. Le résultat est « drôlatesque » car tous les observateurs sont intoxiqués par un dégagement de chlore, et bien sûr le pigeon s'en est fort heureusement sorti indemne. Cet exemple montre que l'activité du transfert de technologie n'était pas à l'origine exempte de tous dangers, et plus sérieusement qu'elle a été et est toujours soumise à beaucoup de pressions autres que scientifiques ou techniques.

La mission déclarée du CNRSA est de « *développer et coordonner spécialement la recherche scientifique appliquée au progrès industriel, d'aider les inventeurs, d'assurer la liaison entre les services publics et les laboratoires, d'apporter son concours à toute recherche d'intérêt collectif même entreprise par un groupe industriel* »¹⁶, ce qui correspond actuellement en grande partie aux objectifs du « Transfert de technologie et la valorisation de la recherche ».

Cependant, on relève dans les archives¹⁷ du CNRS (fig. 2), une autre vision de la création du CNRS qui est présentée comme un « élargissement » du CNRSA afin de supporter l'effort de guerre. Et en effet le CNRS par « Le fond des brevets et

¹⁵ Picard, Jean-François, *La république des savants*, Paris, Flammarion, 1990, p.21 d'après le rapport d' Henri Longchambon, HCCRST 1939, AN 80-284, Liasse 30.

¹⁶ Source : Archives « mission du CNRS » de 1914 à 1974, N° de versement 19800284 et suivantes

¹⁷ Source : Archives « mission du CNRS » de 1914 à 1974, N° de versement 19800295, décret interministériel de décembre 1939 sur « l'effort de guerre » du gouvernement Laval.

On trouve aussi dans ces archives l'inventaire des toutes les inventions de 1914 – 1945. L'étude de ces inventions est particulièrement intéressante au regard du développement industriel entre les deux guerres.

inventions » aura pour mission de dispenser les fonds (avances), protéger la propriété intellectuelle, et passer des contrats (?) avec les inventeurs jusqu'en 1950.

<u>BREVETS ET INVENTIONS</u>	
69	Commission supérieure des inventions (1914-1945) Décrets constitutifs ; personnel : correspondance Procès-verbaux des séances de la section permanente (1924-1935) Prix Barès : dossiers de candidatures (1939) ; rapports brevets, correspondance ; procès-verbaux de la commission du prix Barès (1943-1945)
70	JNRBI : avances et justifications des brevets (1925-1938) déclarations des versements (par exercice)
71	Inventions et brevets (1939-1956) Commission des inventions et des brevets : textes constitutifs (1939-1951) Commission de la propriété intellectuelle : procès-verbaux de séance (1947-1950) Conseil supérieur de la recherche scientifique et du progrès technique : procès-verbaux des réunions et rapports (1953-1956) Contrats avec l'Institut National de la propriété intellectuelle (1950-1951) Documentation générale - textes de lois intéressant le CNRS (1946-1950) - rapport sur le projet de codification et de brevetabilité des produits scientifiques (1951) - textes de lois et articles sur les brevets et les inventions (1945-1956)

Fig.I.2 : Extrait des archives du CNRS de 1914-1974. N° versement 198000284 et suivants

Par la suite, le « fond des brevets et inventions » va continuer à s'occuper donc des brevets et inventions des chercheurs, et surtout des premiers litiges entre inventeurs, industriels et autres contrefacteurs (Affaire Cotal, affaire Bruloil, affaire Langevin-Chilkoski, affaire Poncet, etc..)

Beton	Trappe à eau	36-37
Jacob	Appareil permettant d'opérer automatiquement les opérations de statistiques et de comptabilité	36-37
Kefelt	Stabilisation contre le roulis et le tangage des navires	1932-1937
Lamé	Moteurs	36-37
Legendre, Langier, Cardot	Bloc à série de températures constantes	1923
Tchang te Jou	Compteur de débit	1938-1939
Thilli	Dispositif de sécurité pour appareil à gaz	1932-1935
Varsha	Etude sur les abaques	1928
Kotel	Moteur à huile lourde	1936
Reilingor	Turbine à eau chaude	1935-1938
Piette	Brevets : étude des vibrations	1929
Tourlier	Application des lampes électriques à la construction des instruments de musique	1923
Tonas	Moteur à explosion	1940
Andreu	Carburateur	1923
Armand	Dispositif de sécurité pour installations électriques	1938
Beton	Machine à laver les parquets	1926
"	Perfectionnement de machine à enregistrer du papier photographique	1936
Loiseau	Dispositif de télévision	1939
Loiseleur	Procédé par voie humide pour la préparation de semi-argentina homogènes	1940

Fig.I.3 : Extrait de la liste des « inventions » du CSI (Commission Supérieure des Inventions) du CNRS Source Archives MENRT/CNRS N° versement 198000298. Les inventions sont à dominante Electro-Mécanique.

La problématique de la valorisation de la recherche existe dans les faits puisque les archives listent les brevets (Fig.3), dont la très grande majorité est déposée et appartient à des partenaires industriels, mais elle ne se traduit pas par une organisation structurelle visible. Le seul investissement est la création effective d'un bureau de la propriété intellectuelle qui dépend des moyens communs de l'administration du CNRS.

Il faudra attendre les années soixante pour trouver une stratégie claire et spécifique pour la valorisation de la recherche. D'abord par la création d'un service de valorisation appelé INVAR qui sera renommé en 1969¹⁸ : l'Agence Nationale de la Valorisation de la Recherche : l'ANVAR dont la mission est « *d'améliorer le rendement économique des fonds publics investis dans la recherche en contribuant à une exploitation optimale et à la constitution d'un portefeuille de brevets de haut niveau scientifique. Cette tâche de valorisation va nécessairement de pair avec une activité d'information : l'amélioration des liaisons entre recherche et l'économie suppose une meilleure diffusion auprès de l'industrie des résultats de la recherche et des travaux en cours, et aussi une certaine sensibilisation des chercheurs aux thèmes de recherche en relation avec les problèmes posés par le secteur économique.* ». L'ANVAR est une si « bonne » idée qu'elle sera reprise par le Ministère de l'Industrie, et transformée en une agence nationale autonome.

Beaucoup d'anecdotes émaillent la genèse de la création de la valorisation au CNRS, mais il est plus important de souligner que le transfert de technologie et la valorisation (ou le souci de valoriser) a toujours fait partie du CNRS dès sa création (même si cela n'a pas été au cœur des préoccupations principales de Jean Perrin). Cette ambivalence peut expliquer que dès le départ l'articulation entre science pure et science appliquée ait été une problématique, mal comprise et par suite mal assumée dans la gouvernance du Centre.

Cependant cette séparation entre Science Pure et Science Appliquée prendra fin après guerre (12 Août 1945)¹⁹ sous l'impulsion de Frédéric Joliot-Curie (premier Président du CNRS et proche de d'Henri Longchambon)²⁰ qui centralisera tous les pouvoirs de décision à un Conseil d'Administration et à un Directeur unique ayant autorité sur un ensemble de « comité directeur » spécialisés par disciplines.

¹⁸ Selon le rapport du Conseil d'Administration du CNRS de 20 Novembre 1969. Donc plus de 10 ans Avant le Bayh-Dole Act américain qui étendent les droits de propriété et les obligations des Universités et organismes de recherche publics américains.

¹⁹ Archive du CNRS N° Versement 19800284 et suivants : Note de l'archiviste « *il est cependant loisible d'indiquer combien ces archives anciennes du CNRS (1914 à 1974) permettent de saisir les intentions, la lucidité des hauts fonctionnaires et des chercheurs, souvent mal relayée par des milieux industriels plus routiniers, elles font mieux comprendre comment cette idée qu'il fallait lier recherche pure, recherche appliquée et production industrielle, alors presque insolente, se heurta constamment à une conjoncture qui s'acharna à ruiner les efforts les plus louables* »

²⁰ Selon Jean-François Picard, in « La création du CNRS » : *ibid*

Il est intéressant de relever que seulement un an après sa nomination, Frédéric Joliot-Curie quittera le CNRS pour installer le CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique)²¹. De cette brève histoire on retiendra que le CNRS aura été à l'origine de la construction des premiers éléments structurants du système d'innovation Français, en participant notamment à la création de l'INPI (l'institut national de la propriété intellectuelle) et de l'ANVAR (l'agence nationale de la valorisation).

A partir de 1970, c'est l'ANVAR qui est chargé du transfert de technologie pour le CNRS, mais assez rapidement compte tenu de sa mission nationale importante, il sera créé une filiale de valorisation à statut privé commune (premier pas de la mutualisation) avec d'autres organismes comme l'INSERM, l'INRIA, l'INRA, IFREMER, et l'ANVAR en 1992:

La société FIST sa (France Innovation Scientifique et Transfert).

On peut souligner ici cette précocité d'analyse de la valorisation de la recherche académique qui dès le début des années 80, conduit à la séparation des fonctions de transfert de technologie (détection et protection), des fonctions de « valorisation » (marketing, commercialisation).²²

Cette expérience de « mutualisation » entre organismes publics sera abandonnée assez rapidement avec le départ des autres organismes qui privilégient à cette époque une spécialisation du transfert de technologie par domaine technico-économique. D'ailleurs au sein même du CNRS, il y aura la création d'instituts spécifiques l'IN2P3 (Physique des particules) et l'INSU (Sciences de l'Univers) avec leur propre structure de valorisation.

²¹ F. Joliot-Curie à l'origine des premiers brevets sur le contrôle de la fission atomique, est aussi à l'origine de la première filiale privée du CNRS, la « Société anonyme pour l'exploitation de l'énergie atomique » (SPEDEN) en 1940. Il défendra une idée d'un CNRS interministériel, indépendant du Ministère de l'Éducation et donc des universités selon Jean-François Picard, « La création du CNRS », *La Revue pour l'histoire du CNRS*, N°1 - Novembre 1999.

²² La contrepartie d'une telle organisation est la nécessité d'une coordination et d'une gestion rigoureuse et équilibrée entre ces 2 fonctions de la valorisation de la recherche (protection et valorisation).

1.2. Le cadre actuel

La « Valorisation » de la recherche est la deuxième mission du CNRS, la première étant la production de connaissance²³ : « ..évaluer, effectuer ou faire effectuer toutes recherches présentant un intérêt pour l'avancement de la science ainsi que pour le progrès économique, social et culturel du pays... contribuer à l'application et à la valorisation des résultats de ces recherches.. » Par suite cette activité a toujours été une réalité au CNRS qui s'est traduite dans l'organisation générale du CNRS par la création d'un « Bureau des services communs » en charge des brevets et des contrats (licence ou autre) avec les industriels puis par la création de la Délégation aux Entreprises (DAE) et enfin en 2006 par la création d'une Direction de Politique Industrielle²⁴.

Il est important de décrire ici les principaux éléments administratifs, politiques et juridiques qui ont déterminé le cadre de cette activité.

1.2.1. Dans le sillage du « **Bayh-Dole Act** » américain.

En matière de transfert de technologie et valorisation de la recherche il est d'usage de mentionner le *Patent and Trademark Law Amendments Act*, plus connu sous le nom de ses deux promoteurs, les sénateurs **Birch Bayh** (démocrate) et **Bob Dole** (républicain) promulgué en décembre 1980. Ce texte autorise toute organisation à but non lucratif (ce qui inclut explicitement les universités) ou toute petite entreprise recevant des subventions de recherche des agences fédérales, sous réserve de respecter certains délais, à revendiquer des droits de propriété intellectuelle sur les éventuelles inventions découlant de ces octrois. Notons cependant que c'est la loi sur l'innovation de **Stevenson** et **Wylder** (1980) qui apporte les réels « moyens » de cette politique d'innovation, en requerrant aux bureaux de recherches (agences de moyens) d'allouer au moins 5% de leurs fonds de R&D (budget d'appels d'offre) au transfert de technologie.

Si la loi Bayh-Dole a eu d'importants effets institutionnels, le bilan est moins évident à dresser sur le plan de l'impact économique réel de la commercialisation de la recherche. Il est vrai que l'on observe à partir du début des années 1980 une forte croissance de toutes les activités liées à la commercialisation de la recherche dans les

²³ Art. 14 loi du 15 Juillet 1982 et Art. 2 du décret 82-993 modifié par la loi 99-587 du 12 Juillet 1999

²⁴ Compte-rendu du Conseil d'Administration du CNRS du 6 Juillet 2006

universités : dépôts de brevets, concession de licences ou création d'entreprises dérivées (« start-up/spin-off »). Pour certains universitaires, et pour les milieux proches des TTO (Technology Transfer Office), l'examen des diverses statistiques ne laisse planer aucun doute : le passage de la loi Bayh-Dole provoqua une « révolution » dans les pratiques de transfert technologique des universités²⁵. D'autres, comme Mowery (2001), soutiennent plutôt que cette loi n'est qu'un facteur parmi d'autres dans la croissance de la commercialisation²⁶. En effet il ne faut pas oublier que des universités importantes comme Stanford ou le Massachusetts Institute of Technology (MIT) dans les années 1910 ou la Wisconsin Alumni Research Institute Foundation (WARF) ont été fondés sur des projets de transfert de technologie avec des industriels.

S'il est peu évident de mesurer l'impact du Bayh-Dole act du point de vue économique et technico-scientifique (l'émergence des biotechnologies, ou de l'informatique ne sont pas corrélables au mouvement créé par cette loi pour Mowery - 2001), il est cependant certain que l'impact a été important sur l'organisation et la « standardisation » du transfert de technologie dans le monde avec notamment la création des TTO. Et dans le cas du CNRS cela a, sans nul doute, fortement influencé la tentative de mutualisation du transfert de technologie (création de FIST SA la première filiale privée de courtage de technologie en 1991).

1.2.2. L'évolution du cadre légal de la valorisation

Jusqu'aux années 1970, il n'y a pas de politique générale de la valorisation au CNRS, mais plutôt une mission publique de protection et de valorisation de la propriété intellectuelle française qui est assurée par l'ONRSI puis par le CNRSA (le CNRS a géré les « fonds des brevets et inventions » ministériel jusqu'en 1950) Des « contrats » sont passés entre le Centre et les inventeurs pour les inventions non affectées ou non issues d'une collaboration industrielle. Le centre effectue des « avances » aux inventeurs pour le prototypage, la maturation de l'invention et le dépôt de brevet, et devient de fait le mandataire, organisme gestionnaire de l'invention. Le centre signe donc des licences d'exploitation avec les industriels intéressés. Il n'y a en fait que peu de données sur cette époque sinon les

²⁵ Rebecca Henderson *et al.*, « Universities as a Source of Commercial Technology : a Detailed Analysis of Universities Patenting, 1965-1988 », in *The Review of Economics and Statistics*, 1998, p. 119-127.

²⁶ David C. Mowery *et al.*, « The Growth of Patenting and Licensing by US Universities : An Assessment of the Effects of the Bayh-Dole Act of 1980 », in *Research Policy*, vol. 30, 1, janvier 2001, p. 116

correspondances relatives aux conflits entre les inventeurs et l'organisme, ou entre le CNRS et l'industriel²⁷. Concernant, les résultats des collaborations industrielles, ils appartiennent toujours à l'industriel. Dans une « collaboration de recherche » avec un industriel, la propriété industrielle résultante est gérée par l'industriel (dépôt, extension, maintenance). La copropriété avec les organismes publics n'est pas courante. Concernant l'exploitation et les éventuels revenus de commercialisation de ces inventions des « accords » directs (voire tacites) lient les inventeurs et les industriels.

Il faudra attendre le début des années 1980 (influence du Bayh-Dole Act ?) et la loi d'orientation pour la recherche et le développement économique, **loi n°82-610 et suivant du 15 Juillet 1982** et enfin la loi sur l'enseignement supérieur du **26 Janvier 1984** pour voir un affichage clair de la priorité de valorisation économique des résultats de la recherche académique. Les « services et organismes » de relations industrielles chargés de l'interface entre les laboratoires et les acteurs économiques vont se multiplier, comme les Centres régionaux d'Innovation et de Transfert de Technologie, les Technopoles, les Centre Techniques Industriels, réseaux de diffusion, les G.I.E groupement d'intérêt économique et les unités mixte de recherche UMR Industrie créée avec une entreprise (les UMR avec les universités existent depuis 1960), et les URA (unités de recherche associé).

1.2.3. La Loi Recherche et Innovation de 1999

En France, le rapport Guillaume de 1998 a largement inspiré le texte de la loi sur l'innovation et la recherche de 1999. Ce rapport rappelle les « leçons » à tirer de l'expérience américaine et le rôle clé du *Bayh- Dole Act* dans les « résultats spectaculaires » en matière de transfert de technologie aux États-Unis²⁸. Trois ans plus tard, un rapport du Sénat déplorait encore que la valorisation de la recherche demeure, en France, « décevante²⁹ ». Même si l'organisation de la recherche française affiche une spécificité certaine, une « singularité » qui la distingue notamment de celle des pays anglo-saxons, le modèle américain y fait des émules : la loi de 1999 a

²⁷ Source Archives du CNRS à Gif /yvette : N° de versement 19800284, archives CNRS de 1914 à 1974.

²⁸ Henri Guillaume, *Rapport de mission sur la technologie et l'innovation*, mars 1998, p. 41. Rapport à l'intention du ministre de l'Éducation nationale, de la Recherche et de la Technologie, Claude Allègre, du ministre de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, Dominique Strauss-Kahn, et du secrétaire d'État à l'Industrie, Christian Pierret.

²⁹ France, Sénat, *Rapport général sur le projet de loi de finance 2002*, 22 novembre 2001, 87, t. III, Annexe 33, Recherche, p. 35.

clairement pour ambition de reproduire dans l'Hexagone la « réussite américaine » en permettant, pour la première fois, aux enseignants-chercheurs, presque tous fonctionnaires civils, de participer à la valorisation de leurs inventions – notamment en créant une entreprise – et en donnant aux universités, au CNRS et aux laboratoires publics la possibilité de participer plus facilement à des filiales et à des groupements. Cette loi constitue un tournant pour l'organisation de la recherche française³⁰. Elle renforce les mesures de soutien à l'innovation et au développement technologique et facilite la création d'entreprise par les personnels de recherche de la fonction publique. Elle s'articule autour de quatre points principaux :

- La création ou l'extension par les établissements d'enseignements supérieurs de structures d'interface professionnalisées avec le monde économique ;
- La restructuration du dispositif national par la création d'un Centre de la Recherche Technologique ;
- La politique en faveur de l'emploi scientifique et technique des entreprises ;
- L'essaimage et la création d'entreprise à fort potentiel de croissance.

Cette loi reconnaît donc l'importance de la recherche publique dans le processus d'innovation et la création d'entreprise comme un vecteur particulier de transfert de technologie. Et enfin elle « dépenalise » le délit d'ingérence du chercheur fonctionnaire à une activité privée et marchande³¹.

³⁰ P. Mustar et P. Larédo, « Innovation and Research Policy in France (1980-2000) or the Disappearance of the Colbertist State », in *Research Policy*, vol. 31, 2002, p. 55-72.

³¹ **Les quatre volets de la loi sur l'innovation et la recherche (loi n° 99-587 du 12 juillet 1999)**

La mobilité « des personnels de la recherche vers l'entreprise » par le biais des clauses 25.1 et 25.2 :

- De la création d'entreprise valorisant le travail de l'agent concerné, lequel peut garder son statut pendant une période de six ans maximum et réintégrer, ou non, son laboratoire d'origine à l'issue de cette période.
 - Du concours scientifique porté par le fonctionnaire à une entreprise innovante (pendant une période de cinq ans maximum).
 - De sa participation au capital d'une entreprise. Cette participation peut représenter jusqu'à 15 % du capital d'une entreprise.
 - De sa participation au conseil d'administration ou au conseil de surveillance d'une entreprise.
- Il sera créé au CNRS, une commission de « Déontologie » afin de statuer sur chaque demande dite de 25.1 ou 25.2 ou 25.3 émanant d'un chercheur.

1.2.4. Le concept de transfert de technologie et de valorisation

C'est à partir des années 80, que va se préciser fonctionnellement et structurellement le concept de transfert de technologie et de valorisation. Beaucoup de travaux permettent de re-situer plus précisément maintenant la place et le rôle du transfert de technologie dans la perspective de l'économie de la connaissance et des théories sur l'innovation³².

La valorisation de la recherche (littéralement « qui donne de la valeur »³³) peut être définie comme la transformation de la connaissance en nouveaux produits et services marchands aux travers de la coopération entre la recherche publique et les entreprises et par la mobilité des chercheurs. Elle stipule le plus souvent une appropriation privée (exclusive ou non) des produits de la recherche. Les formes principales de valorisation de la recherche publique sont :

- La signature de contrats de recherche par les centres publics de recherche avec les entreprises.
- L'exploitation des résultats de la recherche (dépôt de brevets et négociation de licences d'exploitation prévoyant un retour financier).
- La mobilité des chercheurs : la thèse de doctorant est financée en partie par l'entreprise; un chercheur ou une équipe de chercheurs apporte son concours scientifique ou son conseil à une entreprise, etc.
- La création d'entreprises par les chercheurs eux-mêmes.

Ces formes de valorisation ne sont pas toutes nouvelles (comme le montre l'historique de la création du CNRS, construit à partir de l'ONRSI et du CNRSA). Les contrats de recherche entre CNRS et entreprises et même CNRS et inventeurs existent de longue date. De même les cofinancements de thèses ne sont pas choses nouvelles mais la mobilité s'est étendu à d'autres catégories de personnels (comme les chercheurs fonctionnaires de l'État) depuis 1999. Les deux formes véritablement nouvelles de la valorisation de la recherche publique, pour le CNRS, sont donc la capacité à déposer et exploiter des titres de propriété industrielle et la création d'entreprises à partir de la

³² Lire à ce sujet notamment Jaffe (2000), Nelson (2000), Mowery et Ziedonis (2002) et Sampat et al. (2003).

³³ Le terme valorisation n'existant pas littéralement en anglais, dans le cadre de cette thèse nous parlerons de « Valorisation » dans un cadre général politique et sociétal et « Transfert de Technologie » dans un cadre spécifique fonctionnel, technique et structurel. A l'instar de nos collègues Québécois (HEC Montréal) qui sépare les fonctions de transfert de technologie (Dépôt, Extension de brevet..) de la Valorisation proprement dite (Marketing, commercialisation, licensing..)

recherche. Ces évolutions concernent toutefois un grand nombre de pays industriels et découlent d'une transformation des cadres réglementaires dans le sillage du Bayh-Dole Act américain.

1.3 Organisation et structure actuelles du Transfert de Technologie.

L'organisation actuelle de la valorisation au CNRS a été structurée dès 1992, sous le nom de DAE : « Délégation Aux Entreprises ». C'est en 2006, que cette délégation est devenue une direction à part entière, intégrée à la Direction Générale du CNRS : la DPI Direction de la Politique Industrielle. Le directeur de la DPI est membre du Comité Directeur du CNRS. La DAE en 1992 comportait environ 30 personnes et actuellement la DPI en comprend plus de 220 personnes (223 Temps plein, y compris le personnel affecté à la valorisation en région et hors filiale privée FIST SA) pour un organisme de plus de 29000 employés dont plus de 12000 chercheurs répartis dans plus de 1000 laboratoires.

1.3.1 L'organisation générale

L'organisation actuelle de la « valorisation » est principalement structurée autour de la DPI (Direction de la Politique Industrielle) depuis Juillet 2006, située à Paris, proche de l'administration centrale et intégrée à la direction générale.

La DPI est constituée de 4 entités (Fig.4) : la première entité est la COPI (Cellule Opérationnelle de Politique Industrielle) qui est elle-même constituée d'un service en charge des relations avec l'industrie, d'un service de support à la création d'entreprise, d'un service de transfert de technologie. La seconde entité RéSPV est en fait le réseau des SPV (services partenariat & valorisation) situé dans les 20 délégations régionales du CNRS. La troisième partie est la CESPI, qui est en charge des études et du conseil stratégique de la politique industrielle de la DPI. Et enfin, la dernière entité est la filiale de courtage de technologie privée du CNRS : FIST SA (France Innovation Scientifique et Transfert). Il est important de souligner cette spécificité d'une filiale privée dans le transfert de technologie public, ceci pour deux raisons tout d'abord historique car c'est la première tentative de mutualisation de moyens publics pour la valorisation (1991), et la seconde est l'analyse qui conduit à conclure que certaines fonctions (en particulier prospection, courtage, négociation) ne

peuvent être assumées par une entité publique. Les raisons de la nécessité d'une filiale de droit privée sont multiples, la raison « officielle » est d'ordre juridique : FIST SA est créée en 1992 donc bien avant le Loi de 1999 qui « ouvre » le statut des fonctionnaires et des organismes de tutelles, car jusque là certaines opérations juridiques ne pouvaient pas impliquer directement et simplement le CNRS, comme par exemple la prise de participation dans le capital de société, ou l'investissement en amorçage pour les « Startups » issues du CNRS³⁴. Ces opérations capitalistiques peuvent ainsi être « portées » par une filiale privée externe. L'autre raison, est « l'incompatibilité » du statut de fonctionnaire avec des fonctions de marketing-vente de technologie et de négociation commerciale. En fait, cette structure permet aussi une plus grande liberté de gestion de personnel, par un recrutement de professionnels (juridique et technico-commercial) mieux payés et paradoxalement plus stables.

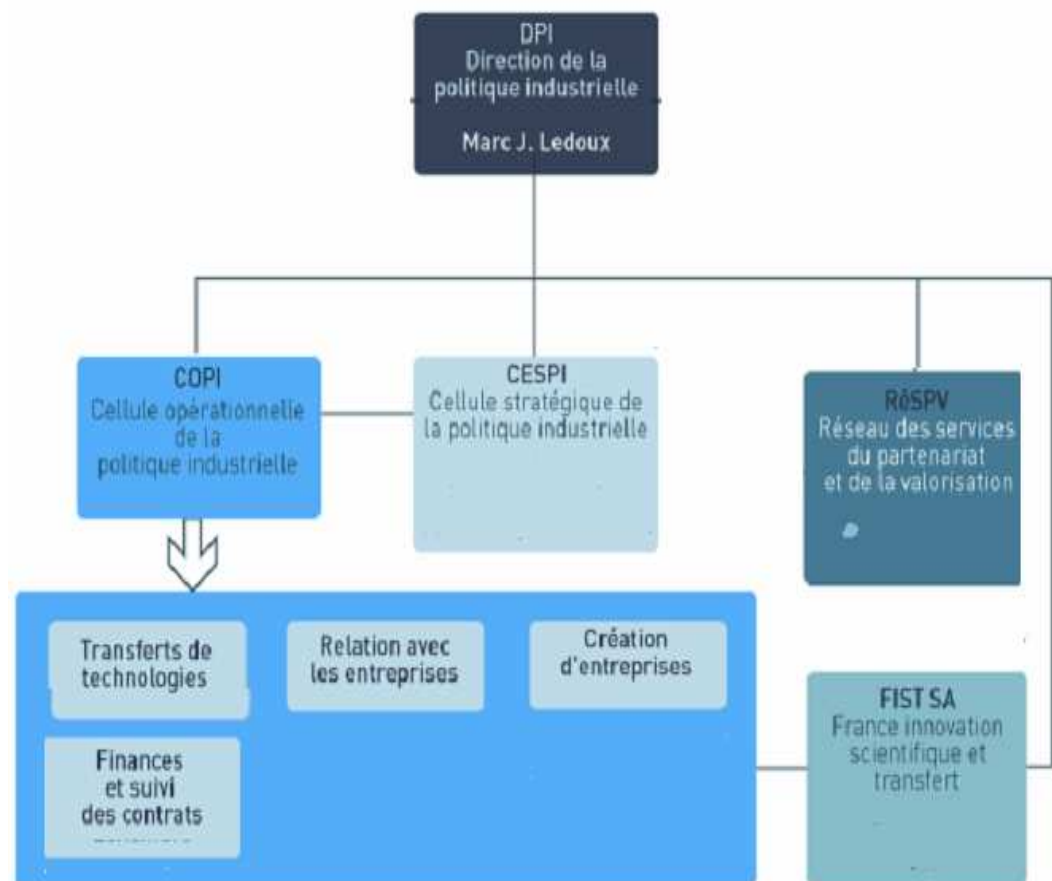


Fig. I.4 : La DPI est constitué de 4 entités : la COPI (Cellule Opérationnelle de Politique Industrielle, Création d'entreprise et Relation avec l'industrie), la CESPI (Cellule Etudes et Stratégie de Politique Industrielle), le RéSPV (réseau des SPV) et une filiale de courtage privée FIST SA.

³⁴ En effet, avant 1999 il fallait un accord du gouvernement et des services associés (Ministères) pour une prise de participation au capital de société. Par exemple dans le cas d'une Start-up, qui ne peut lors de sa création payer les « cash » libérateur, la « valeur » de la PI du CNRS peut être convertie en part du capital.

1.3.2 Le réseau des SPV

L'action de la DPI est relayée dans chacune des 20 « régions » administratives du CNRS (Fig.5), au sein des directions régionales, par des agents spécialisés : les SPV (spécialiste partenariat valorisation). Dépendant de chaque Direction Régionale du CNRS, le SPV est le support direct, et opérationnel proche du chercheur, pour les contrats de collaboration de recherche et pour la mise en forme des déclarations d'invention. Ce réseau de support (RSVP) est fondamental dans la politique industrielle et la stratégie de valorisation du CNRS.

Un des aspects de la mission du SPV, primordial au regard du transfert de technologie, est la **détection** et la **sensibilisation** du chercheur à la valorisation et à la Propriété Intellectuelle (Brevet, Droits d'auteurs, Confidentialité).

Dans la réalité, la charge de travail du SPV est à plus de 90% mobilisé par les contrats de collaboration de recherche ou de prestation de services et seulement à 10% et moins à la problématique Invention et Brevet. En effet, comme nous le constaterons plus loin dans le chapitre « contrat », la recherche ne pourrait tout simplement pas fonctionner avec uniquement le budget alloué au CNRS, car sur un budget total annuel d'environ 3 Milliards d'Euros, la masse salariale brute dépasse les 2,6 Milliards d'euros pour un effectif total de plus de 30 000 personnes. Par suite la « **quête** » de **contrat de recherche** public (national et européen) et/ou privé est la priorité administrative absolue de tous les laboratoires, et donc de leur unité de support dans les délégations régionales.

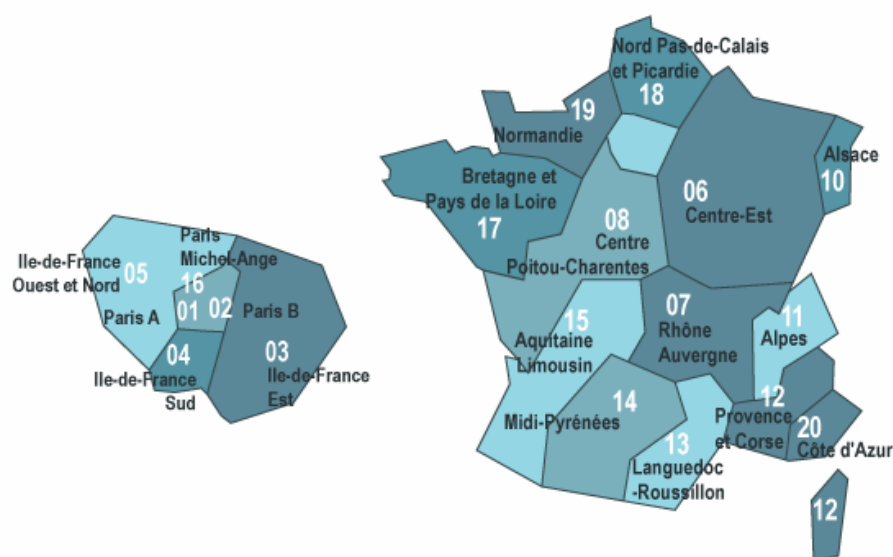


Fig.I.5 : Les 20 régions administratives du CNRS (source www.cnrs.fr)

1.3.3 La COPI

La COPI (Cellule Opérationnelle de Propriété Intellectuelle) est divisée en 3 parties, la première constituant le cœur même de ce qu'il convient d'appeler le « Transfert de Technologie » opérationnel. En effet la COPI regroupe l'ensemble des opérations nécessaires à l'activité principale de prise de brevet et de licence d'exploitation. Ce service est en prise directe avec la filiale de valorisation privée FIST sa. La filiale du CNRS est par convention et par mandats spécifiques en charge d'un certain nombre de tâches précises (autre que la prospection et le courtage de technologie) comme la gestion administrative de la PI, le suivi des cabinets de brevets.

La seconde partie de la COPI est le service de « relation avec l'entreprise », cette entité a pour principale mission de coordonner les échanges avec les industriels, au travers des négociations d' « Accord Cadre ». Ces contrats entre le CNRS et certains grands groupes industriels (Air Liquide, Arcelor Mittal, PSA, Thalès etc..) comme leur nom l'indique fixe le cadre général et les définitions de bases et surtout les conditions de Propriété Industrielle (partagée) pour l'ensemble des contrats de collaboration de recherche entre les laboratoires du CNRS (unités propres ou mixte) avec l'industriel concerné. Ces contrats cadre évitent les discussions locales pour chaque contrat (en effet des sociétés comme Thalès ou Arcelor peuvent signer plusieurs centaines de contrats de collaboration par an). Par ailleurs ce service gère le « Répertoire des compétences », répertoire indexé de l'ensemble de l'offre technologique des laboratoires et des chercheurs pour les entreprises. On notera aussi la participation active de ce département de la DPI à des activités nationales et régionales vers les TPE et PME innovantes (Ecole de l'Innovation pour les PME, Salon de l'Innovation).

La dernière partie de la COPI, est le résultat direct de la loi de 1999 qui autorise à des fonctionnaires chercheurs le droit de participer activement à une entreprise, mais sous certaines conditions. Ces conditions de mobilité (clause 25.1) et de participation (clauses 25.2 ou 25.3) sont examinées par ce département avant d'être soumises à une commission de déontologie. La clause de mobilité est une quasi-exception mondiale d'engagement effectif d'un organisme de recherche publique qui soutient financièrement pendant au plus 4

ans (2 ans renouvelable 1 fois) un chercheur dans sa tentative entrepreneuriale et s'engage à le réintégrer en cas d'échec. Mais comme nous le constaterons dans le chapitre « création d'entreprise », en 10 ans moins de 300 chercheurs ont profité de cette voie de transfert de technologie. Ce département constitue un soutien direct et effectif au chercheur-entrepreneur dans sa volonté et démarche de création d'entreprise.

1.3.4. La CESPI

La CESPI (Cellule Stratégique de Politique Industrielle) est une autre spécificité de la structure de transfert de technologie du CNRS.

La CESPI constitue en fait une cellule d'étude et de réflexion qui doit apporter des éléments de positionnement à une (ou des) politique(s) industrielle(s) du CNRS, et de façons pragmatiques pour la prise de décisions sur l'ensemble des actions de valorisation comme :

- . La gestion du portefeuille de brevets (dépôt, abandon)
- . La copropriété
- . Les aides et soutien au transfert
- . La participation à la création d'entreprise
- . Les relations partenariales (industries, organismes, universités)

Les éléments apportés prennent en compte :

- . La politique scientifique du CNRS
- . Le positionnement scientifique du CNRS sur un domaine³⁵
- . Les axes technologiques prioritaires³⁶

La CESPI est aussi un organe de réflexion ouvert vers l'extérieur. Le « comité CESPI » est composé des responsables de services de la DPI, de représentants des différentes Directions Scientifiques du CNRS (SDV, Physique, ST2I, Chimie) et de divers conseillers, intervenants externes ou spécialistes invités.

³⁵ Intervention Marc Jacques Ledoux, directeur de la DPI du CNRS, à la commission du sénat (Octobre 2008) : *« Le brevet (et sa valorisation) n'est plus subi par l'organisme et son entité de transfert, il devient (valorisé ou non) un vecteur de l'expression d'une politique industrielle pouvant agréger et/ou initier des grappes technologiques sur des domaines et « cluster » où le CNRS peut apporter une réelle valeur ajoutée. La valorisation devient alors plus conforme au modèle de Kline-Rosenberg des interactions de la Recherche au Marché, qui met au centre de ces interactions la Connaissance ».*

³⁶ Le CNRS – DPI a dégagé 5 axes prioritaires dans lesquels sa position et son apport peuvent être déterminant : **La vectorisation pharmaceutique, les piles et batteries, Matériaux et composants, Chimie catalyse, Imagerie.**

2. Les chiffres du transfert de technologie

En janvier 2007, un rapport sur la valorisation de la recherche française rédigé par l'inspection générale des finances et inspection générale de l'administration de l'Éducation nationale et de la recherche, est rendu public. Il souligne, en particulier, qu'« *en dépit des mesures prises depuis la loi sur l'innovation de 1999, la valorisation de la recherche ne progresse pas en France depuis quinze ans* ».

Ce rapport souligne des déficits sur les quatre volets de cette valorisation: les contrats de partenariat entre laboratoires publics et entreprises, la participation aux programmes européens, les dépôts de brevets, et les créations d'entreprises issues de la recherche publique. Il prône également une réorganisation du système de recherche français. La dérive la plus inquiétante véhiculée par ce rapport, est d'entretenir cet « à priori » malheureux de l'« inefficacité » du système de valorisation d'une recherche européenne et française jugée par ailleurs « excellente » comparée au modèle américain.³⁷ Malgré l'érosion de ce concept de « Paradoxe Européen », il faut bien admettre qu'il persiste, en tous cas au niveau de l'affichage des politiques d'innovation. Ceci à notre avis pour deux raisons essentielles :

- .la difficulté de la part du monde scientifique européen à reconnaître l'accélération de la compétition internationale et la mondialisation (classement de Shanghai)
- .la difficulté des décideurs industriels et financiers, à intégrer la dimension de connaissance tacite impactée dans les savoirs technologiques³⁸.

Dans ce contexte pour le moins « difficile », nous nous concentrerons donc, bien que le rôle des entités de transfert de technologie soit plus large³⁹ (Fig.6), sur les indicateurs traditionnels du transfert de technologie qui sont :

- . Les Brevets et Licences
- . Les contrats de collaboration de recherche publique – privé

³⁷ Ce paradoxe européen s'appuie sur des à priori analytiques pour partie erronés selon Dosi, Llerena et Sylos-Sabini (2006) en particulier que le niveau scientifique Européen et la capacité d'investissement industrielle seraient équivalents au modèle américain.

³⁸ Pour Keith Pavitt (1987): "Most technology is specific, complex...cumulative in its development". En effet, par exemple dans le domaine Thérapeutique on a constaté le grand « conservatisme voire protectionnisme » des pharmaciens chimistes vis-à-vis des alternatives Immunothérapeutiques (Anticorps) et Biothérapie (Protéines, Peptides) non issues de la Chimie.

³⁹ Selon l'enquête annuelle de l'ASPT (Association of European Science & Technology Transfert Professionals), UNU-MERIT Maastriccht 2006, 2007.

. La création d'entreprise

Du point de vue politico-économique, ces trois indicateurs sont centrés autour de la notion fondamentale de la *Propriété Intellectuelle (PI) Publique*, au cœur des débats et politiques d'innovation actuelles.

Sur le graphique suivant tiré de l'enquête annuelle de l'ASPTO, association européenne des organismes de transfert de technologie, l'évaluation de brevetabilité des inventions est l'activité principale et commune à la très grande majorité des TTO, loin devant la négociation de contrats de recherche.

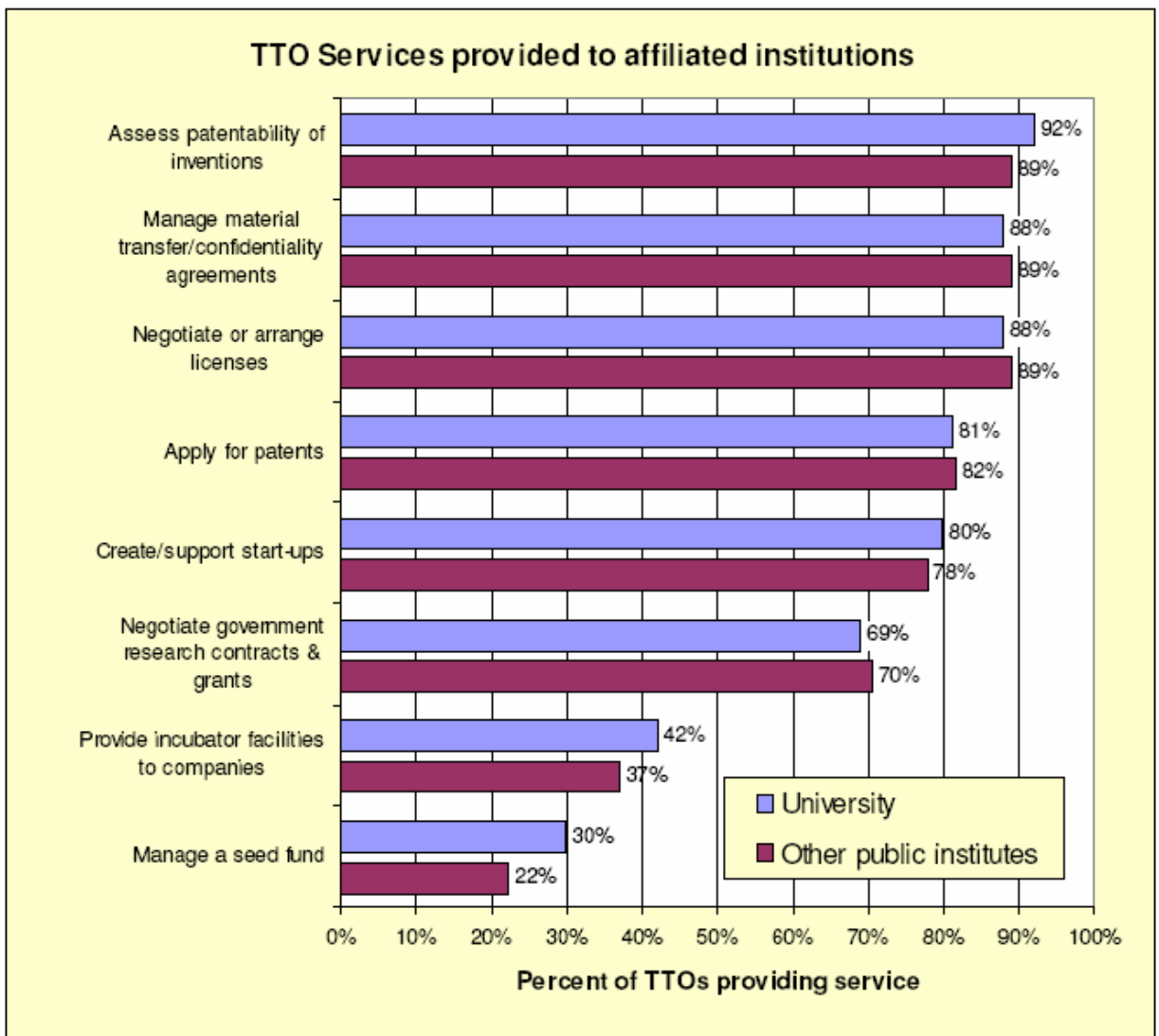


Fig.I.6: Source ASPT Merit survey 2007. Les fonctions essentielles assurées par les TTOs sont l'étude de brevetabilité, les accords de confidentialité, les accords de transfert de matériel, la rédaction et la négociation de licences. Le dépôt effectif de brevet (Apply), est plutôt sous-traité à des cabinets privés de brevets.

2.1. Invention et Brevet

Une étape est souvent négligée dans la littérature sur la valorisation, le transfert de technologie, ou l'innovation : **l'étape initiale d'évaluation** de l'invention, cette étape est pourtant essentielle et quasi-vitale pour le transfert de technologie⁴⁰. Cette étape procède à la fois de la sensibilisation du chercheur à la PI, de la détection et de la « compréhension » de l'invention. C'est la problématique centrale de cette thèse.

A ce stade de cet exposé, il devient nécessaire de faire un petit détour par le Droit de la Propriété Intellectuelle et la théorie économique, afin de re-situer la notion de brevet au sens juridico-économique.

Le droit du brevet admet trois critères de brevetabilité :

- l'activité inventive doit avoir une application industrielle : ce qui exclut la découverte scientifique « pure »
- l'invention doit être « nouvelle » (absence de tout précédent : articles, communications, publications..)
- l'invention doit être « non-obvious », c'est-à-dire découler de façon évidente de l'état de la technique. Elle doit présenter un progrès par rapport aux techniques en vigueur (« inventive step »)

Ces critères sont bien entendu à l'appréciation de l'examineur du brevet⁴¹ et sont appréciés différemment selon les offices de brevets (USPTO, EOB, WIPO).

Le deuxième critère (d'absence d'antériorité) est à priori simple à démontrer, la première et la dernière condition sont quant à elles, loin d'être évidentes à vérifier.

Nous avons ici les deux premières difficultés du transfert de technologie :

- . La première règle: «l'invention doit avoir une application industrielle », exclut la découverte scientifique « pure ». Ce point s'il ne présente pas de difficulté dans le cas d'une invention de sociétés ou d'inventeurs privés, est beaucoup plus délicat à évaluer quant il s'agit de laboratoires ou de chercheurs publics car de nombreuses

⁴⁰ ASPT survey (Ibid) selon le résultat de cette enquête (2007), la fonction essentielle à plus de 90% des TTO est « l'assess patentability of inventions »

⁴¹ Albert Einstein a été examinateur de brevet à l'Office fédéral de PI à Berne de 1902 à 1909. Il dira par la suite que cette expérience aura été « déterminante » pour lui.

inventions n'ont pas d'application industrielle réelle au moment de leur création⁴². Ce point est fondamental car il différencie le rôle du transfert de technologie de la recherche fondamentale, du rôle que peut avoir un service de propriété industrielle d'une entreprise. Ce critère procède directement de la politique et de la stratégie des TTO publics qui se trouvent donc confrontés aux choix :

. Soit d'appliquer la règle « à la lettre » et donc de refuser de breveter une invention dont les applications bien que réelles ne sont pas « utiles immédiatement » au monde industriel.

. Soit de « prendre un risque » et donc d'« utiliser » le brevet comme outil de diffusion d'idée, d'incitation à la créativité « externe » (notion de *sérendipité*, ie découverte fortuite) qui pourra donc engendrer des applications (parfois inattendues).

. La seconde règle: « l'invention ne doit pas être évidente (obvious) » est le dilemme de tout évaluateur. Il ne peut pas se simplifier par l'intervention « d'expert » (contrairement au critère précédent, car un expert technique n'est pas en général là pour « prendre des risques » ou appliquer une politique d'innovation).

Ce critère introduit la notion de « **trajectoire technologique** » et « d'inventive step », qui nous permettra d'introduire au chapitre deux, l'utilité dans ce cadre d'outils de cartographie dynamique pouvant apporter des éléments sur la localisation éventuelle d'une invention au sein d'une trajectoire technologique et le progrès éventuel qu'il apporte à ce mouvement technologique.

Ce critère n'est cependant pas rédhibitoire, car dans une stratégie de renforcement d'un brevet central, il peut être stratégiquement important de constituer un ensemble de brevets (ou grappes), dont le but ne serait que de renforcer une position dans un domaine technologique. Chacun de ces brevets n'a pas de valeur intrinsèque dans cette « grappe de technologies » car totalement dépendant du brevet principal.

⁴² Par exemple les travaux de Cohen-Tanoudji (Prix Nobel Physique 1994) sur le refroidissement de l'atome, dont l'une des applications est une horloge atomique d'une précision de 10 puissance -17, c'est-à-dire qui pourra avoir une seconde de retard en 300 Millions d'années.. Il faudra attendre plus de 8 ans, avant que le besoin « industriel » émerge, en particulier dans le domaine TIC avec des vitesses de réseaux de 10 puissance 12. Cet exemple montre que l'application industrielle n'existe pas en général au moment de l'invention.

Mais du point de vue de l'économie de la connaissance, l'aspect le plus « gênant » de ces deux critères est le fait qu'ils induisent une linéarité dans le processus de la Science vers l'Industrie (l'application industrielle). Pourtant de nombreux exemples montrent :

- que des connaissances fondamentales peuvent engendrer de multiples innovations technologiques (c'est le cas par exemple du résultat de la Physique quantique, la relation Energie/ Masse atomique et toutes les applications de l'énergie nucléaire)
- ou qu'inversement les innovations technologiques précèdent les savoirs nécessaires à expliquer le phénomène (peu de mécanismes biologiques de médicaments sont connus précisément et en général ils sont démontrés longtemps après leur commercialisation ou au moment d'effets secondaires indésirables ou inattendus, par exemple l'aspirine)

Ces exemples illustrent bien la notion « d'Open Science » et la nécessité d'une vision bidirectionnelle et systématique des relations Recherche-Industrie dans les processus d'innovation⁴³.

Pour un TTO, l'application au quotidien de ces deux critères constitue une vraie problématique. Cette antinomie entre « Brevetabilité » et « Innovation » constitue pour nous le vrai paradoxe du transfert de technologie issu de la recherche fondamentale.

Cette spécificité de l'invention académique va nous permettre de proposer un modèle de typologie des inventions dont l'un des critères est le « sens » (origine et direction) de sa genèse.

2.1.1. La déclaration d'invention

Le processus de transfert de technologie débute par une déclaration d'invention (DI ou Disclosure Invention). La déclaration d'invention est un outil fondamental pour le transfert de technologie ; elle sert bien entendu à décrire l'invention mais plus

⁴³ Kline-Rosenberg (1986), Pavitt (1999) nous mettent en garde contre une vision simpliste et unidirectionnel du mouvement de la science vers l'industrie.

encore à appréhender le profil « appliqué » et l'implication du chercheur⁴⁴, son expérience du brevet et du transfert de technologie. Sur la figure 7, nous montrons une typologie des inventeurs des brevets du CNRS : un « Primo-inventeur » est défini comme un inventeur qui n'a pas déposé de brevet durant les dix dernières années.

Le résultat montre que la proportion de primo-inventeur est très majoritaire (>60%) et ceci de façon constante ces 3 dernières années (Fig. 7).

D'un point de vue stratégie de gestion du transfert de technologie, cette constatation implique une structure de support nécessaire plus importante et explique aussi en partie les délais importants de dépôt de brevet.

	2006	2007	2008
Nombre Brevet	321	347	348
Inventeurs Total	1107	1426	1329
Primo-Inventeur	753	884	864
Autre (chevronnés)	354	542	465

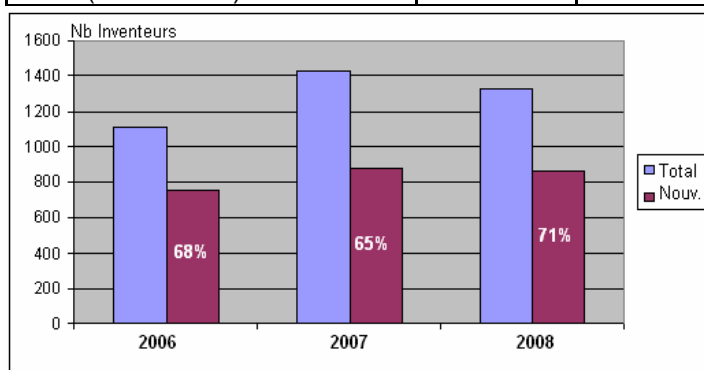


Fig.I.7 : Pourcentage de « nouveaux » inventeurs

Ce pourcentage important de « nouveaux inventeurs » chaque année, pourrait indiquer aussi que la « voie du brevet » constitue de moins en moins un obstacle psychologique⁴⁵ ; mais cela peut révéler aussi que la politique de sensibilisation à la PI menée par le CNRS a une efficacité certaine.

Il faut cependant émettre deux réserves importantes sur le résultat de notre étude, premièrement nous considérons comme nouvel inventeur, un inventeur n'ayant pas déposé de brevet sur une période de 10 ans précédente, et deuxièmement nous

⁴⁴ Plus de 60% des inventeurs et titulaires des brevets du CNRS par an sont de « Nouveaux » inventeurs, pour ces chercheurs c'est le premier (et souvent unique) brevet qu'ils déposent.

⁴⁵ « Patent vs publication? » : C'est une des problématique usuelle du transfert de technologie bien que Azoulay et al. (2005), ou Breschi et al. (2005) n'observent pas d'effet des brevets sur la quantité et qualité des publications. Par suite le dépôt de brevet, ne semble pas un obstacle à la publication pour les « bons » chercheurs.

constatons que dans les brevets étudiés environ 70% ont un inventeur « chevronné » dans la liste des inventeurs.

Ce pourcentage important de primo-inventeurs (donc inexpérimentés), constitue pour nous un réel facteur (endogène) de la difficulté du transfert de technologie public.

Mais il constitue aussi un indicateur important sur le potentiel technico-scientifique des chercheurs. Il est fort probable que ce pourcentage soit hautement corrélé à la « jeunesse » du chercheur.

Pour être pris en compte par le service de transfert de technologie, tout chercheur – inventeur doit remplir une DI qui se compose de trois parties principales⁴⁶ :

- . Une partie description de l'invention, du domaine technico-scientifique, de la genèse de l'invention et de l'état actuel de développement (prototype, résultats).
- . Une partie concernant la brevetabilité, c'est-à-dire la description d'applications industrielles éventuelles, une étude brève d'antériorité bibliographique (publications et brevets). Et un tableau des parts inventives de chaque inventeur.
- . Une dernière partie concernant la valorisation, le cadre dans lequel l'invention a été créée (contrats éventuels), les actions de valorisation, les contacts industriels établis, ou la création éventuelle d'une « Spin-off » privée pour développer cette technologie.

La complétude d'un tel dossier est déjà une « épreuve » pour l'inventeur, épreuve qui doit l'amener à se poser les « bonnes » questions quant au processus de dépôt de brevet et de transfert de technologie. Il est légitime de penser, qu'une telle épreuve peut représenter un obstacle au dépôt de brevet, pour un chercheur non enclin en général à cette voie de publication⁴⁷. C'est pour cette raison que le CNRS a mis en place un réseau de support direct d'agent locaux (dans chaque délégation régionale) chargé de valorisation (SPV Spécialiste Partenariat Valorisation en région) afin d'aider les chercheurs à compléter au mieux cette déclaration d'invention. Ce support

⁴⁶ La structure d'une DI est assez analogue quelque soit le TTO (y compris celle des grandes universités américaines comme le MIT, Stanford... que l'on peut trouver sur leur site internet).

⁴⁷ Les chiffres montrent en effet que moins de 10% des chercheurs du CNRS ont participé à un dépôt de brevet, mais il convient de moduler ce pourcentage par domaine technico-scientifique. Dans le cadre du CNRS-DPI, la DI a fait l'objet d'une re-structuration en 2008 privilégiant la partie descriptive de l'invention à la partie valorisation.

au chercheur pour la déclaration de l'invention, est l'expression basique de l'absolue nécessité d'une structure « de support et de structuration »⁴⁸ proche de l'inventeur pour un transfert de technologie optimal.

Le schéma de la figure 8a décrit les quatre étapes allant de la prise en charge de l'inventeur pour la création de la DI, à la sélection par le comité CESPI, qui mandate ensuite la filiale FIST afin de contacter le chercheur et trouver un cabinet de brevet adéquat, et enfin la dernière étape de rédaction du brevet qui est en général la plus longue. Cette dernière étape de rédaction effective du texte du brevet entre l'ingénieur brevet (du cabinet de brevet privé) et le chercheur. Les raisons principales de cette durée qui peut parfois prendre plus de 12 mois, sont d'ordre technique ; il est parfois nécessaire au laboratoire d'effectuer des travaux complémentaires dont les résultats renforceront le brevet éventuel, mais il y a aussi des causes spécifiques comme le fait de la multiplicité de chercheurs qui doivent se coordonner sur un texte final ou, comme nous le signalions plus tôt, l'inexpérience du chercheur (70% de primo-inventeur), ou tout simplement la disponibilité réelle du chercheur⁴⁹.

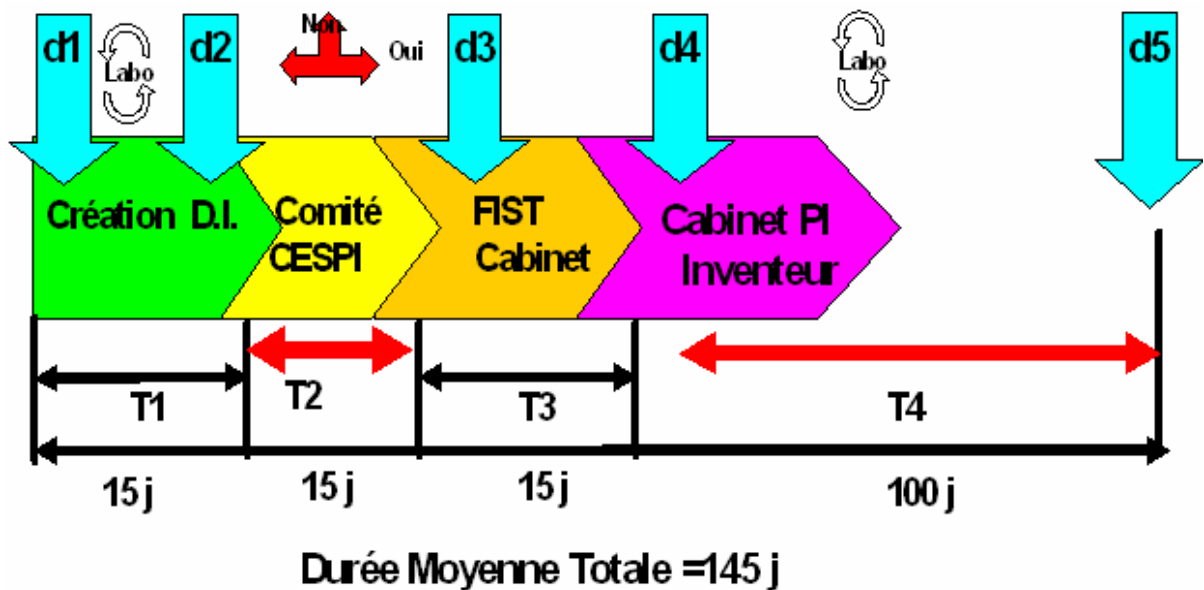


Fig.I.8a : La procédure totale de dépôt de brevet au CNRS comporte 4 étapes. La durée moyenne est de l'ordre de 5 mois (le minimum étant 10 jours, le maximum 12 mois) : d1 date création DI, d5 date de dépôt effectif de la demande de brevet. Délai total= d5 – d1, d2 date de commission CESPI, d3 mandatement de la filiale FIST pour choix cabinet PI, d4 mandatement du cabinet de PI pour la rédaction de la demande avec les inventeurs.

⁴⁸ BETA ULP-Strasbourg, P. Llerena «..de la nécessaire professionnalisation du transfert de technologie..», in WP du 26 octobre 2006, «Valorisation de la Recherche Publique : Eléments d'analyse»

⁴⁹ Gardons en mémoire que la tendance « naturelle » du chercheur est la publication scientifique pas le brevet.

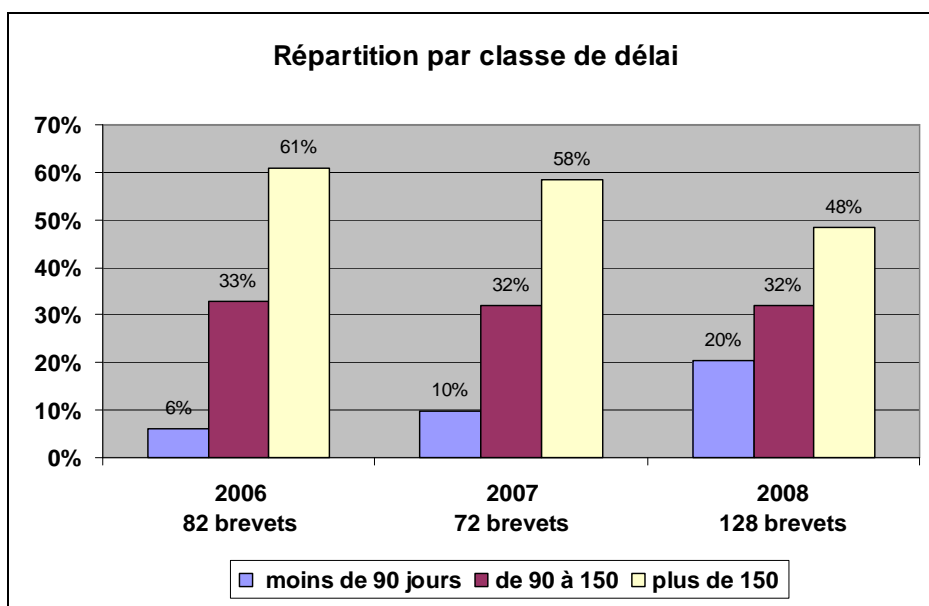


Fig. I.8b : Etude des délais de dépôts de brevet CNRS-DPI (Source DPI – P. Roy)

Sur la figure 8b ci-dessus, l'étude a porté sur la durée de dépôt d'un brevet à partir de la date de création de la DI, (source : système informatique de la DPI / Legal Suite) pour 2006 sur un échantillon de 82 brevets, pour 2007 sur 72 brevets et en 2008 sur 128 brevets déposés. Cette étude a permis de montrer une nette amélioration en 3 ans des délais de traitement et de dépôt de brevet par le TTO du CNRS. Le nombre DI traitées en moins de 90 jours a triplé de 6% à 20%, et il y a une réduction significative (de 61% à 48%) du nombre de DI « lentes » (*ie* dont le délai de traitement est de plus de 150 jours). Cette efficacité est un indicateur important pour un TTO, elle caractérise l'efficacité du service de support au chercheur-inventeur.

2.1.2 La procédure de brevet

Les figures 9a et 9b représente le schéma de flux « Workflow » (aux normes ISO) de l'ensemble de la « procédure » de l'invention au dépôt de brevet au CNRS. Cette procédure s'explique par la nécessité d'obtenir le maximum de renseignements administratifs, techniques et concernant la valorisation éventuelle de l'invention.

En effet le but principal pour le TTO d'une telle déclaration d'invention, est la prévention des problèmes juridico-administratifs et financiers « futures » lié à l'exploitation de la Propriété Industrielle Publique comme :

- . La brevetabilité (communication prématurée..)
- . La part inventive de chaque inventeur

- . La copropriété entre les tutelles (employeurs)
- . Le statut de chaque inventeur

Cette procédure induit un délai dans le processus de dépôt de brevet, donc de protection de la propriété intellectuelle, mais qui représente moins du tiers du délai total moyen (45 jours sur 145 jours).

Nous avons décrit ici une difficulté opérationnelle quotidienne du TTO, qui consiste souvent à trouver un équilibre entre « l'enthousiasme » de l'inventeur à « breveter » son invention et les contraintes juridiques et techniques d'un brevet, tout ceci bien entendu sous la contrainte majeure de la durée totale de dépôt. Ce délai est un facteur bloquant supplémentaire pour le chercheur qui désire publier sa découverte.

Il est révélateur de noter que ce processus nécessite l'intervention de plusieurs intervenants (autres que les inventeurs) :

- . Localement un SPV (spécialiste partenariat valorisation)
- . Le directeur du laboratoire qui doit donner son avis
- . Un administratif COPI pour la vérification de la complétude de la DI
- . Un rapporteur de la commission d'évaluation CESPI
- . Un rapporteur du département scientifique DS correspondant
- . Un chargé d'Affaire de la filiale privée FIST SA
- . Un ingénieur Brevet du cabinet de brevet externe

En conclusion si l'innovation provient d'un brevet, sa prise en charge n'est cependant pas triviale et a un coût et une durée de traitement non négligeable.

Le coût total estimé d'un dépôt de brevet est bien supérieur aux frais de PI, facturés par le cabinet de brevet qui sont déjà estimés entre 2000 et 7000 Euros, sur laquelle il faudrait rajouter les frais de prise en charge par le personnel administratif CNRS, le chargé d'affaire FIST (qui choisit le Cabinet de PI externe), et les différents examinateurs internes ou externes (CESPI, Direction Scientifique, Spécialistes).

Ce délai de prise en compte de la déclaration d'invention et de dépôt effectif d'environ 5 mois est à rajouter au délai de total de délivrance (ou rejet) du brevet qui peut intervenir à plus de 24 mois après le dépôt. Cet enjeu de délai est donc loin d'être neutre dans le processus de valorisation.

Nous détaillerons dans le chapitre 3 cette dimension irréductible de la valorisation de la recherche fondamentale qui semble à priori de toutes façons « lentes ».

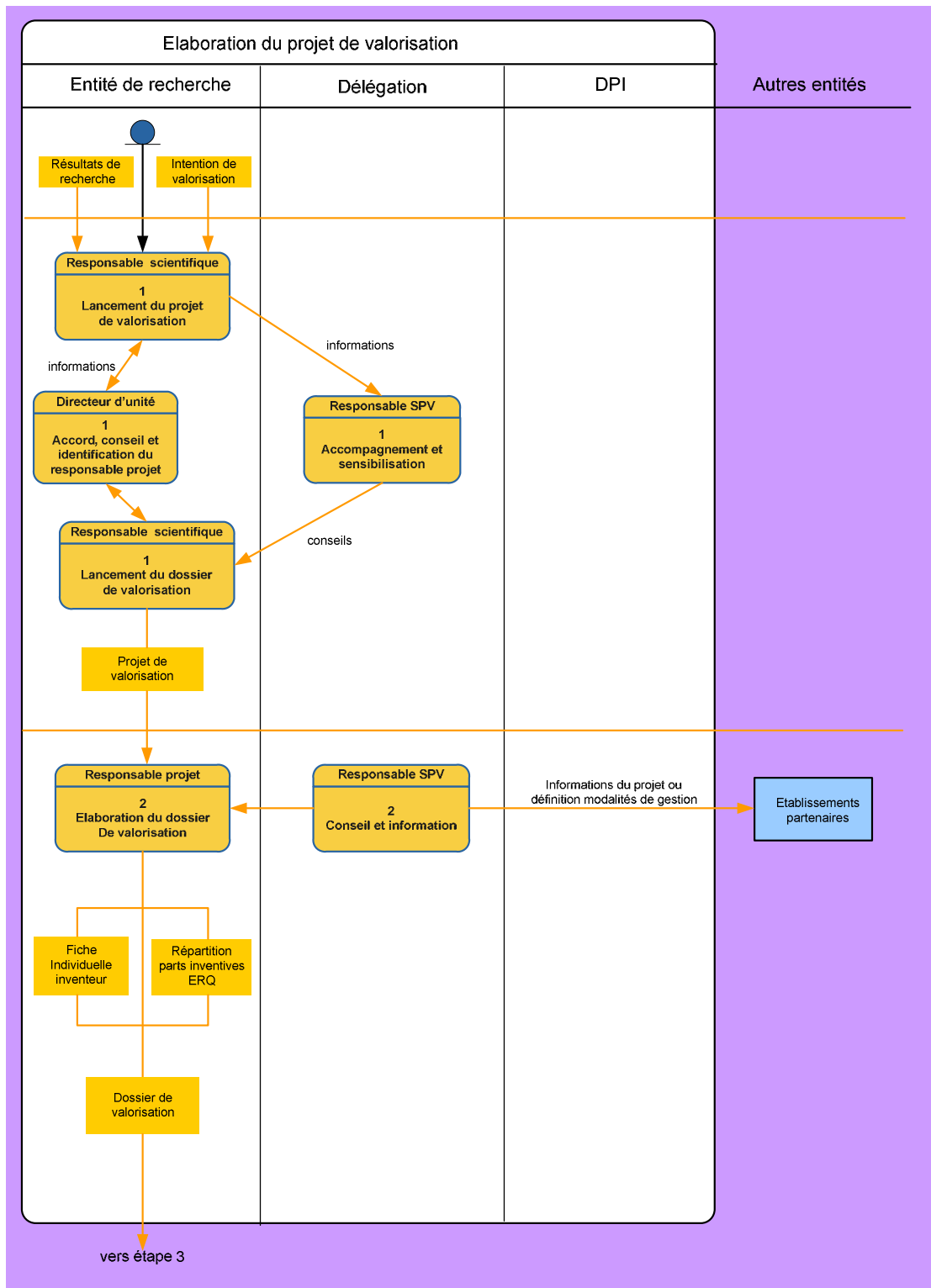


Fig .I. 9a : Procédure de déclaration d’invention : Etape de création de la DI
 Quatre entités sont impliquées : Le Laboratoire, La Délégation Régionale, La DPI, Le Partenaire (Universités, Ecoles, Industriels)
 (Source Manuel AQ- CNRS/DPI)

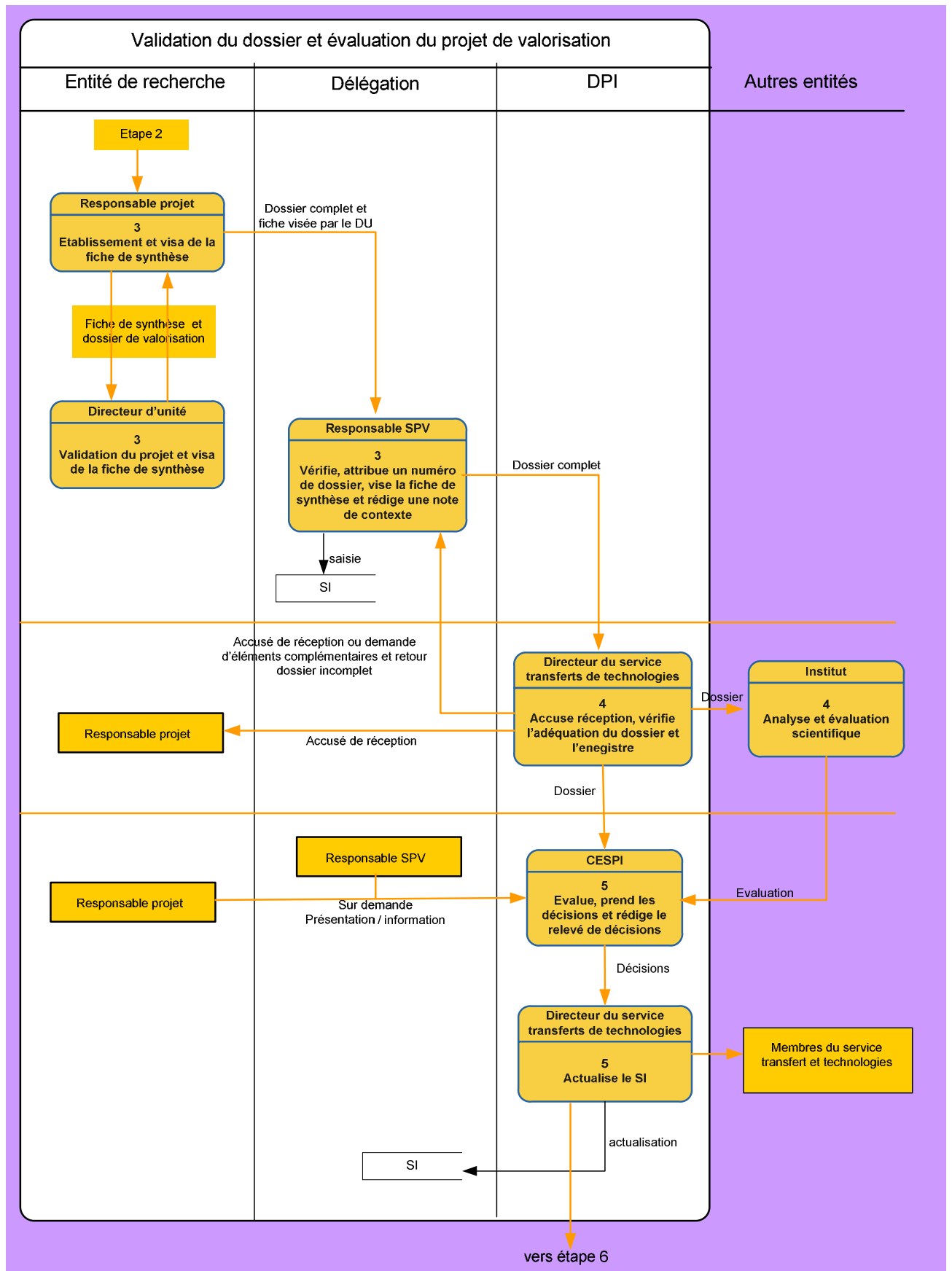


Fig I.9b : Procédure de déclaration d'invention et de dépôt de brevet au CNRS. Cette Etape dite d'Evaluation', implique La DPI (STT et CESPI), les Instituts Sc., Le Laboratoire Cette étape (dépôt) implique beaucoup d'échanges et d'intervenants et peut durer de 1 à 6 mois.

2.1.3 Les chiffres (Brevets)

Pour les EPST (Etablissement Public Scientifique et Technique), la loi de 1999 sur Recherche et Innovation a été fondamentale pour le transfert de technologie. Nous nous sommes donc concentrés sur cette période 1999 à 2009.

La figure 10 suivante présente une croissance constante et importante du nombre total de DI, et donc de dépôts de brevet, de 335 DI en 1999 à plus de 740 DI en 2008. Le nombre de DI gérées par le CNRS (DPI) (dans le sens où le CNRS prend en charge la gestion totale de la PI, *ie* évaluation – dépôt / extension – valorisation), est à peu près constant ces dix dernières années, par contre on note une forte évolution des DI non gérées par le CNRS (DPI) à partir de 2005⁵⁰.

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
DI CNRS Gest.	219	229	264	341	367	339	354	319	351	254
DI CoPro Gest	116	157	138	170	230	234	344	379	401	502
DI total	335	386	402	510	596	573	598	698	752	746
Brevet délivré	57	81	115	265	357	344	321	347	348	339

(source système informatique de la DPI Legal Suite)

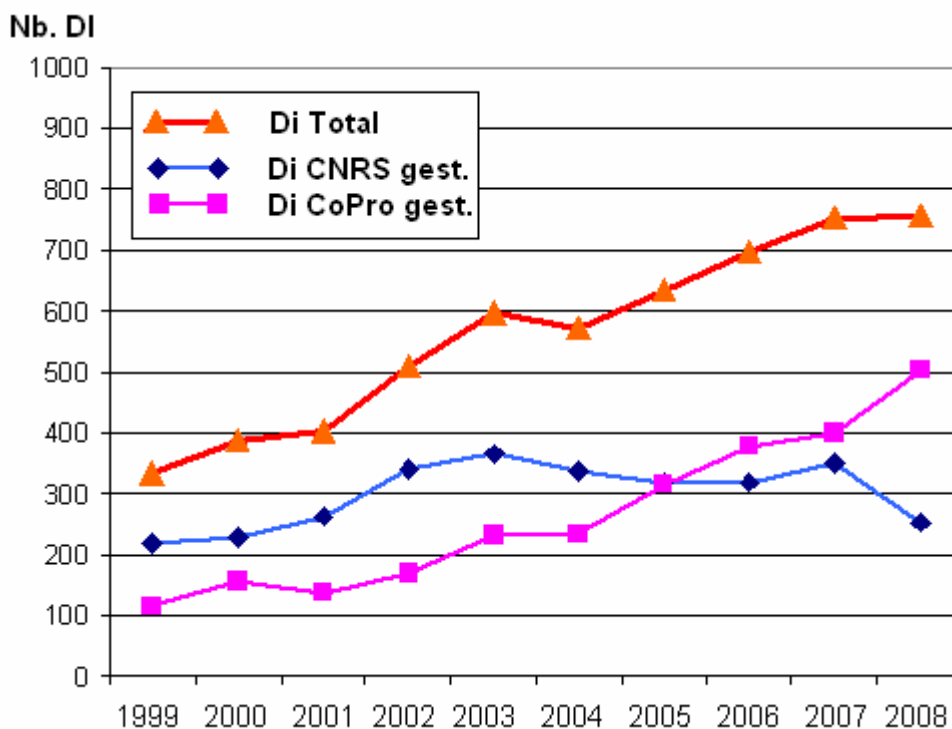


Fig.I.10 : Evolution du nombre de DI (demandes de brevet) de 1999-2008
 Comparaison des sources : INPI/ EOB / Données internes CNRS Légal Suite

⁵⁰ Le financement public (principalement ANR et Ministère) et régional de structure dite de « Valorisation mutualisée » a permis aux partenaires universitaires du CNRS, de prendre en charge le transfert de technologie de la PI générée par les UMR (unité mixte de recherche CNRS-Université).

Les DI Copropriétaire-Gestionnaire (DI CoPro gest.), donc non gérées par le CNRS, sont des déclarations d'inventions et dépôts de brevets issus du partenaire public ou privé de collaboration⁵¹ de recherche avec un laboratoire ou des chercheurs CNRS. Ce partenaire prend en charge l'ensemble des opérations de dépôt et gestion du brevet. Depuis 2004, l'évolution de ces DI est en constante croissance. Cette croissance est en grande partie due au cadre politico-juridique en France, notamment avec les initiatives « ANR-Mutualisation »⁵² favorisant la création de structure commune de valorisation et de transfert de technologie entre les différents partenaires de recherche (publics ou privés). Cette tendance s'est accélérée à partir de 2007, sous l'impact de la loi Responsabilité et Autonomie des Universités (LRU). Cette augmentation est due essentiellement aux initiatives des partenaires publics et principalement les universités, la proportion des industriels et partenaires privés est restée quant à elle constante.

La figure 11 suivante montre la croissance constante des « Accords de Copropriété » entre le CNRS gestionnaire de la PI avec les organismes publics et surtout universités depuis la loi Recherche et Innovation de 1999, et suite à la loi LRU de 2007. Ces accords déterminent les conditions de gestion, d'exploitation et d'information de la propriété intellectuelle, résultat d'équipe de recherche mixte comprenant des chercheurs CNRS et des chercheurs publics Non-CNRS (principalement universités, écoles). Ces accords sont nécessaires en général dans le cas de multi-tutelles (même s'il existe un Accord-cadre avec l'université). Depuis le 1^{er} Juillet 2009, le Décret 2009-05 propose une délégation automatique totale de gestion et de valorisation à « l'hébergeur » du laboratoire des chercheurs principaux inventeurs (donc en général l'université). Le premier effet de ce décret sera sans nul doute, la baisse du nombre d'accords de copropriété entre tutelles.

⁵¹ Une part importante des DI et brevets sont déposés et gérés par un partenaire industriel (environ 40 à 50% du portefeuille total de brevet du CNRS), on peut lire à ce sujet Balconi et al. (2003), ou Azagra et Llerena (2003), ou encore Lissoni (2006) sur les collaborations de recherche pré-affectée à une entreprise.

⁵² A partir de 2004, une partie des appels d'offre de l'Agence National de la Recherche (ANR) a porté sur le financement de projets et structure de mutualisation de la valorisation des résultats de la recherche publique subventionnée.

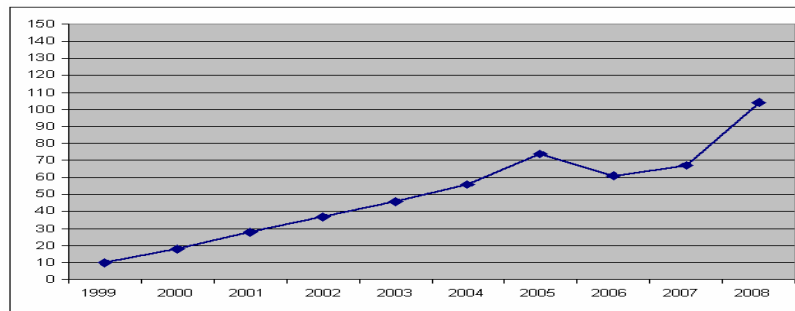


Fig.I.11 : Evolution des accords de copropriétés entre le CNRS et des partenaires publics depuis la loi de 1999.

La figure 12 suivante, illustre la question de la « qualité » des brevets suite à cette croissance de dépôts essentiellement d'origines publiques (notamment des universités). Depuis 2003, le pourcentage de brevets délivrés⁵³ par rapport aux dépôts est à peu près constant environ 50% malgré l'augmentation des demandes (avec une corrélation de 92%), malgré l'augmentation constante du nombre de déclaration d'invention, par suite on peut conclure que la politique de sensibilisation et de mobilisation pour le développement de protection par brevet n'induit pas un artefact de dépôts « fantaisistes » et donc une baisse de la qualité de l'offre technologique.

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
DI total	335	386	402	510	596	573	605	698	752	746
Brevet Délivré	30	41	77	115	265	357	344	321	347	348
Eff%	23.0%	29.8%	65.9%	70.0%	57.7%	56.0%	57.4%	49.9%	52.5%	

Dans ce tableau, Eff% concerne le pourcentage de brevets effectivement délivrés sur le nombre total de DI déposées, compte tenu du délai moyen de délivrance ou rejet de 24 mois. Par exemple pour l'année 2006 il a été déposé 698 DI et 2 ans après donc en 2008 on constate⁵⁴ pour le CNRS 348 brevets délivrés, par suite

$$\text{Eff}\% = (348 / 698) \times 100 \text{ pour l'année 2006}$$

Soit 49,9 % de brevets délivrés pour l'année 2006

⁵³ Dans le processus de dépôt de brevet, il y a 2 étapes importantes. La première 1 an après le dépôt, le déposant reçoit un Rapport de Recherche Préliminaire qui liste les antériorités éventuelles pouvant remettre en cause la nouveauté et l'inventivité. Les inventeurs sont tenus de répondre à ces remarques ou à modifier leurs revendications, ou tout simplement abandonner la demande de brevet. Au CNRS, environ plus de 20% des demandes sont abandonnées à cette étape. L'étape suivante est dite extension PCT, qui procède donc à la publication de la demande. Puis environ 2 ans après le dépôt, l'étape fondamentale est la procédure de délivrance réelle (Phases Nationales) qui valide (pour chaque pays, ou région mondiale) le brevet.

⁵⁴ Source Base de données des brevets internationaux : Questel QPAT

Nous considérons ici, l'acceptation et donc la publication par un organisme international (USPTO ou EPO) du brevet déposé, comme un critère objectif de la qualité du brevet.

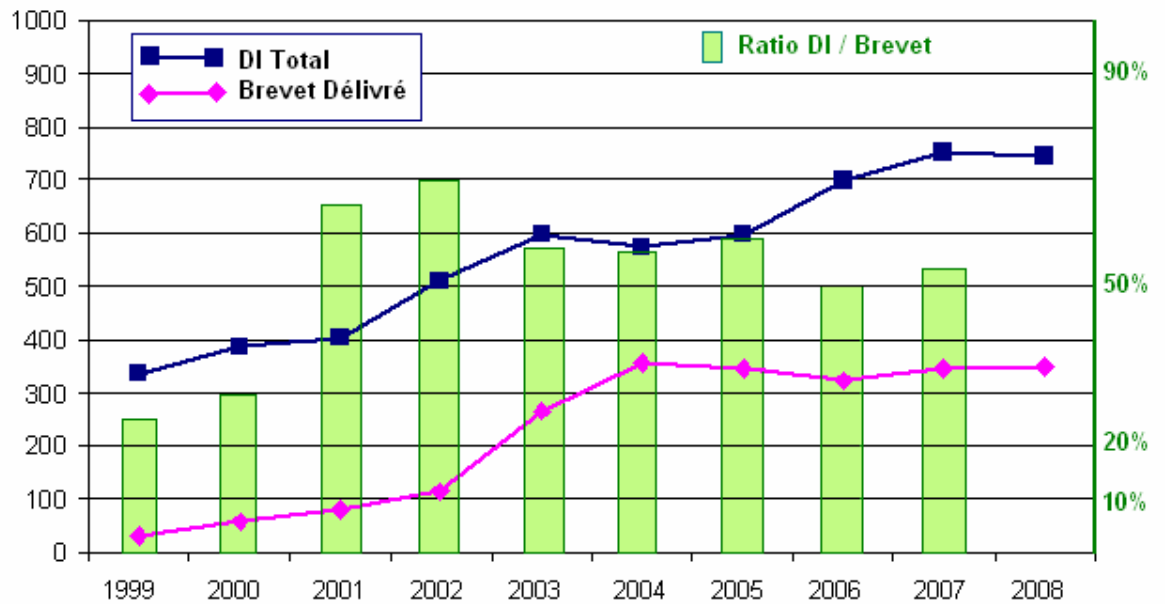


Fig.I.12 : Nombre de DI (dépôts) et Nombre de Brevets effectivement publiés (validés) par An

Comparaison des sources : INPI/ EOB / CNRS Legal Suite. Depuis 2004, malgré l'augmentation des déclarations d'inventions, le nombre de brevets délivrés (validés) est constant.

Note : La délivrance d'un brevet étendu par voie PCT se produit au minimum entre 18-24 mois après son dépôt. Par exemple, le ratio 2006 (50%) est le rapport des brevets délivrés 2006 sur le nombre total de DI déposées en 2004 ! Donc pour 2008, il faudra attendre 2010 afin de connaître le nombre de brevets validés.

Important : Dans le nombre total de DI, sont inclus les DI de logiciels qui constituent environ 10% des DI chaque année. Ces logiciels ne conduisent pas à une demande de brevet en Europe, contrairement aux Etats-Unis mais nous les prenons en compte ici car ils font l'objet de licences d'exploitation.

Sur la Figure 12, malgré l'augmentation de dépôt, le nombre de brevets acceptés reste à peu constant (environ 350 brevets/an). Si on considère le rapport DI/Brevets comme indice de « qualité » des brevets du CNRS, on ne peut pas conclure (statistiquement) à une diminution de la qualité.

Ce résultat est important pour la politique de dépôt de brevets du CNRS, pour deux raisons principales ; la première est que le potentiel de développement technologique (via le brevet) existe et semble mobilisable ; la deuxième raison est plutôt un questionnement sur la limitation de ce potentiel de brevets : est-il dû à la capacité

logistique (ressources humaines), financière (coût de la PI), scientifique et technique (recherche fondamentale) ?

Probablement toutes ces raisons interviennent dans l'asymptote d'évolution des DI et des brevets, observée.

La Figure 13 suivante présente l'évolution de la contribution des principales disciplines scientifiques selon la classification du CNRS :

MPPU : Mathématiques, Physiques, Particules et Sciences de l'Univers

STIC : Sciences Techniques de l'Informatique et des Communications

INGENIERIE : Sciences de l'Ingénieur

SDV : Sciences de la Vie (Biotechnologie, Biochimie, Pharmacie, Agronomie)

CHIMIE : Sciences Chimiques (Catalyse, Synthèse, Electrochimie, Cosmétique, Environnement)

La contribution majeure au portefeuille de brevets du CNRS provient des Sciences Chimiques (surtout les applications en rapport avec le Pharmaceutique, le Cosmétique et l'Environnement) et des Sciences de la Vie. Depuis 2000, les applications biotechnologiques et pharmaceutiques sont majoritaires, comme le confirme aussi l'étude de Mowery et al. (2001) sur les universités américaines. La contribution des sciences de la matière (MPPU, STIC, INGENIERIE) reste constante et stable depuis plus de quinze ans.

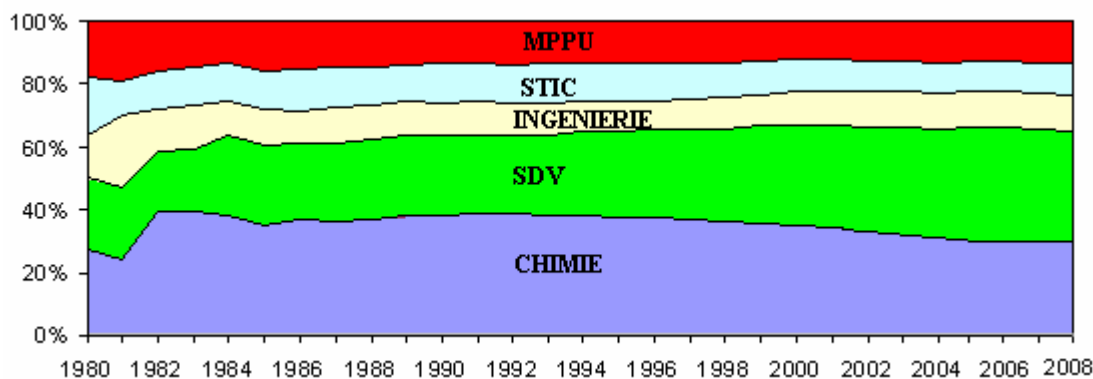


Fig.I.13 : Evolution de la composition du portefeuille de brevet du CNRS

Les brevets du CNRS proviennent très majoritairement des Sciences de la VIE et de la Chimie. (Source CNRS-DPI système Legal Suite)⁵⁵

2.2. Les Licences

2.2.1 Typologie

Au niveau juridique, la notion de licence est au centre du Droit de la Propriété Intellectuelle. Le contrat de licence peut être considéré comme un contrat de location

⁵⁵ Pour une étude exhaustive des brevets du CNRS, lire : Sandrine Sélosse Thèse 2007–GREDEG/CNRS

dans lequel il n'y a pas de transfert de droit de propriété, « *Le licencié a la jouissance du droit qui lui est concédé par le licencieur* »⁵⁶.

Dans le cadre du CNRS, la notion de licence a été élargie en fait à tous les types d'accords de Propriété Intellectuelle entre le CNRS et un tiers (public ou privé) : Acquisition de droit, Cession de droit, Accord de collaboration de recherche, Accord de copropriété, Option sur licence, etc..

Mais dans le cadre de cet exposé, nous nous intéressons principalement aux licences d'exploitation de types :

- . Licence de Brevet + Savoir-Faire
- . Licence de Brevet
- . Licence de Savoir-Faire

La licence est considérée comme l'un des indicateurs essentiels de la valorisation⁵⁷.

2.2.2 Les chiffres

Sur le tableau suivant nous avons reporté le nombre de licence par type et par an depuis l'année 1999 à 2008.

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Licence de Brevet	14	17	33	27	15	20	12	23	25	25
Licence de Brevet + Savoir Faire	42	20	32	22	30	33	42	35	35	34
Licence de Savoir Faire	5	13	8	9	11	6	9	7	11	8
TOTAL	61	50	73	58	56	59	63	65	71	67

Source : Base de données interne CNRS-DPI.

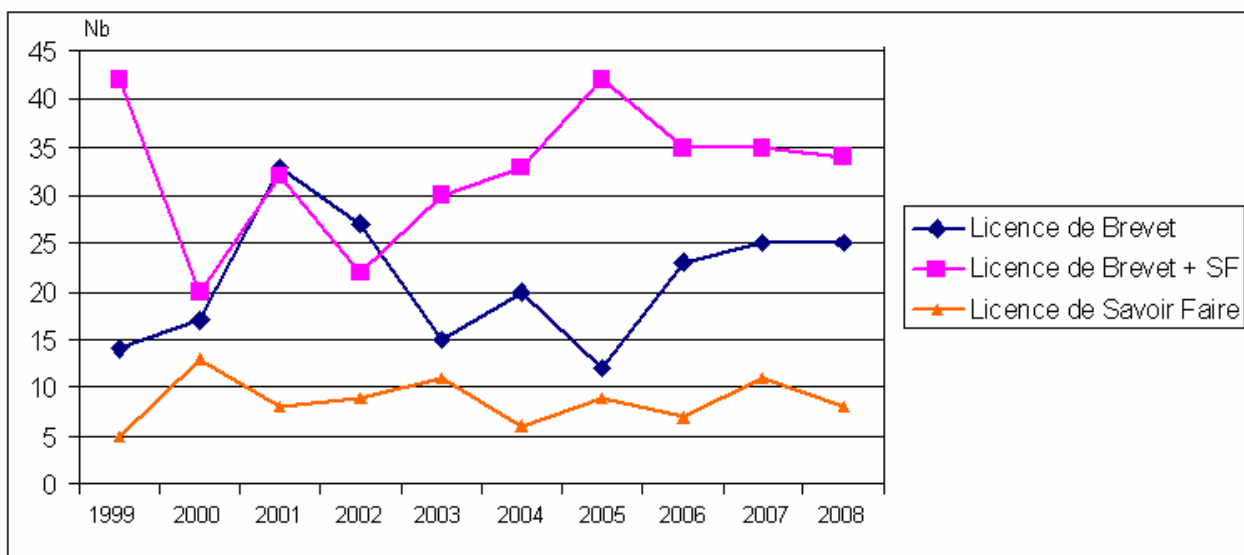


Fig.14 : Evolution et Typologie des licences de 1999 à 2008. Ces licences d'exploitation sont à plus de 90% des licences exclusives.

⁵⁶ Extrait du « Précis de droit de la propriété intellectuelle », Ed. Dunod, 2004.

⁵⁷ C'est l'indicateur principal retenu par la LOLF (Loi organique de la loi de Finance d'août 2001), plus précisément c'est le rapport entre le nombre de licences d'exploitation et le nombre de brevets déposés.

Le résultat, en termes du nombre total de licences par an est globalement stable depuis 2000, environ 60 licences d'exploitations signées par an (ne sont pas compris les contrats de cession et d'option de licence). Ce flux de licences est à mettre en regard du flux annuel de brevets (environ 300 brevets/an).

La figure 4 suivante est particulièrement intéressante, elle illustre bien le fait que la licence directe exclusive sur un brevet unique est très minoritaire. Ce qui prédomine c'est la licence d'exploitation accompagnée d'une licence de Savoir-Faire. Le partenaire industriel demande non seulement le droit d'exploitation mais a besoin aussi **du transfert du Savoir-Faire**, c'est-à-dire une période de collaboration de recherche dans laquelle tous les aspects codifiés de la technique sont re-validés mais aussi tous les aspects éventuels non explicitement décrites sont évalués. C'est aussi une période dans laquelle un langage et un vocabulaire technique commun sont définis.

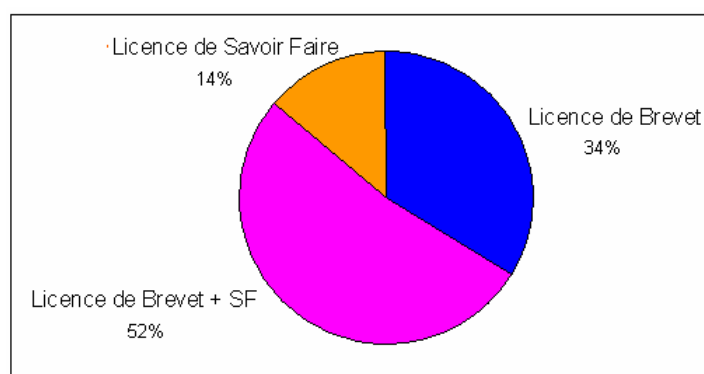


Fig.15 : Typologie des licences de brevets

Cet indicateur illustre bien la nature complexe de la technologie issue de la recherche académique, et surtout la prise en compte par les acteurs du transfert (inventeur, industriel et TTO) de la dimension des connaissances tacites et implicites (c'est-à-dire non codifiées) impactées dans les technologies issues de la recherche fondamentale. Ces connaissances doivent être transférées, pour une exploitation optimale de la technologie.

2.2.3 Les revenus de licences

Le revenu issu des licences d'exploitation des brevets du CNRS, est au final Le critère⁵⁸ essentiel du jugement d'une structure de transfert de technologie public.

⁵⁸ Selon la LOLF Loi organique de la loi de finance d'août 2001.

Dans le cas du CNRS, le brevet (dit BlockBuster) dont les redevances constitue la part essentielle (>80%) des revenus du portefeuille de brevet est : le brevet TAXOL (ou TAXOTERE), médicament utilisé en chimiothérapie intensive sur la majorité des cancers connus dont l'inventeur principal est un chercheur émérite du CNRS : Pierre POTIER. L'histoire même de ce succès est exemplaire à plus d'un titre, et nous y reviendrons dans le chapitre trois (genèse d'une innovation), retenons cependant que ce brevet est un procédé de synthèse (hémi-synthèse) d'un produit d'origine naturelle (issu d'un arbuste : l'if marin) qui possède des propriétés antiprolifératrices (anti-tumeurs). La découverte de cet effet biologique n'est pas de Pierre Potier⁵⁹, mais sans la solution trouvée pour synthétiser le produit, cette innovation thérapeutique n'aurait tout simplement pas existé. Sur le brevet principal (fig.17) de 1986, le CNRS n'apparaît pas dans les déposants (et par suite n'était pas à l'origine copropriétaire). C'est à un contrat de licence « particulier » qui lie le CNRS à la société Rhône Poulenc Santé puis Aventis (et maintenant Sanofi) que l'on doit les revenus principaux de la valorisation du CNRS.

	Total Redevances	Taxo	Redevances SANS Taxo	Frais de PI
1999	19 578 629 €	13 278 590 €	6 300 039 €	1 733 198 €
2000	29 039 032 €	22 460 761 €	6 578 270 €	2 464 082 €
2001	36 959 364 €	29 320 573 €	7 638 791 €	5 274 727 €
2002	41 518 516 €	34 160 131 €	7 358 385 €	5 793 019 €
2003	46 799 864 €	40 236 250 €	6 563 614 €	7 247 564 €
2004	48 329 867 €	42 400 003 €	5 929 864 €	8 486 133 €
2005	52 610 255 €	46 455 935 €	6 154 320 €	6 903 894 €
2006	44 064 238 €	39 081 551 €	4 982 687 €	8 802 389 €
2007	58 160 345 €	53 820 466 €	4 339 879 €	9 226 022 €
2008	46 376 760 €	41 967 288 €	4 409 472 €	9 042 479 €
TOTAL	423 436 869 €	363 181 548 €	60 255 321 €	

Tab.I.7 : Evolution des revenus d'exploitation des brevets du CNRS.

Plus de 90% des revenus sont issus d'un brevet : le Brevet Taxol. Et l'ensemble des revenus est issu de l'exploitation d'environ 100 brevets (sur un portefeuille de plus de 3500 familles de brevets) (Source CNRS-DPI Service Financier et Comptable)

⁵⁹ Cette découverte a été un des résultats du très grand programme de recherche lancé dans les années 80 par le NIH (organisme national américain de la Santé) sur la biodiversité.

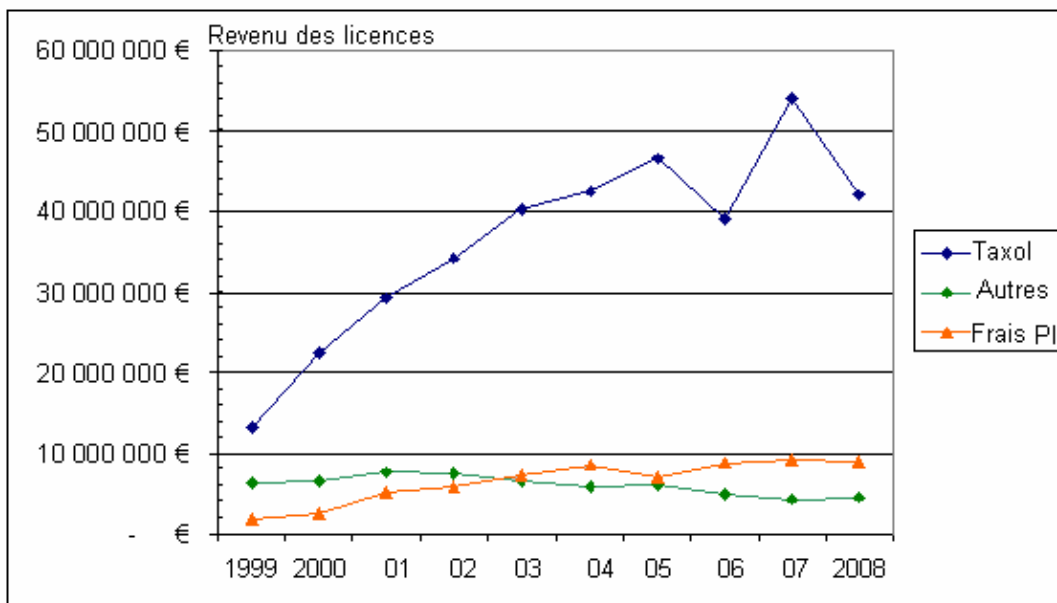


Fig. I.16: Evolution des revenus des licences CNRS et des coûts de PI. (Source système informatique Legal Suite et Comptable CNRS -DPI)

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
 INSTITUT NATIONAL
 DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
 PARIS

(11) N° de publication : **2 601 675**
à utiliser que pour les commandes de reproduction

(21) N° d'enregistrement national : **86 10400**

(51) Int Cl* : C 07 D 305/14; A 61 K 31/335.

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) Date de dépôt : 17 juillet 1986.
 (30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 3 du 22 janvier 1988.

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

(71) Demandeur(s) : RHONE-POULENC SANTE, Société anonyme. — FR.

(72) Inventeur(s) : Michel Colin, Daniel Guénard, François Guéritte-Vogelain et Pierre Potier.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) :

(54) Dérivés du taxol, leur préparation et les compositions pharmaceutiques qui les contiennent.

(57) Nouveaux dérivés du taxol de formule générale I dans laquelle R représente hydrogène ou acétyle, un des symboles R₁ ou R₂ représente hydroxy et l'autre représente tertibutoxycarbonylamino et leurs isomères, leur préparation et les compositions pharmaceutiques qui les contiennent.

- A1

Fig.I.17: Le brevet Taxol de Pierre Potier (et al.): Innovation thérapeutique majeure pour la chimiothérapie anti-cancer. Le CNRS n'apparaît pas comme co-déposant.

Sur la figure 16, les revenus considérés concernent uniquement les redevances d'exploitations de brevets hors cession et opérations connexes (cash libératoire, remboursement d'avances et de frais de PI), les frais de PI concernent les frais de dépôt, d'extension et de maintenance du portefeuille de brevets du CNRS (3278 brevets princeps au 31 décembre 2008) hors frais de valorisation (de FIST principalement) et hors remboursement des co-déposants. Ces revenus sont issus de 211 licences d'exploitation actives (sur 1024). Ces licences ne sont pas toutes gérées par le CNRS (en fait depuis 2005 environ 75%). On retrouve le profil de revenus de tous les portefeuilles de brevets publics, c'est-à-dire environ 2% des brevets rapportent plus de 90% des revenus.⁶⁰

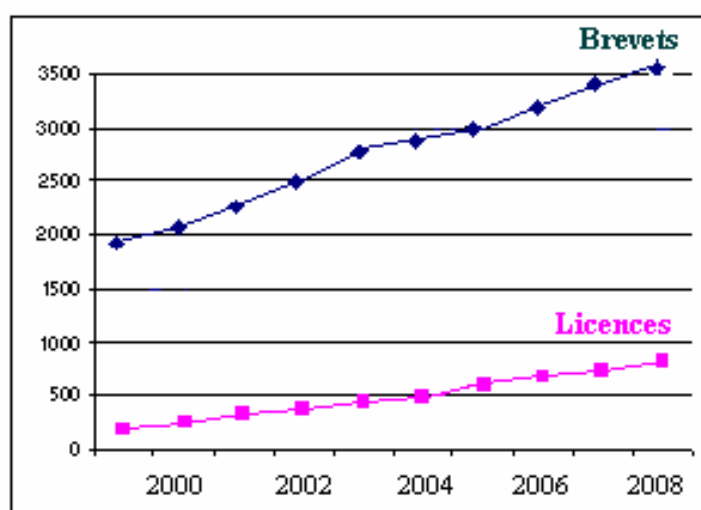


Fig.I.18: Evolution Brevet/Licence CNRS. Malgré l'augmentation constante de brevets, la vitesse de transfert (nb de licences/an) est constante.

La figure 18 montre que le « licensing » est linéaire, non directement corrélable au nombre de brevets. Ce type d'évolution pourrait indiquer plusieurs choses :

- Tout d'abord une évidence, le transfert de technologie (vu au travers des licences d'exploitation) n'est pas lié à la taille du portefeuille de brevets.
- La stabilité du flux de transfert (nb. de licences/an constant) pourrait indiquer une limite de la capacité de la structure de valorisation.

Les raisons pourraient être un manque de visibilité et donc de marketing de l'offre technologique ou encore une capacité de courtage, de traitement et de négociation qui aurait atteint ses limites (problème de ressources).

⁶⁰ C'est une constatation de toutes les études sur les revenus de transfert de technologie public, voir par exemple Baldini (2002) et al., Thursby et al. (2001), etc..

- Cette asymptote pourrait aussi indiquer une capacité limite du marché (des industries, des start-up, du financement) qui ne pourrait pas « absorber » un transfert de technologie plus important.
- Ou enfin, que la voie de transfert de technologie par la licence d'exploitation (souvent exclusive) est une voie limitée (ou auto-limitante) et, qu'il existe d'autres voies de transfert.

Nous pensons que toutes ces raisons coexistent et convergent pour limiter quasi-physiquement l'activité « officielle » (selon les indicateurs de la LOLF) du transfert de technologie public.

2.3. La création d'entreprise

La loi de 1999 a été un vrai prometteur de la participation de fonctionnaire chercheur à de la création d'entreprises, même si les motivations réelles peuvent être plus complexes, pour nous les raisons principales ⁶¹ sont:

- . La nécessité de maturation de technologie trop amont, jusqu'au prototypage ou faire la preuve du concept afin de convaincre des industriels.
- . Une issue professionnelle souvent transitoire pour des post-doctorants, qui sont donc les principaux « animateurs » et salariés de ces Spinoff .
- . Une voie de compléments financiers pour les chercheurs et le laboratoire publics. La société créée, est une source de contrats de collaboration pour le laboratoire (parfois même pour la constitution d'un consortium européen).

Quelles que soient ces motivations, elles sont sous-tendues avant tout par l'intime conviction de l'inventeur de la justesse de son approche et de sa solution.

Dans le tableau suivant, nous nommons « SpinOff » une jeune entreprise créée directement par des chercheurs ou des étudiants (ingénieurs, techniciens, doctorants..) et « Start-Up » une jeune société adossée ou développant une technologie issues d'un laboratoire du CNRS, sous couvert, en général, d'une licence d'exploitation exclusive.

⁶¹ Pour Scott Shane, « *Une spinoff est un nouvelle entreprise fondée pour exploiter une partie de la PI créée dans un institution académique* » dans « *Academic Entrepreneurship..* », 2004, Ed Edward Elgar, MA, USA. Nous nous différencions ici dans l'ordre et la hiérarchie des critères de motivations à la création d'entreprise, suite aux résultats d'analyse des demandes de 25.1 de chercheurs qui doivent motiver leur requête auprès de la commission de déontologie du CNRS.

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Spinoff	9	22	21	20	20	24	25	22	17	28
Start-Up	10	10	10	15	15	11	22	33	28	16
Total	19	32	31	35	35	35	47	55	45	44

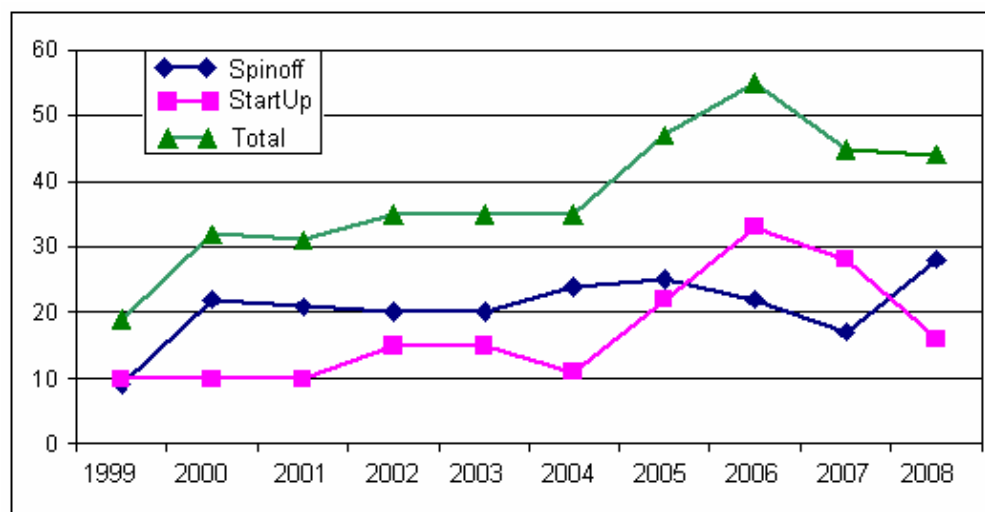


Fig. I.20 : Evolution de la création d'entreprise : Spinoff : Entreprise créée par du personnel CNRS, Start-Up : Entreprise adossée au CNRS.
(Source: Service Support Création d'Entreprise CNRS-DPI)

Bien que les mesures apportées par la loi de 1999, puis ses différents décrets d'applications en 2002 puis en 2004, aient été très incitatives pour le chercheur-entrepreneur, le tableau suivant montre que cela a mobilisé au final qu'une faible partie de fonctionnaire⁶².

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Total
statut 25.1	1	6	21	20	6	7	3	1	3	1	69
Statut 25.2	3	14	24	29	20	12	23	17	19	12	173
Total	4	20	45	49	26	19	26	18	22	13	242

De 1999 à 2008, il y a eu 69 agents qui ont quitté le CNRS (selon la clause 25.1) pour créer et diriger une entreprise et 173 agents qui participent activement à une entreprise (clause 25.2). Par contre au niveau de la consolidation économique et sociétale il faut aussi tenir compte que cette voie de la création ou participation à une entreprise a été essentielle à la post-formation de beaucoup de doctorants.

⁶² Source CNRS-DPI Rapport comité déontologie.

2.4. Les contrats de recherche

Les contrats de collaboration de recherche constituent en nombres et en valeur la part la plus importante de l'activité du transfert de technologie.

Par définition, ces contrats constituent la traduction d'une collaboration entre deux ou plusieurs partenaires privés ou publiques en vue de mener en commun une recherche. Nous définirons plus loin dans le paragraphe 3 « A l'aune de l'économie de la connaissance » le cadre théorique du contrat, qui selon P. Llerena « *dans le cadre de l'économie de l'information et considérant le processus d'innovation comme linéaire, le contrat est le prix d'une prestation intellectuelle [...] et dans le cadre de l'économie de la connaissance où le processus d'innovation est interactif, collectif et cumulatif, le contrat est une opportunité de relation stable pour un partenariat à long terme à somme positive.* »⁶³.

La typologie des contrats analysés pour le CNRS, montre que ces 2 situations co-existent, donc que les deux processus d'innovation (linéaire et interactif) co-existent⁶⁴.

2.4.1. Typologie des contrats

Ce Tableau résume en nombres, les types de contrats de recherche des laboratoires du CNRS (UPR et UMR), 50 % de ces contrats sont directement gérés par le CNRS.

Contrats Privés (Nombre)	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Collaboration de recherche	1602	1894	1903	2135	1900	1957	2247	2001	1771	1537
Prestations de service	253	287	338	328	391	470	523	495	461	426
Mise à disposition de personnel	0	0	1	1	4	6	26	33	31	19
Coprod audiovisuelle	0	0	1	1	3	6	29	28	29	18
Contrat équipe-conseil	12	13	16	17	17	16	44	32	27	19
Total	1867	2194	2259	2482	2315	2455	2869	2589	2319	2019
Contrats Publics (Nombre)	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Subvention / Aide / ANR	0	1	4	21	61	250	1513	2100	2130	1655
Commission européenne	111	583	423	472	178	511	322	369	141	271
Convention de reversement	0	0	2	3	10	22	77	134	148	162
Accord de consortium Europe	0	1	4	2	18	69	66	82	45	78
Total	111	585	433	498	267	852	1978	2685	2464	2166

(source Système Informatique « Base Partenariat » CNRS – DPI)

⁶³ Patrick Llerena, BETA UMR ULP-CNRS N°7522, WP du 30.10.2006 v.2.2, « Valorisation de la recherche publique française : éléments d'analyse économique et de politique de la recherche »

⁶⁴ Il faut peut-être moduler cette conclusion selon les domaines technico-économiques (Thérapeutique, Microélectronique etc..). Par ailleurs l'analyse plus poussée de certaines relations entre industrie et recherche montre aussi que les deux modèles convergent, en effet une relation de prestation de service peut engendrer un partenariat plus long terme.

Ce Tableau résume en nombres, les types de contrats de recherche des laboratoires du CNRS (UPR et UMR), 50 % de ces contrats sont directement gérés par le CNRS. On relève une diminution des contrats de collaborations de recherche avec l'industrie depuis 2005, les prestations de service sont à peu près constantes depuis 2003 comme le montre la figure suivante :

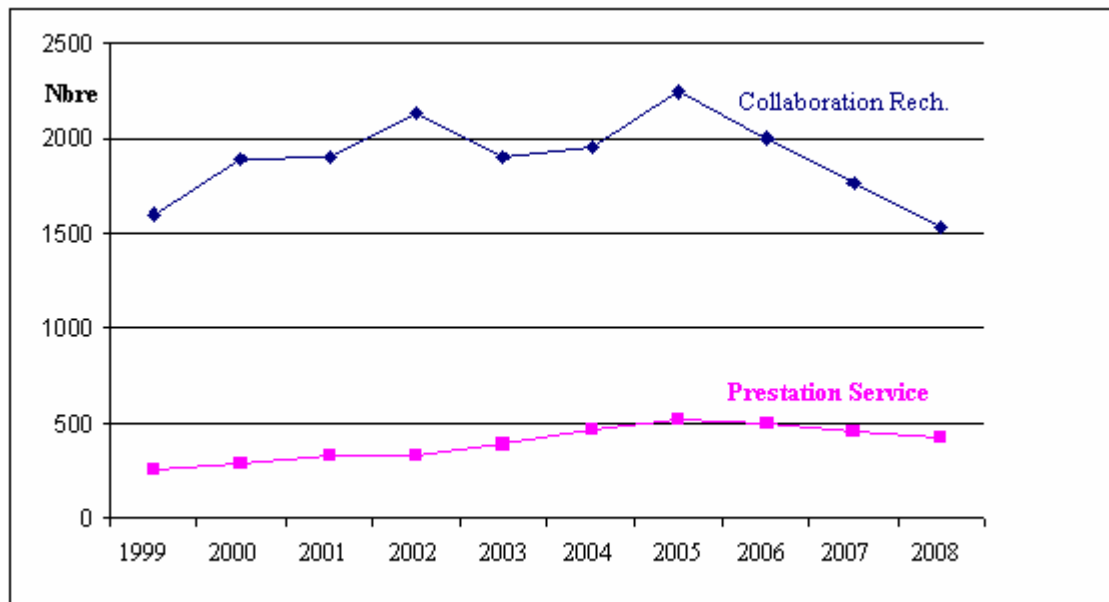


Fig.I.21 : Nombre et types de contrat « industrielle » par an

Il faut préciser que du point de vue de la **propriété intellectuelle**, dans le cas de la « **Prestation de Service** », elle revient de droit à l'industriel. Dans le cas du contrat de collaboration de recherche cette propriété fait l'objet d'une négociation entre l'industriel et le CNRS

Bien que du point de vue des droits de propriété intellectuelle la prestation de service soit plus favorable à l'industriel, les chiffres montrent que ce type de contrat n'est pas privilégié par le partenaire privé. En effet sur la figure 21, le nombre de contrat de service par an reste assez constant ces dernières années.

Par contre on note une baisse constante et significative des contrats de collaboration de recherche en particulier avec des sociétés privés.

Les raisons de cette baisse constante et continue sur ces 5 dernières années restent à déterminer. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées :

- . Délocalisation de l'activité de recherche, donc concurrence des pays émergents ou nouveaux entrants européens.

- . Baisse des investissements en recherche «à long-terme » des grands groupes.
- . Manque et baisse d'effectifs de personnel de recherche d'expérience.

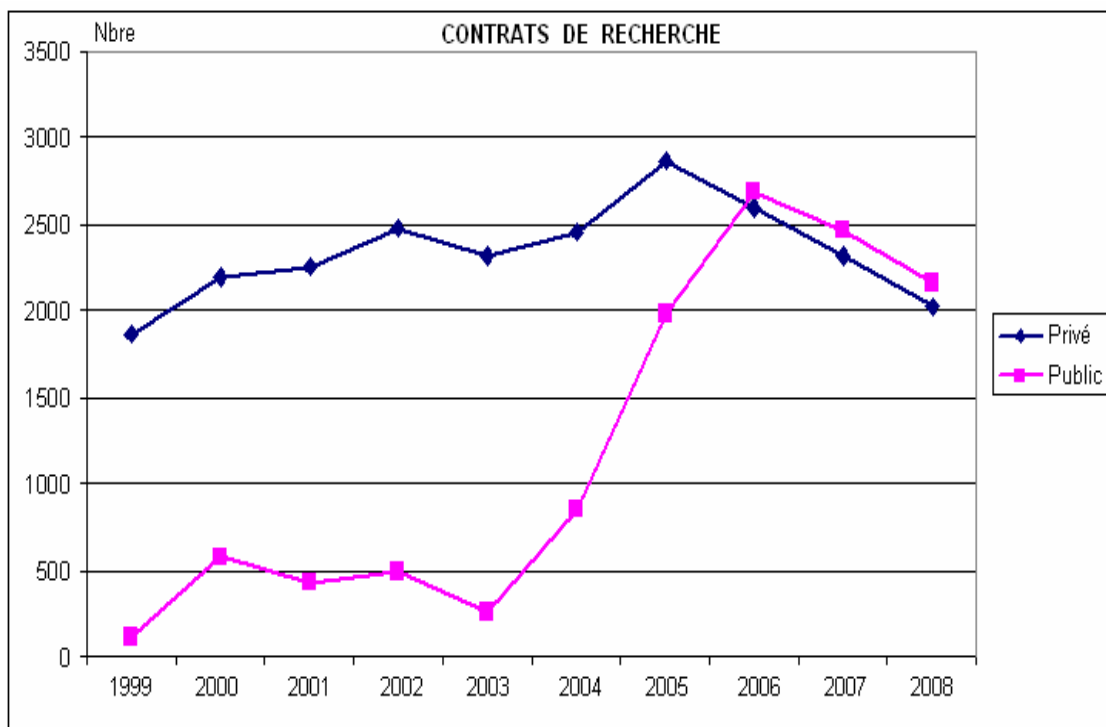


Fig.I.22. Evolution du nombre de contrats de recherche d'origine publique et privée.

Le graphique (Fig.22) montre une forte croissance en nombre des contrats publics depuis 2003 (essentiellement due aux contrats Européen et en 2005 les contrats ANR). Les contrats avec les industriels et privés subissent un baisse significative depuis 2005. Cette évolution du nombre de contrats se traduit bien sûr au niveau financier comme le montre le tableau suivant.

Contrats Privés (k€)	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Coll. de recherche	109 722	50 902	89 248	96 280	134 138	113 229	91 712	81 044	78 687	68 699
Prestations de service	407	530	901	4 659	7 928	4 198	4 500	4 093	5 058	4 063
M à D personnel	0	0	0	0	2	0	0	76	259	0
Coprod audiovisuelle	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	275.0	2732.8	2406.6	3060.0	3522.0
Contrat équipe-conseil	26.0	99.6	27.4	103.8	59.0	56.7	111.7	71.4	10.5	39.5
Total	110 155	51 532	90 177	101 043	142 128	117 759	99 056	87 691	87 076	76 324
Contrats Publics (k€)	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Subvention / Aide	0	0	434	4 176	3 534	4 997	283 150	654 168	502 918	175 257
Commission européenne *	56 587	777 996	836 645	853 666	218 061	1 685 652	1 054 322	878 016	157 193	464 239
Conv. De reversement	0	0	671	0	597	1 009	2 550	1 252	16 056	7 078
Accord de consortium Eu.	0	0	0	0	130 073	116 190	91 701	59 076	6 681	9 530
Total	56 587	777 996	837 749	857 843	352 265	1 807 848	1 431 722	1 592 511	682 849	656 104

* Note : C'est le montant Total du contrat Europe qui est reporté dans ce tableau. Source : Base Partenariat CNRS-DPI

La figure suivante (Fig.23) montre que l'évolution des financements publics est importante mais irrégulière, le financement de la recherche partenariale privée est quant à elle constante, mais faible.

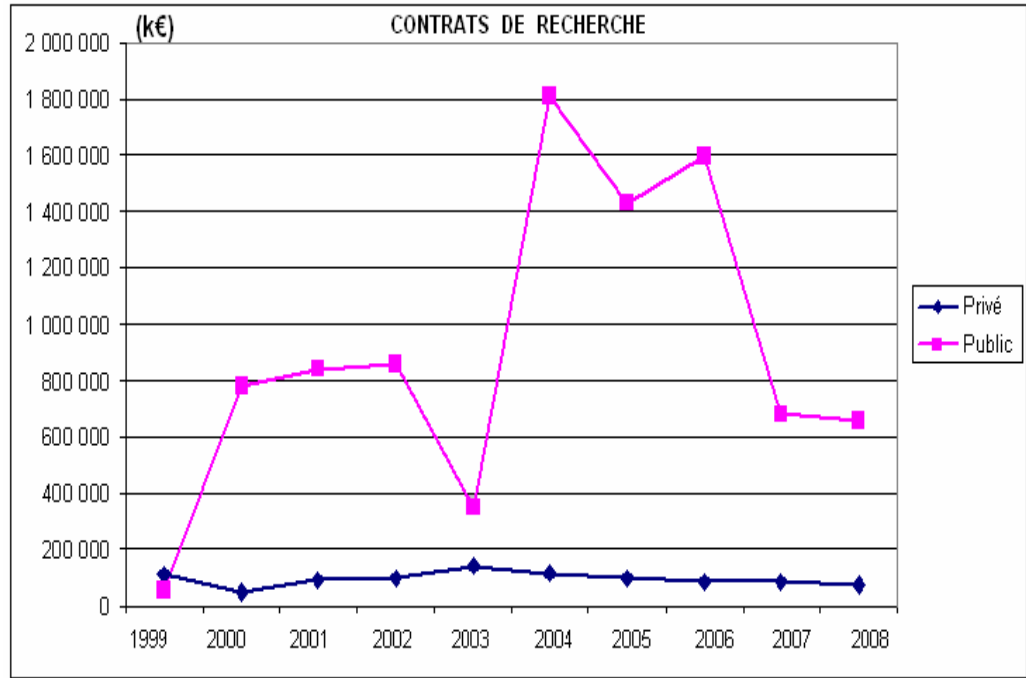


Fig.I.23 : Evolution des contrats de recherche. (Source Base Partenariat CNRS-DPI)

Le financement public est important mais semble suivre des cycles (la chute de 2002 et 2006 semble correspondre au changement de PCRD et donc du mode de financement des projets européens), le financement privé est stable mais faible (le montant moyen d'un contrat privé industriel a baissé, il est passé de 60 k€ en 2003 à moins de 40 k€). Cette baisse du financement privé (constante et continue depuis 2003) semble avoir été compensée par la mise en place et le financement (public) des « Pôles de Compétitivité ». En effet entre 2006 et 2007, le montant total du financement privé (PME et Grands Groupes) a chuté de 110 millions à 70 millions d'euros et parallèlement le financement public pour les laboratoires publics impliqués dans des projets de pôles de compétitivité a été de 40 millions d'euros. Il est difficile de commenter ce « transfert » de financement privé à un financement public, du point de vue du transfert de technologie la conséquence première a été une certaine confusion sur les droits de propriété intellectuelle dans les accords de consortium issus de ces pôles de compétitivité.

L'analyse primaire de ces évolutions tendrait à faire penser que la recherche ne souffre pas de financement mais plutôt d'un financement irrégulier et chaotique. Suite à la chute brutale du financement de 2006-2007, le financement total public de l'année 2008 est inférieur à celui de l'année 2000.

En conclusion, ces derniers chiffres⁶⁵ sur les contrats de recherche, relativisent la problématique des revenus potentiels issus du « Licensing des brevets et savoir-faire ». En effet le montant total du financement par les contrats de collaboration de recherche est de l'ordre de 600 à 700 Millions d'euros annuel (dont environ 100 millions d'origine industrielle), soit dix fois plus que les revenus issus de la valorisation des brevets, (environ 60 Millions d'euros pour le CNRS). Les enjeux et les priorités des chercheurs et des laboratoires du CNRS sont donc concentrés sur la recherche et la finalisation des contrats de recherche. Dans le cas de contrat avec un industriel il est aisé de comprendre que les laboratoires soient plutôt enclins à «laisser» à l'industriel la propriété intellectuelle que ces travaux pourraient générer.

Tous ces chiffres que nous avons présentés montrent que l'activité du transfert de technologie au CNRS a un comportement analogue (parfois meilleur) à beaucoup de grandes universités américaines ou européennes. En effet, de nombreuses études, notamment les enquêtes annuelles de l'AUTM 2002 à 2007, montrent que les revenus nettes des TTO aux Etats-Unis ne sont que rarement positifs, ou encore l'enquête de Jensen et Thursby (2001) sur 60 universités de recherche américaines qui montre que pour la grande majorité de ces universités, cinq inventions concentrent 80% des revenus. Les résultats convergent pour montrer qu'il y a une limitation quasi structurelle des revenus issus du « licensing ». Mais n'est-ce pas là en fait, les conditions « normales » de fonctionnement d'un TTO ?

A notre avis, la mission réelle d'un TTO public, est liée au rôle du brevet issu de la recherche académique, c'est-à-dire non pas une possibilité de rente, ni même une incitation pour les industriels à investir dans la recherche (puisque malgré la politique pro-brevet, les contrats privés diminuent depuis cinq ans), mais probablement à une

⁶⁵ Dans le chapitre 3, nous reviendrons sur la typologie de ces indicateurs que sont le brevet et la licence. A ce stade la « trituration » excessive de ces chiffres bruts n'apporterait à notre avis que peu d'éléments quant au sujet principal de cette thèse sur « le transfert de technologie et innovation ».

dimension coordinatrice et motrice pour de « nouveaux » réseaux de développeurs (PME innovante, Start-up, etc.).

La vraie confusion pour nous est l'assimilation hâtive entre transfert de technologie et innovation, ou entre recherche et innovation, et au final entre innovation et croissance économique. Ces raccourcis au mieux brouillent la recherche sur les processus d'innovation et sur la notion même évolutive d'innovation. Un détour par la théorie économique est nécessaire pour re-situer le transfert de technologie public du point de vue à la fois de l'économie de la connaissance, de l'économie de l'information et de l'innovation.

« Deux excès : exclure la raison, n'admettre que la raison »
Blaise Pascal, in « Pensées », 1669

3. A l'aune de l'économie de la connaissance

La relation entre recherche fondamentale (en général publique) et l'industrie (au sens large) est au cœur du raisonnement économique à la fois théorique et empirique de l'économie de la connaissance et de façon étendue de l'économie de l'information.

Le transfert de technologie est donc au centre de cette relation, par son activité « métier », ie *la Propriété Intellectuelle Publique*, il se trouve confronté à des notions et concepts fondamentaux parfois difficiles à appréhender comme la notion de connaissance et d'information, les modèles et processus d'innovation, la notion d'« Open Science », par suite il peine à trouver sa place dans le cadre d'une économie basée sur la connaissance.

Nous allons essayer dans ce chapitre d'évaluer l'influence de ces concepts et facteurs sur le positionnement du transfert de technologie public.

3.1. Le Cadre théorique

Les travaux et la littérature dans ce domaine abondent, nous nous proposons ici de les classer selon différents niveaux par rapport au transfert de technologie public, selon le schéma suivant :

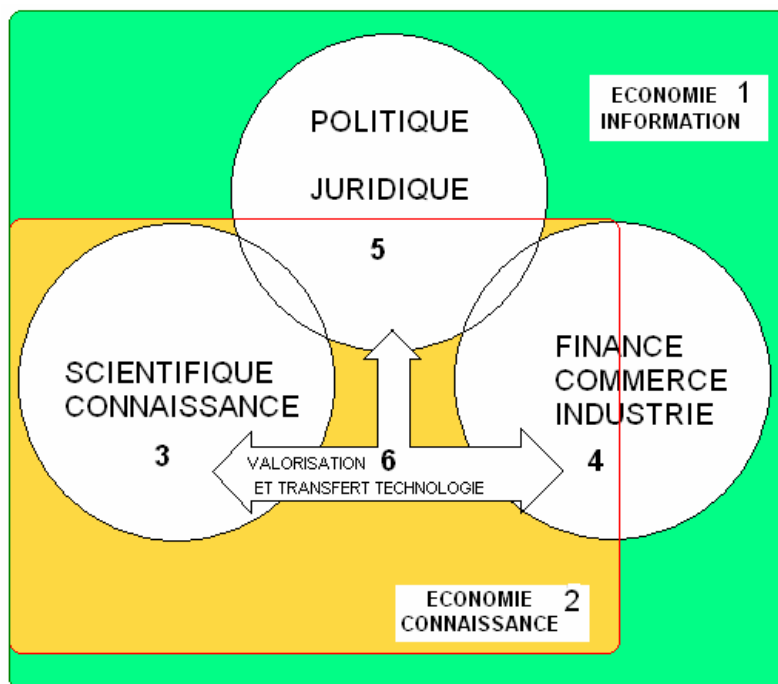


Fig.I.24 : Une proposition d'encapsulation des concepts.

Dans ce modèle (Fig.24) la « valorisation et le transfert de technologie » fait partie du domaine de l'économie de la connaissance, et constitue une voie de « communication » contrôlée entre deux mondes : le monde de la production de connaissance, la science et le monde industriel et financier, bien entendu dans un cadre politique et légal. Ce schéma nous permet de délimiter les apports de l'économie de la connaissance et celui l'économie de l'information à la problématique de la valorisation de la recherche académique.

Cette schématisation a un aspect quelque peu caricatural, dans la mesure où ces trois mondes (Politique, Science, Industrie) qui encadrent l'activité du transfert de technologie, sont dans les faits plus intimement et historiquement liés (en particulier le monde de la science et de l'industrie).

Notre modèle s'inspire du modèle hiérarchique développé dans le monde industriel de la « Gestion des Savoirs » (Knowledge Management) qui trouve son origine dans un poème de Thomas Eliot, [ELIOT T.S., *The Rock*, Faber & Faber, 1934]⁶⁶:

'Where is the Life we have lost in living?

Where is the wisdom we have lost in knowledge?

Where is the knowledge we have lost in information?'

La synthèse présentée (fig.I.24) d'encapsulation des concepts et théories n'est pas très éloignée du modèle de Loet Leydesdorff et Henry Etzkowitz (2001) de la **Triple Hélice**, qui cherche à configurer les relations qu'entretiennent les trois principaux acteurs d'un système national d'innovation : les universités, les entreprises et les gouvernements ; à laquelle on peut ajouter un quatrième acteur que sont les EPST (établissement public scientifique et technologique : comme le CNRS). En effet, comme le précisent Leydesdorff et Etzkowitz (2001), « *a transformation in the functions of university, industry, and government is taking place as each institution can assume the role of the other. Under certain circumstances, the university can take the role of industry, helping to form new firms in incubator facilities. Government can take the role of industry helping to support these new developments through funding programs and changes in the regulatory environment. Industry can take the role of university in developing training and research, often at the same high level as university* ». Cette vision est à notre avis peu réaliste. Elle élude bien hâtivement la

⁶⁶ Site : www.transfertdessavoirs.be/fr/champ_conceptuel.html. Françoise Rossion

spécialisation et complexification croissante de chaque discipline scientifique, difficulté à laquelle se rajoute la nécessité d'une approche interdisciplinaire.

Le modèle que nous proposons s'inspire aussi de l'approche du modèle de Triple hélice (Leydesdorff) et s'appuie sur une synthèse des travaux dits de *Stanford-Yale-Sussex* (SYS) en référence aux travaux sur l'économie de l'information de ces trois universités (niveau 1 dans notre schéma Fig.24).

Le synoptique que nous proposons va nous permettre un classement des études fondamentales ou empiriques qui ont apporté des éléments et des concepts fondateurs éclairant la problématique du transfert de technologie et la valorisation de la recherche publique. Nous essayerons donc d'extraire à chacun de ces niveaux, les concepts et résultats qui nous semblent fondamentaux pour le positionnement ou l'activité du transfert de technologie public.

Détaillons pour chacun de ces niveaux (1 à 6), quelles ont les apports fondamentaux de la théorie économique ou des études empiriques actuelles pour l'activité de transfert de technologie et la valorisation de la recherche publique :

Niveau 1 : Nous nommerons ce niveau «Economie de l'Information». A ce niveau le monde académique, bien que dédié à la production de connaissance et sa dissémination, a un rôle clé dans **la croissance économique** et donc est au centre des politiques nationales d'innovation (Nowotny et al, 2001). On peut citer les contributions de Arrow (1962) et Bateson (1973) ou David (1993) notamment, pour qui : « *l'information produit un nouveau point de vue sur des évènements ou des objets, qui rend visible ce qui était invisible* »⁶⁷. Il n'est plus à démontrer que le vrai enjeu politique, économique et sociétal de ce siècle est la maîtrise de l'information.

Arrow (1962) justifie la nécessité d'un « **marché de la connaissance** » dans lequel le producteur doit avoir les bénéfices de sa production de nouvelles connaissances, justifiant ainsi le financement de la recherche académique mais aussi la création et le rôle du transfert de technologie public.

C'est à ce niveau qu'il faut replacer l'importance du concept de réseaux d'innovation et de « Knowledge-intensive communities » développé

⁶⁷ Pour **J-Y. Prax** (2001), il y a différents types d'information : d'ordre physique (quantitatif, état, mesures), pragmatique (mode d'emploi, procédure), rationnelle (démonstration, déduction logique), paradigmatique (valeur partagée, consensus), expressive (réaction émotionnelle).

notamment par Bowles et Gintis (2000) ou Cowan et Jonard (2001). Le rôle de ces communautés de connaissance change le paradigme économique dual de « market-versus-public-intervention » selon Amin et Cohendet (2004) comme par exemple les associations de malades.⁶⁸

La théorie économique présente ici le brevet comme une réponse institutionnel aux limites du marché (« Market failures »), bien que pour Geroski (1995) il y a plusieurs façon de vendre une bonne idée : soit sous forme « d'information », soit sous forme de produit « innovant ».

Donc, nous classons aussi dans ce niveau toutes les approches « néoclassiques » sur l'économie du brevet notamment les travaux d'Arora (1997) et Tirole (1988) qui montrent que le système de brevet a créé un « Marché de Technologie » ; ou encore les études et modèles sur la « **valeur des brevets** », valeur technico-économique et stratégique pour Trajtenberg (1990) ou Griliches (1990), ou valeur financière (prix) pour Pakes et Schankerman (1984), Putnam (1996), Barney (2002) ou James Bessen (2006) qui détermine un prix moyen des brevets (US patentees 1991 à 78 168 US \$ - médiane à 7175 US\$). Ces évaluations sont basées sur différents paramètres comme le nombre de pays d'extension (Putnam), la durée de vie (Schankerman) ou type de décision de délivrance (Guellec et Pottelsberghe) ou le scope géographique combiné à la durée de vie dans chaque pays (SYI scope year index) pour Zeebroeck et Pottelsberghe (2008). Dans ce domaine, il est nécessaire aussi d'inscrire l'ensemble des communications de la commission Européenne, et des études sur l'OEB d'Archontopoulos et al. (2007) sur l'inflation des brevets. Les attendus et enjeux du protocole de Londres (entré en vigueur au 1^{er} Mai 2008) sur la nécessité d'un « Brevet Européen » (JO OEB 2001, 549), en particulier face à la montée en puissance des pays comme la Chine.

Ce niveau n'impacte pas directement le transfert de technologie public, car la contribution de la recherche académique au système international de brevets reste assez limitée, comme le montre l'étude de Zeebroeck, Pottelsberghe et Quellec (2008) avec environ 4% du total des brevets EPO en 2000 (sauf en biotechnologies où la contribution publique dépasse les 14%).

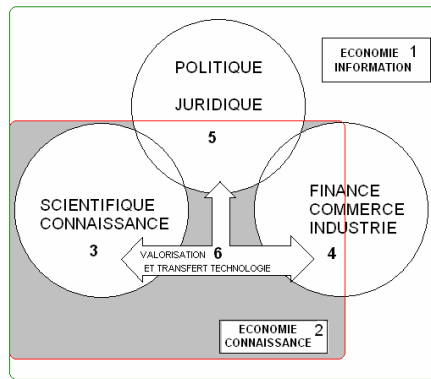
⁶⁸ Cette approche est importante dans le cadre du transfert de technologie du CNRS, en particulier concernant les relations avec les associations sur les maladies dites rares ou orphelines.

Niveau 2 : l'« Economie de la connaissance » : ce niveau, que l'on peut qualifier de systémique, concentre l'ensemble des concepts, paramètres et paradigmes applicable au transfert de technologie. Citons : Nelson (1959), Rosenberg (1982), Winter (1987), Pavitt (1987), Dosi (1988), et Foray (2000)⁶⁹ notamment, par comparaison avec le niveau précédent basé sur la notion d'information, ces auteurs apportent un éclairage fondamental sur la connaissance scientifique et technologique. La connaissance par rapport à l'information suppose une assimilation donc une action (selon Piaget « *il y a une notion de process, de construction d'une représentation finalisante [...] en vue d'une « bonne fin »* ») . La connaissance n'est pas figée (stockée) mais toujours activable selon une finalité, une intention, un projet.

Par comparaison avec la notion d'Information, ces travaux montrent des aspects fondamentaux de la connaissance et notamment la connaissance scientifique, comme la notion d'un **Bien Public Non Rival**, ou l'**incertitude** sur leur utilité à priori, ou encore la **dimension tacite** de cette connaissance technologique. Autrement, dit, comme l'explique Michael Polanyi, « *nous connaissons plus que ce que nous pouvons exprimer* »⁷⁰ et la connaissance explicitée en mots et en chiffres ne reflète qu'une infime partie de nos savoirs. Ces concepts apportent un éclairage fondamental sur le paradoxe originel du transfert de technologie public dont la mission est de justement « valoriser » ce bien public.

⁶⁹ Pour **D. Foray** dans *L'économie de la connaissance*, (2000), décrit un système plus étendu que dans notre schéma en définissant une discipline à part entière issue de la rencontre entre l'évolution de la formation, l'enseignement et l'avènement des technologies de communication ce qui a pour effet « une augmentation des externalités du savoir ainsi que l'accroissement de la place du changement (les activités consacrées à l'innovation) dans l'activité économique ».

⁷⁰ M. Polanyi , *The Tacit Dimension*, London, 1966, p.4



Niveau 3 : C'est le niveau de la « Connaissance Scientifique ». C'est l'origine même du vecteur⁷¹ de transfert de technologie. La compréhension de cet univers de « production de connaissances » est vitale pour l'activité de la valorisation des résultats de la recherche fondamentale (en général publique). Il faut citer la contribution fondamentale de Nelson (2000) sur la méthode d'avancement scientifique basée sur la possibilité de concevoir et d'expérimenter, et plus encore sur la liaison directe entre avancées scientifiques et innovations.

L'excellence de la recherche scientifique est une condition indispensable pour la production et le progrès technologique pour Keith Pavitt (2001) ou Hicks (2000). Cette évidence conduit à la notion fondamentale de complémentarité⁷² entre les deux systèmes : la Science et l'Innovation, notamment pour Carayol, et Matt (2006) « *Un affaiblissement des principes de régulation de l' «Open Science» induit un affaiblissement du processus d'innovation* ».

Par ailleurs, on doit notamment aux travaux de Trajtenberg (1991), Van Raan (1998), Verspagen (2001) et Magerman (2006), un éclairage et des outils de compréhension (bibliométrique, épistémologique et scientométrique) de l'organisation et l'évolution **arborescente** des sciences, et surtout de leur interdépendance⁷³.

Il existe peu de données et de recherches sur le processus initial de genèse de l'invention innovante issu de la recherche académique. La grande majorité des études part de la réalité visible de l'invention, c'est-à-dire à partir de sa

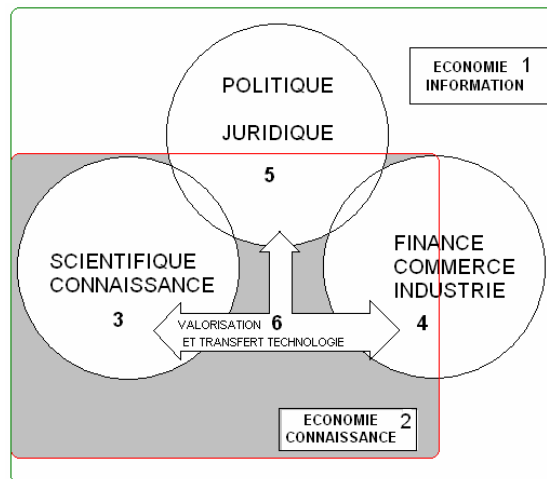
⁷¹ Dans le sens mathématique du terme, *ie* un vecteur est défini par son origine, sa direction et son intensité.

⁷² Cette notion conduit à la nécessité d'une « coordination stratégique » entre Open Science et R&D

⁷³ Pour Albert Einstein « *Dieu ne joue pas aux dés* ».

publication sous forme de brevet et élude rapidement les causes de cette création.

Niveau 4 : Ce niveau concerne surtout les modes d'assimilation et d'intégration des connaissances technologiques issues de la recherche fondamentale, par le monde de l'industrie (au sens large, finance et commerce). Ce niveau est bien sûr fondamental pour le transfert de technologie, car c'est à ce niveau qu'ont été développés **tous les modèles et concepts de processus d'innovation** (Schumpeter I et II, Kline&Rosenberg, nouveaux modèles d'innovation, etc.). Car une invention ne devient innovation que dans la mesure où elle rencontre un besoin et dans la mesure où il y a une **appropriation industrielle**, donc à un niveau de diffusion sociétale. Le monde industriel est depuis longtemps « conscient » de la difficulté, d'une part de gérer les compétences, les savoirs internes et d'autre part de la nécessité de réduire la part de connaissance tacite. C'est à Keith Pavitt que l'on doit une analyse des mécanismes de « **learning by doing** » et « **learning by using** » (1987), concepts abondamment analysés par la suite par Cohen & Levinthal (1990) ou Cassiman & Veugelers (1998) notamment. Cet aspect est fondamental pour le TT, compte tenu du niveau précédent (nature de la connaissance). La littérature est abondante sur les méthodologies du domaine de « La gestion des savoirs » (Knowledge Management) avec des contributions importantes comme Nonaka (1994), Teece, Pisano & Schuen (1994), Dosi & Marengo (1994), Granstand, Patel & Pavitt (1997), Prax (2000) notamment et Amin et Cohendet (2004) qui envisagent l'évolution entre l'entreprise « processeur d'information » et l'entreprise « processeur de connaissance ». Ces difficultés d'intégration de la connaissance des technologies issues de la recherche académiques constituent un frein à la capacité d'innovation des entreprises et un frein au transfert de technologie issue de la recherche fondamentale.



Niveau 5 : Le niveau politique, juridique et légal lié directement au transfert de technologie est un domaine où la littérature et les travaux de recherche sont aussi abondants, signalons principalement Young (2001), Mustar et Larédo (2002) sur le modèle « **Colbertiste** » français, les études sur les effets du Bayh-Dole Act de Henderson et al. (1998) ou Mowery et al. (2001), Pavitt (2001) qui abordent l'impact des politiques publiques sur la production technologique, l'innovation et ses conséquences sur la recherche fondamentale. Les analyses sur l'OEB (Office Européen des Brevets) de Van Zeebroeck et Pottelsberghe (2006, 2008) ou Guellec et al. (2002) montrent aussi que le principal facteur influençant la crédibilité du système de brevet (et donc la valeur de la Propriété Intellectuelle Publique) est : la **législation** et les **pratiques nationales** de dépôts et extensions des brevets qui induisent une inflation de dépôts. Cette croissance des dépôts entraîne des délais croissants de traitement. Le résultat est une fragilisation du système de brevet en **augmentant l'incertitude et l'insécurité juridique**. Tous ces résultats participent au climat difficile et peu sécurisant du transfert de technologie public. En France les lois de 1999 (Recherche et Innovation), 2004 (Recherche et Enseignement), la loi dite LRU (Recherche et Université) de 2007 (voir Historique) et enfin la loi de modernisation de l'économie adopté en Août 2008 ; toutes ces lois impactent plus sûrement le fonctionnement du transfert de technologie public qu'elles n'impactent l'innovation.

Niveau 6 : C'est le niveau direct et opérationnel du Transfert de Technologie, dans son objet principal. : Le brevet et le « licensing ».

La problématique la plus documentée et commentée concerne le **brevet issu de la recherche académique**, sous tous les angles. Tout d'abord, la notion du brevet en tant qu'indicateur majeur de l'activité innovante de la recherche fondamentale, par la contribution importante des travaux Griliches et al. (1980, 1990) [« *Patent and citation data enable systematic observations of the output of innovative activities of firms, institutions or countries* »]. Et bien sûr, il y a aussi beaucoup de travaux sur l'apparent conflit du « **Patenting vs Publishing** » pour des chercheurs jugés principalement sur leurs publications scientifiques. Ce dilemme introduit un délai supplémentaire à une publication scientifique éventuelle pour le chercheur selon Breschi, Lissoni et Montobbio (2005), Pénin (2005), ou Geuna et Nesta (2006) mais ne semble pas être une incompatibilité pour les « bons » chercheurs (ceux qui publient beaucoup).

D'autres travaux encore plus nombreux posent le problème du concept même du « **brevet** » comme incitation à l'innovation, c'est le cas de Winter (1993), Colyras et al. (2002), Pottelsberg de la Potterie (2005), Verspagen (2006) ou encore Pénin et Wolf (2007). Ces travaux montrent une certaine convergence sur le rôle « exact » du brevet issu de la recherche publique « *qui en soi, ne suffit pas pour un transfert effectif* ». C'est la fonction plus « coordinatrice » du brevet, que nous essayerons d'illustrer dans le chapitre II sur la cartographie des connaissances issues des brevets. D'ailleurs une politique académique pro-brevet excessive, selon Heller et Eisenberg (1998), par un effet **anti-communs** conduirait à entraver le processus de recherche lui-même.

Jensen et Thursby (2003) ou Debackere et Veugelers (2005) dans une approche néoclassique formelle, modélisent le processus de « Licensing » et montrent le rôle central du TTO (Technology Transfer Office) dans le processus de « diffusion des inventions ». En tant que **principal-agent**, le TTO réduit les coûts de l'asymétrie d'information en assumant le caractère immature des technologies issues de la recherche publique.

Le corollaire du brevet est la licence d'exploitation (et donc les revenus éventuels). Mowery et al. (2001) montrent que les revenus bruts issus des brevets d'universités américaines connaissent (NdA : ont connu) une progression importante mais que les **revenus nets** (déductions faites des coûts

directs, frais de dépôt et maintenance et indirects – structure de gestion et frais de fonctionnement) sont **négatifs**. Donc pour Nelson (2001) notamment, les revenus des licences ne peuvent pas être une source de financement principale pour l'université ou pour un organisme de recherche fondamentale (sauf en cas de « blockbuster » dont la probabilité est très faible), car une très faible minorité (<5%) de brevets « rapporte » plus de 80% des revenus en général. Donc l'activité de transfert de technologie est une activité en général « **déficitaire** » du point de vue strictement comptable pour la très grande majorité des TTO à travers le monde (Mazzoleni et Nelson 1998). Ce constat montre qu'il est nécessaire de trouver une autre méthode de consolidation de l'activité du transfert Science - Industrie. Une des raisons principales de la « non profitabilité » court terme du transfert de technologie est le caractère immature et « embryonic »⁷⁴ des inventions issues de la recherche fondamentale et publique, que nous avons essayé d'illustrer par le fait d'une très forte majorité de licence d'exploitation de brevet couplée aussi d'une licence de transfert de savoir-faire plutôt qu'une licence d'exploitation « simple ».

⁷⁴ Lire à ce sujet Mazzoleni et Nelson (1998), Jensen et Thursby (2001), Mazzoleni et Sampat (2002)

En résumé, et en nous appuyant sur le modèle proposé (fig.24), nous pouvons extraire les concepts et les facteurs exogènes et endogènes qui impactent directement le « Transfert de Technologie » et de façon plus étendue la « Valorisation de la Recherche Publique » :

1. En premier lieu, le concept même de **la connaissance** technologique qui est constituée d'une partie **explicite**, codifiée et d'une partie **implicite** et surtout **tacite** ⁷⁵.
2. Le caractère d'un **Bien Public, non rival** et dont **l'utilité est incertaine**.
3. La **complexification** des technologies issues de la Recherche Fondamentale.
4. L'appropriation par le monde industriel est **difficile**. La diffusion est « **lente** ».
5. Le conflit apparent entre « **Publier** » et « **Breveter** » pour le chercheur
6. Les limites et le rôle du **brevet** : réponse institutionnelle, brevet et innovation
7. Les limites du **système de brevet** : valeur, inflation, effet Anti-commun
8. La coordination entre « **Open Science** » et production technologique **propriétaire**
9. La légitime revendication de **propriété intellectuelle** de la recherche publique.
10. La relation entre Transfert de Technologie et **Innovation**

Ces concepts et facteurs qui impactent le transfert de technologie sont pour certaines de nature tellement fondamentale que le modèle économique, les limites et responsabilités du transfert de technologie public sont complexes (et restent encore) à définir. En absence de réflexion sur le fond, et soumis à toutes ces contraintes parfois contradictoires, il n'est pas rare de constater un retranchement du TTO, uniquement sur des positions juridiques et légales relatives au droit des inventeurs et des tutelles. Et il n'est pas rare non plus de constater que malgré ce positionnement minimaliste, le TTO soit quand même l'objet de toutes les critiques, provenant des 3 mondes : celui de la recherche, du monde politique et bien sûr du monde industriel et financier pour qui le TTO se trouve être le facteur limitant (ou « bottleneck ») de l'innovation. Ce malentendu sur la mission réelle des TTO devient un paradigme et, comme tout paradigme il sous-tend une autre problématique

⁷⁵ Nous proposons ici une définition « métier » de la connaissance implicite et tacite, car au niveau du dictionnaire (Larousse, ou Robert) ces deux mots sont équivalents, nous définissons donc la connaissance implicite comme : une connaissance qui n'est pas codifiée, ou exprimé mais qui peut être identifiable et codifiable en particulier avec des méthodologies issues de l'Assurance Qualité et du KM. La connaissance tacite est pour nous plus profonde et ne se révèle réellement (mobilisable) qu'au moment de l'exécution, ou moment de la difficulté à résoudre, et donc n'est pas codifiable a priori.

difficile: le concept d'innovation.

Par suite, nous allons dans le paragraphe suivant nous intéresser sur la relation entre transfert de technologie (ou valorisation) et innovation⁷⁶, plus précisément sur le rôle possible du transfert de technologie dans les modèles de processus d'innovation à partir des modèles de Schumpeter et de Kline & Rosenberg principalement.

3.2 Transfert de technologie et innovation

Si l'innovation est un simple évènement probable alors force est de constater que le transfert de technologie a peu à voir avec l'innovation, mais si l'innovation est considérée comme un processus (approche constructiviste) alors le transfert de technologie est un élément important de ce processus.

Le paragraphe précédent sur les fonctions assurées par le TTO, montre que les tâches qui constituent le quotidien des services de transfert ont une composante « lourde » d'origine administrative et surtout juridique, et donc par suite la structuration des TTO est la conséquence directe de ces obligations et contraintes. Le schéma de la figure 24, montre que le transfert de technologie est soumis aux contraintes venant de trois mondes: [Science/ Recherche], [Finance/ Industrie] et [Politique/ Juridique], à priori différents (du moins avec des motivations différentes, ce qui suffit en général pour les séparer). Pour imaginer ces conditions divergentes, nous nous permettrons de reporter cette parabole du Maître Jardinier Chinois, issue du manuel de Jean-Yves Prax sur le « Knowledge Management » (2001) :

[Un Maître Jardinier et ces 3 jeunes disciples se promènent dans le potager, le premier élève apercevant une limace l'écrase promptement et dit « Maître, cet insecte ne s'en prendra plus à nos légumes. Il faut que nous défendions nos intérêts, n'est-ce pas ? ». Le Maître répondit : « Bien sûr tu as raison ». Mais le second disciple objecta « Mais Maître cette limace a le droit de vivre, elle fait partie de la Nature (NDA : nous dirions aujourd'hui de l'Ecosystème) ». Le Maître répondit « Bien sûr tu as raison ». Le troisième disciple tout confus s'exclame « Mais Maître, vous ne pouvez pas dire que tous les deux ont raison ! L'un des deux a forcément tort ». Le Maître répondit « Bien sûr tu as raison ».] Cette parabole n'a pas de morale définitive, mais a pour nous le grand mérite de montrer que la « vérité » n'est qu'un problème de

⁷⁶ « Innovation » selon l'approche économiste de « processus »

perspectives, d'angle de vue (d'encapsulation) et donc de priorités mais que selon chaque angle de vue, les solutions risquent d'être radicalement différentes.

Nous allons essayer de dégager l'implication éventuelle du transfert de technologie dans les modèles de processus d'innovation. En partant du modèle linéaire historique (Fig. 25) de Joseph Schumpeter dans lequel, comme l'ont montré Nelson (1959) et Arrow (1962), il existe une dichotomie entre la recherche fondamentale qui vise à la production d'informations amont et à degré de généralité élevée et une recherche appliquée destinée à « répondre à des besoins ». Dans ce modèle les informations passent librement du monde de la « Science Ouverte » au monde de la technologie où elles sont exploitées afin d'aboutir à des innovations, par comparaison avec le modèle à priori plus complexe de Kline et Rosenberg (1986) où les échanges (Fig.26) peuvent s'effectuer à toutes les étapes du processus d'innovation (conception, développement, production voire commercialisation). Ces processus ne sont, bien entendu, pas antinomiques.

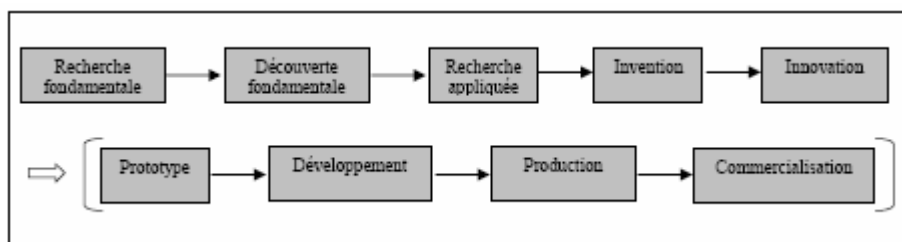


Fig.I.25 : Processus linéaire d'innovation – Schumpeter I.
Source Echaudemaison 1996

Sur la figure 26, le processus linéaire de la recherche vers l'innovation est aussi appelé « Processus PUSH », par opposition au « Processus PULL » développé par Schmookler (1988) dans lequel ce sont les « besoins du marché » qui oriente (qui tirent) la recherche (fondamentale et surtout appliquée).

Une synthèse et évolution de ces modèles a été proposée par Kline & Rosenberg (1986), modèle dans lequel (fig.26) en effet c'est le marché (besoins) qui « dicte » la direction (Central chain of innovation) mais c'est la **connaissance** qui est au coeur du système (inputs et outputs de la recherche fondamentale et appliquée). Ce modèle hautement interactif induit :

- a) Les innovations technologiques ont parfois précédé les savoirs scientifiques
- b) Des avancés technologiques ont permis des avancés scientifiques (par exemple les progrès de l'instrumentation scientifique)
- c) La complémentarité « naturelle » entre science et industrie

d) La science peut être présente à toutes les étapes du processus d'innovation

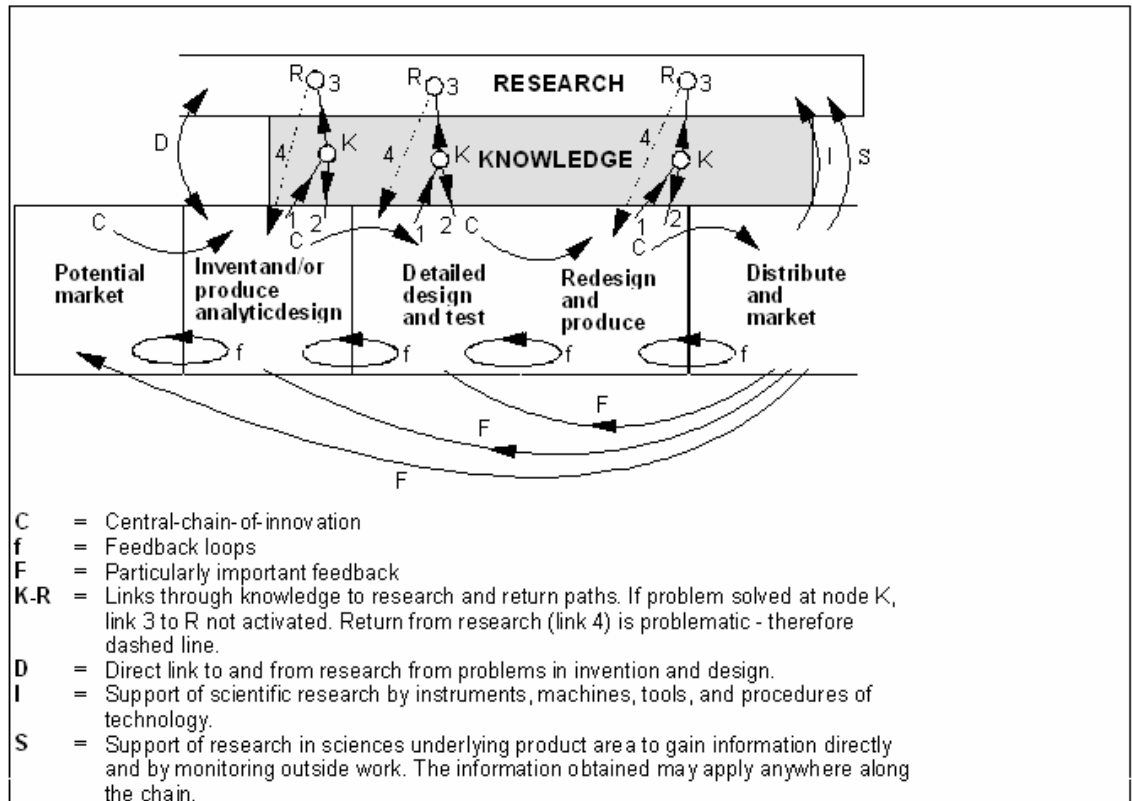


Fig.I.26: Modèle de Kline & Rosenberg (1986). La connaissance est au cœur des échanges.

Le modèle de Kline & Rosenberg, montre donc que des échanges entre recherche et développement s'effectuent à tous les niveaux, et plus encore, que des « connaissances » peuvent être générées à toutes les étapes du développement. Le grand mérite de ce modèle est pour nous de présenter un système moins dichotomique entre les 2 mondes dont le « bien » et langage commun⁷⁷ est : la Connaissance. Ce modèle révèle que la recherche n'est pas forcément l'origine de l'innovation et surtout que le niveau d'échanges est important et nécessaire à toutes les étapes de l'innovation.

Cette complexification explique en grande partie « l'incompatibilité » croissante du transfert de technologie public avec ces modèles de processus d'innovation⁷⁸. En effet, le schéma de fonctionnement des services de transfert de technologie semblent avoir été bâti sur des modèles d'innovation de type schumpétérien I ou II, donc assez linéaires de l'invention à l'innovation, où les échanges (et le résultat de ces échanges)

⁷⁷ Et Pas l'argent, comme on pourrait le penser. Sans tomber dans l'angélisme, le critère majeur de collaboration de recherche publique/privée est le « Défi » intellectuel que la problématique industrielle pose aux chercheurs. La motivation intellectuelle est plus efficace que la motivation financière pour un chercheur.

⁷⁸ Et plus encore, car la notion d'innovation est bien sûr évolutive, lire notamment D. Foray, « Trois modèles d'innovations dans l'économie de la connaissance », WP IMRI, Déc.2002.

entre le monde industriel et financier sont facilement identifiable, et où la notion de Propriété Intellectuelle est « simple » à cerner, et à protéger. Mais ce modèle linéaire devient de plus en plus rare, par suite dans un modèle plus complexe d'échanges rapides entre ces deux mondes, les procédures et méthodes d'intervention des services de transfert de technologie deviennent de plus en plus inadaptés⁷⁹. Ce constat est conforté par l'observation croissante des voies de transfert des chercheurs publics « qui ne passent pas » par le service de transfert de technologie, ou encore tous ces brevets déposés par des sociétés privées mais qui comportent des inventeurs du public (d'un organisme ou d'une université).

Ces « déviations » ne sont pas du seul fait de la volonté « anti-conformiste » des chercheurs et correspondent à une vraie réalité et nécessité de trouver des solutions d'échanges « rapides ». Un exemple révélateur est le domaine logiciel et les notions de Licence de Logiciel Libre de type CECILL (et autres). Cette forme de « transfert » correspond de plus en plus au besoin de trouver un autre « Business Model » plus dynamique pour le développement, la maintenance, la diversification et la diffusion logicielle, dans un contexte mondial « verrouillé » par de 2 ou 3 grands Géants (Trusts) logiciels.

Le Transfert de Technologie confronté à cette évolution complexe des modèles de processus d'innovation peine de plus en plus à trouver son positionnement.

⁷⁹ NDA : Ceci explique notre assertion un peu « provocatrice » que le TTO ne se revendique pas de l'innovation.

Pour Foray (2000), c'est l'évolution conjointe de l'éducation, la formation et des moyens de communication qui crée un nouveau paradigme pour le concept même d'innovation.

4. Conclusion : Quel modèle pour le Transfert de Technologie ?

Dans ce premier chapitre, l'historique du transfert de technologie au CNRS nous a permis de montrer que la relation recherche fondamentale et industrie a toujours existé. Dans le mouvement engendré par le Bayh-Dole Act américain, l'activité de transfert de technologie a trouvé sa justification, mais au regard des « nouvelles » théories sur l'innovation, le transfert de technologie public peine à trouver sa place, c'est-à-dire avoir des repères et au final, un rôle dans l'économie de la connaissance et de l'innovation.

Nous avons montré que les indicateurs de l'activité de transfert de technologie du CNRS, sont conformes (et parfois meilleurs) à toutes les études empiriques actuelles en Europe ou aux Etats-Unis sur les TTO. En particulier que la « rentabilité » ne peut pas être la mission première des structures de transfert de technologie public.

Un détour par la théorie de l'économie de la connaissance nous a permis d'identifier les paramètres et concepts endogènes (nature de la connaissance) et exogènes (économie du brevet) qui expliquent la difficulté de cette activité.

Nous avons essayé de synthétiser les différents modes de relations entre le monde industriel et le monde de la recherche académique. L'étude des différentes expériences de transfert au CNRS, nous conduit à décrire quatre voies de transfert et d'innovations (fig.27). Ces modèles se basent sur le « chemin » parfois à double sens de l'invention à l'innovation avec une séparation virtuelle du monde scientifique avec le monde industriel et financier.

Cette approche nous permet d'explorer et d'évaluer pour chacun de ces quatre modèles de relation Recherche – Industrie (A,B,C et D) le rôle possible du transfert de technologie.

4.1 Synthèse des relations recherche – industrie

Sur l'observation et l'historique de brevets et de type de contrats de recherche entre les laboratoires et des industriels, nous avons émis un modèle de classification en 4 types de processus d'innovation possibles.

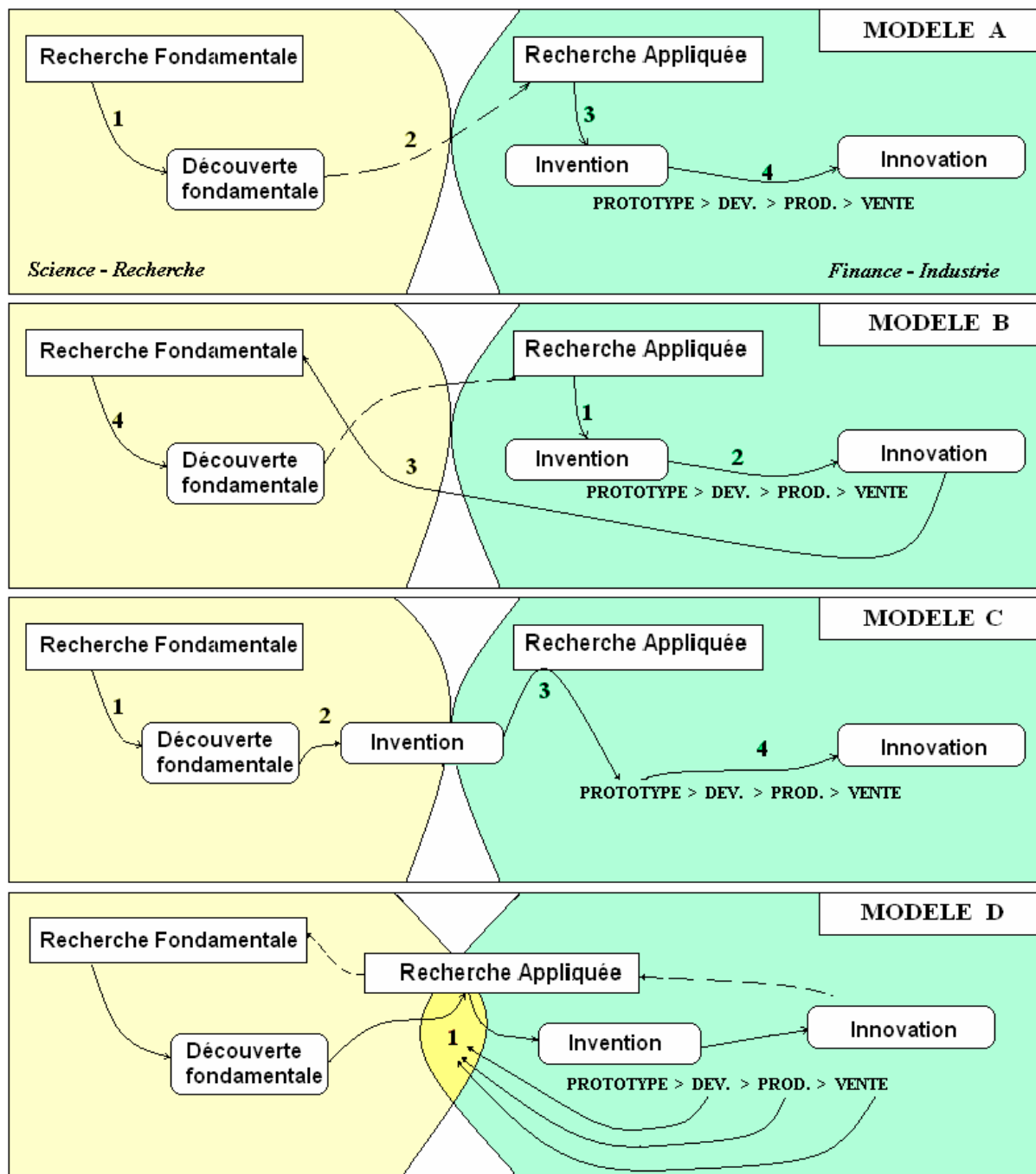
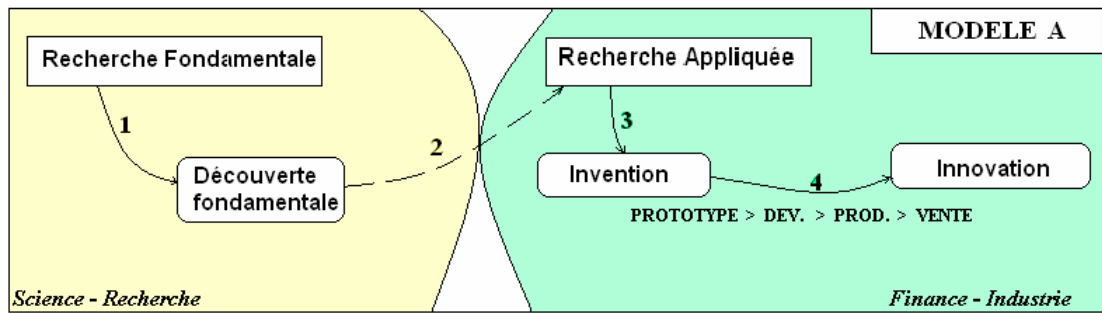
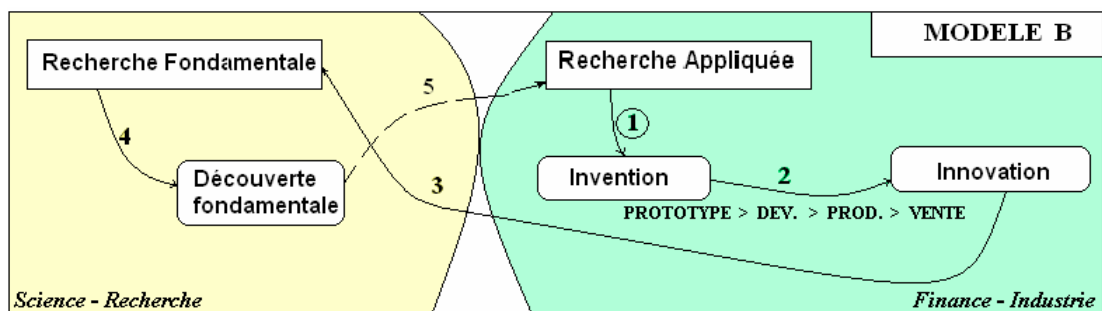


Fig.I.27 : Synthèse de l'auteur sur les modèles de relation Public/Privé pouvant conduire à l'innovation
 Seul le modèle D présente un « espace commun » mixte public et privé.



Le **Modèle A** est proche du modèle linéaire **Schumpeter I**, où la recherche fondamentale donc essentiellement publique génère des connaissances et des découvertes. Ces découvertes « diffusent » (2) librement vers la recherche appliquée essentiellement privée, qui génère des inventions destinées à devenir des innovations. Exemple: La recherche fondamentale en Physique Quantique qui a conduit à la découverte fondamentale de la relation Energie, Masse et Vitesse de la lumière, et les applications et inventions sur l'énergie nucléaire contrôlée (ou pas dans le cas de la Bombe H). Ou plus récemment les applications sur la Magnéto-résistance géante, phénomène découvert par Albert Fert (Prix Nobel Physique 2007) qui conduit au développement de l'électronique de spin. Ces exemples montrent un processus quasi-linéaire et unidirectionnel de la recherche fondamentale vers l'innovation industrielle. Dans ce modèle à priori, le transfert de technologie (dans le sens strict) n'a aucun rôle (la connaissance est un bien public libre et non-rival)



Le **Modèle B**, prend en compte le modèle de **Schmookler** d'un processus dit « Pull » où la recherche appliquée sous la pression du marché et des besoins génère des inventions innovantes. Selon Keith Pavitt (1992) les résultats de la recherche « basic » améliorent la capacité des entreprises à solutionner des problèmes complexes. Dans ce modèle les innovations réelles, peuvent engendrer une problématique d'ordre fondamental qui peut ainsi être prise en compte par la recherche fondamentale. Les découvertes scientifiques résultantes peuvent être « réintégrées » par la recherche appliquée pour générer d'autres inventions en une

boucle vertueuse d'innovations. Dans ce modèle le transfert de technologie pourrait avoir un rôle si une fonction de « veille technologique » existait au sein des TTOs, ce qui est très rarement le cas.

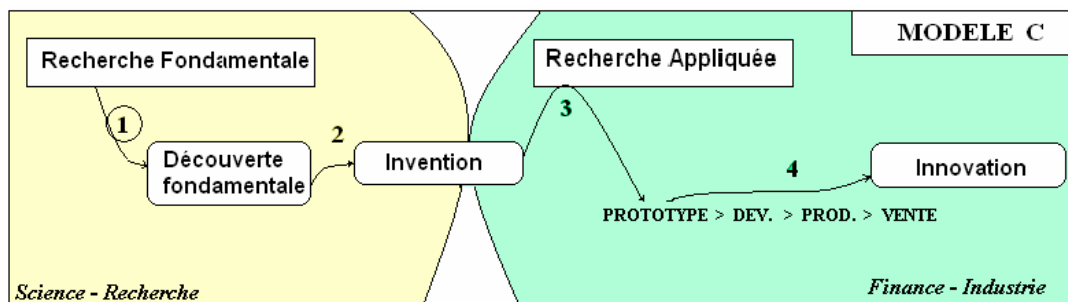
Exemple: L'Aspirine (acide acétylsalicylique), longtemps après sa découverte et sa commercialisation la recherche fondamentale va mettre en évidence son action réelle sur les éléments figurés du sang (anti-agrégant) et ses propriétés analgésiques et anti-inflammatoires. Ces découvertes scientifiques vont entraîner l'invention d'autres composés chimiques (ex : Paracétamol ou p-Acétylaminophénol) analogues mais ayant moins d'effets secondaires. Mais d'autres découvertes montrent l'effet bénéfique long terme de l'aspirine sur la prévention des athéromes vasculaires (maladies cardiaques), ces résultats vont étendre les indications de l'aspirine et donc relancer sa commercialisation.

Ces deux premiers modèles sont basés sur une dichotomie⁸⁰ entre le monde scientifique de la recherche fondamentale et le monde industriel avec sa recherche appliquée.

Il faut bien admettre que dans ces 2 premiers modèles de processus d'innovation, le « Transfert de Technologie » n'est actuellement pas ou peu impliqué⁸¹, tout simplement car il n'existe pas de *Propriété Intellectuelle Publique*. En effet dans le premier cas, la découverte scientifique est non protégeable et sa diffusion est Libre. Son appropriation par la recherche appliquée et privée est d'ailleurs le but recherché. Dans le second modèle, l'invention est à priori le résultat d'une recherche appliquée et privée, sur lequel il n'y a aucune revendication possible du secteur public, même si ces innovations sont issues de découvertes scientifiques qui par définition ne sont pas brevetables.

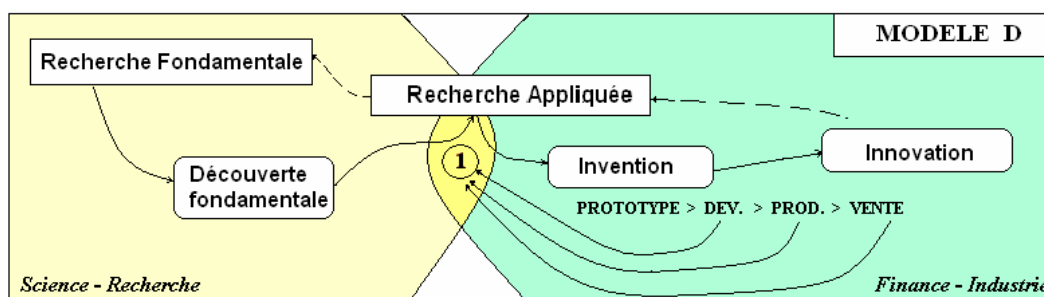
⁸⁰ En effet, pour Arrow (1962), une frontière existe et doit être maintenue entre les deux mondes exprimant d'un côté, les activités de recherche de base et de l'autre, les autres activités inventives conduisant aux innovations. Cependant pour Llerena, Matt et Carayol (2006), ces deux mondes sont liés, une baisse de la régulation du monde scientifique entraîne une baisse du processus d'innovation.

⁸¹ Fort heureusement d'ailleurs, la protection exagérée de la connaissance publique est un excès spécifique des organismes de transfert de technologie qui peut conduire à un effet « anti-commun » néfaste à terme pour la recherche en général.



Le **Modèle C**, présente l'environnement typique et idéal pour le transfert de technologie public. En effet dans ce modèle, la recherche fondamentale ne s'arrête pas à la seule découverte scientifique mais continue jusqu'à la concrétisation d'une invention. L'invention devient par suite brevetable. C'est l'invention brevetée qui va constituer le lien entre le Monde Scientifique et le Monde Industriel. Cette invention peut ainsi être prise en charge sous licence (exclusive ou non) par la recherche appliquée privée pour le prototypage jusqu'à la commercialisation. C'est le « basic » de l'activité de « Principal-Agent » du transfert de technologie, qui est responsable de la formalisation de l'invention (réduire l'asymétrie informationnelle) puis de sa protection juridique (protection par brevet principalement) et enfin de la négociation de licence d'exploitation avec une société privée pour le développement et la commercialisation de l'invention.

Exemple: La découverte et la compréhension par des chercheurs publics du rôle d'une protéine ou d'un gène dont la déficience ou la suractivation crée un pathologie clinique, on appelle cela une cible thérapeutique (c'est typiquement dans le rôle de la Recherche Fondamentale). Si les chercheurs continuent le développement en synthétisant ou criblant (screening) des composés chimiques ou biochimiques originaux qui agissent spécifiquement *in Vitro* (dans un tube à essai) sur cette protéine ou ce gène, ils font de la recherche appliquée. Ces résultats (ces nouveaux composés chimiques) conduisent à une invention brevetable et donc transférable. Ce sont les composés chimiques « nouveaux candidat-médicaments » qui sont brevetables par la cible thérapeutique (la protéine ou le gène).



Le Modèle D, matérialise un espace commun public/privé (1), c'est une évolution convergente des modèles précédents sous la contrainte de divers facteurs technico-économiques :

- a. La complexification des technologies et la dimension des connaissances tacites et du savoir-faire obligent à des collaborations de recherche, voire à des laboratoires « communs » public/privé.
- b. Le besoin pour l'industrie d'avoir des inventions plus avancées (au-delà de la preuve du concept, au niveau prototypage industriel ou au niveau test clinique de Phase 1 pour les médicaments)
- c. La faiblesse et la baisse (la frilosité..) des investissements du secteur industriel et financier concernant la prise en charge initiale des inventions. Ce qui conduit souvent à la création de Spinoff et Start-Up issues de la recherche fondamentale pour développer l'invention et supporter les risques initiaux.
- d. Le besoin pour le monde industriel d'un système plus réactif pour prendre en compte les multiples échanges nécessaires dans la phase de développement.
- e. Le besoin des laboratoires publics d'avoir des sources de financement plus « rapides »⁸²

Ce modèle est quelque part la traduction assez pragmatique du modèle de Kline & Rosenberg. Il nécessite une entité réelle, un espace de « Transfert » capable de coupler les contraintes du monde industriel et financier avec la dynamique du monde scientifique (en Allemagne, les FraunHofer (environ 60) assurent de façon concrète ce rôle de laboratoire de transfert). Dans ce modèle, le travail du transfert de technologie devient assez complexe. La notion même de propriété intellectuelle est difficile à déterminer, les acteurs sont multiples (chercheurs publics et privés avec des statuts différents et variés), les sites et lieux de cette recherche sont différents, les

⁸² Le rapport de la cour des comptes de 2004 a montré la prolifération des « associations » gérant le financement des laboratoires publics. Ce constat montre clairement la volonté des laboratoires de s'extraire des contraintes de la gestion budgétaire publique « supposée » plus lourde et plus lente.

organismes, les tutelles et les financements sont diversifiés. Cette structure commune (espace de transfert) se matérialise actuellement sous différentes formes :

- . Laboratoire commun public-privé⁸³
- . Spin-Off / Start-Up de statut privé mais « proche » du laboratoire public⁸⁴
- . Laboratoire de transfert⁸⁵

En France, le point commun de ces structures est leur « précarité » statutaire et financière. Elles sont en général dédiées et spécifiques d'une problématique « scientifique » définie. Nous sommes loin de l'organisation des FraunHofer allemands qui constituent un vrai réseau opérationnel de transfert de technologie réel avec du personnel scientifique, des ingénieurs de hauts niveaux et des laboratoires.

4.2. Pour une autre vision du transfert de technologie public.

Ce premier chapitre nous a permis d'éclairer l'étendu des facteurs, concepts technico-économiques qui constituent l'environnement du « Transfert de Technologie » et de la « Valorisation de la Recherche ». Ces éléments conditionnent la nécessité d'élaborer un autre « modèle » que nous tenterons de définir dans le chapitre 3 de cette thèse. Ce modèle de « Transfert de Technologie » se devra d'être plus synergique avec un univers politico-économique « changeant », mais surtout plus conforme aux modèles et concepts d'innovation. En effet le Transfert de Technologie par sa position privilégiée dans l'écosystème de l'innovation, peut jouer un rôle plus important, non plus limité au contrôle du processus invention - brevet – licence (modèle C) mais développer des compétences et des actions dans les trois autres processus d'innovations identifiés même si à priori la notion de propriété intellectuelle dans ces autres modèles est difficile à déterminer (voire inexistante). Nous développerons dans le chapitre trois, les évolutions nécessaires de la structure et des missions des TTOS, afin de s'adapter et surtout d'être proactif dans tous ces modèles de processus d'innovation.

Mais auparavant nous nous intéresserons à la structure des connaissances sur laquelle se développent ces « outputs technologiques » de la recherche fondamentale publique. La complexification du paysage politico-économique est certes un facteur important sur cette production mais au final n'a pas ou peu d'effet sur la structure même de la connaissance à

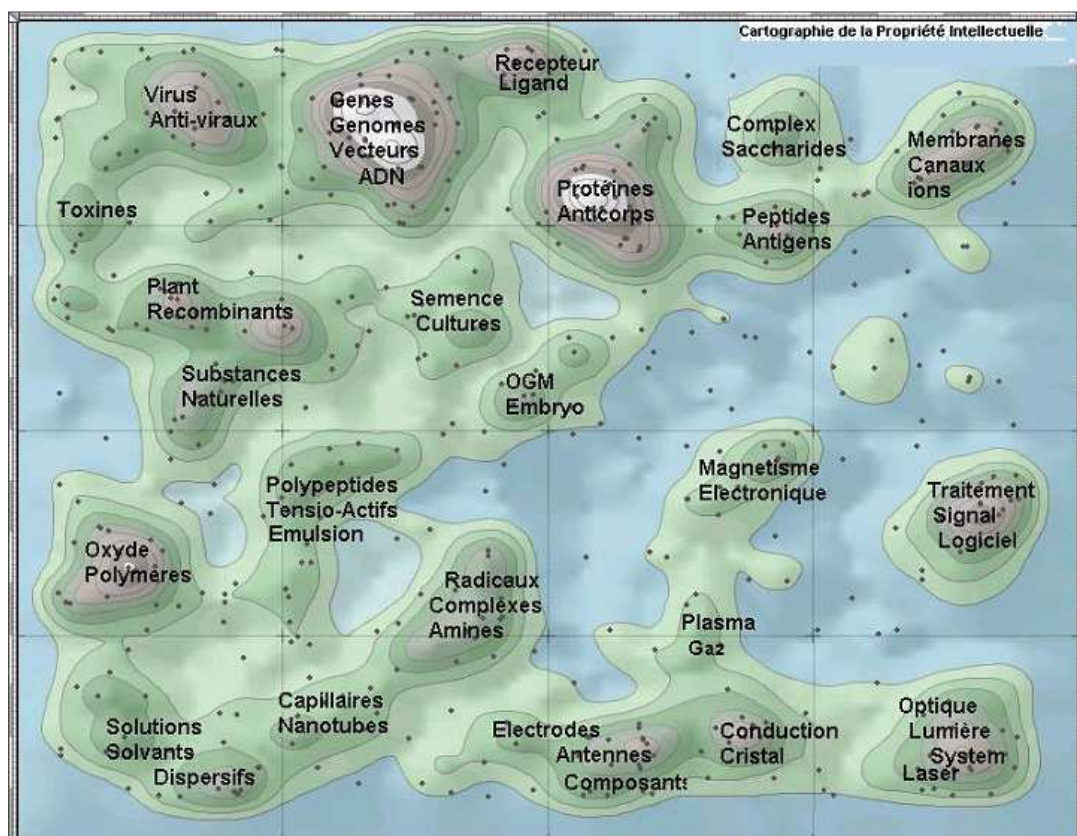
⁸³ Cette solution est en faite assez rare, pour le CNRS sur environ 1000 laboratoires il n'y a que 10 laboratoires communs avec l'industrie (en particulier avec Thalès, Pierre Fabre, St Gobain..)

⁸⁴ Ces jeunes entreprises sont souvent sur le site de l'université ou de l'institut, et emploient les doctorants ou post-doctorants issus du laboratoire de recherche publique.

⁸⁵ De très rares initiatives d'organismes publics (en général des Ecoles d'ingénieurs) ont conduit à des laboratoires dits de transfert, mais en général de statuts et de fonctionnement spécifiques et temporaires.

l'origine des innovations technologiques⁸⁶. Dans le chapitre suivant, nous nous proposons de faire le point sur les méthodes et les outils de compréhension de cette structure des connaissances en particulier les **méthodes de cartographie de la connaissance**, comme le souligne Le Moigne (1998) « *l'enjeu n'est pas l'accès à des connaissances supposées rares, mais bien la capacité à développer des modalités de navigation cognitive inventive dans un univers informationnel riche, mémorisé et se mémorisant* ». En effet dans le cadre plus élargi (systémique) de l'écosystème d'innovation, le transfert de technologie se doit de développer des outils nécessaires à la compréhension du monde duquel il est issu : Le monde de la production de connaissances.

Nous essayerons de montrer que ces outils permettent de révéler la dimension implicite de la connaissance technologique et la complexification des technologies. Cette dimension explique en partie la difficulté du transfert de technologie issu de la recherche fondamentale publique.



Exemple de représentation des thématiques scientifiques à partir des brevets du CNRS (Source Traitement de l'auteur avec système Thomson Aureka MicroPatent)

⁸⁶ Pour Mowery (2001) les lois et structures incitatives ne sont pas l'origine, ni même initiatrices de nouvelles émergences technologiques porteuses d'innovations (comme Internet, ou les Biotechnologies), mais cependant elles peuvent en ralentir le développement et surtout en amoindrir les effets « destructeurs ».

Chapitre II

“La connaissance est le dernier recours de la nostalgie”
Yves Bonnefoy dans [L'improbable]

Cartographie des connaissances

Résumé: La connaissance est la base de l'activité du transfert de technologie public. Dans ce chapitre nous nous intéressons aux méthodes et outils qui permettent de mettre en évidence la relation entre les trajectoires technologiques et la production de connaissance.

Nous nous proposons d'établir une cartographie des connaissances qui sous-tendent les brevets et les thématiques de contrats de recherche des laboratoires du CNRS. A cette fin, nous avons combiné les méthodes de calcul « classiques » de la « Base de connaissance (basée sur la connexité des technologies) » (Breschi et al. 2001) avec une approche méta-heuristique (lexico-sémantique). La cartographie devient alors un moyen de navigation « cognitif » pour accéder aux ressources d'un patrimoine de connaissances d'une organisation, qu'il soit implicite ou explicite.

Abstract: Knowledge is the basic of the TTO activity. In this chapter we focus on some tools and methods claimed of identifying relations between basic knowledge production and technological trajectories.

To set up a “Knowledge mapping” (themscape of patents and subjects of collaborative research contracts) of the huge French public research organization (CNRS), we combined a meta-heuristic approach (lexical and semantical text-mining) with the classical methods of measuring of “knowledge base (based on technology relatedness)” (Breschi & al. 2001). Thus, this cartography of knowledge is a means of “cognitive” navigation to reach resources of a knowledge heritage of an organization. This approach highlights explicit and moreover implicit part of knowledge.

Sommaire du Chapitre II

1. Principes de la cartographie des connaissances

1.1. L'outil cartographique

1.2. Les techniques avancées de cartographie

- 1.2.1 La stratégie générale
- 1.2.2. Le TD-IDF
- 1.2.3. Les analyses factorielles
- 1.2.4. La classification
 - 1.2.4.1. Hiérarchique et Non Hiérarchique
 - 1.2.4.2 Supervisée ou Non supervisée
- 1.2.5. La méthode K-Means
- 1.2.6. Théorème Naïf de Bayes
- 1.2.7. Data/ Text Mining
- 1.2.8. Les indicateurs relationnels
- 1.2.9 Les co-citations

1.3. Modèles de cartographie

- 1.3.9. Les arborescences
- 1.3.10. Les « Treemap »
- 1.3.11. Visualisation de réseaux
- 1.3.12. Visualisation des thématiques

2. Cartographie et mesure de la connaissance

- a) Nouvelle approche de la mesure de la Base de connaissance et de la connexité
- b) Deux approches fondatrices

- 2.b.1. Méthode « Statistique »
- 2.b.2. Principe du calcul
- 2.b.3. Approche méta-heuristique sémantique
- 2.b.4. Principe de l'approche sémantique

c) Cartographie des connaissances à partir des brevets

- 2.c.1. Selon la méthode statistique
- 2.c.2. Selon la méthode sémantique
- 2.3.3. Discussion
- 2.3.4. D'un espace sémantique à un espace géométrique

2.4. Cartographie des contrats de recherche public-privé

- 2.4.1 Méthodologie
- 2.4.2 Résultats
- 2.4.3 Discussion

3. Perspectives sur la gestion des connaissances

Introduction

L'étude des brevets est au cœur de l'économie de la connaissance, notamment les travaux de Griliches (1979), ou Jaffe et Trajtenberg (2001) pour qui « *the usefulness of patents and citations data as a window on the process of technological change and a powerful tool for research on the economics of innovation. Patent records contain a wealth of information..* ». Ce sont d'excellents indicateurs pour suivre les changements technologiques. En particulier pour comprendre la capacité d'innovation d'entreprise, comme l'ont démontré Breschi, Lissoni et Malerba (2001), qui développent et utilisent la notion de connexité des technologies « *The concept of Knowledge Relatedness is very broad and encompasses several dimensions of knowledge : proximity, commonality and complementarity* » pour évaluer la cohérence de la base de connaissance d'une entreprise et l'évolution de sa diversification.

Parallèlement à ces développements, des techniques basées sur les co-citations et l'analyse lexico-sémantique des publications scientifiques ont été développées, principalement Griffith et al. (1974), ou Small (1977) et notamment Van Raan (1978), permettant selon eux « *This technique is claimed of identifying 'research loci' and their relations, in particular at the level of research specialties* ». Ces techniques ont permis de mettre en évidence l'émergence de technologies issues de la convergence et l'accumulation de connaissances scientifiques.

Cependant, pour Romer (2001) « *Innovation and technological change are elusive notions that are difficult to conceptualize and harder to measure in a consistent, systematic way.* » Ces développements ont accompagnés le besoin croissant d'outils de gestion de la connaissance, comme les outils de cartographie de la connaissance (Knowledge Mapping). Selon Pachulski (2000), ou Speel (1999) « *en amont de toute opération de gestion de connaissances, la cartographie des connaissances a pour but de mettre en valeur les connaissances critiques de l'entreprise* ».

Dans le cadre du transfert de technologie et la valorisation de la recherche publique, il nous a semblé essentiel de faire le point sur ces outils et d'essayer de mettre en œuvre ces méthodes notamment pour mettre en évidence le patrimoine de connaissances à l'origine des externalités de la recherche académique.

1. Principes de la cartographie documentaire

Les cartes sont des représentations conventionnelles en général planes de la répartition dans l'espace de phénomènes concrets ou abstraits (géographiques, géologiques, et dans notre cas de productions technico-scientifiques). Au début du Moyen-Âge au-delà des limites connues, était écrit et imagé « ici commence le domaine des dragons » (fig.1), au-delà de cet aspect « peur de l'inconnu », le genre humain n'a cessé de développer des méthodes de cartographie avec un constant et éternel besoin de dépasser ses limites sensorielles (pour voir au-delà) afin de se localiser, de savoir où il se trouve, question hautement existentielle faisant partie du « d' Où je viens, Où suis-je, Où vais-je ? »



fig.II.1 : "Topographia hibernica" fin du XII^e siècle
Source : Bibliothèque François Mitterrand

1.1. L'outil cartographique

Ces 20 dernières années, avec la montée en puissance d'internet⁸⁷, l'enjeu crucial est devenu la recherche et la maîtrise d'information, ce qui est probablement le défi majeur du XXI^e siècle. De nombreux outils de représentation et surtout de navigation pour de grands corpus d'information (browser) ont été développés (Google, Yahoo, etc.).

⁸⁷ L'étude de Hal Varian et Peter Lyman (Berkeley – 2002) a montré que internet génère plus de 5 milliards de gigaoctets d'information sur internet par an (et croissant de façon exponentielle) soit plus d'un million de bibliothèque François Mitterrand par an !

L'enjeu socio-économique du développement d'outils de recherche d'information est colossal. Le débat sur la performance de ces outils reste d'actualité quant à leur déterminisme et la pertinence des résultats de recherche.

Dans ce chapitre, la cartographie sera utilisée comme un outil de recherche, les objectifs étant :

- Un repérage visuel des connaissances fréquentes, critiques ou émergentes,
- Une identification de la répartition et des tendances (accumulations, trajectoires, synergies, divergences),
- Une aide au positionnement stratégique individuel au sein d'un collectif.

Le but de la visualisation est l'amplification cognitive en termes d'acquisition et d'utilisation de l'information, par des représentations visuelles augmentant la détection de formes (concentration thématique), les émergences et autorisant les associations d'idées. Comme le dit Jean-Yves Prax⁸⁸ « *sans théorie, modèle ou croyance, l'information risque de n'être que du « bruit » et il n'y aura pas de gain de connaissance* ».

Mais avant de nous concentrer sur l'utilisation en économie de la connaissance, nous présentons et détaillons ici les différentes méthodes, notions et concepts fondamentaux de la cartographie de l'information.

1.2. Les techniques avancées de cartographie

La cartographie d'information découle du besoin et des méthodes de «la recherche d'information»⁸⁹. C'est au début des années 70, que la cartographie des connaissances a pris plus d'ampleur avec les travaux de G. Salton et son équipe par la proposition d'un **modèle Vectoriel**⁹⁰ d'analyse de données. L'idée à l'origine de ce modèle est d'utiliser une représentation d'inspiration géométrique pour classer les documents par ordre de pertinence par rapport à une requête, en utilisant les informations statistiques de fréquence de termes dans le document. L'hypothèse fondamentale est de

⁸⁸ Jean-Yves Prax, « Guide du KM, concepts et pratiques.. », Ed. Dunod, 2000.

⁸⁹ La première conférence dédiée à ce thème s'est tenue à Washington en 1958 : International Conférence on Scientific Information (ICSI)⁸⁹.

⁹⁰ Salton, G. (1989). "Automatic text processing: the transformation, analysis and retrieval of information". Addison-Wesley ed., Reading, MA.

considérer les termes d'indexation comme les dimensions d'un espace d'information multidimensionnel.

Les documents et requêtes (une requête est considérée comme un texte particulier exprimé en langage naturel) sont alors représentés par des vecteurs dans cet espace. La pertinence d'un document par rapport à une requête est donc relative aux positions respectives de ce document et de la requête et, est mesurée par une distance ou une mesure de similarité (au sens mathématique) définie sur cet espace. Une cartographie est donc le résultat à un instant « t » donné d'une requête implicite posant la question du rapport entre tous les documents. . Il y a de multiples méthodes et de représentations cartographiques nous pouvons cependant essayer d'en faire la synthèse.

1.2.1. La stratégie générale

Dans la **figure 2**, nous proposons un schéma général résumant les différentes stratégies de cartographie d'informations, selon 3 grandes étapes :

. La première étape dite de « Structuration des données » est l'étape essentielle d'une part pour la détermination des sources et structures de données à catégoriser et d'autre part pour la « translation » de l'univers qualitatif de l'information à un univers quantitatif. La tendance actuelle est à l'utilisation du Text-Mining (sémantique) pour constituer des matrices de similitudes (Terme, Terme), (Terme, Document) et enfin la matrice (Document, Document) donnant la corrélation (distance) entre chaque document.

. La deuxième étape, est l'étape centrale dite de « Catégorisation » ou « Classification ». Cette phase a été dominée historiquement par deux 2 écoles, une voie très marquée par le calcul numérique : l'analyse factorielle (résolution de matrice de similitudes) et une approche plus cognitive issue de la linguistique et de l'intelligence artificielle (notion de méta-connaissance) : la classification.⁹¹

. L'étape finale de représentation graphique, par des métaphores de visualisation de l'information, introduit des contraintes physiques de représentation graphique (2D/3D), qui bien entendu vont aussi induire un biais quant à l'interprétation du

⁹¹ Actuellement, on s'oriente vers une fusion de ces deux voies de catégorisation de l'information. D'une part car l'analyse factorielle, confrontée à une masse colossale de données à traiter en temps réel, atteint ses limites ; et d'autre part, car les outils et concepts développés en intelligence artificielle (IA) s'avèrent au final d'une utilité fondamentale pour l'analyse factorielle (en particulier pour réduire les temps de calcul)..

résultat de cartographie de la connaissance et constitue à notre avis la raison essentielle du besoin de cartographie : La sérendipité⁹² (ou découverte inattendue)

Il est passionnant de noter que les contraintes liées à cette étape (par exemple l'impossibilité de représenter spatialement 3 documents distincts, connaissant la distance entre chaque document) peuvent révéler une probable incohérence, ou instabilité des étapes précédentes de structuration (trop simpliste) ou de classification (trop déterministe).

Les méthodes et outils permettant d'optimiser ou de valider la cohérence des résultats de chaque étape sont aussi positionnés dans le schéma de la figure 2 suivante.

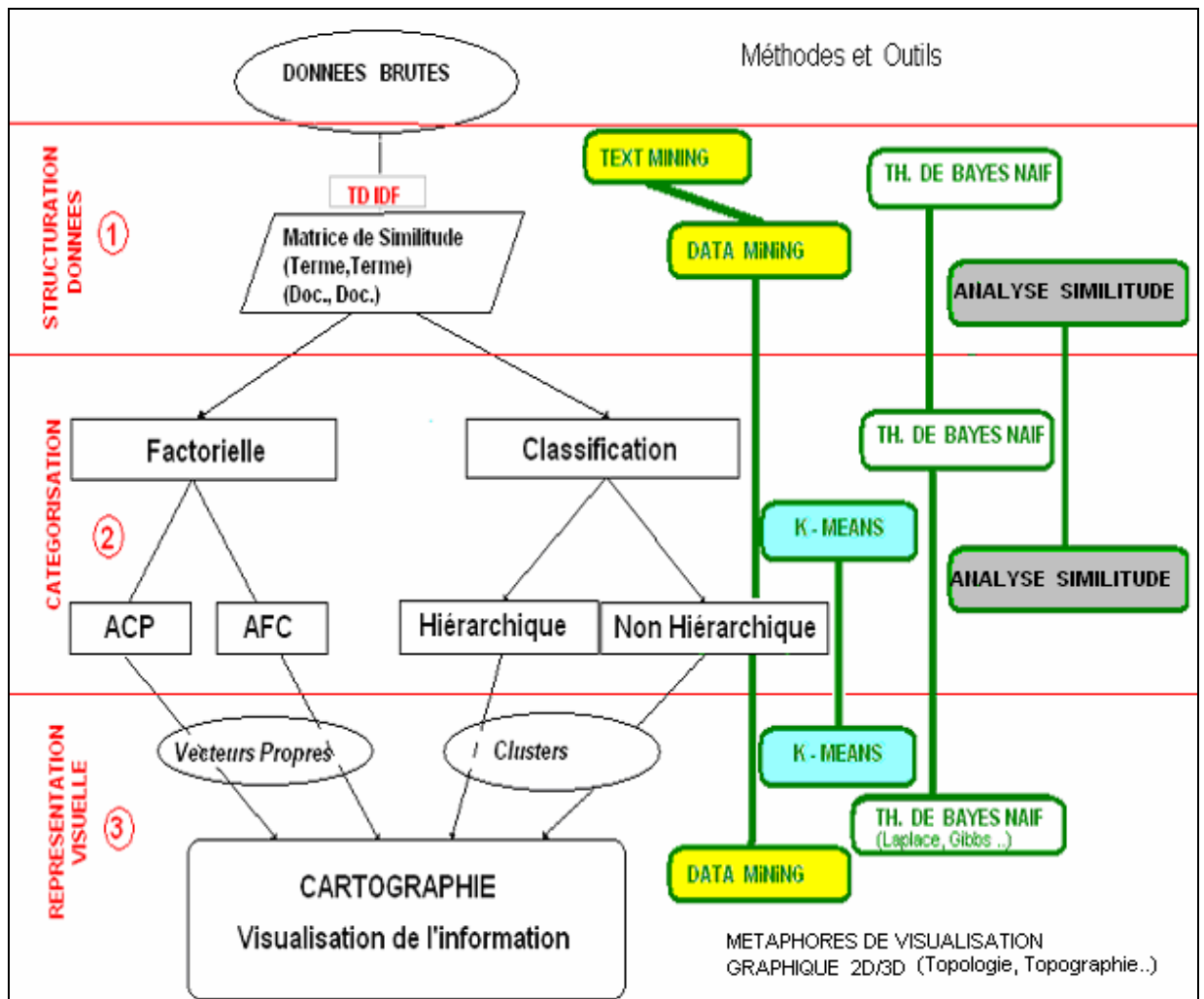


fig.II.2 : Stratégie générale de cartographie : résumé des principes de construction d'une cartographie d'information, en 3 étapes principales :1) Structuration des données 2) Catégorisation (Clustering) 3) Représentation visuelle. Pour chaque étape Il existe des méthodes mathématiques, statistiques (Bayes) et

⁹² Selon Jean-Yves Prax [.. la rencontre fortuite (**Serendipité**) avec la connaissance est primordiale : elle favorise la découverte de ce qu'on ne cherchait pas mais qui se révèle répondre à des **aspirations tacites**... déclenchant la compréhension soudaine d'une situation complexe ou ambiguë, elle peut être le catalyseur de la créativité et de l'innovation.].

des outils issues de l'intelligence artificielle (Text-Mining, K-Means..) qui permettent d'optimiser et de vérifier la cohérence de la classification.
(Synthèse de l'auteur)

Les paragraphes suivants présentent plus en détails ces méthodes et outils dans le cadre de notre objectif de cartographie de la connaissance à partir des indicateurs du transfert de technologie que sont les brevets et les contrats de recherche des laboratoires du CNRS.

1.2.2. Le TD-IDF

G.K. Zipf⁹³ de s'est intéressé, dès 1949, à la relation entre la fréquence d'occurrence d'un mot dans un texte et son rang dans l'ordre des fréquences.

Selon Zipf (1949), il y a une constante K résultant du produit entre la fréquence d'occurrence $f(n)$ du terme et le rang n de ce terme, ce qui se formalise sous la forme :
 $f(n) \times n = K$.

Donc plus un terme est fréquent plus son rang est élevé, il est moins évident de constater qu'il existe une régularité entre la position de ce terme dans le classement et sa fréquence.

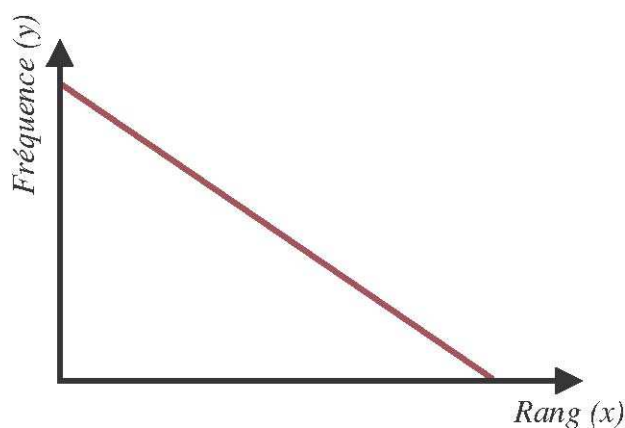


Fig.II. 3 : Représentation de la loi de Zipf

Sur la figure 3 ci-dessus, nous pouvons constater la relation constante entre le rang d'un mot et sa fréquence d'apparition dans le texte. En d'autres termes, plus un mot est significatif (rang élevé), moins il est fréquent.

Sur ces constatations statistiques, Salton⁹⁴ introduit la notion de

TD-IDF (term document -inverse document frequency) en considérant tout document comme un ensemble de mots (w_i) affecté d'une fréquence (f_i) par suite ils définissent :

⁹³ Georges Kinsley Zipf : fut un linguiste et un philologue américain qui étudia la statistique appliquée aux différentes langues.

⁹⁴ Salton, G. & Buckley, C.(1988). Term-weighting approaches in automatic text retrieval. Information Processing and Management, 24(5), 513-523.

En fait les premiers travaux sur un indicateur de similitudes ont été menés par en 1972, par Karen Spärck Jones (published in the Journal of Documentation the paper which defined the term weighting scheme now known as inverse document frequency (ID)

La matrice (Mot W_i , Document D_i), avec en ordonné les documents et en abscisse les mots, à l'intersection la fréquence du mot W_i dans le Document J : f_{ij}

	W_1	W_2	W_3	-	W_i	-	W_n
Doc_1	f_{11}	f_{12}	f_{13}	-	f_{1i}	-	f_{1n}
Doc_2	f_{21}	f_{22}	f_{23}	-	f_{2i}	-	f_{2n}
--	--	--	--	-	--	-	--
Doc_j	f_{j1}	f_{j2}	f_{j3}	-	f_{ji}	-	f_{jn}
--	--	--	--	-	--	-	--
Doc_m	f_{m1}	f_{m2}	f_{m3}	-	f_{mi}	-	f_{mn}

dite matrice [Document, Terme]

où W_i Terme (ou Mot) i

et Doc_j Document j

f_{ij} Fréquence du mot W_i dans le document Doc_j , noté $f(W_i, Doc_j)$

On définit le **TD-IDF** (Term Document - Inverse Document frequency) comme la fréquence pondérale du mot W_i selon :

$$TDIDF(w_i) = f(W_i, Doc_j) \times IDF(W_i)$$

$$IDF(W_i) = \text{Log} \left(\frac{1+N}{1+Df(W_i)} \right)$$

$Df(w_i)$ est le nombre de documents où apparaît le mot W_i
et N le nombre total de documents.

En regroupant les mots par thématique (mot-clés), on crée un « **Cluster C** » et

On peut par suite définir une « distance sémantique entre un document et un cluster » (en fait la distance avec le centroïde, barycentre pondéré, du cluster) :

$$\text{Dist}(doc, C) = \frac{\sum TDIDF(w_i, d) \times TDIDF(w_i, C)}{\sqrt{\sum TDIDF(w_i, d)} \times \sqrt{\sum TDIDF(w_i, C)}}$$

Cette notion de cluster est centrale dans toutes les méthodes de cartographie, l'étape fondamentale de toute cartographie relationnelle est la **catégorisation ou classification de l'information** ; un cluster devenant une thématique ou dans le cas de notre étude un secteur technico-scientifique. Tout nouveau document peut ainsi être positionné, localisé

dans cet espace « thématique » (ThemeScape). Malgré sa simplicité⁹⁵ relative le TD-IDF reste un concept central de l'analyse documentaire.

Le premier enjeu théorique et mathématique des logiciels de recherche et de visualisation d'information est la capacité à « traiter » des matrices de similitudes

[Doc, Doc] de très grandes tailles. C'est pourquoi ce domaine est un domaine très investi aujourd'hui encore par la recherche fondamentale en mathématique et, qui nécessite les plus récentes avancées théoriques en analyse, algèbre, statistique, et géométrie⁹⁶.

Les méthodes d'analyses des données permettent une étude globale des « objets » et des variables en utilisant des représentations graphiques. Elles se distinguent des analyses statistiques traditionnelles par le fait qu'elles s'appliquent à des grands ensembles et qu'elles ne sont pas vouées à la vérification d'hypothèses (comme le sont les statistiques inférentielles par exemple).

Selon la nature des données et le type de problème, les données peuvent être analysées selon plusieurs objectifs:

- Chercher à identifier les ressemblances et les différences entre les objets analysés. Cette analyse se fonde sur la proximité des caractéristiques entre objets,
- Ou chercher à construire des ensembles homogènes d'objets, c'est-à-dire des ensembles d'objets partageant un certain nombre de caractéristiques identiques,
- Ou chercher à déterminer les corrélations pouvant exister entre eux et ainsi déterminer les liens voire les influences, pouvant exister entre objets.

On distingue traditionnellement pour cela deux types d'approches : (1) les analyses factorielles qui visent à la réduction du nombre de caractéristiques pour un ensemble d'objets et (2) les classifications qui réduisent le nombre d'objets puisqu'elle permettent de travailler sur des regroupement (classes) homogènes d'objets.

La tendance actuelle est une démarche commune aux deux précédentes, mêlant de la classification afin de réduire la complexité de l'analyse factorielle.

1.2.3. Les analyses factorielles

⁹⁵ Pour Marc Tommasi (2002) : « Le TD-IDF entraîne la présence de mots communs dans toutes les classes et ajoute du bruit dans l'effort de distinction des classes » d'autres méthodes de classification existent, en particulier les approches Bayésiennes (application du Théorème de Bayes Naïf)

⁹⁶ La problématique de la cartographie est au cœur des avancées actuelles des sciences Mathématiques : les travaux de Laurent Lafforgue : Médaille Field 2002 sur la fonction L qui unifierait Algèbre, Analyse et Géométrie.

L'analyse factorielle possède deux objectifs : d'une part réduire le nombre de variables dans un espace de représentation à 2 ou 3 dimensions afin de faciliter leur appréhension par l'esprit humain qui interprète difficilement des représentations graphiques au-delà de 3 dimensions, d'autre part de dégager de la masse de données des structures et des relations entre les variables. Le terme factorielle signifie que la réduction des caractères des objets analysés ne se fait pas par sélection de certains d'entre eux, mais par la construction de nouveaux caractères synthétiques obtenus en combinant les caractères initiaux au moyen de « facteurs ».

On distingue deux techniques principales⁹⁷ :

- Analyse en Composante Principale (**ACP**) : méthode de base de l'analyse factorielle, elle réduit le nombre de caractères permettant des représentations géométriques des individus et des caractères, c'est-à-dire de visualiser les données à n dimensions ($n > 3$) dans un espace à p dimensions ($p < n$) à l'aide d'une projection de ces données sur les plans définis par les p dimensions. Les composantes principales sont les nouveaux caractères (c'est-à-dire les axes sur lesquels les coordonnées sont calculées) et chacune d'entre elles sont calculées par une combinaison linéaire des caractères initiaux.
- Analyse Factorielle des Correspondances (**AFC**) : L'AFC s'appuie sur la même logique que l'ACP à ceci près qu'elle s'applique à des données qualitatives. Elle fut proposée dans les années 60 pour l'analyse des tableaux de contingence, c'est-à-dire le croisement de deux caractères nominaux. Elle constitue un des outils les plus puissants pour les dépouillements d'enquêtes et les résultats sont appréciés dans le traitement des données textuelles.

1.2.4. La classification

Le processus de classification pour les analyses factorielles, est réalisé de manière non automatique, tandis que les classifications dont il est question ici sont des classifications automatiques, car elles s'effectuent à l'aide d'algorithmes formalisés, c'est le cas par exemple de l'algorithme de classification incrémentale dont il est question dans le cadre de notre réflexion. Les méthodes de classification ou de typologie (ou en science : la taxinomie) ont pour but de regrouper les individus en un

⁹⁷ Claude Flament, Alain Degenne et Pierre Vergès (2003), « Analyse de données par graphes de similitudes »

nombre restreint de classes homogènes. L'interprétation des données se porte donc sur un nombre réduit d'individus (par les classes représentatives).

1.2.4.1. Classification hiérarchique et non hiérarchique

Dans l'univers des classifications, on distingue deux méthodes de classifications :
Les classifications hiérarchiques : Cette méthode produit des successions de partitions de classes à l'extension de plus en plus vaste en lecture ascendante ou de plus en plus réduite en lecture descendante.⁹⁸

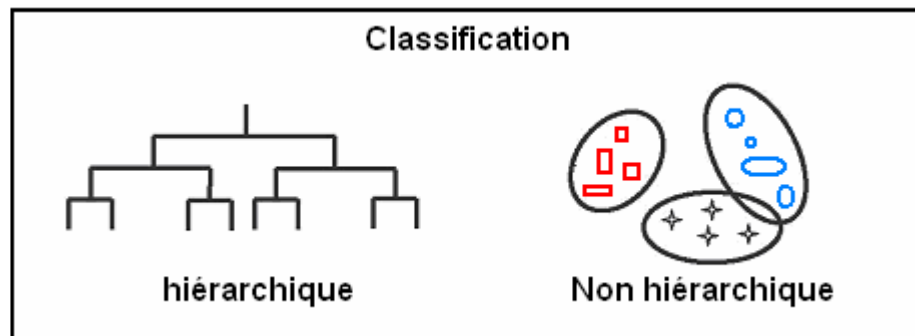


Fig.II.4 : Méthodes de classification
Source : Synthèse de l'auteur

Les classifications non hiérarchiques : Celles-ci produisent directement une partition d'un ensemble de n « objets » en un nombre k déterminé de classes. Différentes méthodes, dites de partitionnement, existent afin de construire des classifications non hiérarchiques :

La méthode des centres mobiles : Développé par Forgy (1965), il s'agit de la principale méthode de classification. k centres sont placés arbitrairement dans la représentation des données. On considère que les éléments (données) suffisamment proches du centre placé, appartiennent à la même.

La méthode des nuées dynamiques : cette méthode, développée par Diday (1971), est considérée comme une généralisation de la méthode des centres mobiles mais la différence est qu'au lieu de construire les classes autour d'un seul point, on choisit un nombre q d'individus représentatifs de la classe, ce sous-ensemble d'individus constituera le noyau de la classe. Les autres éléments de la classe sont captés à l'aide du calcul de leur distance au noyau. Dans les algorithmes issus de ces méthodes, l'effectif des noyaux et le nombre de classes sont entièrement déterminés.

⁹⁸ Les méthodes de réalisation de ces classifications sont relatées dans les publications de Bourouche (1980), Bellot (2004) et Dobrowolski (1964) entre autres.

1.2.4.2. Classifications supervisées et non supervisées

Ce type de classification fait appel à une intervention humaine en plus d'un apprentissage automatique. En effet, les classes (que nous appellerons catégories dans le **contexte supervisé**, on parle alors de catégorisation automatique) sont établies *a priori* et contiennent chacune quelques données pertinemment assignées par un individu, il s'agit de la phase d'initialisation. L'apprentissage du système s'effectue, lui, en deux phases : (1) il construit un système de règles à partir des données exemples et (2) il généralise ces règles à toutes nouvelles données se présentant à lui.

Pour illustrer simplement le fonctionnement, prenons par exemple les catégories de l'annuaire Yahoo! Et imaginons qu'il soit possible, à l'aide d'un algorithme de classification supervisée, de permettre au système de classer automatiquement tout nouveau document dans la catégorie appropriée, uniquement à partir de règles issues de l'analyse des documents déjà présents dans les catégories existantes.

Contrairement à la méthode supervisée, la **méthode non supervisée** n'exige pas de catégories pré-établies, ni de corpus exemple placé par un superviseur, à partir duquel le système établit les règles. Dans ce cas, les classes (on reparle ici à nouveau de classes) sont déterminées par le regroupement de données similaires (à l'aide de méthodes d'analyse de données vues plus haut par exemple). Cependant on ne peut pas parler d'apprentissage puisqu'il n'y a pas de règles déduites d'un ensemble de données de départ, les données sont toutes traitées également lorsqu'elles se présentent. Par suite, tout nouveau document modifie la classification.

La classification non supervisée possède un avantage que ne possède pas la méthode supervisée, puisqu'elle part du principe que l'on ne connaît pas le résultat de la classification, elle convient à une démarche exploratoire des données.

1.2.5. La méthode des K-Means

La méthode des k-means (ou k-moyennes) a été introduite par MacQueen (1967). C'est un algorithme itératif qui converge vers une solution à partir de similarité et d'une constante k (nombre de classes), qui se décompose en 4 étapes (fig.5) :

Etape 1: Sélection de K points en centroïdes initiaux (de façons arbitraires ou fixés par l'analyste)

Etape 2: Création de K clusters en ajoutant les éléments restants à leur proche centroïde (fixés dans l'étape 1)

Etape 3 : Calcul d'un nouveau centroïde pour chaque cluster (dans le cas de la classification de documents, cela peut être un document fictif de synthèse)

Etape 4 : Itération des étapes 2 et 3 jusqu'à stabilisation des centroïdes, ce qui revient après chaque modification du document centroïde (hybride) à recalculer les distances entre document.

Cette méthode possède donc une dimension adaptative que ne possèdent pas les autres méthodes et permet d'optimiser les classes.

La première étape est réalisée avec une initialisation « aléatoire » potentiellement incorrecte. Il est également difficile de déterminer une valeur de K dans un contexte totalement non supervisé. Par suite les résultats de K-Means sont souvent instables (limites incertaines des classes créées).

Dans le cadre de cette étude, les données d'entrée sont bien structurées (Brevet, Sujet de Recherche) et K le nombre de clusters sera limité aux domaines technico-scientifiques connus et établis par l'activité de transfert de technologie. Le but ici n'est pas de trouver de nouvelles classes de technologies, mais de montrer l'évolution de leur interdépendance.

CLUSTERING K-Means

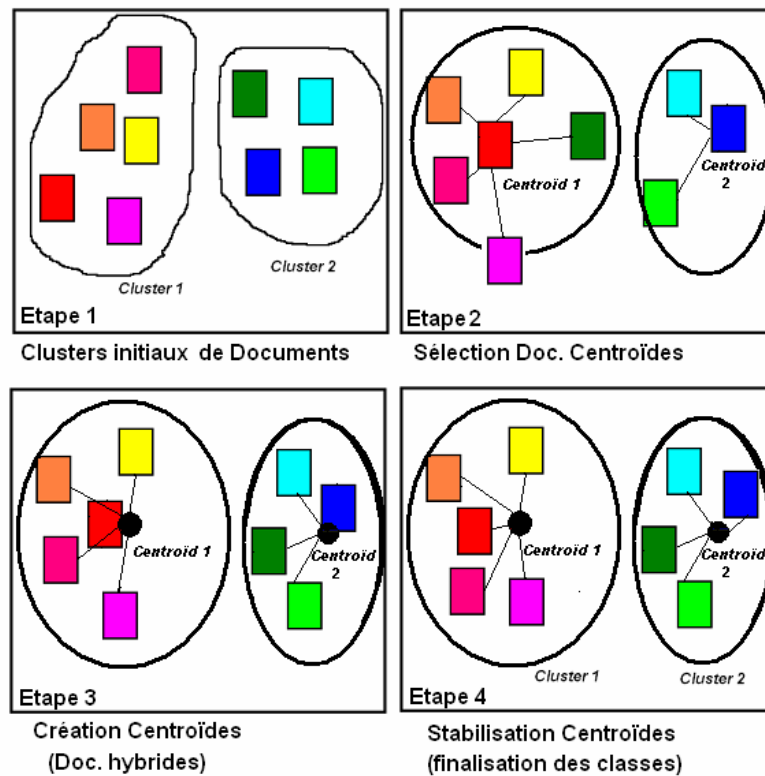


Fig.II.5 : Les étapes principales et itératives (2,3,4) de la méthode de K-Means (synthèse de l'auteur)

Les K-Means axiales

L'approche des k-means axiales (KMA) est, elle, une variante des k-means.

Développée par Lelu, la méthode considère l'ensemble des références bibliographiques comme un nuage de points plongé dans un espace géométrique où chaque dimension correspond à un mot-clé (les axes w,x,y,z, etc. sur la figure 6). Elle est caractérisée par une représentation des classes à l'aide de vecteurs (A) pointant vers les zones de forte densité du nuage. A l'inverse des techniques de classification non hiérarchiques qui représentent les k classes recherchées par leur centre de gravité, les k-means axiales définissent les k classes recherchées par k demi-axes (A...) passant par l'origine de l'espace géométrique ou k vecteurs unitaires pointant dans la direction de ces demi-axes.

La position des k demi-axes est définie au hasard ou par les k premiers documents. Par itérations successives, les axes se positionnent puis se stabilisent dans les zones de forte densité du nuage de documents, élaborant ainsi une classification des documents.

Les k-means axiales sont associées à la méthode d'ACP afin d'obtenir la carte globale des thèmes (« Themescape », une classe de documents correspondant à un thème).

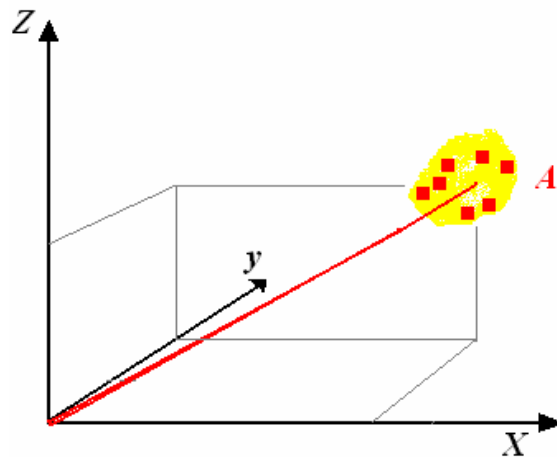


Fig. II.6 : Représentation de classe par des vecteurs

1.2.6. L'approche Bayésienne – Théorème de Bayes Naïf

On peut construire une méthode de classification sur la règle du théorème de Bayes de la probabilité composée d'un événement A, sachant que l'évènement B est réalisé.

Imaginons 2 classes (c1 et c2) et un échantillon de documents D.

Un document d est considéré comme une séquence de n mots w_1, \dots, w_n

$$P(C=c1 / D=d) = \frac{[P(D=d | C=c1) \times P(C=c1)]}{P(D=d)}$$

Le classifieur de Bayes est utilisable si on peut estimer $P(D/C)$ probabilité que le document D appartienne à la classe C et $P(C)$ la probabilité de la classe C.

Sachant que $d = \{w_1, \dots, w_n\}$ on a

$$P(D=d / C=c1) = P(D=w_1, \dots, w_n | C=c1)$$

$$P(D=d | C=c1) = \prod_{i=1 \text{ à } L} P(W=w_i | C=c1)$$

Par suite dans l'approche bayésienne (dite naïve..) **la probabilité que le document d appartienne à la classe c1** est le produit de la probabilité de tous les termes w_i de d appartenant à la classe c_1 .

Soit S un ensemble de N documents et
 $N(c_i)$ = Nombre de documents S dans la classe c_i
 $N(w, c_i)$ = Nombre d'occurrences du mot w dans les documents de S de classe c_i

L'estimation des $P(C=c_1), P(C=c_2)$: $\hat{P}(C=c_i) = N(c_i) / N$

L'estimation des $P(W=w_i | C=c_i)$: $\hat{P}(W=w_i | C=c_i) = N(w, c_i) / \sum_{w_i} N(w_i, C)$

Lissage de Laplace :

Pour affiner, lisser (« smoothing ») les classes, l'estimation de $P(W=w_i | C=c_i)$ est modifiée pour éviter des valeurs nulles :

$$\hat{P}(W=w_i | C=c_i) = [1 + N(w_i, c_i)] / [|V| + \sum_{w_i} N(w_i, C)]$$

Notion d'Entropie :

Cette approche statistique permet d'évaluer l'entropie. Comme en systématique thermodynamique, la notion d'Entropie représente l'état d'ordre (ou désordre) du corpus de documents.

Selon Tommasi (2002), on a pour un échantillon S de taille N : soit $N(c)$ nombre d'élément de la classe c

$$Ent(S) = - \sum_c \frac{N(c)}{N} \cdot \log \frac{N(c)}{N} \quad (*)^{99}$$

(on peut dire que l'entropie est une estimation de la variance du système). Cette estimation devient un critère de classification : un mot apporte de l'information que s'il réduit l'entropie.

Cet indicateur est puissant pour limiter les itérations d'optimisation des classes, et pour valider l'ensemble d'une classification.

1.2.7. Data mining et Text mining

⁹⁹ Si on obtient autant de classes que de documents, l'entropie est maximale $E = \log(N)$, si par contre on obtient qu'une seule classe, $E = \log(1) = 0$ minimale.

Il faut distinguer le Data Mining qui est un processus non trivial d'extraction et d'analyse de lots de données (en général quantitatives, numériques) dans le but de décrire des tendances et « prédire » les évolutions, du Text Mining qui est un processus d'extraction des « connaissances » de textes individuels ou corpora (groupe homogène de texte). L'étape de classification (clusterisation) est primordiale dans la cartographie, cette étape a été dynamisée par l'utilisation de techniques issues du champ de recherche sur l'intelligence artificielle (IA). L'intelligence artificielle se définit comme « la construction de programmes informatiques qui s'adonnent à des tâches qui sont, pour l'instant, accomplies de façon plus satisfaisante par des êtres humains car elles demandent des processus mentaux de haut niveau tels que : l'apprentissage perceptuel, l'organisation de la mémoire et le raisonnement KDD, en anglais : Knowledge Discovery from Databases. Nous voyons dans cette définition que la notion d'apprentissage, c'est-à-dire la capacité d'un système à s'optimiser en fonction de son environnement, des expériences et des résultats obtenus, est un enjeu essentiel de l'IA sur lequel travaillent les chercheurs du domaine.

1.2.8. Les indicateurs relationnels

Les indicateurs relationnels sont ainsi appelés car ils permettent de traduire des relations entre les éléments étudiés à l'aide des caractéristiques de ces éléments, c'est-à-dire qu'en étudiant des articles scientifiques, par exemple, il est possible d'établir des relations (s'il en existe) entre ces articles, entre les auteurs, les co-auteurs...

Callon et al. (1993) distinguent deux types d'indicateurs relationnels : ceux de première et de seconde génération. Les premiers s'attachent particulièrement à la description des relations entre articles, auteurs, organismes, etc. Ils sont basés sur les signatures d'articles, les citations, etc. La méthode principale ayant été développée est la méthode des co-citations (co-citation analysis).

La seconde génération d'indicateurs relationnels est plutôt axée sur le contenu même des productions scientifiques. Ils recouvrent des analyses basées sur la cooccurrence des mots (cword analysis), sur la mesure des liens entre mots clés servant à construire des thématiques constituées de termes sémantiquement proches et l'analyse de ces thématiques. La méthode la plus représentative est celle des mots associés utilisée notamment par Noyons (1999), Van Raan (2000) ou Magerman (2006).

1.2.9. Les co-citations

La méthode issue de la bibliométrie, est fondée sur une analyse très fine des références que contiennent les articles scientifiques. Une citation prise en dehors du contexte lui donnant sa signification est difficile à interpréter, en revanche l'apparition simultanée de deux citations lorsqu'elle se répète dans un grand nombre d'articles est dotée d'une signification plus précise.

Les travaux les plus représentatifs de cette approche sont ceux d'H. Small et E. Garfield qui fondèrent l'Institute for Scientific Information (ISI) dans les années 1960 et développèrent la base de données bibliographiques appelée Science Citation Index (SCI) (devenue aujourd'hui l'ISI Web of Knowledge), avec l'objectif de mettre au point des indicateurs mesurant la « consommation » des résultats scientifiques. Ils proposent dans leurs travaux d'analyser ces articles en prenant en compte les citations afin de mettre en évidence les relations entre les acteurs. A l'aide de la méthode MultiDimensional Scaling (MDS, méthode mathématique qui permet de représenter dans un espace un ensemble d'individus entre lesquels nous avons une notion de proximité ou de distance), ils constituent ainsi des clusters, c'est-à-dire des regroupements d'articles liés entre eux par leurs références bibliographiques. L'intérêt de cette approche est, comme nous l'avons déjà dit, de retracer les liens entre les auteurs mais aussi de construire des thématiques car toujours selon Small (1993) [*« les articles fondamentaux ou cités dans ces clusters, tendent à partager un thème commun, d'un point de vue théorique ou méthodologique ou les deux »*].

Il est intéressant de noter à ce stade la transition entre représentation de l'information qui modélise un document comme un « sac de mot » et l'apport de méthodes méta heuristiques et cognitives issues de l'Intelligence Artificielle qui permettent d'évoluer vers une représentation de la « connaissance »¹⁰⁰. Les progrès issus de la recherche linguistique, et surtout des recherches en traduction automatique (TAL) et compréhension du langage naturel ont été déterminants dans l'essor des « moteurs de recherche et de classification » par l'introduction des règles sémantiques et syntaxiques, et le développement de corpus associé (dictionnaire étymologique) permettant d'optimiser la vectorisation d'un document¹⁰¹. Les

¹⁰⁰ La modélisation de la connaissance est liée aux sciences cognitives et à l'ontologie, qui selon Miller (1978) impacte la théorie de l'information.

¹⁰¹ En effet le document (texte ou requête) est considéré (selon Jones, 1960) comme un « Sac de Mots » (BOW : Bag of Words) et peut être assimilé à un vecteur $\mathbf{D} = \sum \mathbf{f}(\mathbf{w}_i)$ somme des fréquences des mots \mathbf{w}_i .

apports du Texte Mining et de l' IA¹⁰², ont permis une meilleure structuration des données et par suite une meilleure convergence des méthodes de classification d'information. Mais malgré ces progrès importants on est encore loin des « learning machine » et la présence d'expert (humain) du domaine est nécessaire dans l'évaluation et l'appropriation des résultats issus de ces systèmes¹⁰³, comme le rappellent Vergès, Bouriche et Flament (2001) [*« L'existence de cette diversité de la forme des données et la multiplicité des mesures possibles (indices de similitudes) donne toute sa souplesse. Elle prend en compte non seulement les propriétés mathématiques des données mais aussi le parti pris de celui qui les traite. A cette richesse correspond un impératif : l'analyste doit prendre des décisions qui influencent fortement le résultat des calculs. L'analyse de similitude ne fonctionne pas comme une boîte noire fournissant un résultat unique, elle oblige l'analyste à préciser ce qu'il recherche et par quel moyen. »*]

Il faut garder en mémoire cette mise en garde du biais induit par « l'analyste » et considérer avec une certaine réserve les résultats issus de cartographie relationnelle dans un contexte de demande croissante liée au besoin parfois peu objectif de vouloir « mettre de la structure là où il n'y en a pas ».

Le résultat d'une catégorisation est un ensemble de « **Clusters sémantiques** ». Un cluster sémantique peut se définir donc comme un ensemble hiérarchisé et organisé de concepts reliés entre eux à des degrés divers en fonction de leur contribution au sujet d'intérêt principal (nom du cluster). Par exemple : Diabète et nutrition, Cancer et gènes.

A la différence du thésaurus, les concepts ne sont pas liés seulement par des relations linguistiques mais bien par leur contribution à un sujet principal de préoccupation.

Nous allons aborder dans le point suivant les « façons » de représenter visuellement le résultat d'un questionnement sur la connaissance.

1.3. Modèles de représentation visuelle

Dans ce chapitre sur la visualisation de thématiques, dans un contexte d'information scientifique et technique, nous ne pouvons oublier que la visualisation est étroitement liée à la scientométrie, notamment en rapport aux études des citations dont les représentants sont Garfield et Small, et Van Raan qui parlent alors de « maps of science » (les cartes de la

¹⁰² Michalski et Stepp (1986), Bisson G. (1990), Lermann I.C. et al. (1991) ont développé le concept de « Learning machine »

¹⁰³ Pierre Vergès, Boumédienne Bouriche et Claude Flament, « *L'analyse de données par graphe de similitudes* », WP CNRS-Sciences Humaines Juin 2001

science). Small (1999) définit le concept comme une [*« représentation spatiale montrant comment les disciplines, champs, spécialités, articles ou auteurs sont reliés aux autres, représentés par leur proximité physique et leur position relative »*]. L'intérêt d'une telle approche de la littérature scientifique est de faciliter notre compréhension des relations et des développements conceptuels, elle permet de visionner un état contemporain des connaissances.

Les cartes de la science n'ont pas comme unique fonction de représenter un état des connaissances à un moment donné, elles permettent aussi de « prévoir » l'avenir de ces connaissances à partir de l'observation de tendances (trends), comme l'indique Garfield (1986), [*« même si nos cartes ne peuvent pas prédire où les chercheurs iront exactement, elles peuvent servir d'indicateurs. Les changements d'année en année révèlent des tendances et les trajectoires technico-scientifiques ; et les cartes peuvent donc servir comme outils de prévision. »*]

Dans ce domaine nous pouvons signaler, de manière non exhaustive, les travaux de Moya-Anegón et al. (2004) qui ont poursuivi les travaux de Garfield et Small dans ce domaine et qui ont réalisé des outils cartographiques intéressants. Le premier a développé CiteSpace2, un outil d'analyse et de visualisation de carte des domaines de la recherche scientifique présentant les liens entre publications et la création de ces liens dans le temps. Les seconds, du laboratoire SCImago de l'université de Grenade (Espagne) ont réalisé un outil appelé Atlas of Science. Cet outil appliqué sur le SCI représente les champs de recherche au travers les disciplines et leurs interconnexions, tout cela à partir de l'analyse des citations de publications. Cette carte permet d'explorer différents niveaux d'organisation technico-scientifique (Domaines, Disciplines, Sous-disciplines) sous forme de réseaux.

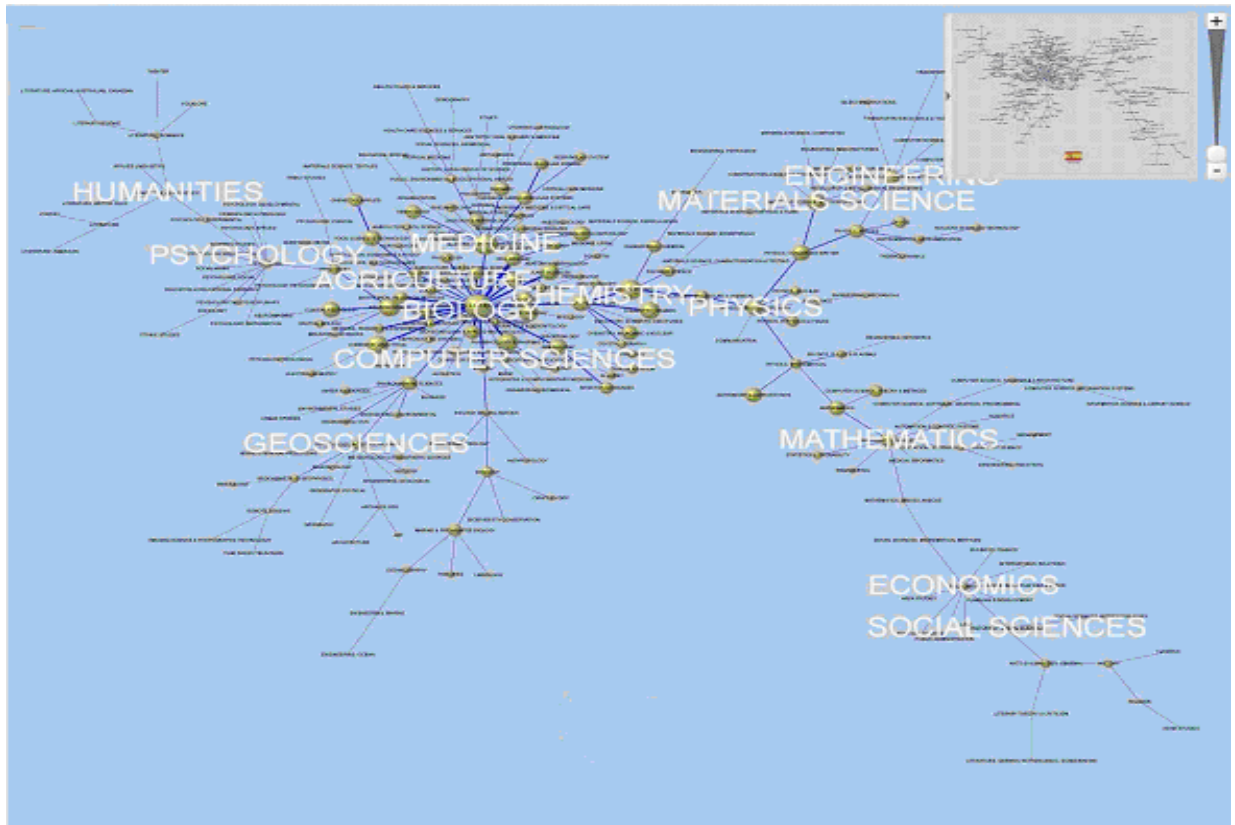


Fig. II.7 : Atlas des Sciences (source : site SCImago – Granada SP)

Il existe de nombreuses typologies des visualisations de l'information. Celle de Keim (2001) propose que les techniques de visualisation soient classées selon trois critères, à savoir le type de données à visualiser, le type de visualisation et les types d'interactions entre utilisateur et visualisation. Ce qui revient à une classification originale à 3 dimensions comme le montre la figure suivante.

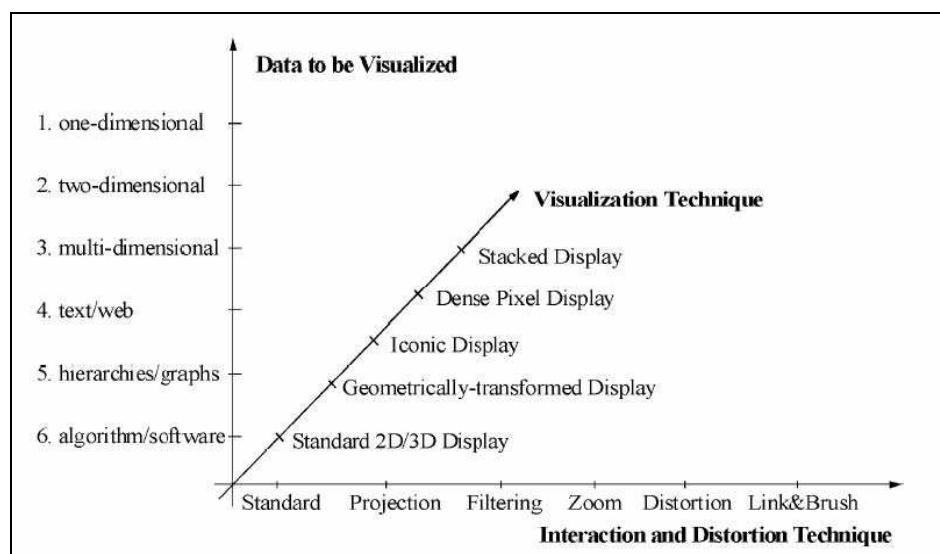


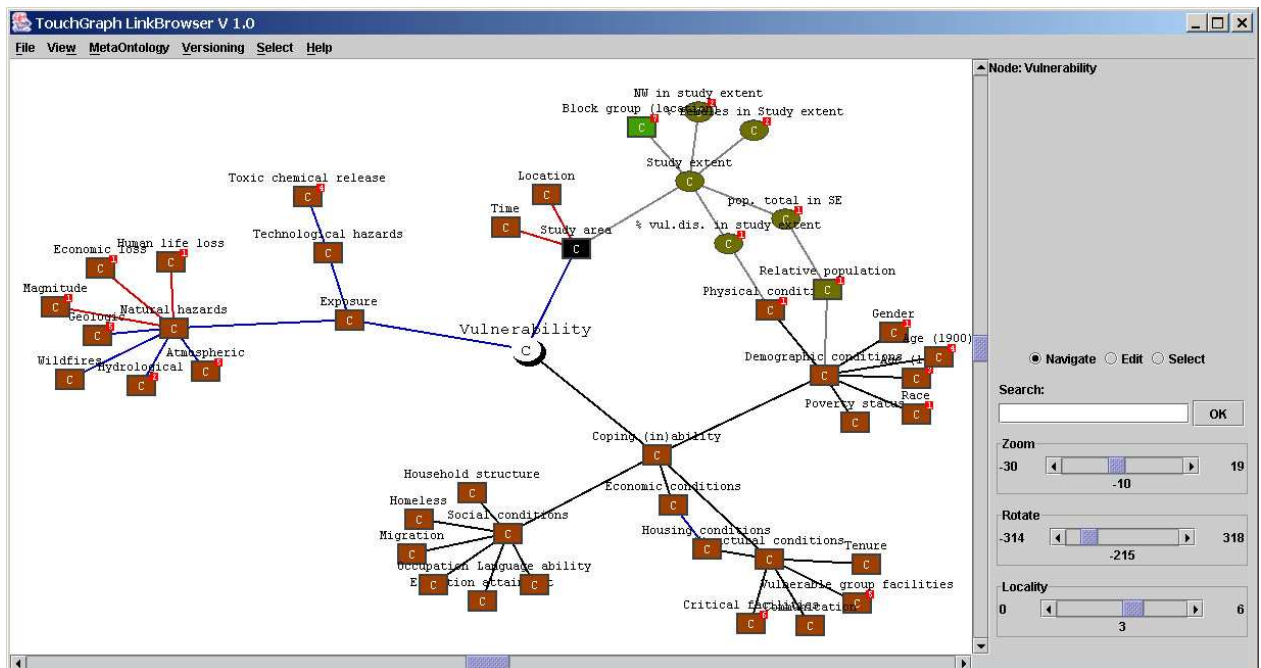
Fig.II.8 : Méthodologie de visualisation graphique des données (source: Keim - 2001)

Le développement des technologies informatiques faisant de moins en moins obstacle à l'imagination des chercheurs, ingénieurs, etc. il existe de nombreuses autres modes de représentation mais nous nous focaliserons ici sur les représentations principales en 2D ou 3D qui sont les plus appropriées pour représenter la relation science et technologie.

1.3.1. Les arborescences (Trees)

Les hiérarchies, également connues sous le nom de structures arborescentes, sont des collections de nœuds de données où chaque noeud a un parent unique (noeud d'un rang supérieur dans la hiérarchie), mais peut avoir de nombreux enfants de même parent (noeuds de rangs inférieurs dans la hiérarchie). Il est possible d'agir sur un noeud simple, un lien, une collection de noeuds, ou même sur la structure entière.

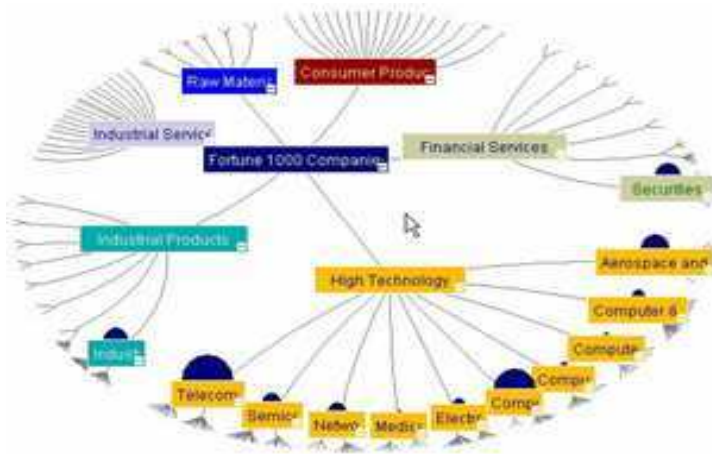
Les données hiérarchiques sont très diverses et sont produites sous de nombreuses formes comme dans les taxonomies, les ontologies, les structures d'organismes (organigrammes), la gestion d'espace disque, les généalogies. Les hiérarchies s'utilisent de différentes manières, à savoir : recherche d'un noeud particulier, visualisation un noeud dans son contexte général hiérarchique, examen de la structure et les relations globales de l'arbre, et également recherche des doublons ou des anomalies dans une structure arborescente.



(source : www.touchgraph.com)

Arborescences hyperboliques

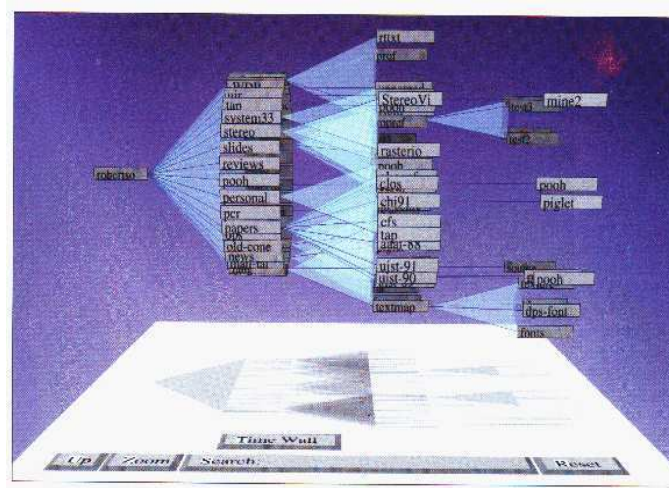
La présentation traditionnelle des hiérarchies s'effectue habituellement à l'aide d'une représentation en 2D où des nœuds-enfant sont placés sous leurs parents. La navigation et la recherche de nœuds spécifiques dans une telle structure peuvent être confuses, désorientantes et assez frustrantes. Des techniques plus récentes de visualisation, comme les arbres hyperboliques, tentent de visualiser le plus de nœuds possible, même si l'arbre complet lui-même ne peut être entièrement visualisé, de façon à fournir des mécanismes pour la navigation et la recherche qui permettent à l'utilisateur de maintenir le contexte de l'arbre entier à l'esprit d'une part et d'autre part afin de réduire le risque de désorientation. Cette représentation est fréquente dans les systèmes de visualisation d'interdépendance de brevets.



Dans la figure ci-dessus l'utilisateur peut naviguer de nœuds en nœuds, parcourir la hiérarchie ou la descendre ou en la remontant sans perdre le contexte du nœud sur lequel il se focalise.

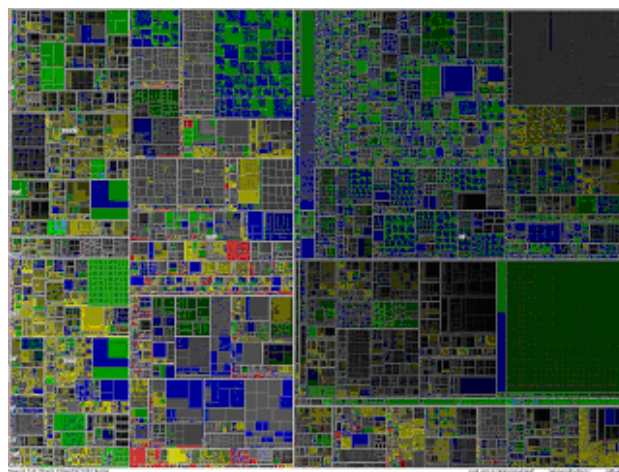
Les arbres coniques

Cette technique fait partie des systèmes de visualisation en 3D. Un arbre conique, ou cone-tree, est une représentation tridimensionnelle d'une hiérarchie dans laquelle on associe à chaque nœud le sommet d'un cône, et on arrange ses fils autour de la base circulaire du cône. C'est ce que nous pouvons voir dans la figure suivante.



1.3.2 Treemap

Le terme treemap recouvre les représentations de hiérarchies sous la forme de carte en 2D formant un pavage dont les éléments fils sont imbriqués dans les éléments parents. A la visualisation hiérarchique symbolisée par le rapport d'inclusion, on peut rajouter d'autres dimensions telles que la taille de l'élément fils dans l'élément parent, ou tout autre information signifiée à l'aide d'un code couleur par exemple...

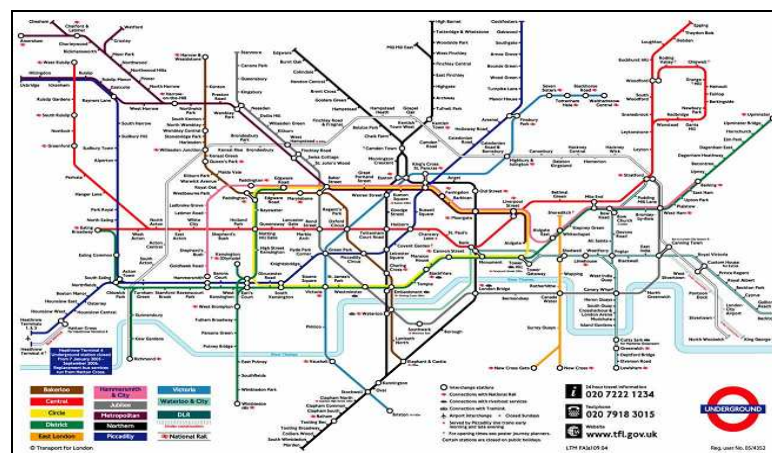


La figure ci-dessus montre une représentation standard de treemap, avec les frontières (cadres blancs) des différents niveaux hiérarchiques. La sélection d'un cadre permet de descendre d'un niveau hiérarchique et ainsi se rapprocher des éléments terminaux de l'arbre. Les couleurs visibles sur ce système sont des codes attribués par l'utilisateur afin de repérer certaines valeurs.

1.3.3. Visualisation de réseaux

Le but de la visualisation de l'information en réseau est de faire gagner en perspicacité

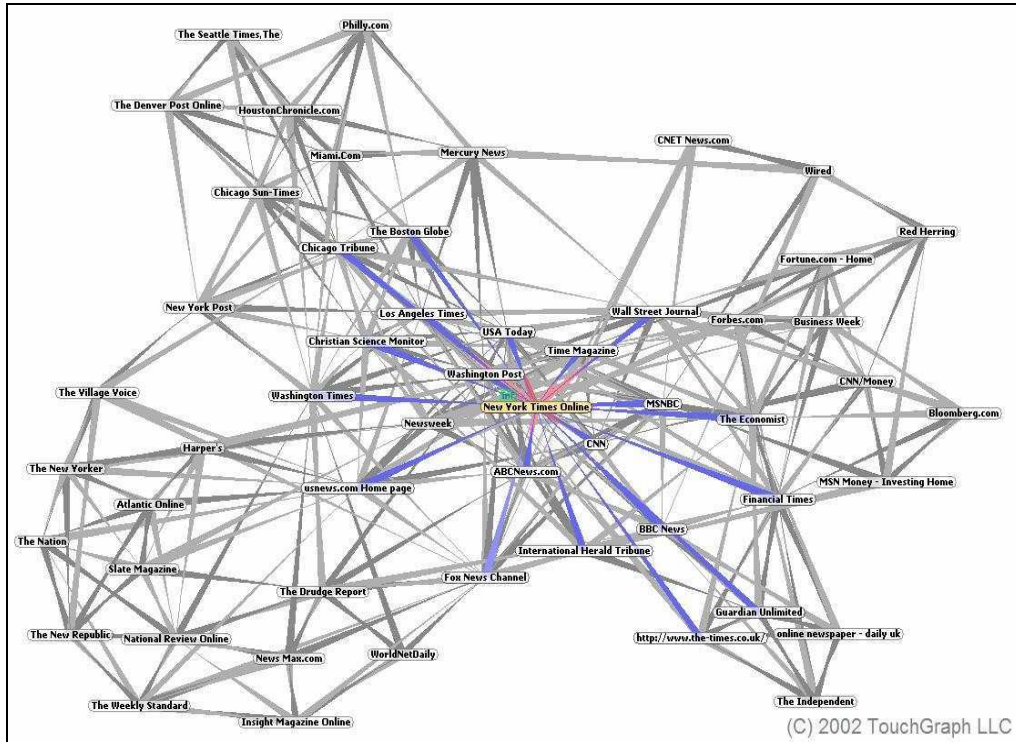
à la lecture d'une structure qui peut se composer de nombreuses données élémentaires. Les réseaux se composent de noeuds et de liens, un noeud représentant une donnée ponctuelle et un lien représentant un rapport entre deux noeuds. La figure suivante représente les réseaux de voies de communication entre différents lieux géographiques de stations de métro. Un graphique avec peu de points (ou sommets) est facile à dessiner et à comprendre visuellement et actuellement des outils de ce genre sont mis au point pour manipuler de grands ensembles d'information. Ces grands ensembles de données possèdent en effet, des structures invisibles à l'œil nu, enfouies dans les données, des structures au contenu informationnel non négligeable. Déceler une structure ou une hiérarchie parmi un ensemble de points représentant des données n'est pas facile, c'est pourquoi on distingue différentes catégories de réseaux (acycliques, avec racines ou sans racines, orientés et non-orientés...). Ceci permet de développer des algorithmes pour exécuter des tâches sur ces structures telles que trouver les chemins les plus courts ou moins coûteux reliant deux sommets ou traversant le réseau entier, enjeu important dans les systèmes de navigation autoroutier type GPS.



Les domaines d'application de la visualisation de réseau sont les bases de données (à la fois la structure et les éléments d'une base de données), les applications informatiques (raccordement de modules, classes ; raccordement dynamique des processus ; etc.), les réseaux informatiques, le Web mondial à partir des liens hypertextes, les bibliothèques numériques (références, etc.), les Systèmes d'Information Géographique (relations géographiques entre les endroits), les réseaux sociaux, etc...

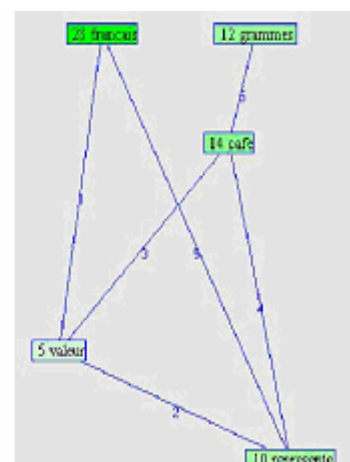
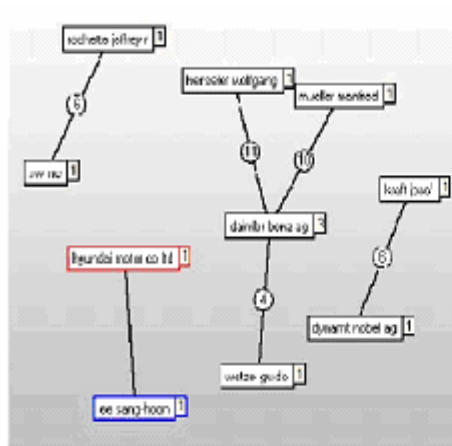
Réseau de liens hypertextes : cartographier le Web

Ces réseaux, comme celui présenté ci-dessous, représentent les principaux sites pointant sur le site ayant fait l'objet de la requête, ces mêmes sites pouvant eux même pointer vers d'autres sites, etc. suivant le nombre maximum de sommet et le degré de profondeur voulu.



Réseau de co-occurrence de termes

A partir de documents structurés (brevets, notices bibliographiques...) ou à partir de documents non structurés (textes bruts), il est possible de représenter les termes extraits à partir des relations de co-occurrence qui existent entre eux (méthode d'analyse des mots associés,...), les sommets représentent les éléments linguistiques (termes, expressions) et les liens les relations pondérées, parfois à l'aide d'une épaisseur de trait significative, parfois à l'aide d'un chiffre indiquant le nombre d'occurrences communes. La figure suivante présente le résultat de cartographie des thématiques de publications en Mathématiques de chercheurs Suisse. La méthode développée par Van Raan et principalement appliquée à la Bibliométrie et Scientométrie permet d'avoir à un instant t donné une visualisation simple et puissante des convergences et divergences.



source : www.matheopatent.com

Pour exemple, la carte de Matheo Patent, spécialisé dans l'analyse de brevets, construit des cartes de cooccurrence à partir des différents champs du brevets comme le déposant, l'inventeur, le fabriquant, etc. permettant ainsi de croiser les informations. Ici les arcs sont pondérés par le nombre de documents dans lesquels les termes (sommets) reliés sont en cooccurrence. La seconde carte, tirée du logiciel d'analyse textuelle Wordmapper de la société Grimmersoft, est un détail des classes de mots effectuées par le programme, affichant les cooccurrences des termes, les arcs sont pondérés comme dans le cas précédent, l'occurrence individuelle des termes étant ici indiquée sur l'étiquette du terme.

Dans la figure 9 suivante Noyons et Van Raan (1999) présentent une cartographie bibliométrique des différentes « thématiques » de recherches en mathématiques des laboratoires de recherche académique Suisse (CEST Centre of Science an Technology studies), pour eux «*The fascinating point is that these structures can be regarded as the cognitive, or intellectual structure of the scientific field. [...] In other words, what is made visible by our mathematical methods, is the self-organized structure of science*»

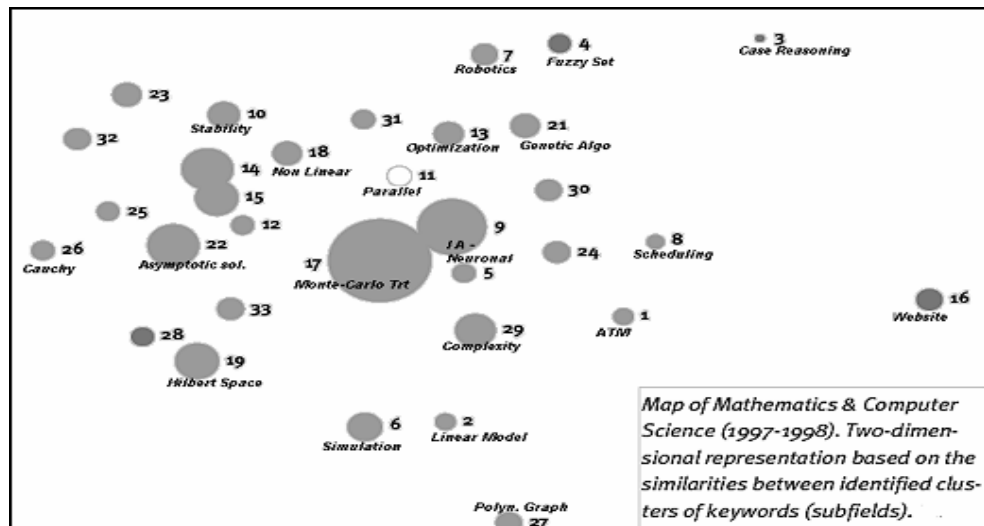
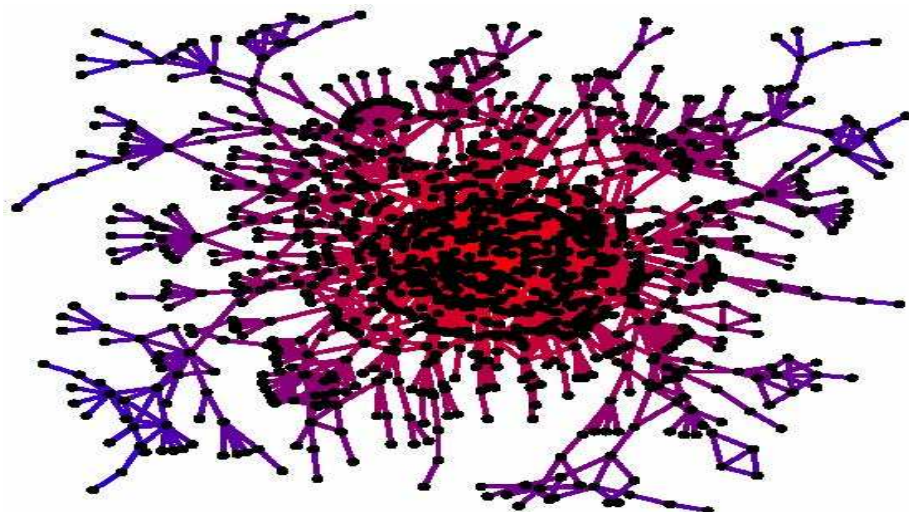


Fig.II.9 : Cartographie de la recherche en Mathématiques d’après les publications (1995-1998) Van Raan, Rapport du CEST Suisse (Centre of Science and Tech. Studies) -2000

Les réseaux sociaux

Un réseau social désigne non seulement et abstraitement le réseau de connaissances d’un individu, c’est-à-dire toutes les personnes avec qui il est en relation, il désigne de manière plus concrète une carte permettant de visualiser ce réseau en prenant les individus comme sommets du graphes, reliés par des arêtes qui figurent « qui connaît qui » (site Linked, Facebook..).

Des recherches sont menés afin de construire les réseaux sociaux à partir de l’analyse de pages web personnelles notamment (1) leurs auteurs, (2) les liens entrant, (2) les liens sortant et (4) les listes d’emails permettant de dresser une carte des liens qu’entretiennent les acteurs.



La figure ci-dessus représente le réseau des auteurs de pages personnelles du domaine « www.stanford.edu » liés les uns aux autres par les 4 critères vu auparavant. Il

ressort de cette représentation notamment un important cœur de pages en relation très étroite, et quelques unes moins connectées aux autres [Adamic et al., 2003].

1.3.4 Visualisation des thématiques

Dans le paragraphe sur l'analyse de l'information, nous avons abordé le concept de classification, c'est-à-dire l'opération qui consiste à regrouper des données proches ou similaires à l'aide de méthodes automatiques, semi automatiques ou non. L'intérêt d'une telle opération réside bien souvent dans sa visualisation.

Les cartes diagrammes

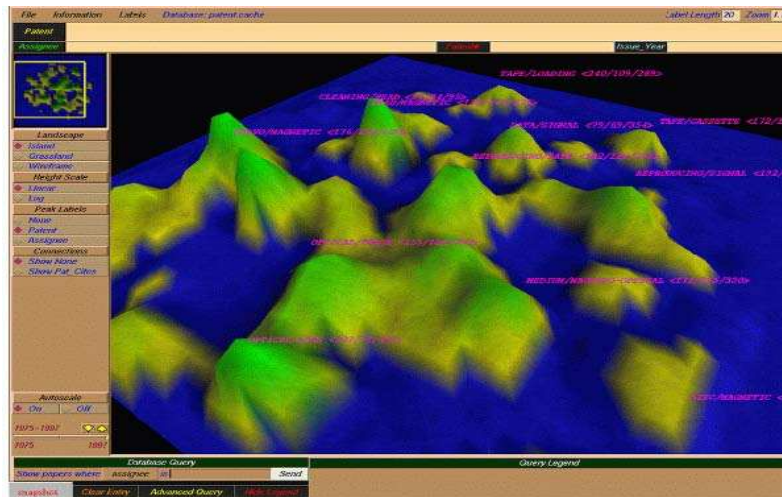
A partir des travaux sur les classifications, de nombreuses visualisations de cluster trace une topologie de ces classes à partir des notions de densité et de centralité que nous avons vu notamment au sujet des mots associés. La visualisation est bidimensionnelle, la centralité et la densité assignée respectivement à l'axe des abscisses et à l'axe des ordonnées. Cette technique permet donc d'afficher les classes les unes par rapport aux autres et de pouvoir instantanément les analyser et les comparer. L'outil Wordmapper, place les classes, qu'il détermine automatiquement à partir de l'indexation préalable de texte, en fonction de ces deux axes.

Espaces vectoriels

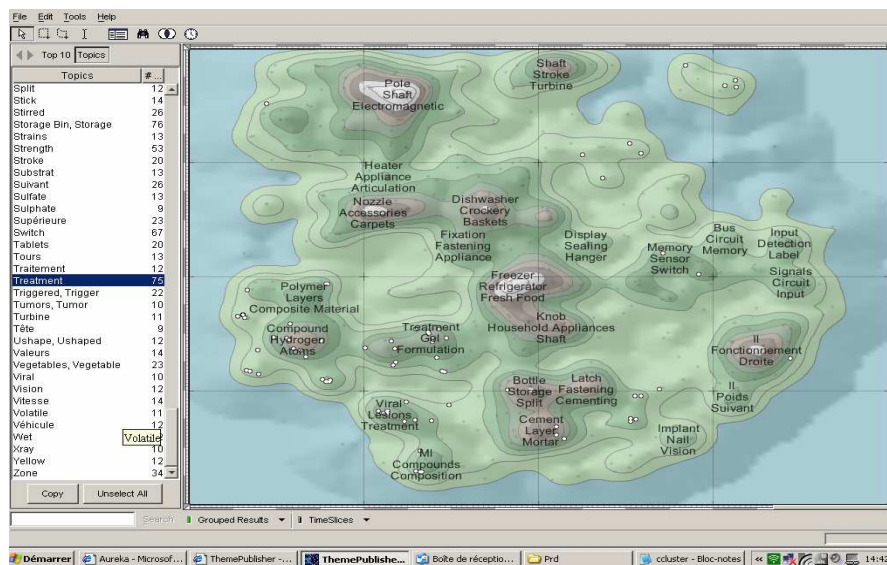
Les approches suivantes, paysages et galaxies de points sont ce que l'on appelle des espaces vectoriels. Selon Nussbaumer (1995) les espaces vectoriels sont souvent utilisés pour caractériser des documents. Les espaces vectoriels sont des espaces pouvant comporter de très nombreuses dimensions représentées par des vecteurs, dans le cas de la représentation de documents, les vecteurs sont les descripteurs. Chaque document est donc un point dans cet espace à n dimensions, la similarité entre documents peut être calculée par le produit des 2 vecteurs, pour des informations multidimensionnelles une cartographie en deux dimensions à partir de l'espace multidimensionnel est nécessaire et différentes méthodes existent pour cela, comme la méthode utilisée dans le module Neurodoc de STANALYST qui procède par projection en ACP des clusters résultant d'une analyse par K-means axiales.

Métaphore du paysage

La métaphore du paysage représente les classes comme des collines, c'est-à-dire des élévations ponctuelles d'un plan proportionnelles au nombre d'éléments que la classe contient. Des nuances de couleur ou des courbes de niveaux, comme celles figurant sur une carte géographique, permettent à l'utilisateur de percevoir les élévations. Un exemple de métaphore du paysage est celle en 3D du logiciel Vxinsight de Sandia National Laboratories³⁸, ou encore ThemeScape de Thomson Micropatent (Aureka), comme le montre l'illustration ci-dessous. Sur celle-ci nous pouvons distinguer les thématiques par leur élévation sur le plan.



<http://www.cs.sandia.gov/projects/VxInsight.html>



<http://www.micropat.com/static/advanced.htm>

Le code couleur employé ici, par exemple, évoque le bleu de la mer pour les zones de basse altitude, le jaune du sable pour les zones intermédiaires entre la mer et la verdure des zones supérieures. Le degré d'élévation est aussi facilement interprétable comme représentative d'une importance particulière, ou d'une accumulation autour

d'une thématique. Un des avantages d'une telle représentation est qu'elle est suffisamment intuitive pour permettre à l'utilisateur de saisir rapidement son sens.

Les galaxies de points

Une autre façon de représenter des regroupements d'éléments, est de représenter chaque élément par un point dans un espace bidimensionnel ou tridimensionnel. Après avoir effectué une classification de ces éléments, des amas de points se forment, que l'on peut appeler galaxies. On peut penser que l'approche est quelque peu similaire à l'approche précédente, mais sur un espace en 3 dimensions (projeté sur un plan). La spécificité de cette visualisation est d'afficher directement le contenu des classes à l'utilisateur, alors que dans les visualisations précédentes, seul l'ensemble était affiché, non les éléments de cet ensemble. Le revers de la médaille étant qu'avec des très grands corpus, la visualisation devient vite totalement illisible. Comme exemple, nous pouvons citer un outil comme IN-SPIRE, avec son module Galaxy, ou l'outil de la société RTGI sa (spinoff de l'UTC) qui visualise sur une sphère les thématiques de différentes catégories (org, edu, com) de sites internet publics et privés.

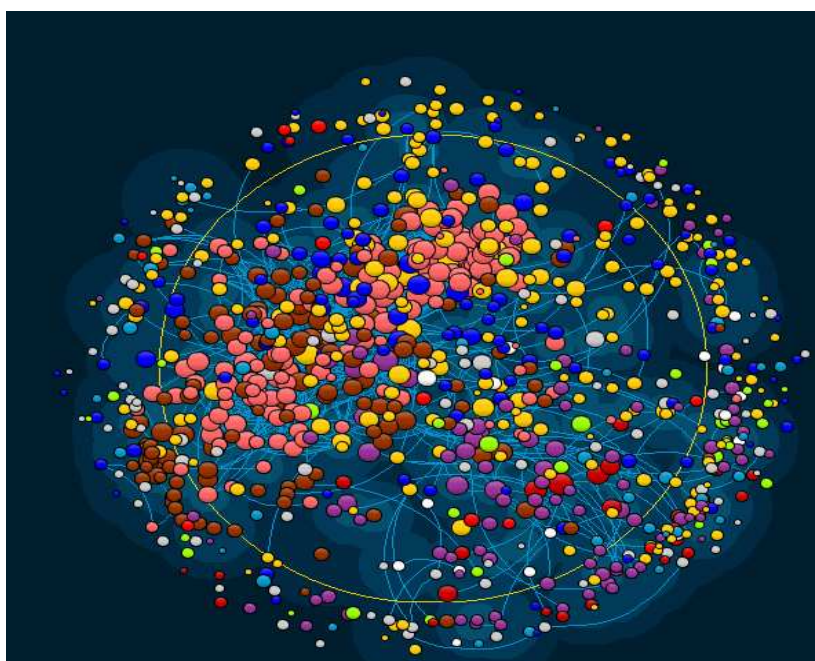


Fig. II.10 : Mapping de sites Web d'organisations publiques et privés (source : Site RTGI sa)
Par exemple : en rose les sites .org, en jaune les sites .edu. Ce type de représentation permet de visualiser l'agglomération et la convergence thématique d'organismes.

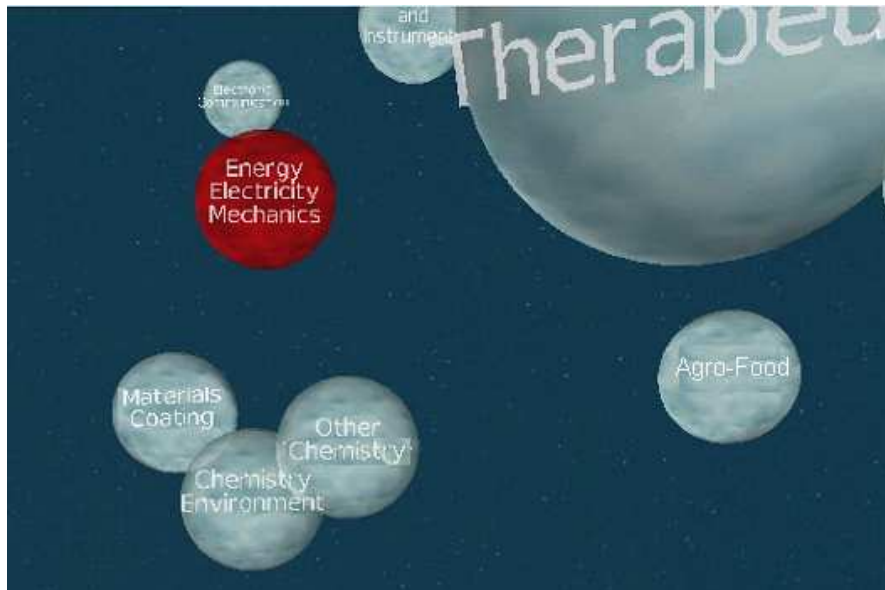


Fig. II.11 : Représentation spatiale des connexités des classes de technologies des brevets du CNRS. Résultats des travaux réalisés par l’auteur en association avec le CERV (Centre d’Etudes et de Réalités Virtuelles – ENI Brest). Une planète représente un cluster technico-économique regroupant les brevets et les laboratoires correspondants. (Source : travaux de l’auteur à l’ENIB)

Nous avons parcouru dans ce chapitre la méthodologie générale de cartographie de la connaissance et de façons non exhaustives les différentes représentations visuelles qui sont proposées actuellement par les systèmes de recherche et tri d’information. Nous avons souligné les problèmes majeurs liés à ce type de démarche (artefact, déterminisme excessif). Les étapes sensibles, d’après nos expériences, sont au niveau de la « classification » des informations et au niveau de la représentation géométrique 2D/3D qui induisent beaucoup de contraintes ¹⁰⁴.

Il faut retenir de cette analyse que les plus grandes dérives et « erreurs » de ces systèmes de cartographie interviennent lorsqu’ils sont utilisés sur une très grande masse d’information, non structurée et sans « grille de lecture » préalable, c’est-à-dire sans une classification initiale (ensemble de classes de bases, ou de thématiques, constituées de documents de références choisis par des « experts » humains). Le choix préalable d’une grille de lecture hiérarchisée à priori, oriente bien entendu le résultat mais présente l’avantage d’une convergence et donc un résultat plus rapide des calculs, ce qui est un enjeu important sur de grande quantité d’information. Le désavantage de ce « guidage » est de risquer de « perdre » des liens, relations faibles entre des documents, ou des événements émergents.

L’objectif de ce chapitre est surtout de pouvoir les utiliser de façon objective et pragmatique pour le traitement des données de l’« Output » technologique issu de la recherche

¹⁰⁴ Gardons à l’esprit que l’artefact essentiel est le risque de donner du sens à ce qui n’en a pas.

académique. Dans le cadre de ce travail, les méthodes de cartographie sont utilisées dans un contexte et des conditions précises : a) les données utilisées sont structurées (brevet et sujet de contrat de recherche), b) les domaines technico-scientifiques du transfert de technologie sont prédéfinis.

2. Cartographie et mesure de la Connaissance

L'objectif principal de ce travail est d'obtenir une cartographie des « connaissances » technologiques du CNRS au travers des indicateurs de son activité technologique, traduite principalement par le portefeuille de brevets et les contrats de collaboration de recherche.

De nombreux travaux et de publications utilisent les bases de brevets afin de déterminer des indicateurs et les caractéristiques de la base de connaissances (Knowledge base) d'un organisme (entreprise, secteur, région..), particulièrement les travaux de Breschi, Lissoni & Malerba (2001) et Dibiaggio & Nesta (2005) sur « la quantification de la connexité de connaissances » (« Knowledge Relatedness » que nous traduisons par un néologisme : **la connexité**). Pour ces auteurs, cet indicateur permet de quantifier la capacité d'adaptation et au final d'innovation d'une organisation. Mais comme le déplore Ludovic Di Biaggio [*“... the information contained in patent databases has not been fully exploited, far from it... patent statistics was based on mere patents counts..”*], l'approche statistique ne semble pas suffisante pour comprendre l'évolution du capital de connaissance, et surtout de la nature même de la connaissance.

2.1. Une « nouvelle » approche de la mesure de la « Base de Connaissance »

Nous présentons dans le schéma suivant (fig.11) les différences entre deux approches du calcul de la connexité des technologies, ces deux approches divergent en fait dans leur but final : selon Jaffe (1986), Lissoni et al.(2001), Breschi et al. (2001) et Di Biaggio et al. (2005) l'objectif est d'obtenir un indice de la capacité d'innovation d'un secteur technico-économique ou d'une entreprise en étudiant la cohérence du portefeuille de technologie et son évolution (diversification). Pour Engelmans et Van Raan (1992), Verspagen (2000) et Magerman (2006) le but est de comprendre l'émergence de nouvelle technologie innovante issue de la convergence de production de connaissance, donc de

montrer la relation entre recherche et développement technologique et d'illustrer la dynamique d'un secteur.

Afin de prendre en compte la remarque de Ludovic Di Biaggio (2005), sur l'intérêt de prendre en compte non seulement le nombre mais aussi le sujet des brevets, nous présentons également sur ce schéma la stratégie que nous avons choisie pour introduire la notion de similitude sémantique Ψ_{ni} , entre un brevet n et une classe de technologie i , en étendant ainsi la notion de similitude. Comme l'objectif n'est pas de trouver l'émergence de technologie comme Van Raan ou Verspagen, nous avons utilisé la classification des technologies et brevets issue du transfert des technologies (fig. 11), et pour les contrats nous utilisons la définition des domaines de compétences scientifiques de chaque département scientifique du CNRS.

Enfin, la méthodologie de visualisation graphique que nous avons choisie, s'inspire de l'approche sémantique des « co-occurrence » développée par Engelmans & Van Raan (1991), ou Denis, Gilleron & Tommasi (2002) ou encore Bart Verspagen (2005).

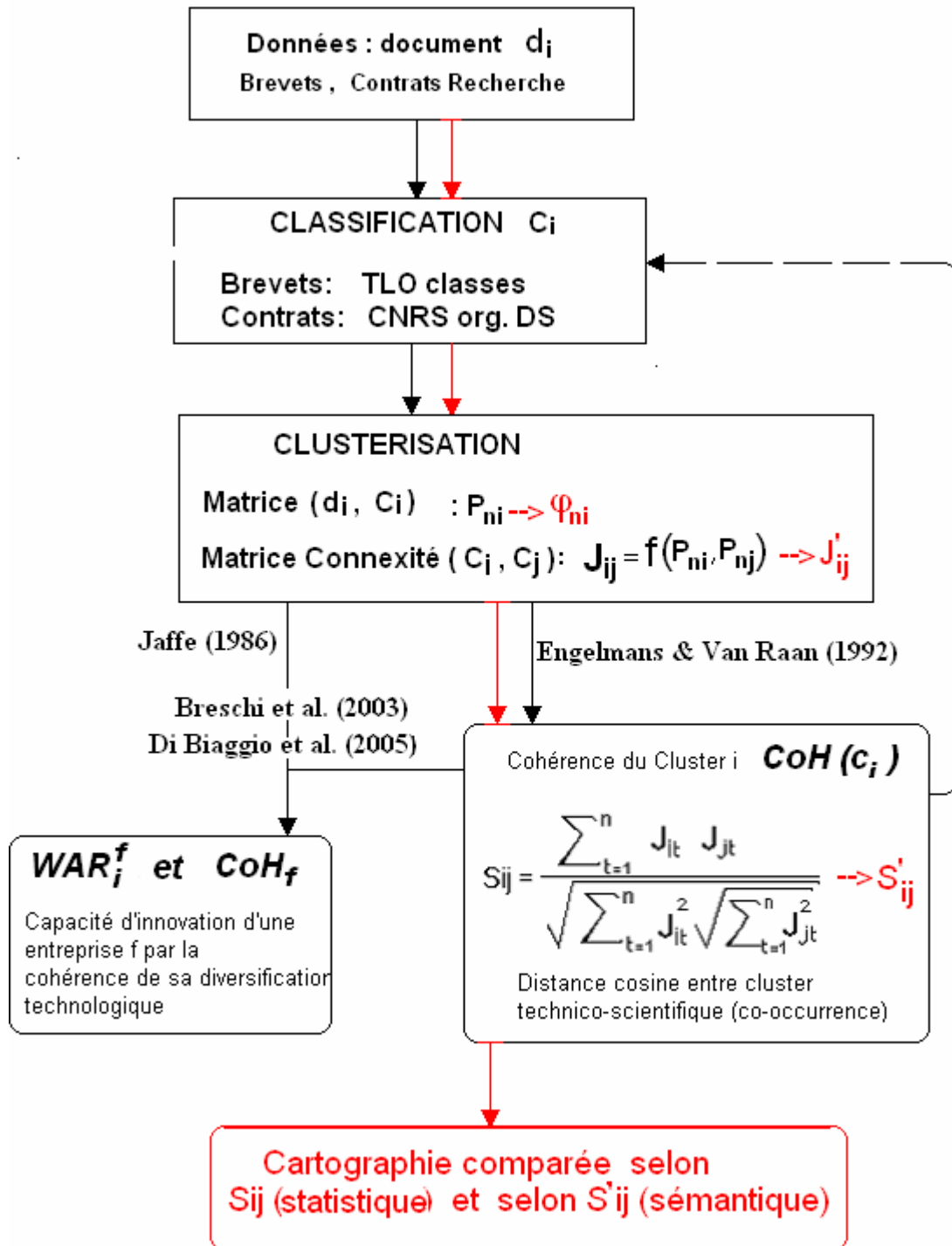


Fig.II.11 : Méthodologie de cartographie : En rouge, nous indiquons les modifications apportées à la méthode de mesure de connexité développée par Jaffe, Trajtenberg, Engelmans et Van Raan, qui sera utilisée par Breschi et Di Biaggio. Nous apportons une modification essentielle par le remplacement de la probabilité discrète P_{ni} par une similitude sémantique φ_{ni} , ce qui entraîne une matrice de similitudes S'_{ij} différente de la matrice S_{ij} . Le but final est de montrer l'étendue de la base de connaissance explicite et implicite du CNRS.

2.2. Deux approches fondatrices

La méthodologie développée ci-après, s'inspire de deux approches complémentaires : la première, provenant de l'Economie de la connaissance, plus particulièrement avec une analyse s'appuyant sur la codification des brevets (Trajtenberg, Breschi, Di Biaggio); la deuxième, résultant du domaine de la Bibliométrie et de la Scientométrie (Van Raan)

2.2.1 Méthode « Statistique »

Bien que la méthode que nous avons utilisée soit basée en grande partie sur les travaux de **Nesta & Dibiaggio** (2005), il faut rappeler que l'approche à partir des brevets a été établie par **Teece et al.** (1994), **Piscitello** (2000), **Jaffe & Trajtenberg** (2001) et **Breschi, Lissoni & Malerba** (2001), qui ont développé et perfectionné une méthode d'analyse basée sur les brevets afin de corréliser l'évolution de la base de connaissance (qu'ils assimilent à la capacité d'innovation) pour une entreprise, un secteur industriel ou même à une région. Ces développements trouvent leur racines dans les contributions de Machlup (1958, 1962), Schmookler (1966) et surtout Griliches (1979, 1995) [« *Patent and citation data enable systematic observations of the output of innovative activities of firms, institutions or countries* »].

Ces travaux définissent la mesure de la connexité entre deux technologies i, j : J_{ij} , qui

$$WAR_j^f = \frac{\sum \tau_{ij} P_{jf}}{\sum_{i \neq j} P_{jf}}$$

permet d'estimer pour une entreprise f , le

WAR (Weighted Average Relatedness) index qui mesure l'intensité du rapprochement entre tous les couples de technologies i, j pondéré par le nombre de brevet P_j de l'entreprise f et la variance τ de la variable J_{ij} , par suite la « cohérence » globale **CoH** de la base de connaissance d'une entreprise f est :

$$CoH = \sum_{i=L} \left(\frac{P_{if}}{\sum_i P_{if}} WAR_j^f \right)$$

Un CoH positif caractérise une entreprise dont la base de connaissance est large et

constituée de technologies complémentaires (synergiques), par contre un CoH négatif sera significatif de la faible (pauvre) complémentarité des technologies (donc des domaines de connaissances..) de l'entreprise.

S'il est possible de calculer le CoH (cohérence des technologies) pour un organisme de recherche publique, son interprétation semble plus difficile même si, à priori, cela pourrait constituer un indice de l'interdisciplinarité.

Cette thèse n'adresse pas directement cette problématique, le questionnement est différent pour un organisme de recherche publique. En effet pour deux raisons principales, en premier lieu la mission première est différente (production de bien public à but non lucratif) et la seconde raison : la dissémination (pas de culture de secret, au contraire une divulgation obligatoire), vont limiter les perspectives d'interprétation des résultats de cette approche de mesure de la base de connaissance. Ce positionnement différent d'un organisme public et d'une entreprise à l'aune de l'économie de la connaissance est le fondement du paradoxe du transfert de technologie, la problématique de cette thèse.

2.2.2 Principe du calcul de la connexité

On peut résumer cette méthode par :

Soit un portefeuille de brevet de N brevets

Soit M classes de technologies $\{ I, J, \dots, M \}$

Soit P_{ni} la probabilité du brevet n appliqué à une technologie i

Et P_{nj} la probabilité du brevet n appliqué à une technologie j

$P_{ni} = 1$ si le brevet n est applicable à la technologie i , sinon $P_{ni} = 0$,

Pour fixer P_{ni} , **Jaffe** (1989), **Engelsman & Van Raan** (1991) and **Vespagen** (1997) utilisent la codification internationale des brevets¹⁰⁵ (IPC: international patent codification), définissant le ou les domaines d'applications d'un brevet. Ce que nous appliquons aussi

¹⁰⁵ la Classification Internationale des Brevets (CIB ; IPC en anglais pour International Patent Classification). Initiée par l'Arrangement de Strasbourg de 1971, un traité international multilatéral, et administré par l'OMPI depuis 1975, cette classification se présente comme un système hiérarchique divisant les technologies en sections, classes, sous-classes et groupes. Commune pour les brevets et utilisée par de nombreux pays, son objectif est de faciliter les recherches sur les millions de brevets existants. Le schéma ci-dessous illustre ces différents niveaux hiérarchiques : Classement technique, international et hiérarchique, il s'agit également d'un classement dynamique au regard des révisions régulières dont la CIB est sujette de manière à refléter les évolutions de la technique. Sa dernière révision, la huitième, date ainsi du 1er janvier 2006 ; l'ensemble des demandes de brevets est alors reclassé avec la version la plus à jour de la CIB8. La première révision de la CIB8 est par ailleurs survenue au 1er janvier 2007.

Avec $J_i = \sum P_{ni}$ (somme par colonne pour une technologie

et $J_j = \sum P_{nj}$ (somme par colonne pour une technologie j)

par suite la co-occurrence n'est pas nulle $J_i \cap J_j \neq \emptyset$

donc la co-occurrence entre la technologie i and j : $J_{ij} = \sum P_{ni} P_{nj}$

Si on applique cela à toutes les paires de technologies on obtient la matrice carrée Ω (m x m)

On peut dire que la probabilité d'avoir J brevets appartenant à 2 classes différentes suit une loi hypergéométrique de densité qui est fonction de (Population N, J_i , P_{ni})

Dont une estimation de J_{ij} et de la variance sont :

$$J_{ij} = \mu_{ij} E(X_{ij} = x) = \frac{J_i J_j}{N} \quad \text{et} \quad \sigma_{ij}^2 = \mu_{ij} \left(\frac{N - J_i}{N} \right) \left(\frac{N - J_j}{N - 1} \right)$$

Par suite si la valeur J_{ij} de co-occurrences observées entre deux technologies i, j excède μ_{ij} , alors on peut dire que les deux technologies sont très liées, inversement si $J_{ij} < \mu_{ij}$, on peut dire que ces deux technologies sont faiblement liées, donc la « connexité » entre deux technologies i, j peut être défini par:

$$\tau_{ij} = \frac{J_{ij} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}$$

suit une loi de t-student et est donc compris entre $-1,96, +1,96[$

avec $\tau_{ij} = \tau_{ji}$

et $J_{ij} = \sum P_{ni} P_{nj}$, μ_{ij} la moyenne et σ_{ij} la variance de cette distribution hypergeometric.

Remarques:

- a) $\tau_{ij} = \tau_{ji}$, la connexité est symétrique ce qui ne semble pas compatible avec l'idée d'arbre hiérarchique des technologies (Teece et al. -1992).
- b) Cette approche statistique ne tient pas compte du contenu des textes de brevet (DiBiaggio & Nesta -2005) ce qui limite sa portée pour l'étude des connaissances.

Table 5
Knowledge-relatedness matrix based on co-occurrence of classification codes (WORLD 1982–1993) cosine indices $\times 100$

	Technology classification fields ^a																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1. Electrical engineering	100																			
2. Audiovisual technology	5.6	100																		
3. Telecommunications	6.0	15.4	100																	
4. Information technology	3.3	9.4	14.3	100																
5. Semiconductors	11.6	3.8	3.7	5.4	100															
6. Optics	6.8	9.8	6.7	3.8	10.2	100														
7. Control technology	8.3	5.0	8.7	11.2	4.3	6.2	100													
8. Medical technology	2.2	1.6	1.1	2.4	0.8	3.7	8.0	100												
9. Organic chemistry	1.0	0.8	0.3	0.4	0.6	4.8	10.1	3.0	100											
10. Polymers	5.7	1.9	0.4	0.3	2.4	9.5	1.8	5.3	14.8	100										
11. Pharmaceuticals	0.5	0.4	0.2	0.4	0.3	1.8	9.7	6.8	75.5	8.9	100									
12. Biotechnology	1.0	0.7	0.9	1.4	0.6	1.8	25.7	4.2	47.7	5.9	47.9	100								
13. Materials	10.1	1.6	0.5	0.4	7.9	4.0	2.3	2.1	4.3	8.6	2.6	1.9	100							
14. Food chemistry	0.9	0.2	0.1	0.3	0.3	0.8	2.5	3.0	14.1	4.3	16.1	23.2	1.7	100						
15. Basic Materials chemistry	2.7	1.5	0.2	0.3	1.2	7.1	3.3	3.2	41.1	18.7	21.4	17.3	9.2	11.9	100					
16. Chemical engineering	3.1	0.8	0.6	1.3	1.8	2.2	9.5	6.1	15.2	8.3	7.3	8.2	16.5	8.1	17.1	100				
17. Surface technology	12.0	2.7	0.9	0.7	12.8	6.2	3.1	3.5	3.4	15.9	1.6	1.5	19.1	2.0	6.8	10.2	100			
18. Materials processing	4.5	2.1	0.4	0.7	1.8	5.3	3.0	5.0	3.6	26.8	1.8	2.1	9.7	2.3	11.3	9.8	18.9	100		
19. Thermal processes	7.8	0.6	0.8	0.7	1.9	1.0	6.0	2.0	0.9	1.2	0.5	1.2	12.4	1.7	3.3	10.4	3.7	3.6	100	
20. Environmental technology	1.9	0.3	0.2	0.3	1.0	1.1	2.6	2.5	4.5	4.8	2.1	3.8	15.1	3.4	9.7	37.3	6.7	4.8	13.3	100

Tabl. II.12 : La matrice carrée de connexité des technologies d'entreprises basée sur la classification de leurs brevets, d'après Breschi et al , (2001) Research Policy 32, pp.69-87

2.2.3. L'approche méta-heuristique et sémantique

Des développements importants en scientométrie et bibliométrie surtout avec Callon (1993), et bien d'autres par la suite, en particulier Noyons et surtout Anthony Van Raan (1998), ont très rapidement « vulgarisé » le besoin de Text-Mining, principalement dans les méthodes de « Co-word Analysis » autrement dites « méthodes des mots associés ou co-occurrence ». Selon Van Raan [*« With Bibliometric mapping we are able to depict the cognitive structure of scientific fields. These cognitive, semantics-based structures act as “basic landscape” in visualizing the mutual relations and linkages between subfields and themes within science field, as well as the interdisciplinary relations with other fields. »*]. Sur les mêmes principes d'analyse du contenu des documents, beaucoup de spécialistes de l'économie de la connaissance vont implémenter des méthodes de cartographie (« mapping ») afin de mieux comprendre les « trajectoires technologiques », comme Hummon & Doreian (1998), puis Bart Verspagen (2000, 2001) afin d'illustrer dans un secteur technico-économique délimité (Energie – Piles – Batterie), la notion que G. Dosi (1982) appelle « la dynamique interne ». Et enfin Tom Magerman (2007) utilise cette même approche (co-occurrence sémantique) afin de mettre en évidence la relation entre brevet et publication.

Dans le cadre de ce travail, la classification hiérarchique prédéfinie est issue de l'activité de transfert de technologie (il ne s'agit pas ici, de trouver des classes). Cette classification peut être considérée comme une grille de lecture technico-économique, permettant ainsi de quantifier et de qualifier l'activité de production technologique du CNRS.

2.2.4. Principe de la méthode sémantique

La critique principale de la méthode basée sur le code CIB (Code International des Brevets ou IPC International Patent Code) est que cela ne reflète pas complètement l'arborescence des sciences et les trajectoires technologiques issus du tryptique fondamental des sciences: Biologie – Chimie – Physique. Cette codification historique est plus liée aux secteurs technico-économiques, qu'aux domaines technico-scientifiques. Par suite, grâce à l'apport des méthodes méta-heuristiques et sémantiques issues de la linguistique et surtout des travaux en bibliométrie, nous avons un moyen pour exprimer une similitude entre un document et une classe de technologie de façons moins binaires.

Les données de brevets ou thèmes de contrats de recherche utilisés sont issues d'une base de données et des classes de technologies orientées « Transfert de Technologie » (c'est-à-dire avec des classes de technologies pré-définies selon le (tabl.3) ci après).

Les différentes étapes de ce travail sont:

- Etape 1. Choix d'une classification de technologie
- Etape 2. Optimisation des classes (Thématiques, Mot-clés, Brevets)
- Etape 3. Extraction des données et structuration
- Etape 4. Calcul de la matrices de similitudes: Technologie/ Technologie
- Etape 5. Représentation graphique

Etape 1. Choix de la classification des technologies

Le choix de la classification des technologies est primordial, en effet comme le sujet central de cette thèse est le transfert de technologie¹⁰⁶, nous avons de choisi la classification utilisée dans le service de transfert de technologie du CNRS.

Cette classification est issue de l'expérience des transferts de technologies des laboratoires publics du CNRS avec des entreprises. La caractéristique principale de cette classification est la nature « scientifique » des classes, il n'existe pas par

¹⁰⁶ Tous les sites des TLO (Transfer Licensing Office) en particulier des universités américaines présentent une classification de leur offre technologique de brevets.

exemple de classes technico-économiques de type “Transport” ou “Textile”, ou “Agro-alimentaire”, ou encore toutes les classes des « technologies-clés » définies par l’ANVAR. Cette classification est déterminée par les applications identifiées et déclarées dans les brevets du CNRS.

Pour les brevets cette classification est divisée en 10 catégories principales, chaque catégorie étant sub-divisée en 10 sous-catégories de technologies (tabl.3)

<u>HEALTH/THERAPEUTIC</u>	<u>DEVICES AND INSTRUMENTS</u>	/IMAGING_DEVICES /LABORATORY_DEVICES /MANUFACTURE_DEVICES /MEDICAL_DEVICES /PURIFICATION_DEVICES /MEASURING_INSTRUMENTS /ELECTROPHORESIS /MICROSCOPY /SENSORS
/CELLULAR_THERAPY /DISEASE_MODELS /DRUG_DELIVERY /GENE_THERAPY /SMALL_MOLECULES /VACCIN_ADJUVANT /PROTEIN/PEPTIDES_THERAPY /SYNTHETIC	<u>ELECTRONIC/COMMUNICATION</u>	/COMPONENT /MEMORY/DATA_STORAGE /PROCESS /TRANSMISSION /IMAGE_PROCESSING /DATA_SECURITY /DISPLAY /ANTENNA/RADAR/RF /ARTIFICIAL_INTELLIGENCE/EXPERT_SYSTEM
<u>MEDICAL DIAGNOSTIC</u>	<u>OPTICS</u>	/COMPONENT /HOLOGRAPHY /OPTICAL_MATERIAL /LASER /OPTICAL_FIBER
/ANTIBODY /ARRAY /BIOCHIP /IMAGING	<u>MATERIAL</u>	/BIOMATERIALS /COATING_AND_THIN_FILM /CERAMIC /METAL /COMPOSITE /POLYMER /GLASS /SUPERCONDUCTOR /SURFACE_TREATMENT /SYNTHESIS/MANUFACTURING /ANALYSIS /NANOMATERIALS/OBJECTS
<u>BIOTECHNOLOGY AND RESEARCH TOOLS</u>	<u>ENERGY/ELECTRICITY/MECHANICS</u>	/ALTERNATIVE_ENERGY /BATTERY_AND_FUELCELLS /COMBUSTION /MOTORS /HIGH_POWER_COMPONENTS /MECHANICS /NUCLEAR_ATOMS
/ANIMAL_MODELS /ANTIBODYKIT /BIOCHIP/MICROARRAY /BIOINFORMATICS /CELL_LINES /EXPRESSION_SYSTEMS /LABORATORY_PRODUCTS /PROTOCOLS /PROTEIN/DNA/RNA_SYNTHESIS AND SEQUENCING /SCREENING_SYSTEMS /MANUFACTURING_PROCESS /GENERAL_BIOLOGY /HEALTH_CARE/COSMETICS /NANOBIOTECHNOLOGY /VETERINARY		
<u>AGROSCIENCE- FOOD</u>		
/ACTIVE_INGREDIENT/EUCUTOR /PESTICIDES/HERBICIDES /PLANTS /PROCESS_MANUFACTURING /QUALITY_CONTROL /TRANSGENIC_PLANTS		
<u>CHEMISTRY AND ENVIRONMENT</u>		
/CATALYST /FILTRATION/SEPARATION /EMULSION /CHEMICAL_ENGINEERING /DEPOLLUTION /FINE_CHEMISTRY /ADDITIVES		

tabl.II.13 : Classes de technologies utilisées pour les brevets (spécifiques de l’activité de transfert, source : www.frinnov.fr). Ces classes ont été définies par l’expérience de plus de 20 ans d’échanges avec le milieu industriel et économiques par la filiale de courtage de technologie du CNRS : FIST sa.

Etape 2. Optimisation des classes

Il s’agit ici de déterminer le « profil lexico-sémantique » de chaque classe ou sous-classe. La méthode utilisée pour délimiter et affiner, les classes de technologie a été assez pragmatique. En utilisant à la fois l’approche méta-heuristique du moteur PERTIMM¹⁰⁷ pour déterminer les classes optimales de technologies, et des méthodes

¹⁰⁷ PERTIMM est le moteur logiciel de la société PERTIMM sa. Ce logiciel est un analyseur sémantique qui permet par exemple de quantifier la similitude entre deux documents, ou encore d’extraire automatiquement les mots clés d’un document.

statistiques basées sur le TDIDF afin d'évaluer la qualité des classes (Griffiths – 2001). Une indexation manuelle des mots-clés de chaque secteur, aurait été fastidieuse, nous avons utilisé une indexation par le choix de document maître pour chaque classe et sous-classe (définis par un expert du domaine) et utilisé le méta-moteur PERTIMM afin d'en extraire les racines et de rejeter les mots non significatifs¹⁰⁸. Le profil (dictionnaire incrémental hiérarchique) ainsi déterminé pour chaque classe et sous-classe a été ensuite testé et validé par des essais de classification avec des brevets connus et déterminants.

Pour indexer un nouveau document, le dictionnaire du vocabulaire significatif est construit de façon incrémentale au fur et à mesure de la rencontre de nouvelles racines. Nous avons choisi le mode supervisé de classification en demandant à un expert de choisir un ou plusieurs documents représentatifs du vocabulaire de chaque cluster.

Exemple de “Topics” validés pour la classe : Santé - Thérapeutique

ADN, affinité, allergie, amorce, amplification, anticorps, antigène, artefact, bactérie, bio-défense, bioinformatique, biologie cellulaire, biologie moléculaire, biomédical, cancer, cardiologie, cellule, cible, clinique, clonage, codant, code, collagénase, compatibilité, cosmétique, couplage, criblage, diagnostic, dispo médical, échantillon, encapsulation, enzyme, épidémiologie, essai, génétique, génomique, greffe, hormone, immunoanalyse, immunologie, in situ, in vitro, in vivo, marqueur, médecine, médical, médicament, microbe, microbiologie, molécule, obésité, œstrogène, oncologie, patch, PCR, plate-forme, prévention, protéine, protéomique, protocole, quantification, Santé, sequence, souche, spectre, stable, test clinique, thérapeutique, thérapie, thérapie génique, toxicologie, vaccin, virus, nosocomiale, microorganisme, accumulation, activité, activateur, administration, alzheimer, aminé, amniocentèse, arn, biochimie, biodisponibilité, biomolécule, biotechnologie, cancerogénèse, cardiovasculaire, cartographie, cérébral, cinétique, clinique, cofacteur, cognitif, cohorte, complexe, croissance, culture, déficience, dérégulation, dissection, embryon, empreinte, endocrinologie, eucaryote, excision, expression, facteur, fœtus, fraction, génome, génotoxique, hasard, hématologie, hématopoïèse, homéostasie, hépatite, immunotoxicité, imagerie, incision, infection, inhiber, initiateur, insuline, intégrité, interaction, létale, liaison, ligand, lymphocytes, marquage, mélanome, membrane, messenger, métabolisme, mimer, modèle, multicentrique, murin, mutation, myopathie, neurodégénératif, neurone, neuroscience, neurotransmetteur, nodal, nosologie, nucléaire, nucléotide, paludisme, parkinson, pathologie, personnalité, pharmacogénomique, pharmacologie, plasticité,

¹⁰⁸ On distingue dans le l'indexation automatique de documents :

- . Mots du domaine : mots qui présentent une signification importante pour le domaine
- . Mots secondaires : isolés, mots peu porteurs mais associés à un mot du domaine ils sont importants
- . Co-occurrences : mots fréquemment utilisés au voisinage d'un mot du domaine
- . Mots rejetés : n'apportent aucune information significative (ex : de,le,un, alors, avant..)
- . Mots ignorés : mots considérés non significatifs dans le cas particulier du domaine concerné

phénotype, physiologie, physiopathologie, polymérase, précocité, précurseur, prénatal, préservation, promoteur, protide, psychobiologie, psychotique, récepteur, récessif, recombinant, régulation, réparation, réplication, réseau, sang, séparative, séquençage, sida, solubilité, stress, synapse, syndrome, synthèse, transcription, tranfection, vecteur.

Topics secondaires liés : arthèse, bio-capteur, biocompatibilité, bioinformatique, biomécatronique, bio-MEMS, bionanotechnologie, biophotonique, bioprocess, bio-réacteur, culture, détecteur, détection, diagnostic, dialyse, endoscopie, fluorescence, gaz, imagerie, infra son, infrarouge, lab on chip, laser, lithotripteur, micro instrumentation, microscopie, multimode, oligopuce, optique, organe artificiel, plate-forme, prothèse, rayons X, RMN, santé humaine, scanner, SNC, stérilisation, synthétiseur, télé-médecine, thérapeutique, ultra - sons, ultra violet, implantable, dentaire, fluide, gaz, hemodialyse, stérilisation, perfusion, transfusion, ostéodensitométrie, mammographie, mammaire, air, contamination, déchet, inspection, nébulisation, accélérateur, ablation, autofluorescence, biochistallographie, bioprocasseur, capture, chromatographe, coupage, cyclotron, EEG, hifu, identification, invasif, IRM, irradiation, lithotripteur, logiciel, nécrose, ophtalmologie, polygraphe, profilage, protonthérapie, prototype, puits, purification, séparation, sonde, spectromètre, spectrophotomètre, statistique, synchroton, test, tomographie, vidéomicroscopie, visionique, visualisation.

Ce profil sémantique est obtenu par criblage par le logiciel Pertimm des occurrences des brevets du CNRS puis validation par des groupes d'experts du domaine (en l'occurrence ici les chargés d'affaires spécialisés de l'agence de valorisation du CNRS : FIST sa, qui ont validé chaque occurrence des profils de classe). Outre l'aspect thésaurus, il faut préciser que chacun de ces mots-clés est affecté d'un coefficient dans le cluster considéré (par exemple ADN dans le domaine Santé a un coefficient plus faible que dans le domaine Biotechnologie), et d'une corrélation avec d'autres mots (co-occurrence).

En plus de cette correspondance des codes CIB des brevets avec l'ensemble des codes CIB décrivant chaque classe, nous allons aussi introduire la notion de "similitude" sémantique entre un brevet et le profil sémantique de chaque classe de technologie. Dans ce travail nous utiliserons un outil appelé "PERTIMM"¹⁰⁹ qui permet d'évaluer un indice de similitude entre documents, ou entre un document et une classe (ou "cluster") qui est défini (profilé) par son propre corpus (thèmes, mot-clés, règles, document maître).

Par suite la variable de co-occurrence [Pni] d'un brevet vis à vis d'une technologie dans la matrice [Brevet / Technologie], devient dans ce contexte un indice de similarité ou similitude.

¹⁰⁹ Beaucoup d'outils existent afin de déterminer la « similarité » entre documents : RAINBOW, ARROW, CROSSBOW sur le site mccallum@cs.cmu.edu, ou des fonctions de métamoteurs comme Lingway ou Pertimm.

L'outil Pertimm est à la fois un analyseur sémantique et un classifieur.

Etape 3 : Les données

Pour la première partie de l'étude, les données de bases sont les brevets publiés actifs du CNRS, comme décrit dans le chapitre 1, à partir du système d'information interne (MIS Brevet et Legal Suite) et de l'extraction en mode PDF des textes de brevets (Français et Anglais) sur des serveurs publics (espacenet) et privés (Qpat)¹¹⁰

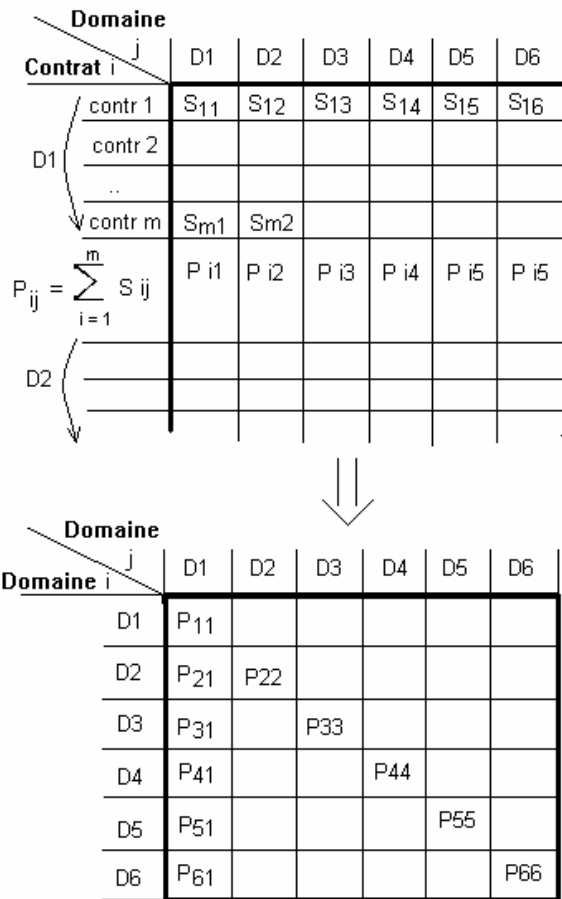
Pour les contrats de collaboration de recherche, les données sont issues d'une enquête interne de la DPI, en corrélation avec le système d'information interne du CNRS.

Etape 4 : Calculer la matrice de similitudes : [Technologie, Technologie]

Selon la méthode de Breschi & Malerba, pour diagonaliser la matrice Q [Document, Catégorie], qui contient donc la « similarité » d'un document avec une catégorie technico-scientifique, il faut regrouper les lignes de la matrice Q, documents « d » (brevet ou contrat) selon leur thème principal du domaine « D », ou leur catégorie principale dans le cas des brevets, en cumulant les similitudes.

Le résultat est donc une matrice carrée des connexités entre domaines D.

¹¹⁰ QPAT est l'application d'accès par requêtes aux brevets de la société QUESTEL. Les brevets et extensions dans cette base de données sont regroupés par famille autour du brevet princeps, ce qui évite de recompter plusieurs fois le même brevet.



On obtient ainsi une matrice carrée symétrique, constituée des « liens » ou « distances » relatives entre catégories technico-scientifiques.

Etape 5 : Visualisation graphique

La matrice de similitude (Document ,Document) est une matrice carrée et symétrique de dimension $(n \times n)$, où chaque document se trouve donc « relié » à $n - 1$ document, et donc on doit résoudre une matrice contenant $[n \times (n-1) / 2]$ « vecteurs ».

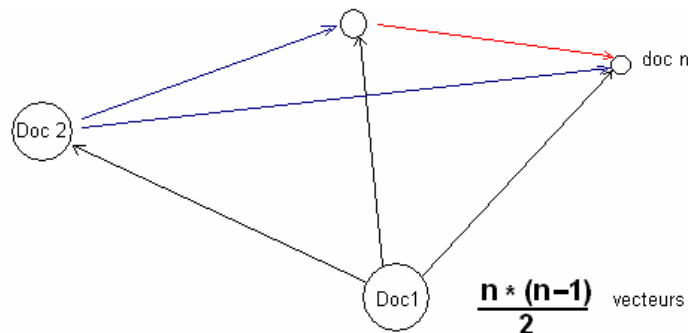


Fig.II.14 : Chaque élément est relié à $(n-1)$ documents. Le nombre total de liens (unidirectionnel) est donc $[n * (n-1) / 2]$ (symétrique)

Par exemple dans le cas de cette étude, pour cartographier les « sujets » des contrats de collaboration du CNRS, soit environ **6080** « texte de sujets » de contrats pour l'année **2006**, exploitables, cela reviendrait à positionner environ 18 480 160 vecteurs...

La résolution d'une telle matrice (*ie* la recherche de vecteurs propres) est quasiment « impossible. Par ailleurs, les résultats seraient probablement décevants, car pour converger vers une solution toute « théorique », les systèmes « doivent éliminer » les éléments gênants (les résidus...). Par suite, pour simplifier le calcul, les hypothèses de travail sont:

- a) Le choix d'une référence absolue (donc des vecteurs propres empiriques en fixant une classification pré-définie) pour les brevets la classification sera la classification des secteurs de transfert de technologie, et pour les contrats ce sera l'organisation et la définition des départements scientifiques du CNRS.
- b) La réduction de la solution à un espace de degré 2 ou 3, afin de positionner chaque élément.

Nous présentons dans les paragraphes suivants, l'application directe de ces méthodes de calcul de connexité des technologies sur les brevets et sur les contrats de collaboration de recherche du CNRS.

2.3 Cartographie des brevets

2.3.1. Résultats selon la méthode “Statistique”

Selon la méthode (basée sur le CIB¹¹¹), avec $P_{ni} = 1$ si le brevet est lié (related) à une technologie i , en fait si un des codes CIB affecté à un brevet est similaire à un code CIB de la liste des codes CIB décrivant une classe de technologie.

Donc on peut ainsi (Di Biaggio 2005) constituer la matrice des brevets d'un organisme avec un ensemble de technologie décrivant un secteur technico-économique (comme par exemple Agro-alimentaire, ou Electronique et communication) et évaluer le « profil » technico-économique de la base de connaissance d'un organisme.

¹¹¹ L'approche du calcul de la base de connaissance à partir des brevets (selon Jaffe- 2000 et Breschi -2001) s'appuie sur le Code International des Brevet (ou IPC International Patent Code) qui propose une classification technique des brevets basée sur une lettre clé (exemple C= Chimie) et un chiffre de sous-classes sur 2 digits.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ			
	AgroScience							CHEMISTRY							INSTRUMENTS							Electronic Communication																
patents	Agro_Food/Other	Agro_Food/Active_Ingredient_Elicitor	Agro_Food/Plants	Agro_Food/Pesticides_Herbicides	Agro_Food/Process_Manufacturing	Agro_Food/Quality_Control	Agro_Food/Tangenic_Plants	Chemistry_Environment/Additives	Chemistry_Environment/Catalist	Chemistry_Environment/Chemical_engineering	Chemistry_Environment/Emulsion	Chemistry_Environment/Environment_Depollution	Chemistry_Environment/Fine_chemistry	Chemistry_Environment/Other	Devices_and_Instruments/Electrophoresis	Devices_and_Instruments/Imaging_Devices	Devices_and_Instruments/Laboratory_Devices	Devices_and_Instruments/Manufacture_Devices	Devices_and_Instruments/Measuring_Instruments	Devices_and_Instruments/Medical_Devices	Devices_and_Instruments/Microscopy	Devices_and_Instruments/Other	Devices_and_Instruments/Purification_Devices	Devices_and_Instruments/Sensors	Electronic_Communication/Antenna_Radar_RF	Electronic_Communication/Artificial_Intelligence_Expert_System	Electronic_Communication/Component	Electronic_Communication/Data_Image_Processing	Electronic_Communication/Data_Security	Electronic_Communication/Display	Electronic_Communication/Memory_Data_Storage	Electronic_Communication/Other	Electronic_Communication/Process	Electronic_Communication/Transmission	Energy/Electricity_Mechanics/Alternative_Energy			
nt_elicitor/0155872.htm	1																																					
nt_elicitor/2768735.htm	1											1																										
nt_elicitor/2832409.htm	1	1						1																														
ood/other/2678943.htm	1	1																																				
ood/other/2728260.htm			1																																			
ood/other/2759377.htm			1																																			
ood/other/2771432.htm																																						
ood/other/2793185.htm	1													1																								
ood/other/2821243.htm	1																																					
ood/other/2828378.htm	1											1																										
ood/other/2834519.htm	1																																					
ood/other/2840932.htm					1			1							1																							
ood/other/2841437.htm			1																																			
ood/other/2841556.htm	1																																					
ood/other/2852247.htm	1																																					

fig. II.13 Matrice [Brevet/Technologie] selon Breschi et Di Biaggio: Sur chaque ligne un brevet, et sa « similitude » Pni = {0 ou 1} avec une technologie i (en colonne).

En regroupant les brevets (lignes) selon leur classe principale puis en sommant tous les indices de similarité correspondant à une catégorie principale, on obtient la matrice carrée des couples de technologies et la valeur représentant la « connexité » de chaque couple de technologie.

Symmetric Method	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.Agro_Sciences-Chemistry	100.0	23.3	1.9	2.8	1.3	21.1	8.2	28.6	1.7	36.2
2.Chemistry / Environment	23.3	100.0	6.3	2.6	17.3	12.0	27.7	4.9	3.7	14.2
3.Instruments / Devices	1.9	6.3	100.0	13.5	16.4	2.2	15.6	6.3	28.4	6.0
4.Electronic/communication	2.8	2.6	13.5	100.0	17.7	1.3	10.6	2.7	25.3	1.3
5.Energy/electricity/mechanics	1.3	17.3	16.4	17.7	100.0	0.4	35.7	2.6	6.8	2.0
6.Health / therapeutic	21.1	12.0	2.2	1.3	0.4	100.0	8.8	35.1	1.8	62.4
7.Material	8.2	27.7	15.6	10.6	35.7	8.8	100.0	2.2	15.8	5.0
8.Medical_diagnostic	28.6	4.9	6.3	2.7	2.6	35.1	2.2	100.0	2.0	45.4
9.Optics	1.7	3.7	28.4	25.3	6.8	1.8	15.8	2.0	100.0	1.9
10.Biotechnologies –Tools	36.2	14.2	6.0	1.3	2.0	62.4	5.0	45.4	1.9	100.0

fig.II.14. Matrice carrée symétrique de la connexité des technologies des brevets du CNRS (en %)

Sur ces données on peut dresser une cartographie basée sur la distance (cosinus) entre les catégories principales de technologies. La figure 15 suivante représente les vecteurs principaux de connexité entre les technologies, selon Verspagen (1997) et Van Raan (1998) la distance cosinus calculée peut être considérée comme l'inverse d'une "distance" entre deux classes technologies. Par suite plus la valeur de connexité est grande plus les technologies sont « proches ». Cette représentation n'est pas

évidente à construire car le problème consiste à positionner 10 classes, les unes par rapport aux autres, soit prendre en compte 45 combinaisons possibles $(n*(n-1) / 2)$. Pour simplifier le problème, en observant les valeurs de la matrice on peut fixer un niveau de **pertinence à 15**¹¹², ce qui ramène à ne placer « que » 17 vecteurs, en partant des 3 catégories principales (Chimie, Santé, Energie).

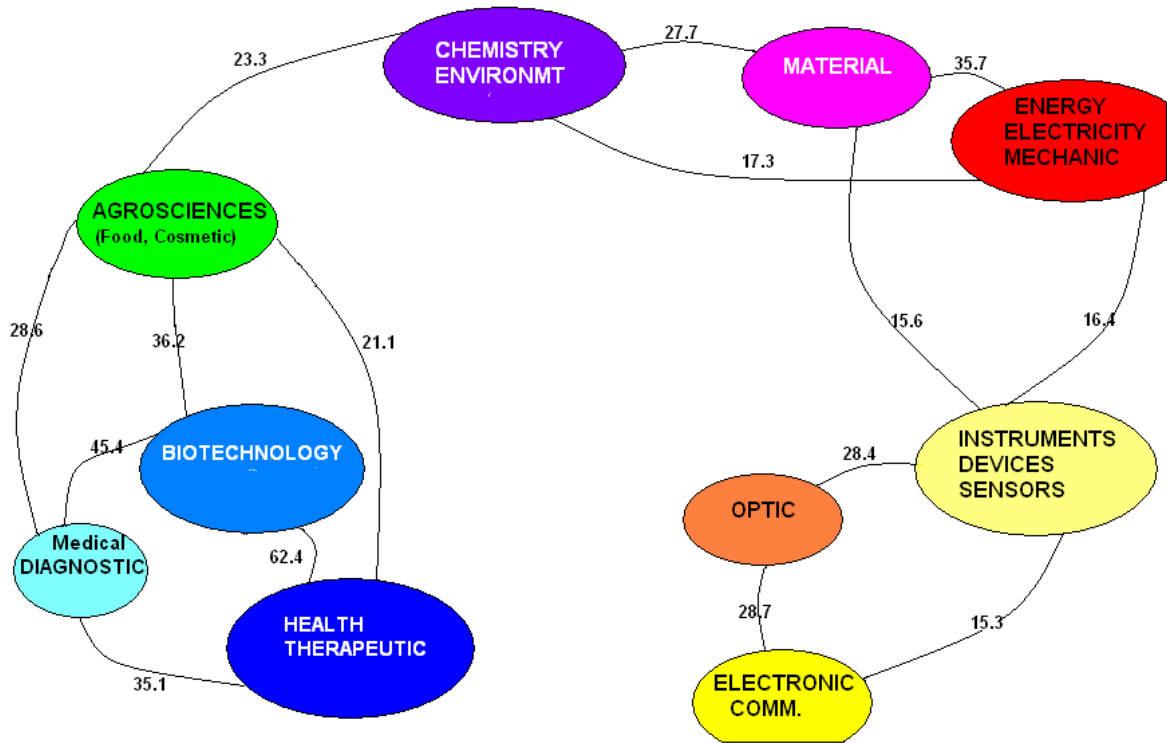


fig.II.15 Cartographie de la connexité des technologies des brevets du CNRS (en fixant un Cut-off à 15)

La cartographie des « connaissances » technologiques exprimées à travers les technologies des brevets (fig.15) montre une cohérence et une arborescence « naturelles » (Jaffe & Trajtenberg , 2002), où se distingue bien le tryptique basic des sciences : Biologie, Chimie et Physique dans une organisation où la Chimie est le « passage » entre les sciences de la Vie et les sciences de la Matière¹¹³. La cohérence générale du résultat cartographique confirme, si cela était nécessaire, que les brevets sont de bons indicateurs pour mettre en lumière la Base de Connaissances technologique d'un organisme de recherche, comme pour une société ou une industrie.

¹¹² Le Cut-Off de 15 a été fixé empiriquement, en examinant la « significativité » de la similitude exprimée : exemple : vecteur entre Agrosceience et Electronic/Communication qui peut être considéré comme peu significatif.

¹¹³ Historiquement le CNRS a été créé au départ (1939) autour de laboratoires de Chimie - Physique.

2.3.2. Résultat selon l'approche Sémantique

Chaque brevet est donc "comparé" avec le "profil" de chaque classe de technologie P_{ni} représente donc un indice de similarité $\varepsilon \{0 \text{ to } 100\%$ } (similarité ou similitude semble être deux termes équivalents, utilisés indifféremment, **Kontostathis** -2002) entre un brevet **n** avec une technologie **i**, la matrice de similarité résultante est :

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ		
	AgroScience								CHEMISTRY								INSTRUMENTS								Electronic Communication												
patents	Agro_Food/Other	Agro_Food/Active_Ingredient_Elicitor	Agro_Food/Plants	Agro_Food/Pesticides_Herbicides	Agro_Food/Process_Manufacturing	Agro_Food/Quality_Control	Agro_Food/Tansgenic_Plants	Chemistry_Environment/Additives	Chemistry_Environment/Catalyst	Chemistry_Environment/Chemical_engineering	Chemistry_Environment/Emulsion	Chemistry_Environment/Environment_Depollution	Chemistry_Environment/Fine_chemistry	Chemistry_Environment/Other	Devices_and_Instruments/Electrophoresis	Devices_and_Instruments/Imaging_Devices	Devices_and_Instruments/Laboratory_Devices	Devices_and_Instruments/Manufacturing_Devices	Devices_and_Instruments/Measuring_Instruments	Devices_and_Instruments/Medical_Devices	Devices_and_Instruments/Microscopy	Devices_and_Instruments/Other	Devices_and_Instruments/Purification_Devices	Devices_and_Instruments/Sensors	Electronic_Communication/Antenna_Radar_RF	Electronic_Communication/Artificial_Intelligence_Expert_System	Electronic_Communication/Component	Electronic_Communication/Data_Image_Processing	Electronic_Communication/Data_Security	Electronic_Communication/Display	Electronic_Communication/Memory_Data_Storage	Electronic_Communication/Other	Electronic_Communication/Process	Electronic_Communication/Transmission	Energy_Electricity_Mechanics/Alternative_Energy		
nt_elicitor/0155872.html		7						4																													
nt_elicitor/2768735.html		33								5	3		5																								
nt_elicitor/2832409.html		15	7					5																													
ood/other/2678943.html	18	6																																			4
ood/other/2728260.html			8					10																													
ood/other/2759377.html		8																																			
ood/other/2771422.html																																					
ood/other/2793165.html		11									16			9																							
ood/other/2821243.html		9					4																														
ood/other/2828378.html		14									21	5																									
ood/other/2834519.html		9	6	7			11																														
ood/other/2840922.html		7			11		10							8																							
ood/other/2841437.html		5																																			
ood/other/2841556.html		18																																			
ood/other/2852247.html		6																																			

fig.II. 16 Matrice [Brevet / Technologie] dans une approche sémantique : On évalue pour chaque brevet n (ligne) sa similitude sémantique avec le « profil » sémantique de chaque classe de technologie i (colonne)

A l'intersection de chaque ligne (brevet n) et chaque colonne (technologie i) le système d'analyse Pertimm, donne la similitude sémantique Ψ_{ni} (valeur continue de 0 à 1).

De la même manière que dans la méthode précédente, en regroupant les brevets (lignes) selon leur classe (CIB) principale et en cumulant les valeurs de similarité des lignes correspondantes (pondéré par la taille de chaque classe) on obtient la matrice carrée suivante :

Semantic Method	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Agro_Sciences	0.0	7.4	0.7	0.0	0.4	6.8	6.5	23.7	4.2	14.5
Chemistry / Environment	13.8	0.0	3.5	2.0	21.0	4.0	18.9	2.4	4.6	8.6
Instruments / Devices	2.3	2.2	0.0	23.0	14.5	0.3	18.5	4.8	25.6	5.3
Electronic/communication	2.4	0.6	9.7	0.0	13.2	0.0	13.6	0.7	31.9	0.2
Energy/electricity/mechanics	1.0	19.6	8.7	20.5	0.0	0.0	13.7	0.3	6.2	2.1
Health / therapeutic	23.1	9.3	1.7	2.2	0.6	0.0	6.9	24.9	0.0	41.5
Material	8.0	32.0	10.4	15.3	38.6	9.6	0.0	0.8	20.0	4.6
Medical_diagnostic	7.3	0.6	4.9	0.6	6.3	10.8	1.1	0.0	1.9	22.0
Optics	0.4	0.7	49.3	25.9	3.1	0.1	11.0	0.7	0.0	0.4
Biotechnologies -Tools	32.9	20.3	9.6	1.1	0.5	61.5	4.2	36.7	4.1	0.0

fig.II.17 Matrice carrée de similarité sémantique des technologies (en %)

Le “méta-moteur” sémantique utilisé (Pertimm text-mining program) montre une relation non symétrique, hiérarchisée entre les classes de technologie, qui est fondamentalement induite par la hiérarchisation et lemmatisation¹¹⁴ des mots, et la pondération des éléments du corpus décrivant une classe.

De même que pour la méthode basée sur les CIB, on peut cartographier la connexité de la base de connaissance, en partant des mêmes hypothèses, et en gardant le même seuil de coupure («Cut-off») de similarité (Fig. 18)

On note qu’avec cette approche on trouve le même positionnement des classes principales de technologie mais avec des relations plus complexes.

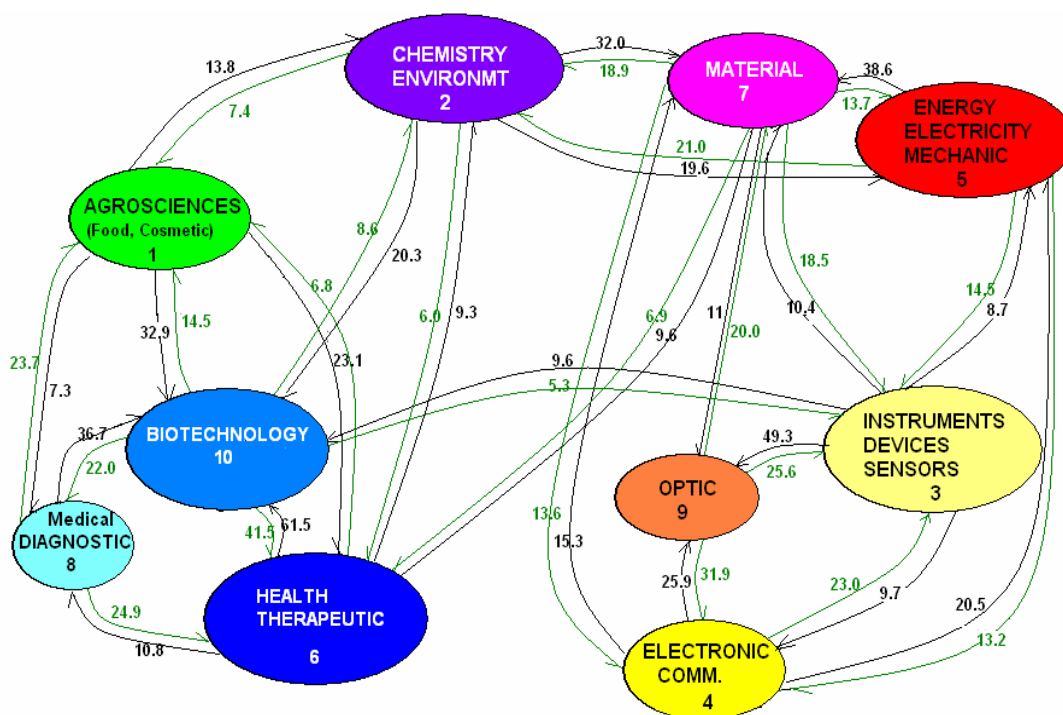


fig.II. 18: Connexité des technologies du CNRS selon l’approche sémantique (Cut-off 15.0). Notre approche rend visibles plus de relations (connexité) entre les technologies.

¹¹⁴ Lemmatisation : Regroupement des mots et ses déclinaisons (exemple : Gène, Génotype, Génétique)

2.3.3 Discussion

Comme pour **Verspagen (1997)**, **Engelmans et Van Raan (1991)**, et comme attendu par **Breschi (2001)**, et **Dibiaggio (2005)**, introduire une quantification sémantique issue de systèmes de classification méta-heuristique pour prendre en compte le contenu et l'objet des brevets, révèle encore plus de liaisons technologiques et de convergences entre technologies, selon Smith (2002), «*la complexification des bases de connaissance de différents secteurs conduit [ndlr : devrait conduire] à des stratégies élaborées de mobilisation et d'assemblage des connaissances pour un projet d'innovation* »¹¹⁵. Cet aspect constitue un des facteurs majeurs d'asymétrie d'information qui est et doit être pris en compte dans le transfert de technologie issu de la recherche publique et sur laquelle nous reviendrons dans le chapitre trois et dans les conclusions.

C'est le cas de façon évidente entre la biotechnologie et l'instrumentation, mais moins évidente entre la science des matériaux et les autres technologies. La cartographie des liens entre technologies (fig.16) peut être assimilée à une cartographie des connaissances exprimées à travers les brevets déposés du CNRS. Cette cartographie présente clairement les connaissances explicites et **surtout implicites** de l'organisme. La comparaison des 2 cartographies :

- a) Beaucoup plus de liens significatifs entre technologies
- b) la dissymétrie de ces liens (hiérarchisation)¹¹⁶

La cohérence des résultats démontre l'utilité fondamentale de la cartographie en amont de toute gestion de la connaissance. Selon Pachulski (2000), Aubertin et Aschenbrenner (2002) [*les organisations désireuses de gérer leur patrimoine de connaissances doivent en faire une analyse fine afin de déterminer, dans leur stratégie, quelles sont les connaissances qu'elles doivent pérenniser, développer, abandonner.. La cartographie devient un outil d'aide à la décision*]

¹¹⁵ Smith, K. What is the 'Knowledge Economy'? Knowledge Intensity and Distributed Knowledge Bases. The United Nations University, INTECH Discussion Paper Series, 2002-6.

¹¹⁶ La non-symétrie des relations entre 2 technologies est imputable à de nombreuses raisons, la première et principale provient de la hiérarchisation des corpus décrivant les classes (un même mot-clé se trouvant dans 2 classes n'ont pas, bien sûr, la même pondération et importance), la seconde raison provient implicitement de l'épistémologie et de l'arborescence hiérarchisée des sciences (Jaffe et Trajtenberg -1993)

La comparaison entre les 2 résultats (Fig. II.15 et II.18) montre que la méthode sémantique est pertinente pour rendre visible les liaisons entre domaines scientifiques connues comme Biotechnologie et Instrumentation, ou Matériau et Santé ou encore Santé et Agrosceience.

Au niveau cartographique il nous a semblé intéressant d'envisager une représentation spatiale de ces clusters.

2.3.4. D'un espace sémantique à un espace géométrique 3D

La représentation graphique des liens (distances) entre clusters (fig. 15 et fig. 16) a été établie assez arbitrairement¹¹⁷ en positionnant d'abord les clusters principaux (Chimie, Biologie, Physique) entre-eux, puis en positionnant les clusters « associés ». Cette approche empirique bien que donnant une représentation graphique cohérente, ne respecte pas strictement toutes les distances calculées. Par suite en collaboration avec le Centre d'Etudes de Réalité Virtuelle de l' Ecole Nationale d'Ingénieur de Brest (CERV- ENIB)¹¹⁸ nous avons travaillé sur une métaphore de visualisation graphique 3D des ces clusters sémantiques dans un espace technico-scientifique.

Méthodologie

Le but final est de transcrire ces informations (distances sémantiques) dans un repère 3D euclidien par suite positionner les catégories et les brevets dans un univers visuel en trois dimensions, de telle sorte que la proximité géométrique entre deux éléments soit l'interprétation visuelle d'une proximité sémantique et analytique entre ces deux éléments.

A cette fin, dans un premier temps, il s'agit de convertir les similarités sémantiques en distances géométriques. Cette conversion est loin d'être triviale, car l'existence d'une correspondance entre l'espace sémantique et l'espace géométrique n'est pas prouvée, et encore moins définie mathématiquement¹¹⁹.

Les valeurs de similarité sémantique étant comprises entre 0 et 1, la fonction de conversion utilisée était celle-ci : distance = échelle * (1.0 – similarité). Cette fonction permettait d'obtenir un squelette 3D stable, à quelques approximations.

¹¹⁷ L'algorithme de positionnement aurait nécessité de tester plus de 45 positions différentes des clusters en mode classique ($n \times n - 1 / 2$) et plus de 90 cas possibles en mode clusters sémantiques.

¹¹⁸ En particulier avec Pascal Redou – Maître de conférence en mathématiques appliquées à l'ENIB

¹¹⁹ Selon A. Van Raan

Cependant, cette fonction de conversion ne respecte néanmoins pas la proportionnalité inverse. En effet, si un cluster A est deux fois plus proche sémantiquement du cluster C que le cluster B, celui-ci ne sera pas deux fois plus loin géométriquement, ce qui risque de gêner l'interprétation visuelle de l'utilisateur. Une des solutions proposées sera la déformation locale permettant d'assurer la cohérence visuelle localement, sans annuler la cohérence mathématique. Nous avons adopté deux approches :

a. Positionnement basé sur l'algorithme de Newton-Raphson

Le principe de cette première méthode est de placer les éléments un par un, en fonction de leur distance géométrique avec les éléments déjà placés. Ces distances géométriques sont assimilées à un ensemble de contraintes, dont la position permettant de respecter ces contraintes sera calculée par l'algorithme de Newton-Raphson.

Quatre distances géométriques par rapport à quatre points positionnés dans un espace à trois dimensions sont nécessaires et suffisants pour placer ce nouveau point dans l'espace. Notre solution est alors l'intersection des quatre sphères ayant pour rayon la distance géométrique correspondante. Le système d'équation se révélant insolvable analytiquement, nous avons opté pour une méthode de résolution numérique.

L'algorithme de Newton-Raphson a permis alors de résoudre les systèmes à trois équations, et de converger vers une des deux solutions possibles. Dès lors, la quatrième équation validait soit la solution donnée soit son symétrique par rapport au plan formé

b. Positionnement basé sur la métaphore des ressorts

La méthode présentée ci-dessus ne permettant pas cependant de modifier dynamiquement les éléments déjà positionnés. De plus, les erreurs de positionnement peuvent s'accroître exponentiellement, étant donné que l'on se base sur les positions des précédents éléments pour placer les nouveaux, sans recalculer ou revalider le positionnement des éléments placés. De plus, elle ne permet pas d'intégrer de nouvelles contraintes autres que la distance géométrique.

Une nouvelle méthode a donc été implémentée, en se basant sur le principe des ressorts. Cette fois-ci, on se base sur les distances entre les éléments et non plus sur les éléments eux-mêmes. Le concept est « d'accrocher » un ressort entre deux

éléments liés par une contrainte. Chaque ressort a une raideur et une longueur à atteindre, ces deux valeurs étant calculées à partir des contraintes géométriques et sémantiques définies précédemment.

Chaque ressort peut être considéré comme un agent, qui lorsqu'il a la main, observe sa longueur actuelle, calcule la rétraction ou l'élongation qu'il peut engendrer en une unité de temps, et effectue cette action. Un agenceur temps réel donne la main chacun leur tour à tous les ressorts présents dans notre univers.

Le résultat visuel est un ensemble d'éléments (brevets et clusters) déplacés constamment par tous les ressorts, et ce squelette se stabilise au fur et à mesure des itérations (entropie dynamique), chaque ressort arrivant à atteindre la longueur désirée. La convergence vers un squelette stable est due au fait qu'il y ait une hiérarchisation des contraintes à respecter, ce qui a été traduit par les différentes raideurs des ressorts.

Un autre intérêt de cette méthode est de permettre des déformations locales du squelette. Les raideurs des ressorts situés près de la caméra sont ainsi modifiés afin de respecter telle ou telle contrainte, ou simplement d'agrandir la zone visualisée (méthode du fish-eye).

Résultats

La matrice de similitude entre clusters (fig. 17), avec donc l'ensemble de distances a été traitée selon cette méthodologie. Cependant afin de converger plus rapidement vers un résultat, les distances sémantiques sont affectés d'un coefficient d'élasticité (analogie avec un ressort) et une limite de rupture. Le résultat visuel (fig. 19) est un ensemble d'éléments (clusters de brevets) déplacés constamment par tous les ressorts, et ce squelette se stabilise au fur et à mesure des itérations, chaque ressort arrivant à atteindre la longueur désirée. La convergence vers un squelette stable est due au fait qu'il y ait une hiérarchisation des contraintes à respecter, ce qui a été traduit par les différentes raideurs des ressorts.

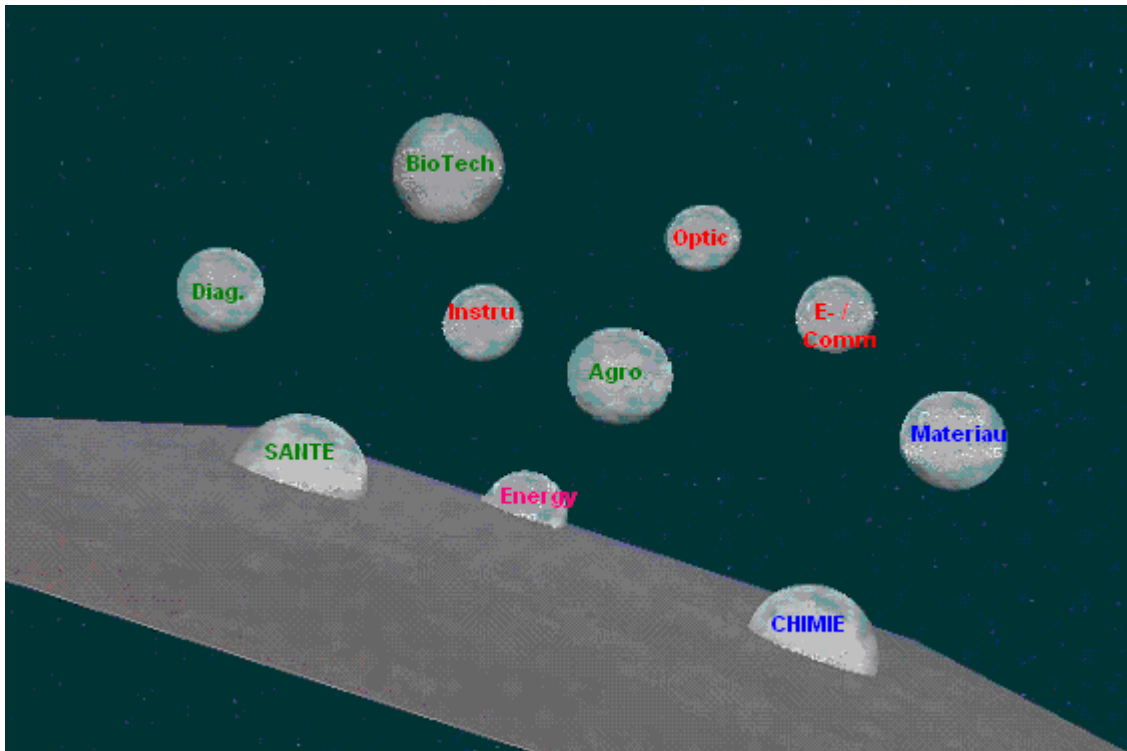


fig. II.19 : Positionnement des clusters technico-économiques des brevets du CNRS selon une métaphore de visualisation spatiale 3D réalisé avec le CERV- ENIB.

Le résultat visuel (fig.10 et fig.19) possède une grande cohérence, par rapport à un plan scientifique constitué par les 3 clusters principaux que sont : CHIMIE, SANTE, ENERGIE/MECA.

Mais cette image en soi n'a que peu d'intérêt d'un point de vue technico-économique, car elle montre une organisation à un instant donné, il est évident qu'il serait plus intéressant d'y intégrer le temps et donc développer une clusterisation dynamique en temps réel, afin de visualiser les trajectoires, les tendances, les convergences et surtout les émergences de technologies nouvelles.

Dans les travaux suivants, nous présentons une application particulière de cette méthodologie, sur la notion d' « Inter-disciplinarité » au CNRS.

2.4 Cartographie des contrats de recherche

Dans la continuité du travail sur les brevets, l'objet du présent travail est l'application de la méthode de cartographie de la connaissance (Knowledge Base) sur l'ensemble de l'activité contractuelle des laboratoires du CNRS, et de comparer l'évolution de cette base de connaissance sur 2005 et 2006.

Les données portent sur l'enquête « Contrat » de tout type (ANR, Ministère, Europe, Entreprise, Consultance, CIFRE) mené par la DPI, en 2005 et 2006 (décrites dans le chapitre sur les chiffres du CNRS). Cette importante enquête a été adressée à tous les laboratoires du CNRS (unité propre, mixte ou associé), avec un taux de réponse de plus de 70%.

Notre étude s'intéresse aux sujets de ces contrats de recherche qui n'ont pas toujours été fournis :

Sur 2005 : on a 7363 contrats dont 5996 (81%) ont été exploitables

Sur 2006 : on a 6755 contrats dont 6080 (90%) ont été exploitables

Il faut noter que le domaine EDD (Environnement Développement Durable) a été créé seulement en 2006.

2.4.1. Méthodologie

Nous nous sommes donné une « grille de lecture » pour l'étude des sujets des contrats de recherches, en prenant la catégorisation et définition de l'organisation des départements scientifiques du CNRS, caractérisée par les mots-clés et définition des domaines de compétences des sections scientifiques selon la « classification suivante » :

DOMAINE 1: SCIENCES et TECHNIQUES INFORMATION et INGINIERIE (ST2I)

- 1.1 Atomes Molécules Emissions
- 1.2 Communication et Traitement Information
- 1.3 Composant, Electronique, Electricité
- 1.4 Mécanique et Matériaux

DOMAINE 2: CHIMIE (DC)

- 2.1 Supra Moléculaire
- 2.2 Chimie coordination
- 2.3 Chimie des Matériaux
- 2.4 Chimie Biologique

DOMAINE 3: SCIENCES DU VIVANT (SDV)

- 3.1 Biologie Intégrative
- 3.2 Génétique, génomique et expression des gènes
- 3.3 Biologie Structurale, Pharmacologie, Enzymologie
- 3.4 Neurosciences
- 3.5 Immunologie - Biologie Cellulaire

DOMAINE 4 : MATHEMATIQUES et PHYSIQUE et PLANETE et UNIVERS (MPPU)

- 4.1 Mathématiques et Physique
- 4.2 Planète et Univers

DOMAINE 5 : ENVIRONNEMENT ET DEVELOPPEMENT DURABLE (EDD)

- 5.1 Biodiversité
- 5.2 Homme et Milieu
- 5.3 Développement Ingénierie Durable

DOMAINE 6 : SCIENCES DE L'HOMME ET DE LA SOCIÉTÉ (SHS)

- 6.1 Histoire - Philosophie
- 6.2 Sociologie
- 6.3 Économie et Gestion
- 6.4 Archéologie

De la même manière que pour les classes de technologies de brevets, chaque domaine et sous domaine scientifique a été défini par son profil « lexico-sémantique », à partir de la définition des compétences des différentes sections et commissions scientifiques du CNRS :

Sections	Intitulés des sections	Département scientifique pilote
<u>1</u>	Mathématiques et interactions des mathématiques	<u>Mathématiques, physique, planète et univers (MPPU)</u>
<u>2</u>	Théories physiques : méthodes, modèles et applications	<u>Mathématiques, physique, planète et univers (MPPU)</u>
<u>3</u>	Interactions, particules, noyaux, du laboratoire au cosmos	Physique Nucléaire et Physique des Particules (IN2P3)
<u>4</u>	Atomes et molécules - Optique et lasers Plasmas chauds	<u>Mathématiques, physique, planète et univers (MPPU)</u>
<u>5</u>	Matière condensée : organisation et dynamique	<u>Mathématiques, physique, planète et univers (MPPU)</u>
<u>6</u>	Matière condensée : structures et propriétés électroniques	<u>Mathématiques, physique, planète et univers (MPPU)</u>
<u>7</u>	Sciences et technologies de l'information (informatique, automatique, signal et communication)	<u>Sciences et technologies de l'information et de l'ingénierie (ST2I)</u>
<u>8</u>	Micro et nano-technologies, électronique, photonique, électromagnétisme, énergie électrique	<u>Sciences et technologies de l'information et de l'ingénierie (ST2I)</u>
<u>9</u>	Ingénierie des matériaux et des structures - Mécanique des solides - Acoustique	<u>Sciences et technologies de l'information et de l'ingénierie (ST2I)</u>
<u>10</u>	Milieux fluides et réactifs : transports, transferts, procédés de transformation	<u>Sciences et technologies de l'information et de l'ingénierie (ST2I)</u>
<u>11</u>	Systèmes supra et macromoléculaires : propriétés, fonctions, ingénierie	<u>Chimie</u>
<u>12</u>	Architectures moléculaires: synthèses, mécanismes et propriétés	<u>Chimie</u>
<u>13</u>	Physicochimie : molécules, milieux	<u>Chimie</u>
<u>14</u>	Chimie de coordination, interfaces et procédés	<u>Chimie</u>
<u>15</u>	Chimie des matériaux, nanomatériaux et procédés	<u>Chimie</u>
<u>16</u>	Chimie du vivant et pour le vivant : conception et propriétés de molécules d'intérêt biologique	<u>Chimie</u>
<u>17</u>	Système solaire et univers lointain	Planète et Univers (PU)
<u>18</u>	Terre et planètes telluriques: structure, histoire, modèles	Planète et Univers (PU)
<u>19</u>	Système Terre: enveloppes superficielles	Planète et Univers (PU)
<u>20</u>	Surface continentale et interfaces	<u>Environnement et développement durable (EDD)</u>

21	Bases moléculaires et structurales des fonctions du vivant	Sciences du vivant (SDV)
22	Organisation, expression et évolution des génomes	Sciences du vivant (SDV)
23	Biologie cellulaire : organisation et fonctions de la cellule ; processus infectieux et relations hôte/pathogène	Sciences du vivant (SDV)
24	Interactions cellulaires	Sciences du vivant (SDV)
25	Physiologie moléculaire et intégrative	Sciences du vivant (SDV)
26	Développement, évolution, reproduction, cellules souches	Sciences du vivant (SDV)
27	Comportement, cognition, cerveau	Sciences du vivant (SDV)
28	Biologie végétale intégrative	Sciences du vivant (SDV)
29	Biodiversité, évolution et adaptations biologiques : des macromolécules aux communautés	Environnement et développement durable (EDD)
30	Thérapeutique, pharmacologie et bio-ingénierie	Sciences du vivant (SDV)
31	Hommes et milieux : évolution, interactions	Sciences humaines et sociales (SHS)
32	Mondes anciens et médiévaux	Sciences humaines et sociales (SHS)
33	Mondes modernes et contemporains	Sciences humaines et sociales (SHS)
34	Langues, langage, discours	Sciences humaines et sociales (SHS)
35	Philosophie, histoire de la pensée, sciences des textes, théorie et histoire des littératures et des arts	Sciences humaines et sociales (SHS)
36	Sociologie - Normes et règles	Sciences humaines et sociales (SHS)
37	Economie et gestion	Sciences humaines et sociales (SHS)
38	Sociétés et cultures : approches comparatives	Sciences humaines et sociales (SHS)
39	Espaces, territoires et sociétés	Sciences humaines et sociales (SHS)
40	Politique, pouvoir, organisation	Sciences humaines et sociales (SHS)

(Source: <http://www.cnrs.fr/comitenational/sections/motscle2008-12.pdf>)

Exemple: La section 1 de MPPU est défini par ¹²⁰

- Logique, mathématiques discrètes, combinatoire, algorithmique, calcul formel, aspects mathématiques de l'informatique
- Algèbre, théorie des nombres, théorie des groupes, géométrie algébrique et arithmétique
- Analyse réelle et complexe, analyse harmonique
- Géométrie, topologie, systèmes dynamiques, théorie ergodique et applications à la physique
- Probabilités, statistiques, modélisation stochastique
- Équations aux dérivées partielles et applications : analyse numérique, calcul scientifique, modélisation et simulation numériques, théorie du contrôle, optimisation
- Histoire des mathématiques

¹²⁰ Source : site du CNRS <http://www.cnrs.fr/comitenational/sections>

2.4.2 Résultats

De la même manière que pour les brevets, chaque contrat appartenant à une division « administrative » (SC, SDV, MPPU, ST2I, SHS) est « comparé » à chaque domaine et sous-domaine scientifique, on obtient donc une matrice [Contrat, Domaine], ou à chaque intersection on associera pour chaque contrat sa « similitude » avec la définition sémantique de chaque section scientifique. On effectue ensuite pour chaque sous-domaine puis domaine, la somme des contrats correspondants. Cette contraction conduit à la matrice carrée de la « connexité » des domaines scientifiques suivante :

Pour l'année 2005

	ST2I	SHS	SDV	MPPU	DC
ST2I	13034	430	2164	177	259
SHS	145	4508	121	20	8
SDV	1124	872	6328	44	288
MPPU	6596	343	178	13730	843
DC	2758	151	559	378	11006

Pour l'année 2006

	ST2I	SHS	SDV	MPPU	EDD	DC
ST2I	18779	463	3398	376	3199	497
SHS	94	8144	77	12	3013	30
SDV	731	1127	6961	32	1541	352
MPPU	4344	145	205	10930	112	670
EDD	267	718	152	14	2358	25
DC	2212	152	467	452	975	11037

On normalise en fonction de la taille (P_{ij} / P_{jj} diagonale) de la catégorie (en % du nombre total de contrats par domaine)

Selon l'organisation du CNRS pour l'année 2005, on obtient la matrice de connexité inter-département suivante :

	ST2I	SHS	SDV	MPPU	DC
ST2I	100.00%	3.30%	16.60%	1.36%	1.99%
SHS	3.22%	100.00%	2.68%	0.44%	0.18%
SDV	17.76%	13.78%	100.00%	0.70%	4.55%
MPPU	48.04%	2.50%	1.30%	100.00%	6.14%
DC	25.06%	1.37%	5.08%	3.43%	100.00%

Pour l'année 2006, un nouveau département a été créé : EDD Environnement, Développement Durable, la matrice de connexité devient alors :

	ST2I	SHS	SDV	MPPU	EDD	DC
ST2I	100.00%	2.47%	18.09%	2.00%	17.03%	2.65%
SHS	1.15%	100.00%	0.95%	0.15%	37.00%	0.37%
SDV	10.50%	16.19%	100.00%	0.46%	22.14%	5.06%
MPPU	39.74%	1.33%	1.88%	100.00%	1.02%	6.13%
EDD	11.32%	30.45%	6.45%	0.59%	100.00%	1.06%
DC	20.04%	1.38%	4.23%	4.10%	8.83%	100.00%

Tabl.II.20 : Indices de similarité inter-département scientifiques

Cette matrice n'est pas symétrique, ceci est dû à la hiérarchisation des mots-clés et concepts (corpus hiérarchique) qui induit une asymétrie, qui est prise en compte dans le calcul de similarité.

Par suite, en faisant la somme des vecteurs ij et ji , on obtient une quantification de la « distance relative » entre 2 secteurs ou catégories (en fait c'est l'inverse de la distance).

Cet ensemble de distances vont permettre de positionner les différents clusters (domaines scientifiques) les uns par rapport aux autres. Ce positionnement est effectué de façon empirique, en commençant à placer les 3 domaines majeurs (Fig. 17)

Les distances « principales » calculées entre les domaines nous permettent de « positionner » chaque domaine entre eux. Comme l'ensemble de ces domaines et leurs liaisons constitue la « Base de connaissance -compétence » d'un organisme donné (sa structure organique), on peut ainsi suivre l'évolution de cette base de connaissance dans le temps.

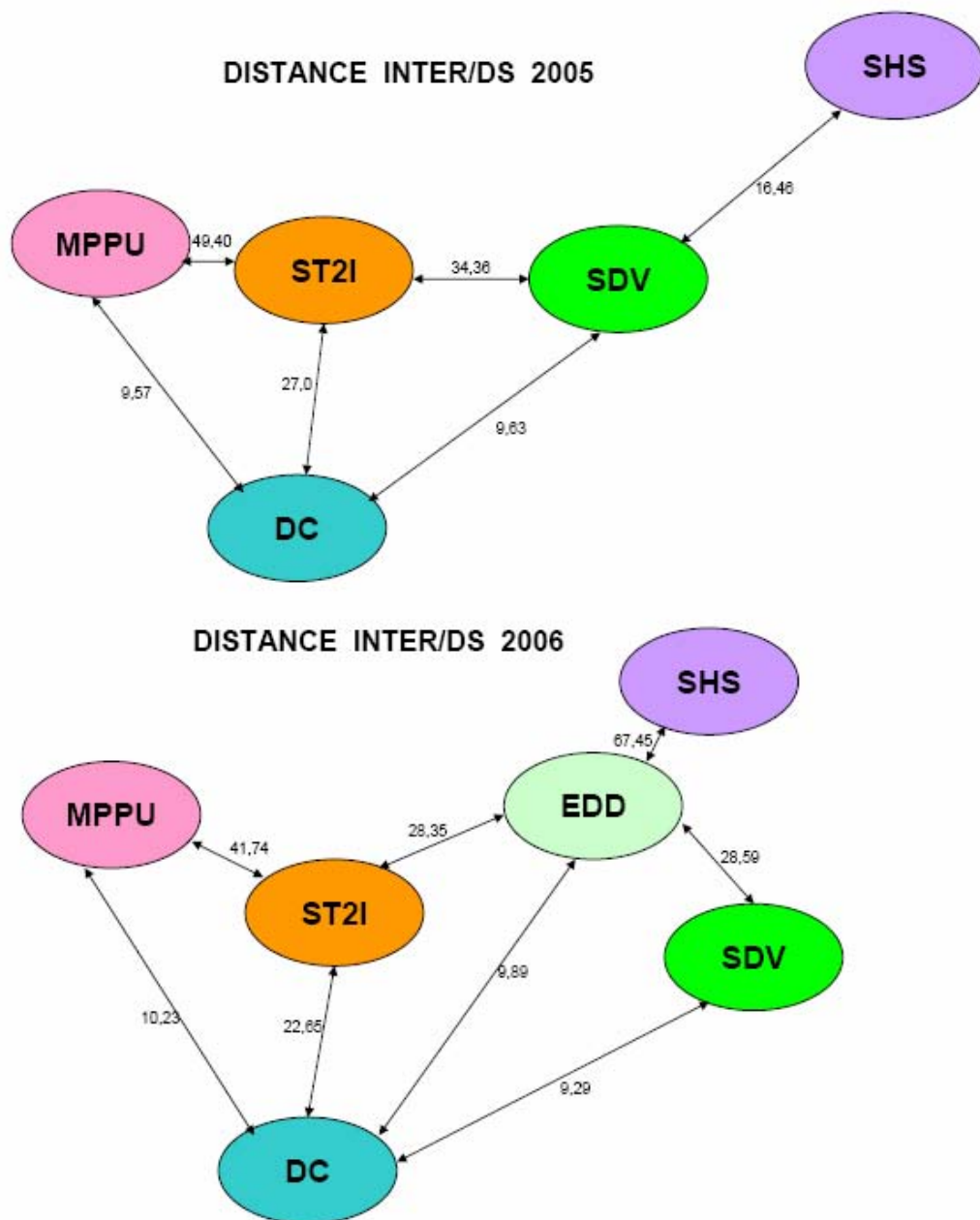


Fig. II.21 : Suivi de l'évolution de l'organisation Scientifique du CNRS par rapport à l'activité contractuelle de recherche. L'apparition d'une thématique EDD a modifié les relations inter départements scientifiques.

2.4.3 Discussion

Le résultat de ce travail est (Fig.21) la mesure de la « Connexité » entre les domaines scientifiques, dans ce cas nous pouvons peut-être parler **d'une quantification de l'interdisciplinarité** mais mesurée à travers l'activité technico-scientifique.

Cette méthodologie empirique permet de façon relativement simple de déterminer la « Base de Connaissance » d'un organisme public ou privé ; mais de façon plus intéressante encore son évolution lors de réorganisation stratégique et politique.

Et dans ce cas, la cartographie permet de visualiser la « cohérence »¹²¹ (mathématique et méta-heuristique) générale de l'organisation et de la structure de l'organisme au travers de son activité contractuelle de recherche et enfin de révéler les liens privilégiés et synergies éventuelles entre départements scientifiques. La « création » du domaine EDD-Environnement Développement Durable, qui constitue une problématique par définition pluridisciplinaire avec un fort impact sociétal, ce qui est illustré ici par une localisation très centrale et le « rapprochement » de SHS des autres domaines.

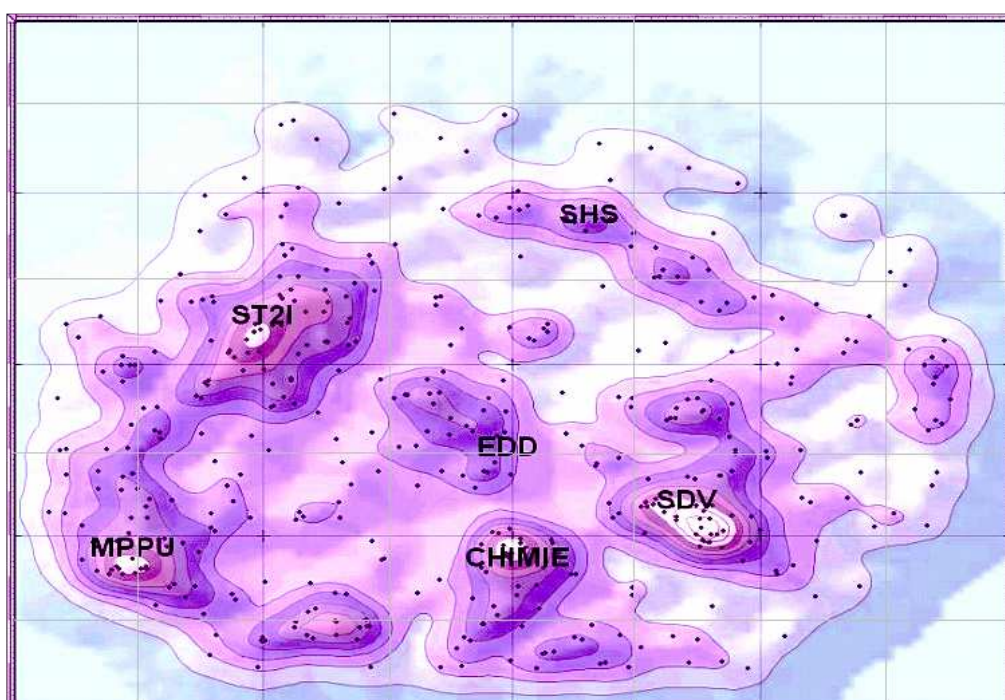


Fig. 18 : Métaphore paysage, un exemple de cartographie de la connaissance après traitement « topologique » des sujets de contrats de recherche. Ce travail a été réalisé en association avec le CERV (ENI-Brest)

Sur la figure 18, partant des mêmes données, on peut calculer la distance (euclidienne) entre tout élément et une classe centrale. Ensuite en fixant un référentiel « absolu » (positionnement des centres des domaines principaux) on peut **positionner** chaque document. On obtient ainsi en appliquant un algorithme de topographie (ligne de niveau) une cartographie type métaphore paysager des « relations » inter-domaines scientifiques.

¹²¹ En effet, il est intéressant de noter que plus les données sont « incohérentes » plus le nombre d'itérations du programme de cartographie augmente. Dans certains cas l'algorithme de calcul ne converge pas, et on ne peut pas aboutir à une cartographie sans élimination d'un grand nombre de vecteurs (Cut-Off).

Cependant, la méthodologie développée (de remplacement de P_{ni} par la similitude sémantique Ψ_{ni}) présente un défaut au niveau théorique et mathématique. En effet la connexité J_{ij} , est assimilée à une loi de probabilité pour un évènement P prenant les valeurs discrètes 0 ou 1, dans le cas de notre transformation en similitude sémantique, Ψ est une variable continue comprise entre [0,1], or il n'est pas démontré que la loi de probabilité admise pour P reste une loi hypergéométrique de t-student dans le cas de Ψ , par suite conserver les estimations de la moyenne et de la variance pour estimer la connexité devient empirique. Fort heureusement, les résultats obtenus sont convergents et cohérents avec le positionnement attendu des principaux « clusters » technico-scientifiques définies par les travaux de Trajtenberg (1998) sur les brevets des universités américaines « *les dépôts de brevets universitaires concernent un nombre limité de technologies autour des 3 clusters : Médical –Biomédical, Chimie, Electronic-Mécanique* ».

3. Perspectives pour la gestion de la connaissance.

Un résultat important de ce chapitre est la visualisation de la dépendance explicite et implicite des technologies entre-elles. La méthodologie de calcul de la base de connaissance appliquée aux brevets du CNRS, a permis de montrer avec une grande cohérence les liaisons implicites entre les divers domaines technico-scientifiques et, appliquée aux thématiques des contrats de recherche elle a permis de montrer la dynamique d'interactions entre grands domaines scientifiques à l'aune du transfert de technologie de la recherche publique.

L'objectif de ce chapitre a été de démontrer que les indicateurs développés pour caractériser la capacité d'innovation des entreprises, et en particulier leur capacité à gérer (consolider, étendre) leur patrimoine de connaissances, étaient applicables, avec certaines réserves, aux organismes publics de recherche. A une période de remise en question des mécanismes fondamentaux des économies modernes fondées sur la connaissance, il est important que les organismes de recherche fondamentale puissent trouver des indicateurs plus pertinents quant à leur adaptation et leur capacité à innover. Il s'agit de considérer ce patrimoine de connaissances (Knowledge Base), au niveau de toute organisation, comme un objet potentiel d'un processus d'ingénierie, au même titre que le patrimoine immobilier ou le système d'information de l'entreprise. La gestion de connaissances se propose ainsi de repérer, formaliser, partager, enrichir et valoriser les connaissances dans l'organisation et en

particulier celles qui revêtent un caractère critique ou stratégique¹²². Il est par suite fondamental pour le « Transfert de Technologie » de s'approprier ces nouvelles méthodes de gestion des connaissances, afin de mettre en place des stratégies efficaces pro-actives de soutien à la création et à l'inventivité.

Cependant, la portée des conclusions, selon Ludovic Di Biaggio et Lionel Nesta, de cette approche est limitée par deux types de problèmes. D'abord la connaissance est ici mesurée comme le résultat visible de l'inventivité ou du processus de recherche, alors que la connaissance est à la fois «entrante» (acquise, accumulée) et «sortante» (brevets, publications, transfert) et d'autre part, selon Keith Pavitt (**Patel & Pavitt**, 1997), la capacité d'innovation d'une entreprise tient plus dans son organisation et la compétence de son management. Ces conclusions sont-elles applicables à un organisme de recherche publique ? De façon évidente certainement pas dans leur intégralité, car la mission première du CNRS est la production de connaissance (bien public) donc bien différente à priori de celle d'une entreprise mais dans un contexte plus large de l'économie de la connaissance basée sur l'innovation il est légitime de poser la question du rôle réel du transfert de technologie.

Dans ce chapitre nous avons abordé le but et les principes de la cartographie des connaissances, qui est un outil bien connu dans le domaine du « Knowledge Management » des entreprises mais aussi dans le domaine en pleine effervescence des métamoteurs de recherche et de classification de l'information sur internet (Google, Yahoo..).

Ce travail aura permis de montrer que l'apport des méthodes issues du « Text Mining » est pertinent et d'un intérêt certain dans l'approche économique classique (plus basée sur les statistiques). Par ailleurs il nous a permis d'illustrer la complexité de la connaissance à l'origine des technologies représentées par les brevets, en particulier l'interdépendance des connaissances scientifiques. Cette dimension est un élément important de la difficulté de la mission fondamentale du transfert de technologie. Nous allons voir dans les chapitres suivants d'autres éléments fondamentaux qui constituent le paradoxe de la valorisation de la recherche et innovation.

¹²² Ce sont les concepts de base de la gestion des connaissances ou « Knowledge Management » développés notamment par Nonaka (1991), Alavi & Leidner (1999)

Chapitre III

“ Tous les modèles sont faux, quelques uns parfois sont utiles”
S. Box (1982)

Quel modèle pour le transfert de technologie ?

Résumé: Sur la base des facteurs endogènes et exogènes du Transfert de Technologie et par l'analyse de la nature des inventions générées par la recherche académique ce chapitre se propose d'éclairer le processus de conception (genèse) de l'invention en introduisant la notion de structure de la pensée créatrice autonome. Pour cela nous empruntons les éléments de base de l'épistémologie pour proposer un modèle synthétique de processus d'innovation issu de l'observation des relations Recherche – Industrie.

Ces éléments permettent de proposer un « autre » modèle pour le transfert de technologie, plus synergique et conforme aux théories économiques sur l'innovation.

Abstract: From main endogenous and exogenous features of Technology Transfer of the public research organisation and through analysis of typologies of invention this chapter attempts to highlight the early step (genesis) of innovation based on the basic elements of the structure of “Creative Thinking Mind”. For this, we borrow some concepts of epistemology to set up a synthetic model of innovation process based on observation of Research - Industry collaboration.

These elements claim for a “Revisited Model” of Public Technology Transfer in compliance with economic innovation theories and models.

Plan Chapitre 3

1. Facteurs endogènes
 - 1.1 Typologie des Inventions
 - 1.2 Typologie du Transfert
 - 1.2.1 Structure de la connaissance
 - 1.2.2 Caractéristique du transfert
 - 1.2.3 Indice de transférabilité
2. Facteurs exogènes
 - 2.1 TT et modèles de processus d'innovation
 - 2.2 TT et maturation de l'invention
 - 2.2.1. Exemple 1 : Le Lupuzor
 - 2.2.3. Exemple 2: Le Taxol
 - 2.2.4. Exemple 3 : La Magnéto Résistance Géante (GMR)
3. Pour un modèle renouvelé du Transfert de Technologie
 - 3.1 L'apport de la « Gestion des savoirs » (Knowledge Management)
 - 3.2 La pensée créative autonome
 - 3.3 Conséquences sur les procédures de valorisation
4. Conclusion du chapitre : Modèle de Transfert de Technologie Public
 - 4.1. Les principaux résultats
 - 4.2. Une histoire sans fin

Nous avons vu jusqu'à présent dans le chapitre I, l'importance de l'historique du CNRS dans la structuration actuelle du transfert de technologie, et les principales caractéristiques (brevets, licences, start-up) factuelles de cette activité. Nous avons proposé une classification basée sur l'observation des relations Recherche – Industrie, en 4 processus d'innovation (A, B, C, D). Dans le chapitre II, nous avons proposé une méthodologie permettant d'illustrer la problématique centrale du transfert de technologie public : la complexité de la connaissance technologique, à travers les indicateurs que sont les brevets et les contrats de recherche. Dans le présent chapitre, nous nous proposons d'étudier plus précisément l'étape originelle de la genèse de l'innovation, en analysant la structure des inventions observées. Ces analyses vont nous permettre de proposer une approche particulière du transfert de technologie.

1. Les facteurs endogènes du Transfert de Technologie

Nous allons essayer de montrer ici, avec chacun des indicateurs traditionnels du transfert de technologie (brevet et licence), leur caractère spécifique¹²³ dans le cadre du transfert de technologie issu de la recherche publique.

1.1. La typologie des inventions

L'invention est l'étape initiale et la genèse de l'innovation. C'est pour cette raison que le transfert de technologie a une position privilégiée et fondamentale¹²⁴ dans le processus d'innovation. Il y a actuellement une convergence des études afin d'éclairer cette zone d'incertitude de la naissance de l'innovation, citons notamment les travaux de Callon (1991- 1997) ou Cohen et al. (2002) sur les liens et les réseaux nécessaires à l'innovation et Amin & Cohendet (2006) sur l'architecture de la connaissance supportant la créativité. Ces études décrivent les facteurs positifs et synergiques d'un écosystème favorable à l'innovation (comme par exemple la notion de réseau, ou de communautés de connaissance).

Les études sur les brevets sont très abondantes afin d'illustrer l'impact économique de la recherche, mais pour le transfert de technologie au « quotidien » le brevet n'est que le résultat visible (publié) d'un long travail de sensibilisation, de détection et d'évaluation (voir chapitre 1 sur les déclarations d'invention). Au stade du brevet

¹²³ En effet ces indicateurs n'ont pas la même signification que pour une entreprise. Dans le cadre de la recherche fondamentale et publique et de l'Open Science, « ils » ne sont pas générés sur les mêmes motivations. Lire à ce sujet Nelson (1993) et Mowery (1999).

¹²⁴ Il est probable que c'est cette position privilégiée du TTO qui lui vaut toutes les « critiques » et explique en partie que le TT soit l'objet en général de toutes les politiques « d'innovation ».

l'invention est déjà « aseptisée », classée et revendiquée malgré la part d'incertitude inhérente aux inventions issues de la recherche fondamentale. Le niveau « Brevet » ne révèle pas le potentiel réel d'innovation (loin s'en faut, au regard des modèles de processus d'innovation).

Les inventions ne conduisent pas forcément à l'innovation au sens large (rupture, changement sociétal, changement de paradigme..), sauf si on définit de façon très pragmatique l'innovation comme le processus qui permet de satisfaire un besoin d'un groupe d'acteurs (plus ou moins nombreux et dont le besoin n'est d'ailleurs pas forcément exprimé). Dans le cadre du transfert de technologie, nous nous proposons d'éclairer ce processus de création, en définissant une classification des déclarations d'inventions traitées au CNRS sur ces dernières années selon 2 critères essentiels : Le niveau scientifique et l'estimation de la durée probable de mise sur le marché ou d'application industrielle effective. Ces deux critères, nécessaires mais insuffisants, entrent dans le processus et défi central du transfert de technologie : l'**évaluation**.

Pour M.A. Rohrbach (1993): « *Toutes les formes d'industrie relèvent de la pensée inventive, qu'elles soient artisanales ou mécaniques. Les outils qui prolongent l'action de l'homme et la rendent efficace sont œuvre d'invention et les objets qu'ils fabriquent sont invention. La vie sociale n'est possible que grâce à une invention sans cesse renaissante qui répond à l'incessant mouvement issu des relations humaines. Les civilisations meurent dès que l'esprit d'invention les quitte. Bref, l'esprit humain se caractérise par l'invention plus encore que la réflexion. [...] c'est elle (la pensée inventive) qui construit les civilisations et qui édifie l'histoire humaine* ». Cette approche nous place d'emblée au-delà de l'économie de la connaissance et justifie que dans le cadre de cette thèse il nous a semblé crucial d'analyser cette étape « fragile » et parfois Ô combien difficile¹²⁵ de la formalisation de l'idée en une invention et sa structuration explicite appropriable (brevet, contrat) par le système industriel (et sociétal). Cette étape d'évaluation, comme nous l'avons montré au chapitre 1, peut durer entre deux et plus de douze mois (dépôt brevet ou valorisation) selon l'origine de la recherche engagée.

L'étude des déclarations d'inventions (plus de 3000 DI analysées) du CNRS, et surtout des commentaires et conclusions du comité CESPI sur la brevetabilité et

¹²⁵ Cet élément peut expliquer des délais de dépôt de brevet pouvant durer plus de 12 mois.

l'intérêt industrielle. En particulier, les raisons de refus du comité, qui sont de trois ordres principalement¹²⁶ :

- a) Découverte ou théorie scientifique sans applications
- b) Technologie déjà existante (pas de nouveauté ou d'inventivité)
- c) Technologie trop amont (trop loin par rapport à une application)
- d) Pas de marchés pour ce type de produit, procédé ou système.

Ces critères sont « classiques » et proviennent essentiellement d'un souci de brevetabilité et d'études de marchés donc de « rentabilité » court terme.

Compte-tenu des résultats du chapitre I sur la typologie des relations Recherche-Industrie et du chapitre II sur la complexité des technologies, il nous a semblé plus pertinent de revenir sur cette méthode d'évaluation des inventions.

Nous proposons donc une classification des inventions non pas en « Recherche Appliquée » et « Recherche Fondamentale » mais selon quatre «Types», caractérisés par l'origine, la destination et « l'intensité » de l'invention¹²⁷ (ce qui est la définition mathématique d'un vecteur).

Nous distinguerons donc 4 Types d'invention :

- I. Invention affectée, solution et résultat d'une collaboration industrielle
- II. Invention issue d'une trajectoire technologique (exemple : Le Laser)
- III. Invention issue d'une trajectoire scientifique (exemple : Le Nucléaire)
- IV. Invention fortuite, issue d'un « hasard » (ou d'une nécessité)

Le **type I**, est le plus simplement identifiable. C'est une invention destinée et affectée à résoudre un problème industriel, à lever un « verrou technologique ». C'est ce que nous appellerons des **inventions affectées**. La problématique est en général définie au préalable dans un cahier des charges dans le contrat qui lie le laboratoire à l'industriel, comme par exemples : la synthèse d'une molécule chimique ou pharmaceutique d'intérêt avec un meilleur rendement, ou un procédé de dépollution spécifique d'effluents d'activité industrielle.

¹²⁶ En général le refus du comité de sélection est en fait un conseil et un encouragement à « imaginer » des applications concrètes qui soient brevetables.

¹²⁷ L'invention est considérée ici comme un vecteur dans le sens mathématique du terme, *ie* défini par son origine, sa direction et son intensité.

Si au niveau de l'identification de l'application et donc du transfert de technologie au sens « strict », ce type d'invention ne présente aucun problème, ce type I est de loin le plus problématique pour un TTO. Pour deux raisons principales :

- a) La prise en charge totale par l'industriel du/ des résultats de la recherche pour une application déterminée et restreinte, limite les possibilités d'exploitation et de développement. Ce processus peut entraîner selon Heller et Heisenberg (1998) un effet **anti-commun** bloquant tout développement futur.
- b) Ce processus suppose une **linéarité** entre recherche et innovation, niant ainsi la part importante d'incertitude caractéristique des externalités issues de la recherche fondamentale (selon Arrow, Nelson ou Pavitt)

Par ailleurs, les revenus de licences (ce sont des licences d'exploitation automatiques et en général exclusives) issus de ce type d'invention affectée sont très faibles pour un organisme public (quand bien sûr, l'organisme a une part de copropriété¹²⁸) car les résultats d'exploitation (bénéfices pour l'entreprise) sont difficilement quantifiables. L'exclusivité d'exploitation, souvent large, de l'industriel sur ces technologies et brevets empêche quasiment toutes autres formes de développement même hors du domaine technico-économique d'exploitation. Dans cette typologie de transfert, la difficulté pour le transfert de technologie est aussi de protéger la part des connaissances antérieures publiques et non rivales.

Ce type d'invention concerne donc des inventions à priori « transférées », mais constitue à l'aune du transfert de technologie et de l'innovation un paradoxe, car il s'agit d'un type d'invention difficilement identifiable et dont les résultats en termes d'exploitation réelle par l'industriel sont difficiles à consolider.

Exemple : Beaucoup de résultats de recherche avec le consortium EADS (matériaux, systèmes, logiciels, brevets) ont été probablement implémentés dans le nouveau modèle d'avion Airbus mais il est impossible de dire lesquels et leur importance relative dans le produit final.

Le **type II**, proche du type I, type d'invention qui peut être considéré comme une amélioration ou une avancée ou un progrès technologique sur un domaine technico-

¹²⁸ Selon le type de contrat, les brevets sont en général déposés par le partenaire industriel qui ne prévient le CNRS qu'au moment de l'extension PCT (environ 12 mois après le dépôt) et procède éventuellement alors à la régularisation de copropriété en inscrivant le CNRS comme co-déposant. lire notamment l'étude d'Azagro et al. (2006) sur la propriété réelle des brevets de universités en France.

scientifique bien identifié (trajectoire)¹²⁹. Ce type n'est cependant pas issu d'une demande industrielle explicite, nous parlerons **d'inventions non-affectées**. Ces inventions bien que rattachée à un domaine technologique (exemple : tous les développements sur les lasers), sont en général issues de l'initiative « libre » du chercheur. Ce type d'invention est l'objet principal de l'activité de prospection et de marketing (vente) du TTO. En effet, ces inventions ou procédés ne correspondent pas à la satisfaction immédiate, exprimée de l'industrie, il s'agit ici pour le TTO, de « trouver » et de « convaincre » l'industriel pertinent de l'adoption de cette nouvelle technologie. Donc, la difficulté de cette typologie d'invention est la détermination de son réalisme économique, certains procédés ou inventions sont originaux et astucieux mais l'intérêt économique¹³⁰ pour un industriel peut s'avérer très relatif. C'est typiquement le cas d'inventions du domaine de l'instrumentation scientifique et biomédicale, par exemple l'amélioration d'un spectromètre de masse ou d'un microscope électronique, bien qu'astucieuse et intelligente les constructeurs sont rarement intéressés à « licencier » ces améliorations¹³¹, ni à modifier radicalement leur appareillage et donc leur système de production. C'est l'effet « destructeur » de l'innovation, qui parfois se trouve confrontée aussi à des problèmes de conservatismes et de « lobby » économiques ou tout simplement de réalisme technico-économique. Cet aspect est encore plus important pour le type 3 suivant.

Le **type III**, est le cœur de l'activité d'un TTO issu de la recherche fondamentale et académique. Ces inventions (procédés et systèmes) peuvent être caractérisées par :

- a) Elles sont issues de la problématique fondamentale du laboratoire
- b) Elles ne sont pas dictées par un besoin industriel ou sociétal immédiat
- c) Le degré d'applicabilité et d'incertitude est important.

Ce type d'invention (et d'inventivité) dite **non-affectée** et **fondamentale**, est l'objet principal de la problématique de **l'évaluation**, et justifie à lui seul la nécessité d'étendre la « mission » du transfert de technologie. En effet le TTO se trouve ici dans l'obligation d'implémenter d'autres critères que la brevetabilité ou l'application industrielle immédiate afin d'engager le processus et les moyens financiers de soutien

¹²⁹ Nous sommes ici dans le concept de développement technologique en S-curve.

¹³⁰ Ou « Risque économique »

¹³¹ Le taux de transfert de brevets dits « instrumentation » est assez faible pour le CNRS (inférieur à 10% des licences)

au transfert (dépôt brevet, extension, aides au transfert). Ces raisons sont nécessairement d'ordre stratégique et « politique » et procèdent plus à notre avis d'une « mission de service public » de protection de la connaissance et de « marketing » (dans le sens d'augmenter la visibilité sociétale) que de la recherche d'un retour financier court terme. C'est typiquement le cas des résultats de beaucoup de laboratoires des sciences de la vie dont nous décrivons plus loin deux exemples typiques.

Cet aspect de la fonction du transfert de technologie que nous qualifierons de « pourvoyeur d'opportunités » ou initiateur de « sérendipité » est un des arguments majeurs qui milite en faveur d'un modèle renouvelé du transfert de technologie public.

Le **type IV**, est le type d'invention fortuite non directement lié à la spécialité ou à l'activité du chercheur, mais lié à son côté pratique et inventif. Par exemple, la recherche expérimentale exige des capacités inventives constantes au quotidien afin de résoudre des problèmes pratiques et logistiques (souvent par manque de moyens). Ce sont aussi des inventions issues de collaborations interdisciplinaires étonnantes (économie-neurologie, biologie-physique quantique..). Il est fort probable que ce type d'invention soit aussi le résultat d'une politique (et pression constante) de sensibilisation du chercheur à la « valorisation » qui en d'autres temps « n'aurait pas pensé à breveter ».

Exemple : Procédé de pré-découpe pour ouverture facile de boîte et container en aluminium.

Le type IV est par définition non relié directement aux autres types et non relié à une démarche scientifique fondamentale. Ce serait plutôt à rapprocher d'une démarche opportuniste mais bien sûr toujours sous-tendue par la méthodologie scientifique.

Ces inventions, qui constituent un faible en pourcentage des inventions, sont paradoxalement difficiles à transférer, car leur caractère inattendu ne correspond pas à « ce que l'on peut attendre de la recherche fondamentale ». Ce type d'invention fortuite ne comporte pas à priori une composante « connaissance tacite » importante.

Cette typologie (empirique) proposée des inventions est une typologie évolutive qui bien entendu ne s'adresse dans notre propos qu'aux inventions issues de la recherche publique. Comme pour toute classification restreinte, il existe des inventions dont la classification est peu évidente, surtout dans les domaines où la relation entre la relation entre Recherche et Industrie est proche comme la chimie, le pharmaceutique ou l'électronique. Une invention de

type I (**invention pré-affectée**) peut induire des inventions de type II (améliorations, **invention non affectée**) ou inspirer des recherches amenant à des inventions de type III (**fondamentale**).

Nous verrons plus loin que le processus de maturation entraîne des brevets de plus en plus appliqués à partir d'un premier brevet source assez fondamental.

A partir des conclusions de l'évaluation des inventions (Brevetabilité, Marché) et de la description de l'historique de l'invention défini dans la déclaration d'invention par les inventeurs, et enfin par rapport à la thématique scientifique déclarée du laboratoire, nous avons classé pour chaque année les inventions en type I,II, III ou IV.

Selon les critères de cette classification nous avons évalué la part de chacun de ces types d'inventions au CNRS sur les trois dernières années (Fig.III.1)¹³².

	2005		2006		2007	
Type I	72	22.4%	93	26.8%	95	27.3%
Type II	112	34.9%	132	38.0%	129	37.1%
Type III	129	40.2%	113	32.6%	118	33.9%
Type IV	8	2.5%	9	2.6%	6	1.7%
Total brevets	321		347		348	

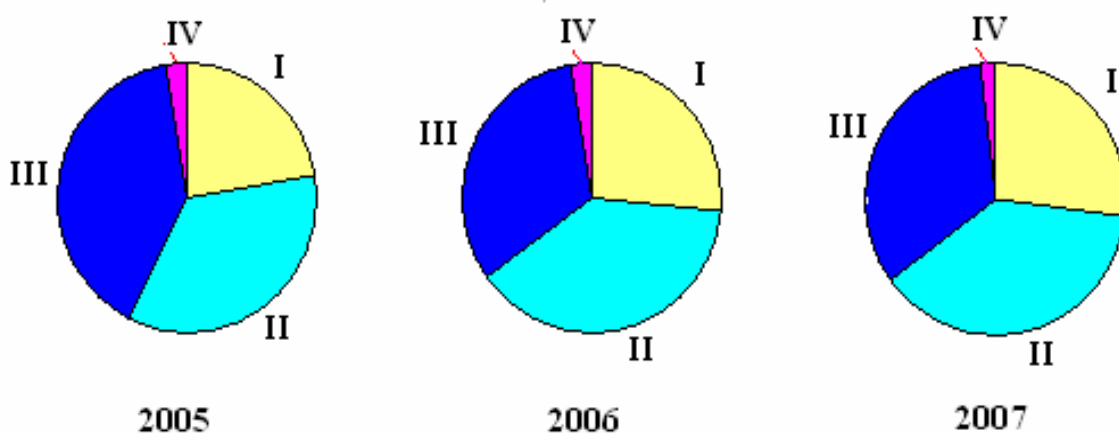


Fig.III.1: Répartition des types d'inventions (traitement de l'auteur 1016 Brevets publiés DPI-CNRS)

Ce résultat monte notamment :

- La stabilité du rapport entre les 4 types d'inventions (par an)
- Le type II (améliorations) est le plus important en nombre.
- La grande majorité des inventions sont de type II et III (non affectée)
- Le très faible (anecdotique) nombre d'inventions de type IV (fortuite)

¹³² Ce sont les résultats et le classement des inventions selon : I : affectée, II : non-affectée, III : fondamentale, IV : Fortuit, très appliquée, de décisions du comité CESPI de sélection des brevets sur les 3 années. Les évaluateurs n'ont pas été toujours les mêmes personnes.

Cette répartition peut expliquer en partie la difficulté croissante du transfert de technologie. En effet la proportion très importante d'inventions non affectées de type II, c'est-à-dire des inventions correspondant à des améliorations de procédés (avec un meilleur rendement, ou moins polluants) ou d'appareillages (plus précis, ou plus sélectifs) non explicitement « demandés » par un industriel, ou ne répondant pas un besoin évident exprimé par un groupe d'utilisateurs, va entraîner un effort plus important pour le transfert. En effet l'analyse technico-économique est délicate, le bénéfice du changement pour l'exploitant est souvent nul compte tenu par exemple des investissements déjà engagés sur la technologie précédente, l'avantage concurrentiel n'est pas déterminant.

La difficulté de transfert des inventions de type III est de nature différente. En général ces inventions (procédés, produits ou instruments) induisent un changement plus radical et parfois même peuvent « créer » un nouveau marché ou besoin ; par suite ce type d'invention suppose des investissements plus importants et donc un « risque » plus important. Ces inventions directement issues de la recherche fondamentale ont une composante de connaissance tacite importante, elles sont difficilement « appropriables » telles quelles. C'est ce type d'invention dit « à temps de transfert long » qui est à l'origine de créations de jeunes entreprises (Spinoff et Start-up) issues de la recherche académique, comme par exemple des nouveaux composés candidat-médicaments dont le mécanisme d'action est radicalement différent, ou des systèmes d'imagerie médicale ou scientifique basés sur des principes totalement novateurs comme les ultrasons (comme l'invention de Mathias Fink), ou encore l'électronique de spin issu des travaux d'Albert Fert (prix Nobel 2007).

Nous allons essayer de caractériser plus encore ces différentes typologies d'inventions dans le paragraphe suivant en étudiant le processus de transfert de ces inventions dont le résultat pour le transfert de technologie est : la licence d'exploitation¹³³.

1.2. Typologie du transfert

1.2.1. Structure de la connaissance des inventions

Nous nous intéressons ici aux processus de transfert des ces types d'inventions donc en particulier des types II, III. Le type I est par définition déjà transféré et le type IV reste très anecdotique. En prenant en compte l'interdépendance des disciplines

¹³³ Nous utiliserons le terme anglais « Licensing » pour désigner le processus de transfert de technologie qui conduit à la signature d'un contrat de licence d'exploitation avec un industriel, le terme français étant hélas trop ambigu (licenciement ?)

scientifiques (illustré dans le chapitre II), nous pouvons regarder la structure de la connaissance scientifique qui compose chacun de ces types (Fig. III. 2)

Nous avons donc classé les brevets publiés (2006, 2007, 2008) d'abord selon nos critères de Type I, II, III ou IV puis selon l'origine scientifique : Sciences de la Vie, Chimie, Physique ou Sciences de l'Ingénieur :

	Sc. VIE	Sc. CHIMIE	Sc. ING.	Sc. PHYSIC
Type I	21.9%	54.8%	17.8%	5.5%
Type II	20.4%	25.7%	33.6%	20.4%
Type III	43.8%	33.8%	10.8%	11.5%
Type IV	10.0%	10.0%	70.0%	10.0%

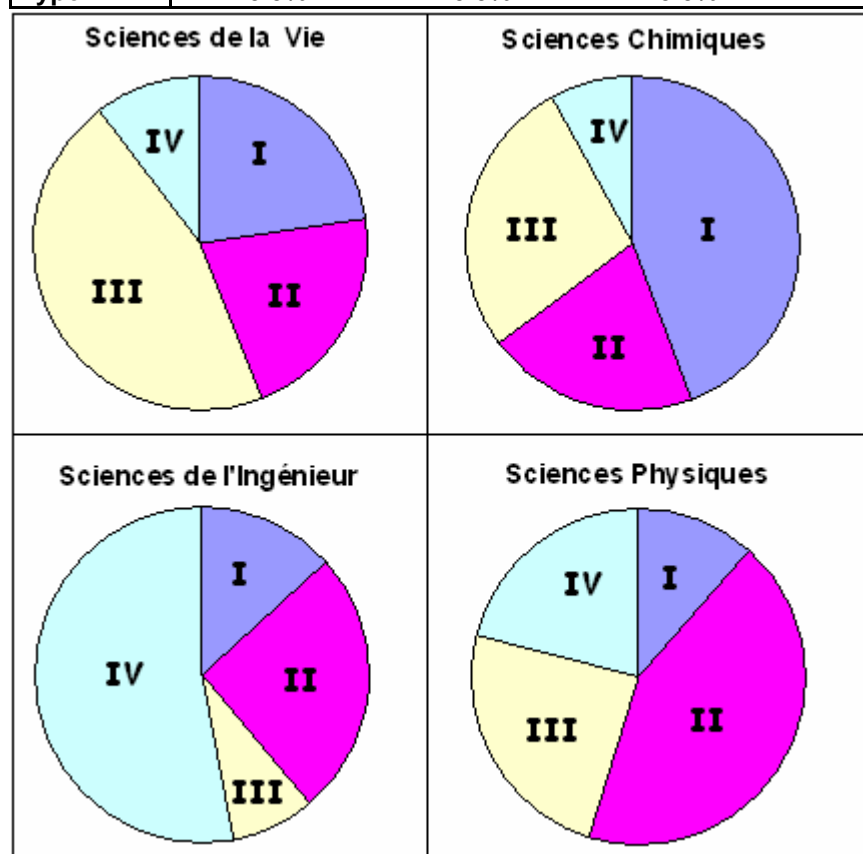


Fig. III.2 : Typologie des inventions selon la discipline scientifique d'origine.

La figure III.2 montre que les Sciences de la Vie génèrent principalement des inventions très amont de type III. Les sciences chimiques par leur relation très étroite avec le monde industriel (comme nous l'avons vu au chapitre I sur les contrats où les laboratoires dépendant de la chimie ont le plus de contrats de recherche privée) sont à l'origine des inventions affectées et très appliquées. Les sciences physiques génèrent des inventions de type II non affectées, qui sont souvent du domaine de l'instrumentation scientifique et technique. Les inventions issues des sciences de l'ingénieur sont plus variées et diversifiées de type IV donc très appliquées.

Le type d'invention I, affecté à une technologie et une demande industrielle spécifique (contrat de recherche), est largement issu des Sciences Chimiques. La chimie est historiquement un domaine d'excellence du CNRS bien reconnu par le monde industriel. Le type d'invention II, correspond à des inventions non affectées, non issues d'une collaboration directe avec un industriel (ou sur demande explicite d'un industriel) et que l'on peut assimiler à des améliorations successives (brevetables) de technologies (procédés ou d'appareillages). Ces inventions proviennent de façon équivalente des 4 disciplines scientifiques : Sciences de la Vie, Sciences Chimiques, Sciences Physiques et Sciences de l'Ingénieur.

Le type d'invention III, inventions non affectées et souvent d'application plus large ou incertaine, a pour origine 2 disciplines majeures : Sciences de la Vie et Sciences Chimiques principalement. Ces inventions proviennent de trajectoires scientifiques fondamentales car elles découlent (ou sont très liées) au sujet scientifique central fondamental (et du domaine d'excellence) du chercheur ou du laboratoire.

Le type IV, invention fortuite souvent opportuniste, tient plus de la diversification des sciences de l'ingénieur, non directement dans l'axe scientifique du laboratoire et parfois issue de collaborations interdisciplinaires ou sociétales inattendues.

Nous allons par la suite nous concentrer sur les inventions II et III, dont le transfert est problématique. Rappelons encore une fois que les inventions de type II sont des améliorations de technologies (trajectoires technologiques continues de progrès, comme par exemple l'amélioration d'instrument de mesures) mais dont il est difficile de trouver des industriels pertinents ou intéressés au développement. Pour le type III, il s'agit en général de résultats de recherche fondamentale, donc dont la preuve du concept ou le prototypage doit être validé. Ce sont des inventions dites amont, donc loin du marché.

1.2.2. Caractéristiques du transfert

Cette typologie des inventions est caractérisée par des mécanismes de transfert bien différents. La licence d'exploitation est un indicateur pertinent (mais pas uniquement) pour illustrer la spécificité de notre typologie d'invention.

Sur la fig.III.3 suivante nous avons reporté la durée de transfert, c'est-à-dire la durée entre la date du dépôt du brevet et la date de la signature du contrat de licence d'exploitation avec une entreprise ou un industriel.

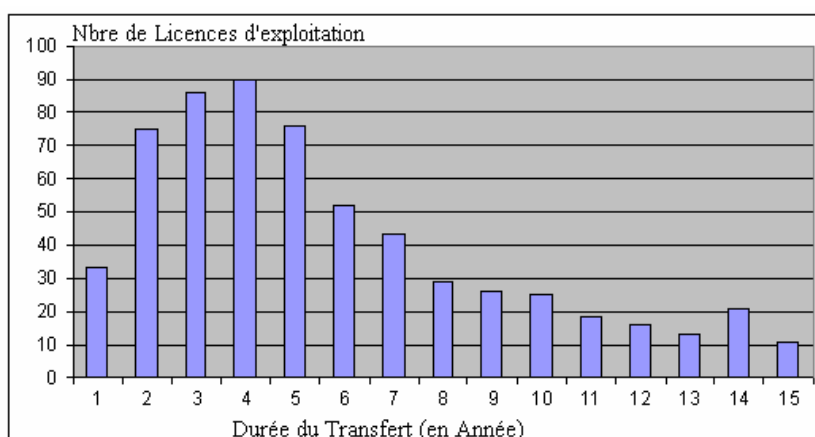


Fig.3 : Durée de Transfert exprimée en année entre la date de dépôt de brevet et la date de contrat de licence d'exploitation

Ce résultat montre que la durée moyenne de transfert de technologie (exprimée au travers des licences des brevets du CNRS) se situe entre 2 et 5 ans après le dépôt, et que ce transfert est loin d'être négligeable plus de 10 ans après le dépôt du brevet. Cette durée moyenne peut être considérée comme longue, en particulier (voir chapitre 1 : procédure de dépôt) si on y ajoute le délai moyen de dépôt, environ 5-6 mois.

Sur la figure suivante (Fig.4) on peut mieux cerner la structure des connaissances, et donc des typologies des inventions qui caractérisent ce transfert :

année	CHIMIE	SDV	PHY	INGE.
1	10	7	3	9
2	28	39	3	12
3	20	43	8	9
4	14	40	11	11
5	22	34	10	4
6	14	19	10	4
7	10	14	8	7
8	15	5	1	4
9	8	8	3	5
10	10	7	2	2
11	11	5	0	2
12	6	8	1	2
13	5	5	2	1
14	3	11	2	3
15	1	3	1	0
Total	177	248	65	75

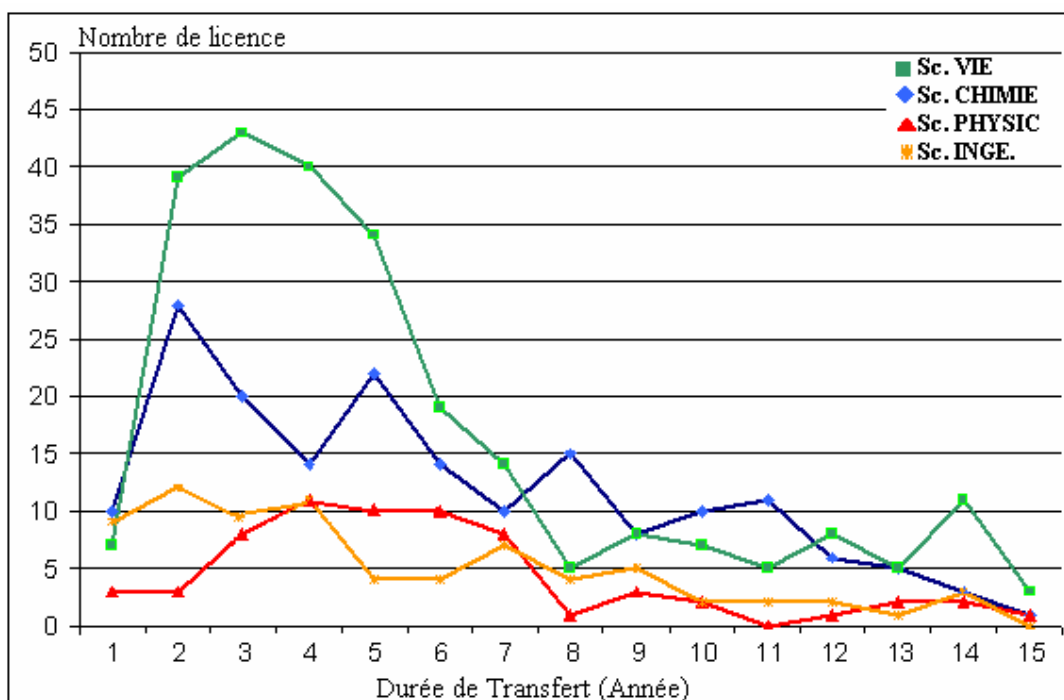


Fig.III.4 : Durée de transfert en fonction de l'origine scientifique (Traitement de l'auteur)

La figure III.4, montre que l'essentiel du transfert entre 1et 2 ans est dû à des inventions issues des Sciences de la Vie et la Chimie, les inventions issues des Sciences Physiques ont une durée de transfert plus « longue » environ 4-5 ans. Les Sciences de l'Ingénieur restent à un niveau assez faible avec une durée de transfert moyenne entre 2 et 3 ans.

Ces résultats sont à rapprocher de la contribution de chacune des disciplines sur l'ensemble des technologies (portefeuille de brevets actifs du CNRS) générées (Fig. III.5). En 2008, la composition du portefeuille de brevets est de 35% SDV, 30% Chimie, 20% Ingénierie, 15% Physique, avec un accroissement des sciences de la vie depuis 2001 dû au développement des Biotechnologies. La contribution relative des Sciences Physiques et des Sciences de l'Ingénieur est constante et stable depuis 20 ans.

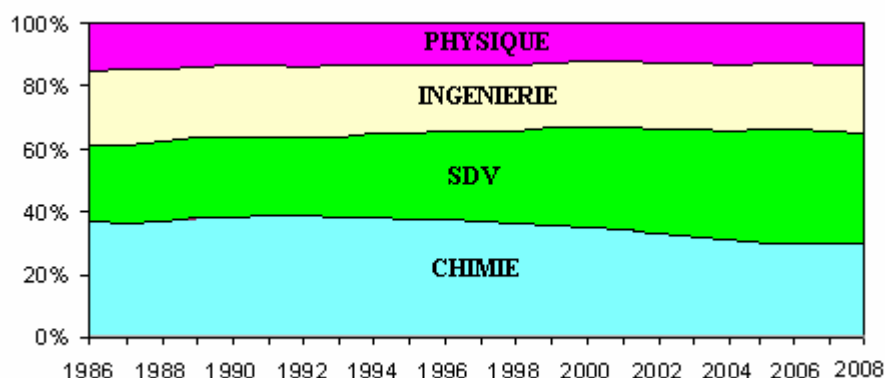


Fig.III.5 : Composition du portefeuille de brevets du CNRS depuis 20 ans (Traitement de l'auteur)

(SDV est majoritaire et regroupe Biologie, Biochimie, Biotechnologie, Agronomie, Pharmacie et Cosmétique)

Sachant que les licences d'exploitation concernent à 95% des inventions de type II, III et IV (le type I est en copropriété majoritaire à l'industriel, qui exploite ces technologies sans passer par un contrat de licence d'exploitation distinct du contrat de collaboration de recherche donc ces licences n'apparaissent pas dans les statistiques).

En faisant la typologie des inventions de ces licences on obtient :

	2006	2007	2008
Type II	35.20%	30.80%	34.10%
Type III	64.30%	68.10%	65.20%
Type IV	0.50%	1.10%	0.70%

Fig. III.6 : Caractéristiques du « licensing » par type d'invention

Les inventions de **type III**, donc issues de la trajectoire scientifique fondamentale du laboratoire, constituent la grande majorité des licences d'exploitation, beaucoup plus que les inventions de type II, considérées comme des améliorations de procédés ou d'appareils, issues de recherche donc plus « appliquées » (mais non affectée à un contrat industriel mais adressant une problématique (verrou) technologique).

Ces résultats montrent que **les inventions dites fondamentales (Type III) semblent plus « transférables » que des inventions dites appliquées (Type II)**. Cette constatation amène deux réflexions :

1. premièrement au regard de la dérive fréquente de vouloir « *rendre plus appliquée la recherche académique* », le résultat, du point de vue du transfert de technologie (et des indicateurs de la LOLF), conduirait à une diminution du taux de transfert !
2. et en second lieu il semble que la recherche appliquée issue du monde académique soit difficile à valoriser, et donc ne semble pas correspondre pas à des besoins « évidents » à courts termes du monde industriel. Ce résultat semble militer pour une meilleure coordination entre besoins industriels et recherche académique appliquée.

Ce résultat n'est en fait pas si étonnant, il rejoint les conclusions notamment de Pavitt (2001) ou Hicks et al. (2000) pour qui la recherche 'utile' est toujours une 'bonne' recherche académique. Du point de vue de la valorisation de la recherche, nous pourrions dire que « ce que l'industrie achète » c'est justement de la bonne science.

Un autre résultat est assez troublant, les inventions de type IV se transfèrent assez mal, pourtant ce sont des inventions appliquées, proches du marché. Il y a 2 hypothèses principales à cette difficulté de transfert : la première tient à leur caractère fortuit et opportuniste, c'est-à-dire que l'invention est une astuce ou une solution pratique, trouvée 'par hasard' sans grand fondement scientifique et très périphérique à l'activité scientifique du laboratoire. C'est justement cette insuffisance d'engagement qui rend l'invention difficilement transférable. Par analogie au point précédent, « on n'attend pas ce type d'invention de la part de la recherche académique ». La seconde raison est que les marchés auxquelles s'adressent ces inventions (par exemple : électronique, agro-alimentaire, produits ménagers) sont des marchés à faible durée de vie et à retournement rapide (2 ou 3 ans), par suite incompatibles avec une dynamique procédurale plutôt lourde et lente du transfert de technologie public. Il faut souligner cependant que ce type d'invention est mineur (<4%) dans le portefeuille de brevets du CNRS. Le transfert de technologie public ne semble pas adapté à ce type de marché « rapide ».

1 .2.3. Indice de transférabilité

Selon notre approche nous pouvons estimer un indice global de transfert.

La classification des inventions proposée nous permet à ce stade de proposer un calcul (empirique) de la probabilité de transfert de chacun de ces types d'invention soit :

IND_i indice de transférabilité de l'invention de type II, III (le type I est supposé transféré, le type IV non significatif) :
$$\text{IND}_i = P_i * L_i$$

Avec **P_i** probabilité d'une invention de type i (tab. Fig.2 moyenné sur 3 ans)

L_i probabilité d'une licence de type i (tabl. Fig.6 moyenné sur 3 ans), on obtient donc

i	P _i	L _i	IND _i
Type I	n/a	n/a	n/a
Type II	36.7%	33.4%	0.122
Type III	35.4%	65.9%	0.233
Type IV	2.3%	0.8%	n/a

Ceci peut être considéré un indice de transférabilité spécifique du portefeuille de brevets du CNRS, dont l'indice global serait de $0.122 \times 0.233 = \mathbf{0.028}$ soit **2,8 %**

Il serait intéressant de comparer et de suivre cet indice en fonction des différents secteurs technico-scientifiques du portefeuille de brevets du CNRS ou d'utiliser cet indice pour

comparer la transférabilité d'organismes de recherche publique (EPST, Universités, Instituts, Ecoles).

2. Facteurs exogènes du transfert de technologie

D'après le modèle d'encapsulation des concepts proposé dans le chapitre 1, rappelé dans la figure suivante, les facteurs exogènes qui impactent le transfert de technologie sont multiples et complexes.

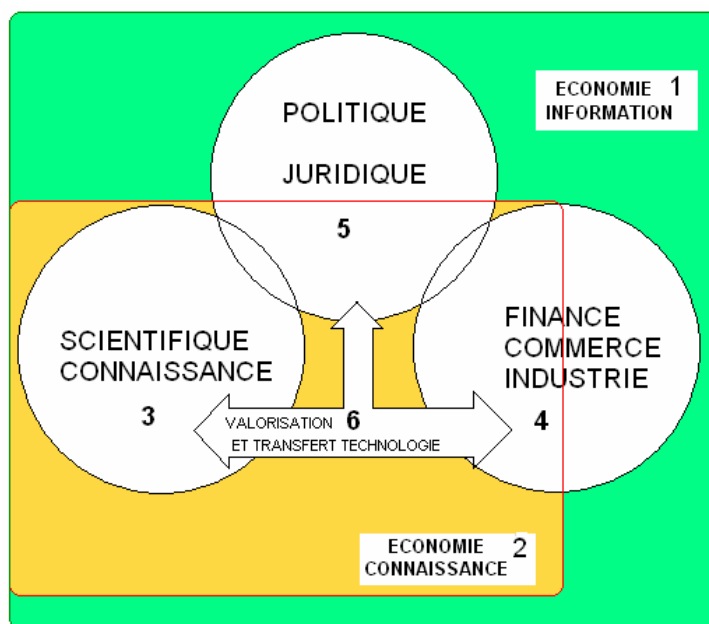


Fig. III.6 : Le transfert de technologie selon l'économie de la connaissance ou selon l'économie de l'information.

Provenant du niveau de l'économie de la connaissance, citons notamment :

- . La structure de la connaissance technologique
- . Le principe de « l'Open Science »
- . Le coût de la recherche fondamentale

Provenant du monde l'économie de l'information, citons :

- . Les modèles de processus d'innovation (néoclassiques)
- . La capacité d'intégration économique de l'innovation
- . Les politiques d'innovation (législations nationales ou internationales)

Du point de vue des théories économiques, l'approche néoclassique (Kamien et Schwartz 1982) envisage le transfert de technologie comme principal agent d'une transaction où tous les agents sont rationnels et toute l'information disponible. Le risque est probabiliste, les agents se coordonnent sur un équilibre. Cette approche utilise soit la *théorie de la décision* où les agents opèrent dans des conditions fixées (Jensen et Thursby 2001) ou en

utilisant la *théorie des jeux* (Tauman et Kamien 1984)¹³⁴ qui prend en compte les interactions stratégiques entre les agents (exemple : courses au brevet). Thursby et al. (2001-2004) ont proposé des modèles de stratégies de protection et de licensing des TTO. Ils considèrent le TTO comme un agent « dual » représentant à la fois le chercheur et l'administration de l'université. Le TTO dans ce schéma tente de gérer le flux d'inventions pendant que l'administration définit la politique de rétribution et de partage des revenus issus des licences. Dans ces modèles le chercheur - inventeur est assimilé à un « producteur » de brevets. Pour Veugelers et al. (2005) le TTO permet de réduire l'asymétrie d'information due à l'incertitude des inventions issues de la recherche académique. L'approche néo-classique a l'avantage, par l'utilisation d'une instrumentation mathématique puissante, d'aboutir à des conclusions rigoureuses, sur des hypothèses relativement simples. La critique essentielle de cette approche est la nécessité d'un équilibre et une exigence informationnelle excessive.

L'approche évolutionniste (Nelson et Winter 1982), dans la lignée de l'école autrichienne (Hayek, Von Mises et Schumpeter) se pose en alternative à l'approche néo-classique, notamment dans l'analyse du changement technique. Dans cette approche, les agents sont « imparfaits » et leurs choix sont limités par leur capacité à identifier ces opportunités. Les principales raisons pour nous de cette limitation du transfert de technologie proviennent d'une part de la difficulté à évaluer « l'incertitude » liée aux inventions issues de la recherche académique et d'autre part à identifier les processus de conception. Beaucoup d'études empiriques apportent des éléments sur la nécessité d'implémenter d'autres facteurs plus (psycho) sociologiques (profil des inventeurs, sexe, âge, statut, type...), comme Amesse et al. (1990) ou Giuri et al. (2006) ou encore Stephan et Levin (2005).

Entre ces deux approches il n'existe pas une voie unique, et le positionnement du TTO est pour le moins difficile. Nous allons essayer d'analyser ici comment le monde de la recherche et le monde de l'industrie ont développé des «voies» d'innovations, et le rôle possible pour le transfert de technologie public dans ces différents processus.

¹³⁴ Kamien, M.I.: Patent licensing. In: Aumann, R.J., Hart, S. (eds.) *Handbook of game theory*, vol.1, pp. 332–354. Amsterdam: North-Holland 1992, ou Kamien & Tauman – The private value of a patent: a game theoretic analysis. 1984

2.1 Transfert de technologie et Innovations

Il semble que l'un des facteurs de la problématique du transfert de technologie public soit la difficulté à s'adapter aux processus « modernes » d'innovation proposés notamment par Kline et Rosenberg. Le Transfert de Technologie Public a de plus en plus de mal à intégrer des processus plus complexes que le modèle linéaire schumpetérien¹³⁵.

Nous allons utiliser pour illustrer ce rapport entre transfert de technologie et innovation les modèles observés de processus d'innovation que nous avons développés dans le chapitre 1.

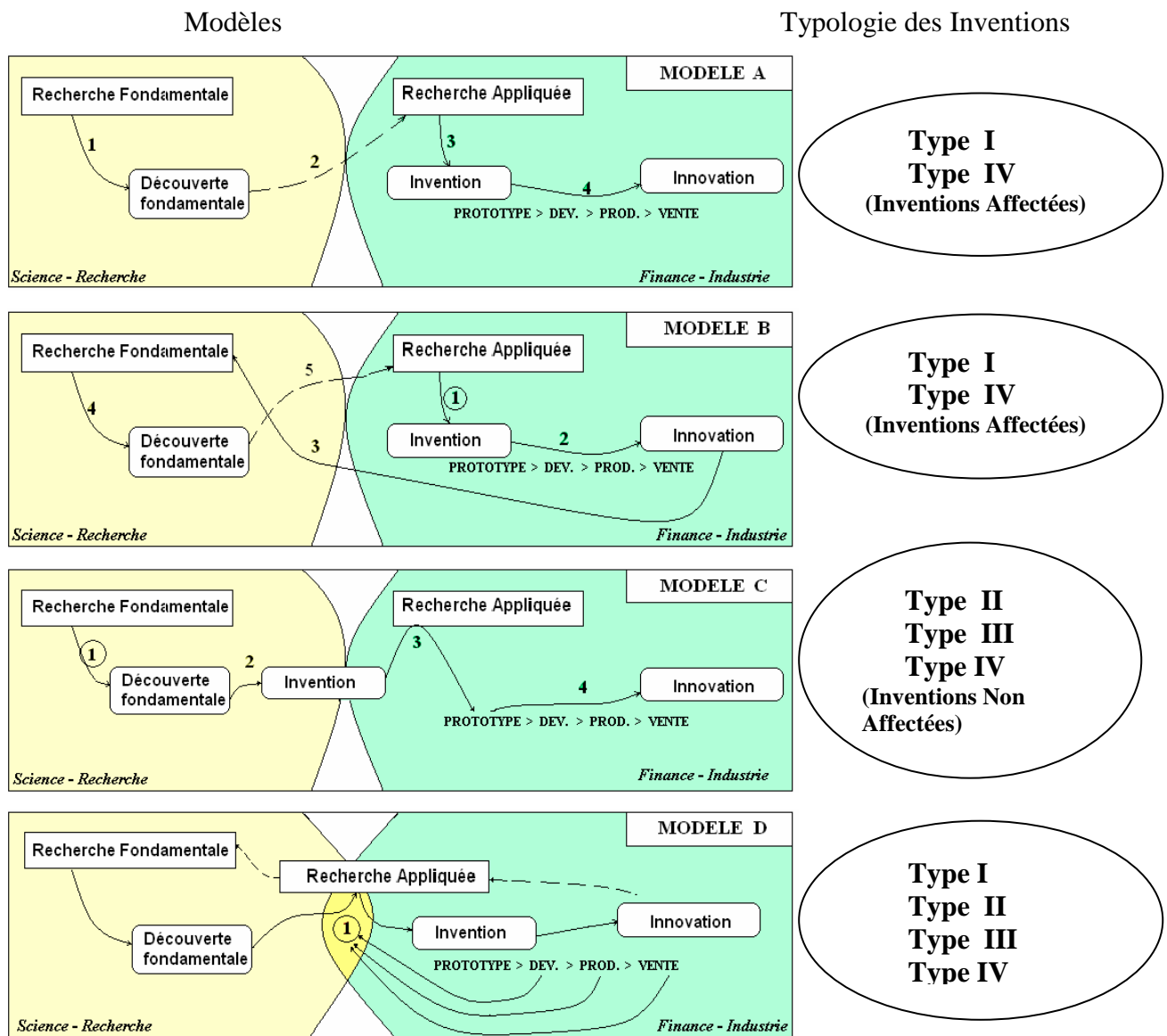


Fig.III.7 : Processus d'innovations et typologie des inventions.

¹³⁵ Un exemple révélateur est le mouvement de la licence libre CECILL ou GPL dans le développement Logiciel, qui vient de la pression de la « base », les inventeurs et développeurs de logiciels, et qui propose une autre forme de « business development » coopératif.

Dans le processus **modèle A**, la découverte scientifique « diffuse » et est pris en compte par la recherche appliquée qui génère une invention de type I (ou IV fortuite) mais nécessairement affectée à une technologie, un produit ou un procédé spécifique. Dans ce modèle le rôle du transfert de technologie (inexistant aujourd'hui) pourrait être une veille scientifique et technologique permettant la communication de ce résultat issu de la découverte scientifique. Cette constatation permettrait une consolidation élargie des résultats de la recherche fondamentale, jugée parfois trop hâtivement « inutile ».

Dans le processus du **modèle B**, contrairement au modèle A, la relation directe entre la découverte scientifique et l'invention générée par la recherche appliquée n'est pas évidente à établir. Dans ce modèle, la recherche appliquée (privée) sous la pression du marché génère des inventions, qui peuvent conduire à des innovations. Ces innovations initient clairement la recherche fondamentale (volonté de comprendre le mécanisme de l'innovation). Par suite la découverte scientifique issue de cette recherche fondamentale entraîne d'autres inventions pour la recherche appliquée.

Dans cette boucle « vertueuse », si le transfert de technologie devait avoir un rôle, cela serait d'évidence de « diffuser » dans le milieu de la recherche fondamentale, les innovations qui présentent cette typologie (utilisées mais non comprises) et inversement communiquer dans le milieu industriel la nécessité et surtout l'intérêt de développer des collaborations scientifiques (veille technologique). En d'autres termes, le rôle du Transfert de Technologie serait d'amorcer et d'entretenir cette boucle vertueuse d'innovations.

Le **processus C**, est l'environnement « classique » et idéal pour le transfert de technologie et concentre toutes les difficultés inhérentes aux inventions générées de type II (appliquées mais non affectées) et du type III (fondamentale).

Il s'agit ici pour le TT d'implémenter d'autres méthodes d'analyses et d'autres paramètres (autre que ceux nécessaires mais pas suffisants de brevetabilité et d'études de marché actuellement utilisés) afin de consolider cette étape initiale de l'**évaluation**. Dans ces autres paramètres on citera notamment : la structure de la connaissance générée, la genèse de l'invention, la notion de réseau d'innovation, la localisation dans une trajectoire technologique, la position dans une trajectoire scientifique, la stratégie de propriété intellectuelle de l'organisme.

Le **processus D**, semble le plus conforme aux modèles de Kline et Rosenberg, puisque la matérialisation d'un espace physique réel (laboratoires et chercheurs communs Industrie – Académique) semble être le plus adapté aux besoins d'échanges rapides et constants nécessaires au développement de l'innovation. Cependant ce modèle dans la réalité est assez rare (seulement 10 laboratoires mixtes CNRS-Industrie sur plus de 1000 laboratoires) et paradoxalement il fonctionne difficilement. A notre avis pour trois raisons principales :

- a) La gouvernance et le financement de ce type de structure sont difficiles
- b) L'équilibre Application / Fondamental n'est pas évident
- c) La propriété intellectuelle des résultats est difficilement identifiable

Cette configuration dans la réalité ne fonctionne que sur des domaines très précis (en général appliqués et de pointes comme par exemple la robotique et l'intelligence artificielle). Cette constatation conforte la notion de dichotomie nécessaire (Nelson - 2000, Mowery-2001) entre chercheurs académiques et industriels. Le rôle du transfert de technologie dans ce type de configuration est justement de déterminer les conditions technico-économiques où ce type de structure peut (et doit) être réalisée. Certains domaines, comme l'électrochimie et la problématique de Piles et Batteries méritent en effet un espace commun de recherche et développement synergique rapprochant les chercheurs académiques et industriels. Mais on constate cependant que ces structures ne sont pas pérennes, dès le problème technologique résolu elles sont amenées à évoluer, et basculent inmanquablement dans le fondamental ou dans l'appliqué.

2.2. Transfert de Technologie et maturation des inventions

Nous allons analyser un aspect spécifique des inventions issues de la recherche académique leur caractère immature décrit notamment par Nelson (2001).

Comme nous l'avons précisé, la classification des inventions Type I, II, III et IV, est une classification évolutive des inventions. Prenons par exemple une invention de type III : l'identification d'un gène impliqué dans une pathologie clinique est une découverte scientifique non brevetable, mais l'identification des effecteurs (produits chimiques ou biologiques modulant l'activité de ce gène) est une invention brevetable. Cependant cette invention est considérée comme très amont (loin du marché), car en général les résultats sont au stade du tube à essai (in vitro). On

constate en effet que cette invention initiale (donc brevet) va entraîner une suite de brevets de plus en plus appliqués de type II puis de type I (donc transférable). Ce processus appelé « maturation » aboutit donc à une « preuve industrielle » du concept, un prototype industrialisable (pour un médicament on parlera de tests pré cliniques ou phase pré clinique 1).

Nous avons synthétisé (Fig.III.8) ce processus de transfert sur une échelle technico-économique de maturation pouvant amener une invention en fonction de sa maturité technologique à un niveau suffisant pour une prise en charge industrielle. Par exemple le type III : invention hautement scientifique, très en amont et loin du marché en une invention de type I : intégrable dans le processus industriel à un coût inférieur (zone d'incertitude réduite).

Sur ce schéma, nous avons étendu les typologies des inventions en 4 types :

- . Type I : Niveau Scientifique Important et Transfert facile (court terme)
- . Type II : Niveau Scientifique Important Mais Transfert plus difficile
- . Type III : Haut Niveau scientifique (fondamental) mais loin du marché
- . Type IV : Invention fortuite, le niveau de science est faible, transfert aléatoire

Dans le graphique de synthèse nous avons aussi créé les types virtuels théoriques V et VI : considérées donc comme des inventions avec un niveau scientifique faible et d'application non identifiée et lointaine d'un marché éventuel. Ces inventions sont éliminés rapidement à l'évaluation et ne conduisent pas à des brevets, donc n'apparaissent plus au final. Les conclusions du comité pour ce type d'inventions sont en général un conseil et un encouragement au laboratoire et aux inventeurs de poursuivre les études afin d'augmenter le niveau scientifique pour devenir des inventions de type III, ou d'apporter la preuve du concept ou de l'application pour devenir des inventions de type II.

L'évaluation de ce « niveau d'entrée » par rapport au marché est une difficulté majeure et un défi permanent pour un service de transfert, surtout dans les conditions économiques actuelles où les niveaux d'investissements privés et industriels sont au plus bas malgré les incitations fiscales. Ce niveau d'investissement initial, symbolisé sur le schéma suivant par le niveau A, est cependant lié au domaine technico-économique. Ce niveau d'entrée dans le monde industriel peut aller de plusieurs centaines de milliers d'euros pour l'instrumentation par exemple, à plusieurs millions d'euros pour le développement d'un médicament.

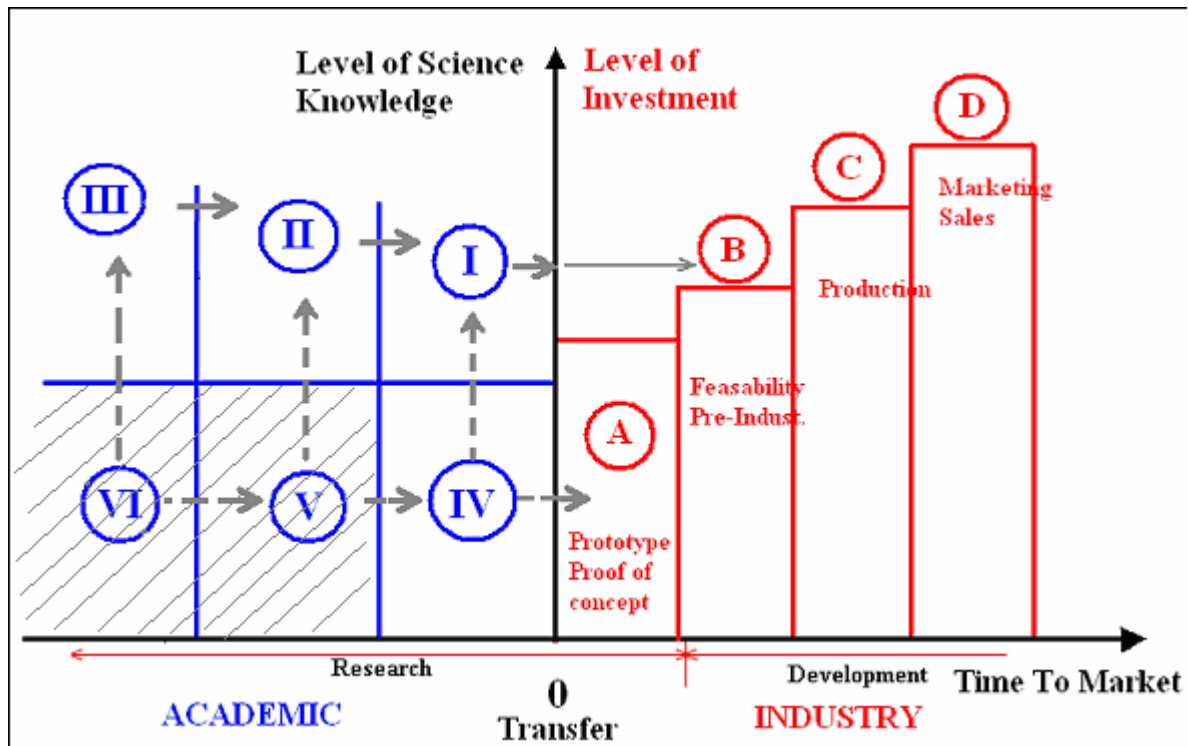


Fig.III.8 : Typologie et chemins de maturations des inventions. Le niveau d'entrée dans le monde industriel et sociétal A doit être atteint pour un transfert de technologie efficace. La mission du transfert de technologie public se déplace de plus en plus dans les phases pré-industrielle.

Nous avons représenté aussi les niveaux d'investissement nécessaires pour les étapes industrielles à partir du niveau prototypage A, le niveau B : Pré-industriel, niveau C : Production et niveau D : Commercialisation. Cette approche peut expliquer les difficultés du transfert de technologie par la difficulté d'avoir des inventions assez matures pour passer au-dessus du niveau d'investissement industriel initial (Étape A : Prototypage, ou Pré-clinique). D'un point de vue économique, le défi pour le transfert de technologie est d'amener une invention de type III (amont) à un niveau d'intégration d'invention de type I, plus « facilement transférable ». En effet, le niveau d'investissement (donc risque) initial (étape A), est un niveau d'entrée dans le monde industriel qui reste « trop » élevé pour l'industriel (avec la crise économique et bancaire actuelle, ce niveau d'investissement initial devient dissuasif).

Notons par ailleurs que dans ce processus, les inventions de type VI, V et IV (inventions de contribution scientifique assez faible) restent difficilement transférables telles que. En effet, issues du monde de la recherche scientifique elles nécessitent une consolidation scientifique préalable afin d'augmenter leur crédibilité éventuelle (le label scientifique reste un critère

majeur pour un industriel). Ceci met en lumière une évidence : la nécessité de cohérence du transfert de technologie public. En effet issues de la recherche fondamentale, les inventions ont nécessairement un fondement scientifique minimum. Cette caractéristique majeure du Transfert de Technologie exclut formellement les méthodes de transfert et de négociation issues du Marketing et de la Vente traditionnels¹³⁶. L'objet transféré est plus qu'un produit. La nécessité de maturation des inventions est pour nous un des facteurs qui caractérise la difficulté de transfert des technologies du CNRS, car elle oblige à étendre la mission des services de transfert de technologie. Le fait que cette fonction ne soit pas assurée par les TTOs actuellement, est une des raisons principales de la création de Start-up qui pourront rassembler les moyens et les ressources nécessaires au développement. Cette approche rejoint les travaux de Veugelers et al. (2007) pour qui le TTO, comme principal-agent réduit *l'asymétrie d'information* du transfert de technologie public.

A ce stade de notre réflexion, il nous semble important de décrire quelques exemples caractéristiques du transfert de technologie public où nous allons retrouver beaucoup d'éléments que nous avons développé jusqu'à présent de la difficulté de cette mission. Ces exemples vont aussi nous permettre d'introduire un élément fondamental des processus d'innovation : **l'inventeur** et d'analyser le processus de genèse de l'invention.

2.2.1. Un exemple 1 de transfert : **le Lupuzor.**

Le lupus érythémateux est une maladie auto-immune (le corps humain développe des anticorps contre ses propres cellules) qui touche environ 80 000 personnes en France (environ 100 nouveaux cas/an), c'est la limite d'une maladie dite « rare ». Cette maladie affecte principalement les femmes et les enfants, causant de multiples pathologies (peau, articulations, foie, cerveau, rein) et dans sa forme néonatale, elle est mortelle.

Il n'y a aucun traitement curatif, essentiellement des immunosuppresseurs (qui bloquent le système immunitaire) que les patients doivent prendre à vie.

¹³⁶ Ce qui suppose que les modèles (néoclassiques) de transaction Vendeur / Acheteur sont un peu biaisés dans le cadre du transfert de technologies issues de la recherche académique et fondamentale.



Fig.III. 9 : Les conséquences du Lupus érythémateux
 (Source Laboratoire CNRS-UPR9021, immunologie et chimie thérapeutiques, institut de biologie moléculaire Strasbourg. Directrice S. Muller)

La découverte scientifique (donc non brevetable) sur l'auto-immunité, a été qu'une protéine (la snRNP U1-70K) était une cible des auto anticorps (1993). Les chercheurs du laboratoire d'Immunologie et Chimie Thérapeutique de Strasbourg, ont poursuivi ces travaux et, constatant la structure particulière de cette protéine (faite de modules et sous modules), ont fractionné cette protéine en petits fragments (peptides de 20-50 acides aminés) et ont trouvé (en 2000) qu'une petite partie de cette protéine (le fragment P140) agissait sur la prolifération des lymphocytes T (cellules du système immunitaire), responsables de cette auto-immunité. Cette molécule (peptide de 20 acides aminés, synthétisée par l'équipe et donc brevetée) injectée à des souris présentant cette pathologie, fait disparaître (assez miraculeusement Fig.10) tous les signes cliniques. A l'époque (2001) les industriels n'ont pas été intéressés par cette invention¹³⁷. Par suite, les chercheurs afin de développer leur invention vont créer une start-up¹³⁸, avec l'aide d'un investisseur privé (un particulier¹³⁹). Aujourd'hui les résultats des essais cliniques de phase II sur de vrais patients se sont révélés fabuleux (quasi 100% de guérison).

Les droits d'exploitation exclusive du brevet (licencié au départ à la Start-up créée) ont été rachetés par une société Anglaise qui procède aux dernières étapes de validation avant une mise sur le marché prévu fin 2010.

¹³⁷ En particulier les industriels Français, ceci pour trois raisons principales, la première est la prévalence de « Maladie rare », la seconde était le peu d'intérêt pour des molécules non chimiques (la P140 est une petite fraction de protéine) et la troisième était la méconnaissance à l'époque du mécanisme réel de ce produit (zone d'incertitude)

¹³⁸ La solution de création de Start-up a plusieurs intérêts pour un laboratoire. En premier lieu trouver des fonds et recruter du personnel qui va effectuer des travaux de développements (par exemple synthèse du produit en quantité suffisante pour des tests), travaux qui ne peuvent se justifier dans le cadre du thème de recherche fondamental du laboratoire.

¹³⁹ Les chercheurs ont rencontré un investisseur particulier R. Zimmer, qui a fourni les premiers financements pour la création d'une Start-up : ImmuPharma pour le développement pré-clinique du Lupuzor.

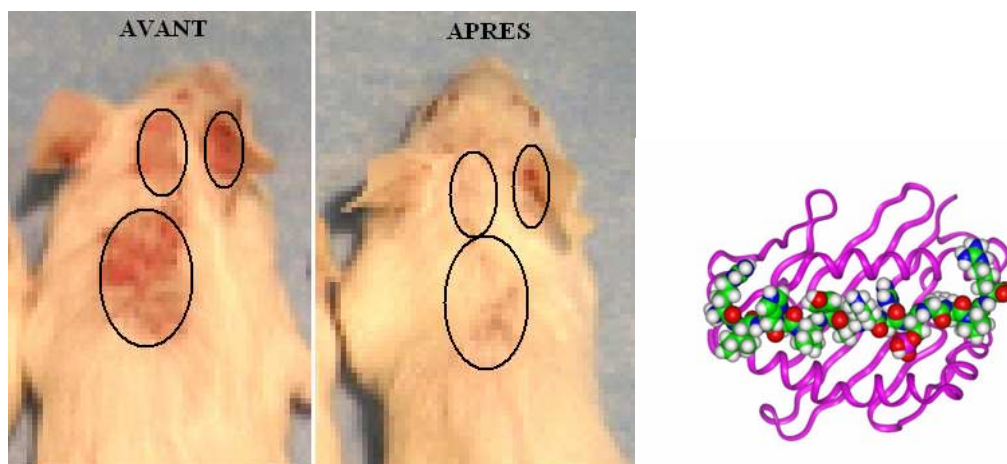


Fig. III.10 : Avant et Après traitement avec P140 Molécule P140 : Lupuzor
 (Source Laboratoire CNRS-UPR9021, immunologie et chimie thérapeutiques. Dr Sylvianne Muller)

Cette invention devenue depuis innovation thérapeutique est exemplaire à plus d'un titre. C'est une invention de type III (issue de l'axe fondamental et domaine d'excellence du laboratoire). Son degré d'incertitude n'a pas permis son transfert à des industriels. Ce qui a conduit à la création d'une Start-up financée localement (peu de financement public au démarrage). Il a donc fallu entre la découverte scientifique initiale (1993) et le premier essai clinique (2006) plus de 8 années, et le traitement ne sera commercialisé qu'en 2011 soit plus de 12 ans après la découverte scientifique. Cette innovation a été rachetée par un industriel pharmaceutique Anglais, bien entendu avec des conditions de royalties au CNRS, donc pour le laboratoire et les chercheurs.

Au regard du transfert de technologie public, il faut souligner : la protection efficace légale et administrative de l'invention, la négociation des clauses de revenus prévisionnels pour l'organisme à partir de 2011, et les retombées de « l'image » d'une innovation directement issue de la recherche fondamentale (surtout sur une maladie orpheline). Cependant, il y a aussi beaucoup de motifs de regrets comme la durée totale du transfert de plus de 10 ans, le rachat de l'exclusivité totale d'exploitation par une société étrangère, la « solitude » relative des inventeurs dans leur aventure de « maturation » de leur invention, processus dans lequel il faut bien admettre que le « Transfert de Technologie » n'est pas beaucoup intervenu (pour soutenir) mis à part les négociations préservant les intérêts de l'organisme. Cette non « priorisation » des projets et inventions au CNRS, nous semble en partie provenir d'une non classification, identification de la typologie des inventions à l'origine, dès

la déclaration d'invention des inventeurs, et donc d'une « standardisation » du traitement du projet.

2.2.2. Un exemple 2 de transfert : **Le Taxol**

Le brevet du Taxol (voir chapitre 1 : revenus de licences du CNRS) est le brevet dit « Blockbuster » du CNRS, à lui seul il rapporte plus de 90% des revenus du portefeuille de brevet du CNRS. L'histoire de cette innovation est déterminante dans l'histoire du transfert de technologie au CNRS.

D'un point de vue médicale, le Taxol (et dérivés) est encore aujourd'hui le médicament principal utilisé en chimiothérapie contre de nombreux types de cancers. Il a été commercialisé par Rhône-Poulenc Santé dès la fin des années 80. **Pierre Potier**, chercheur émérite du CNRS, a trouvé le moyen de synthétiser à l'échelle industrielle un analogue: le Taxotère, proche de la molécule d'origine végétale le Taxol (issue d'un arbuste l'if marin). La famille des Taxols, comme toute substance d'origine naturelle, a une la structure (Fig. 11) est d'une grande complexité (avec 7 axes de symétrie).

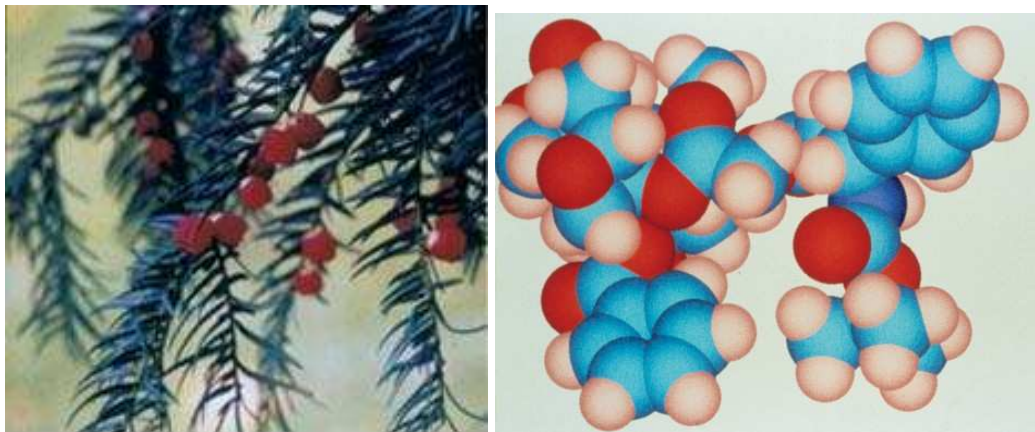


Fig.III. 11 : Le Taxol extrait d'écorce de l'If marin et la molécule synthétisée le Taxotère

L'effet anti-cancer et la structure du Taxol (substance naturelle) ont été en fait mis en évidence par des chercheurs américains (Wani, Wall et Taylor 1971). Le verrou technologique et industriel a donc été la synthèse à un niveau industriel de ce composé complexe. Le processus de conception dans cet exemple procède pour nous de la démarche de la Pensée Réflexive, dans laquelle l'inventeur est confronté (se confronte) à un défi technologique. Le « génie » de Pierre Potier en étudiant cette

structure complexe (avec 7 axes de symétrie différents) a été de proposer une synthèse (hémi synthèse) d'un composé analogue plus évident à synthétiser. Et plus encore, sa démarche innovante a été de croire et de prouver que ce composé, même sensiblement différent, possédait en fait l'essentiel des fonctions actives et efficaces de la molécule originelle par analogies de structure avec des substances (précurseurs) analogues. Le Taxotère s'est révélé en effet plus efficace et plus spécifique que le Taxol.

Mais l'exemplarité de cette innovation ne s'arrête pas là. Au niveau du transfert de technologie, les liens du laboratoire (Institut Chimie des Substances Naturelles-CNRS) et du chercheur avec un industriel spécifique (Rhône-Poulenc Santé) et des biologistes et cliniciens (on a ici typiquement la notion de réseau d'innovation) vont conduire au dépôt de brevet. Il faut noter (Fig. III.12), que le CNRS n'apparaît pas comme déposant dans le brevet initial. Ce paradoxe juridique va conduire au moment de la commercialisation du produit à la nécessité de procéder à une série « d'aménagements » spécifiant des conditions spécifiques de retours financiers pour le CNRS et plus encore les conditions de rétribution des inventeurs¹⁴⁰ (jusqu'à l'amendement dit Potier, régissant l'intéressement des chercheurs au CNRS).

Au regard du transfert de technologie, que peut on conclure de cet exemple de transfert de technologie ? Tout d'abord et principalement que l'innovation tient de la volonté, ténacité et de la conviction d'un inventeur : Pierre Potier, dont le réseau de connaissances dans le domaine pharmaceutique, scientifique et politique était assez étendu.

Dans le cadre de notre approche cette invention pourrait être considérée de type II, c'est-à-dire une invention appliquée mais non-affectée (sans demande explicite d'un industriel¹⁴¹) dans un processus d'innovation C classique. Le résultat de ce transfert montre (si cela devait être démontré) que la conclusion hâtive qui consisterait à réduire les inventions de type II (recherche appliquée non-affectée) sous prétexte d'une probabilité de transfert faible serait bien sûr une erreur. **L'innovation n'est pas seulement liée à la nature de l'invention mais aussi à son processus de conception, son processus de maturation et la volonté créatrice de son inventeur.**

¹⁴⁰ Condition très avantageuse de répartition des revenus de licence pour les chercheurs du CNRS, dans le cas du Taxotère, environ 15 millions d'euros reviennent à 4 inventeurs principaux par an depuis plus de 10 ans.

¹⁴¹ Les industriels n'étaient pas vraiment convaincus à l'époque.

Et enfin, il faut aussi souligner que l'une des motivations principales à inventer et breveter (autre que le défi intellectuel et scientifique) pour le chercheur reste bien entendu l'espoir d'un gain financier substantiel. Et pour conclure, cet exemple renforce notre affirmation (un peu provocatrice) du début de ce chapitre : le Transfert de Technologie n'a rien à voir avec l'innovation, si sa mission devait se restreindre à la protection de l'invention et la négociation de licence. En effet dans cet exemple c'est la volonté constante et sans faille de l'inventeur Pierre Potier qui a littéralement porté une invention jusqu'au stade d'une innovation.

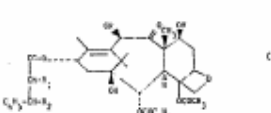
(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE PARIS	(11) N° de publication : 2 601 675 <small>à utiliser que pour les commandes de reproduction</small> (21) N° d'enregistrement national : 86 10400 (51) Int Cl [*] : C 07 D 305/14; A 61 K 31/335.
(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1	
(22) Date de dépôt : 17 juillet 1986. (30) Priorité : (43) Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 3 du 22 janvier 1988. (80) Références à d'autres documents nationaux apparentés :	(71) Demandeur(s) : RHONE-POULENC SANTE, Société anonyme. — FR. (72) Inventeur(s) : Michel Coffin, Daniel Guénard, Françoise Guérita-Vogelein et Pierre Potier. (73) Titulaire(s) : (74) Mandataire(s) :
(54) Dérivés du taxol, leur préparation et les compositions pharmaceutiques qui les contiennent. (57) Nouveaux dérivés du taxol de formule générale I dans laquelle R représente hydrogène ou acétyle, un des symboles R ₁ ou R ₂ représente hydroxy et l'autre représente tertibutoxycarbonylamino et leurs isomères, leur préparation et les compositions pharmaceutiques qui les contiennent.	
- A1	

Fig.III.12 : Le brevet du Taxotère. « Blockbuster » du CNRS. On notera l'absence du CNRS comme co-déposant.

2.2.3. Exemple3 : La Magnéto Résistance Géante

C'est une découverte scientifique fondamentale par excellence qui va entraîner dans son sillage une toute nouvelle trajectoire technologique fertile et prometteuse : La Spintronique ou Electronique de Spin.

Vers le milieu des années 80, Albert Fert, alors au Laboratoire de physique des solides d'Orsay (Université Paris XI), établit une collaboration pour l'étude de multicouches magnétiques avec Alain Friederich, directeur à Thomson-CSF d'un département de recherche qui maîtrisait la technique d'« épitaxie par jets moléculaires » (technique de croissance sous ultra-vide) pour le dépôt de couches ultra-minces. Albert Fert raconte : « *Nous avons découvert la magnétorésistance géante en 1988 sur des multicouches de fer et de chrome. Pour certaines épaisseurs des couches de chrome, les aimantations de couches de fer successives s'orientent en sens opposé, dans une configuration dite antiparallèle. Dans l'expérience de 1988, nous avons aligné ces aimantations en appliquant un champ magnétique et provoqué ainsi une forte chute de la résistance électrique de la multicouche. L'amplitude de l'effet a dépassé toutes nos espérances* ». La variation de résistance d'un conducteur induite par un champ magnétique s'appelle magnétorésistance. La découverte par l'équipe de Fert en 1988¹⁴², est que ce phénomène est beaucoup plus important sur des multicouches minces (Chrome/Fer) que dans les conducteurs classiques, cet effet est appelé MagnétoRésistance Géante.

Les premières applications des capteurs de champ magnétique très sensibles sont apparues dès 1993. « *Les applications les plus importantes, explique Albert Fert, ont cependant été les têtes de lecture pour disque dur utilisant la variation de résistance d'une multicouche (c'est-à-dire l'effet GMR) pour détecter les petits champs magnétiques générés par les inscriptions sur le disque.* ».

La sensibilité de la détection par GMR a permis au début des années 2000 de diminuer la taille des inscriptions et d'augmenter par un facteur d'environ 100 la densité d'information stockée sur le disque (Fig. 13). Et rapidement la quasi totalité des têtes pour disques durs (plus de 615 millions de têtes par an) utilise la GMR pour des capacités pouvant dépasser les 200 giga-octets, avec des densités supérieures à 20

¹⁴² l'équipe de Peter Grünberg à Jülich en Allemagne a publié peu après -1989- des résultats expérimentaux similaires.

gigabits par centimètre carré de disque (l'équivalent d'environ 2500 romans par centimètre carré).

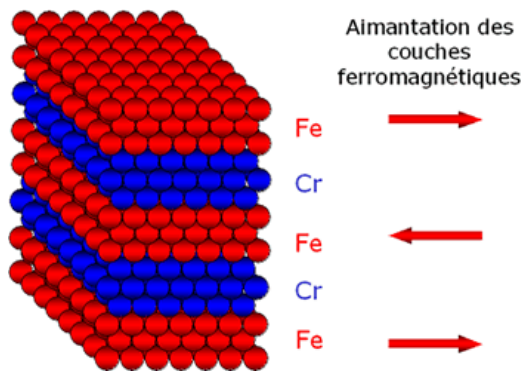


Fig.III.13a

a) Dessin d'une multicouche composée de couches de fer et de chrome en alternance. Cette multicouche est semblable à celle de la découverte de la magnétorésistance géante en 1988. Chaque couche est constituée de trois plans d'atomes (représentés par des boules) dans un réseau cubique cristallin centré. Les flèches indiquent l'orientation de l'aimantation des couches de fer avant application d'un champ magnétique.

b) Dessin schématisé d'une tête de lecture de disque dur utilisant la GMR pour une détection ultra-sensible du champ magnétique généré par les inscriptions.

(Source// www.cnrs.fr: Médaille d'or 2003)

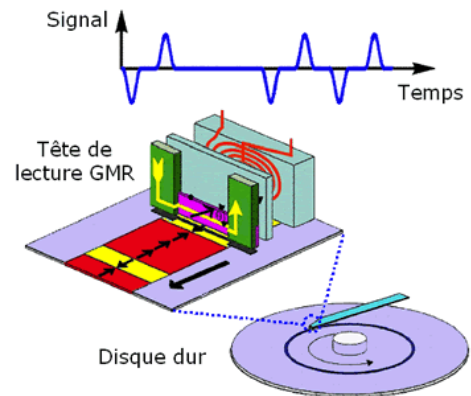


Fig.II.13b

Du point de vue du transfert de technologie, cet exemple est un modèle de tous les paradoxes que nous avons développés jusqu'ici. Nous sommes ici dans un processus de transfert de Type D (voir Fig.III.7), c'est-à-dire un « Laboratoire Commun » d'abord Thomson-CSF/CNRS puis Thalès /CNRS donc un laboratoire mixte public/privé. Dans ce modèle, supposé idéal pour un transfert de technologie « efficace », il existe cependant divers paradoxes. Le premier et non le moindre, ce sont les recherches très fondamentales sur la structure même des matériaux semi-conducteurs qui sont menées dans ce laboratoire mixte dit « appliqué ». Pour Albert Fert, la genèse de ce rapprochement vient du besoin des chercheurs académiques de se rapprocher de l'excellence du savoir-faire et des (grands) moyens spécifiques d'un laboratoire privé (Thomson-CSF). Le second paradoxe, c'est que le brevet sur l'application sur les disques durs n'a pas été identifié et développé par l'industriel (Thalès) gestionnaire et « valorisateur » de ce laboratoire commun, mais par l'Université de Jülich en Allemagne (où se trouve le laboratoire de Peter Grünberg, co-Prix Nobel de Physique avec Albert Fert).

En première analyse il semblerait que le transfert de technologie (ou valorisation) semble mieux fonctionner outre-rhin qu'en France. Mais cette posture est une vue un peu simpliste de la portée réelle d'une invention de Type III, donc fondamentale qui selon notre définition correspond à des inventions originelles dont les implications ont

des temps de transfert « longs » et peu prévisibles comme le déclare Albert Fert (Le Monde 25 octobre 2007), « *il faut laisser la recherche fondamentale se dérouler, les chercheurs suivre leurs idées, en zigzaguant, pour déboucher sur des découvertes et ensuite des applications. Je n'ai pas démarré mes travaux en me disant que j'allais augmenter la capacité de stockage des disques durs. Le paysage final n'est jamais visible du point de départ* ». Cette réflexion rejoint les travaux de Pavitt (2001) ou Nelson (2003) qui nous mettent en garde sur une finalité stricte imposée à la recherche dont le parcours n'est jamais linéaire.

En fait, la conséquence économique majeure de cette découverte est le développement d'un nouveau domaine innovant : l'Électronique de Spin, dont les applications dépasseront largement la seule problématique des têtes de lecture des disques durs.

Cet exemple est intéressant à plus d'un titre. Premièrement il illustre l'extrême difficulté à évaluer une invention originelle alors que les auteurs eux-mêmes (et l'industriel impliqué) n'ont pas encore d'idées précises, au moment de la découverte, d'éventuelles applications. Par ailleurs, cet exemple montre aussi le danger à consolider hâtivement le résultat d'une recherche fondamentale sous l'angle d'un retour sur investissement court terme ; le domaine de l'électronique de spin, générée par cette découverte, va probablement révolutionner dans les années futures un domaine paradoxalement assez conservateur de l'électronique et des semi-conducteurs.

3. Pour un modèle renouvelé du transfert de technologie

Nous avons développé jusqu'ici l'argumentation d'une certaine « inadaptation » du transfert de technologie aux évolutions des modèles et théories sur l'innovation, mais un autre aspect plus fondamental de l'innovation constitue aussi une problématique difficile pour le TT : La genèse de l'innovation. La position privilégiée du transfert de technologie dans la chaîne conduisant à l'innovation ne lui permet pas d'éluder les facteurs régissant cette étape de conception.

Pour Joelle Forest ¹⁴³, « *il y a un décalage entre les modèles d'innovation et la réalité de terrain.... On ne traite pas ou très peu de sa genèse, du processus de conception qui est un sous-processus d'innovation. Contrairement à ce que l'on a longtemps pensé, le processus central du processus d'innovation n'est pas la recherche mais le processus de conception* ». Cette approche confirme en effet la distinction que nous avons poursuivi jusqu'à présent dans cette thèse entre transfert de technologie et innovation mais surtout confirme le fait que le transfert de technologie est en fait aux premières loges du processus de conception, donc à la genèse de l'innovation technologique. Mais pour que le transfert de technologie puisse prendre en compte cette dimension il est nécessaire de développer des méthodologies de détection, d'identification et de compréhension des « moteurs » de ce processus de conception.

Tous ces travaux militent pour une approche différente du rôle du transfert de technologie plus « proche » de l'inventeur et donc du processus de conception de l'invention. Cette constatation de la nécessité croissante du déplacement d'activité de la recherche académique dans la phase pré-industrielle nous amène à devoir intégrer les méthodes justement développées dans le monde industrielle pour la gestion des savoirs ou « Knowledge Management ».

3.1. Apport du Knowledge Management (KM)

Pour Nelson (1993) et Lecuyer (1998) la centralité de la relation entre système de recherche (université, organisme) et les secteurs de l'industrie et des services, est un élément décisif de la prospérité fondée sur l'innovation. Dans ce contexte le transfert de

¹⁴³ J. Forest Laboratoire STOICA – INSA Lyon. NDA : Paradoxalement il y a peu d'études ou d'articles traitant spécifiquement de ce processus surtout pour les chercheurs publics.

technologie est l'agent principal (coordonnateur) de ces échanges. Pour l'accomplissement de cette mission il est fondamental pour le TT d'essayer d'appréhender « ce que devient l'objet transféré ». En d'autres termes l'enjeu pour le TT est d'évaluer la capacité d'intégration et d'exploitation de la connaissance technologique transférée. Il s'agit ici de comprendre les intentions réelles de la « partie adverse »¹⁴⁴.

Depuis les années 60, pour le milieu industriel, la **gestion des savoirs**, dans un but très pragmatique d'optimisation et d'innovation, est depuis longtemps une problématique et un enjeu vital. Pour Tarondeau (2003) « l'approche par les savoirs¹⁴⁵ permet de comprendre les conflits de frontières et de rôles et les pertes d'efficacité engendrés par les phénomènes d'appropriation ». On doit notamment à Nonaka (1995) d'avoir établi les principes de cette méthodologie : « Dans une économie où la seule certitude est l'incertitude, la seule source sûre d'avantages concurrentiels durables est le Savoir »

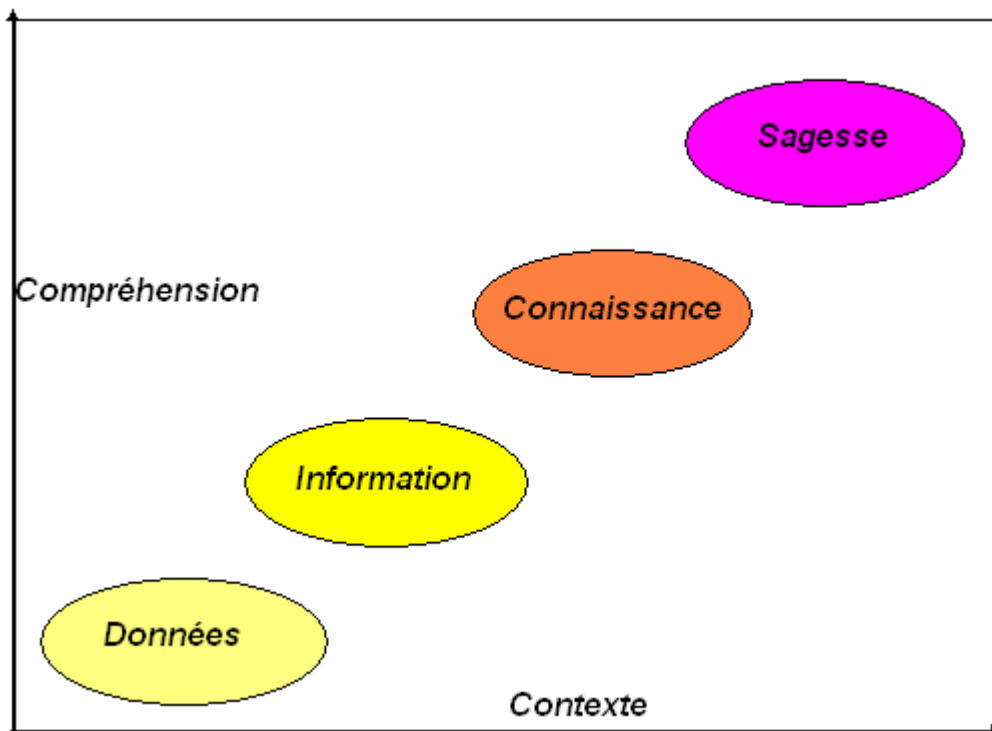


Fig.III.14 : Chaîne hiérarchique de la connaissance. Principe du « Knowledge Management ».
Source : www.transfertdessavoirs.be

Nous allons essayer de comprendre les principes et objectifs de la **gestion des savoirs** (Knowledge Management KM) dans le domaine industriel afin de dessiner les contours de la complémentarité de la relation entre le système de recherche public et le monde industriel.

¹⁴⁴ Ce qui constitue un principe de base dans les méthodes de négociations.

¹⁴⁵ Pour J.C. Tarondeau « La gestion des savoirs », PUF, Que sais-je ? , N°3407, 2002. Le savoir est constitué de la connaissance codifiée, la connaissance tacite et l'expérience.

3.2.1 Les principes du KM

Pour une entreprise, le *Management Stratégique* des savoirs consiste à identifier les individus (internes ou externes à l'entreprise), à les protéger de l'imitation et de l'érosion et à créer les conditions de leur développement (et *in fine* à leur exploitation). La responsabilité des dirigeants est de concevoir des structures susceptibles de guider et de faciliter le développement des actifs stratégiques de l'entreprise. Le KM est structuré en 5 parties :

B. **L'identification des savoirs** qui consiste à inventorier l'ensemble des ressources et compétences potentielles ou actives basées principalement sur la notion de connaissances tacites¹⁴⁶.

C. **La protection des savoirs** selon 2 axes :

- Protection managériale (conservation et développement des individus clés) pour M. Landry¹⁴⁷ c'est investir dans « *l'Ambiguïté Causale* » car les technologies les plus codifiées et innovatrices sont surtout protégés par des savoirs tacites indispensables à leur réalisation et exploitation.
- Protection juridique des savoirs est soit limitée soit illusoire.

En effet sauf en Chimie sur des procédés codifiés, ou des matériaux, les autres domaines (aéronautique, informatique et santé) les innovations sont des produits complexes combinant de multiples savoirs.

D. **L'exploitation des savoirs** a pour but d'obtenir la plus grande partie possible de la rente provenant de la spécificité de ses propres savoirs. Le partage de la rente devient nécessaire lorsque la firme ne peut exploiter ses actifs, sans l'apport d'actifs complémentaires. Ce partage dépendra donc du degré de protection des actifs de chacun et des contrats liant les différents acteurs (pouvoir de négociation).

¹⁴⁶ Pour Keith Pavitt (1987), ou Tarondeau (*ibid* 143) notamment « La connaissance tacite est : a) non soumis à l'érosion, b) se développe par l'utilisation et c) perd de sa valeur par la codification.

¹⁴⁷ M. Landry « L'ambiguïté comme outil de gestion », Revue Française de Gestion, n°105, p110-126

- E. **L'architecture stratégique** est une « *carte du futur qui sert à identifier les compétences clés à développer et les technologies qui les alimentent* »¹⁴⁸. Les dirigeants d'entreprise se doivent d'être « Ressources qui créent les ressources » et avoir une vision de l'avenir¹⁴⁹.
- F. **Modèle intégrateur.** Pour Amit et Schoemaker¹⁵⁰, les actifs stratégiques dont la firme doit s'assurer la maîtrise sont ceux communs résultant de l'analyse interne des ressources (tangibles et intangibles) et de l'analyse externe des facteurs stratégiques (positionnement, concurrences..).

Au travers des principes du Management d'Entreprise, nous voyons que le monde industriel a depuis longtemps (en théorie..) intégré le fait que ce sont les ressources et les savoirs qui recèlent les opportunités de développement et de croissance. Pour Nonaka (2001)¹⁵¹, ou Prax (2001) et Thiétart (2002)¹⁵² notamment : «*La logique managériale, héritée de Fayol, qui consiste à prévoir, décider, planifier, organiser et activer est en panne* ».

Finalement une seule posture managériale résiste au bouleversements engendrés par la prédominance des savoirs : **L'entreprise Apprenante**. L'organisation doit être conçue et animée pour apprendre. Ce concept a été abondamment étudié, et devient aussi un élément fondamental dans le cas du transfert de technologie public qui doit prendre en compte cette nécessité pour l'entreprise : le transfert de connaissance.

Cette approche de la gestion des savoirs dans le monde industriel et commercial présente beaucoup d'autres analogies (en miroir) avec la problématique du transfert de technologie issu de la recherche académique sur ces différents niveaux selon:

- A. Du besoin et des méthodes **d'identification** de l'ensemble des ressources potentielles qui constitue la « base de savoirs » (Knowledge Base) d'une organisation. Nous avons vu dans le Chapitre 2 (Breschi & al. 2002, Di Biaggio et al. 2007..), l'utilité de développer des méthodes quantitatives et des indicateurs d'évaluation de cette base et de son évolution.

¹⁴⁸ C.K. Prahalad et G. Hamel, « The core competencies of the corporation », Harvard Business Review, 1990

¹⁴⁹ Selon Tarondeau (ibid), «*L'exploitation des savoirs tacites produit des effets dont l'incertitude ExPost limite les capacités de planification* ».

¹⁵⁰ R. Amit et P.J.H. Schoemaker, « Strategy assets and organization rent », Strategic Management Journal, Jan. 1993, p. 33-46

¹⁵¹ I. Nonaka, « The knowledge creating company », Harvard Business Review, vol. 69, N°3, 1991, p-96.

¹⁵² R.A. Thiétart, « Le management », PUF, Que sais-je ? , 2002

B. Au niveau de la **protection** des savoirs, si le problème managérial (préservation des individus clés) est moins aigu pour un organisme public (chercheur fonctionnaire) « *l'Ambiguïté Causale* » due à la complexité des technologies (avec une part de connaissance tacite) est la même et rend la protection juridique difficile.

C. L'**exploitation** des savoirs, est un point sur lequel le transfert de technologie public ne peut intervenir que sur la clarification de la partie de propriété intellectuelle appartenant au public. Ceci justement pour faciliter à l'industriel-partenaire le développement et l'exploitation future.

D. Au niveau de l'**architecture stratégique**, le transfert de technologie public se différencie radicalement du monde privé car il n'a pas les mêmes objectifs de rentabilité (court terme) et les mêmes moyens (et autorité) sur son « outil » de production technologique. Cependant, comme décrit au chapitre 1 et défendu dans cette thèse, le Transfert de Technologie public se doit de devenir plus proactif dans le domaine de valorisation de la recherche académique et contribuer à une vision stratégique de l'avenir et un pourvoyeur de « ressources » au développement technologique.

Dans cette partie nous avons mis en évidence que la réelle compréhension des mécanismes et des méthodologies industrielles de gestion des savoirs, est une nécessité pour le monde du transfert de technologie public. En effet, malgré des objectifs parfois diamétralement opposés, les problématiques sont souvent identiques en particulier les difficultés vis-à-vis de la complexification des connaissances technologiques, et le « management » des ressources humaines (donc du chercheur inventeur pour un organisme public). Un des enjeux pour le transfert de technologie public est d'essayer de trouver les convergences, les complémentarités et les synergies éventuelles afin de créer un « continuum » entre recherche fondamentale et intégration - développement industriel.

Les détours que nous avons effectués jusqu'à présent à la fois par la théorie économique, ou les méthodes d'analyse de la connaissance, ou encore la gestion des savoirs, nous ont apporté bien des éléments de réflexion sur les principes de bases et l'environnement du transfert de technologie, mais ils n'apportent que peu d'éléments pour éclairer la phase de l'innovation qui nous intéresse : sa genèse, et donc les mécanismes de l'inventivité scientifique.

3.2 La pensée créatrice autonome

Pour Foray et David (1995) « *on ne peut corriger une externalité positive, engendrée par un bien non rival et cumulatif, comme une externalité négative [...] La question est plus complexe et le chemin est étroit entre l'objectif de préserver les intérêts du créateur et celui de maintenir les bénéfices pour la société* ». Ce problème reste central pour les structures de transfert de technologie publiques. Cependant, les procédures de transfert éludent rapidement ce problème en se retranchant derrière le code de la propriété intellectuelle, protégeant les droits des inventeurs et derrière divers règlements internes spécifiques aux organismes de recherches publics. Pourtant les conséquences de ce dilemme sont évidentes dans le travail quotidien des TTO, comme par exemple une communication hâtive du chercheur annulant la possibilité prise de brevet, ou encore des négociations de collaboration ou de licence d'exploitation avec un industriel qui s'enlisent.

Bien que ce dilemme soit le « basic » de la problématique des TTO publics, il n'est, à notre avis, pas central dans la question d'un éventuel « déficit » d'innovations.

Selon M.A. Rohrbach (1993)¹⁵³ « *la pensée inventive est assujettie à l'homme et aux conditions qu'elle rencontre. Elle est incapable de créer elle-même les voies de son exécution* ». Cette approche constitue pour nous la « vraie » raison d'être du transfert de technologie public bien au-delà du cadre administratif et légal, ou encore de la défense légitime des intérêts de l'organisme. La prise en compte de cette dimension originelle est essentielle pour le transfert de technologie. La créativité des chercheurs et inventeurs issus de la recherche publique a un caractère abstrait et auto-suffisant, il lui faut une structure, un support pour « advenir au monde ».

¹⁵³ M.A. Rohrbach (1993) décrit les 4 composantes de la « Pensée Vivante » : La Pensée mémoire, La Pensée Réflexive, La Pensée Inventive et la Pensée Créatrice. Gaston Bachelard dans « Le Matérialisme rationnel », PUF (1953) présente différentes « motivations » de l'Esprit Scientifique, entre épistémologie et poétique.

Il nous semble essentiel de revenir sur l'étape de gestation et de naissance (genèse) de l'invention base de l'innovation. Dans les travaux précédents nous avons déterminé une classification basée sur 4 types d'inventions identifiées selon l'origine (sciences), la direction (application), et son intensité (maturité, force). Cette dernière caractéristique est liée à ce que nous appellerons la volonté créatrice initiale de l'inventeur. Cette approche s'inspire fortement des travaux de M.A. Rohrbach (1993) sur la « Pensée Vivante », mais nous emprunterons aussi quelques concept importants de C. Levi-Strauss (1962) sur la « *Pensée Sauvage* », ou encore de G. Bachelard (1938) sur « *La formation de l'Esprit Scientifique* » pour tenter d'éclairer l'imagination créative scientifique. Ces approches philosophiques fondamentales nous permettent de tenir éloignées les apparentes spécificités technico-sectorielles (par exemple entre les domaines technico-économiques comme l'électronique et la pharmacie) qui « brouillent » le débat sur le processus de création technologique et l'innovation. Et de façons plus concrètes et plus proches de notre démarche, Polanyi (1992) dans « The tacit dimension », ou encore Amin et Cohendet (2004) « Architectures of Knowledge » dont l'approche nous propose une plateforme de réflexion multidisciplinaire qui nous éloigne des contraintes excessives de la segmentation technico-économique des technologies pour aborder notre préoccupation : De quelle processus de pensée procède les inventions que nous observons ?

Pour M.A. Rohrbach les 4 composantes de la « Pensée Vivante » sont :

. la Pensée Mémoire, « *est l'étoffe première de notre existence .. Elle a une fonction propre qui est une fonction de fixation, mais qui ne s'oppose pas au progrès,.. chaque situation nouvelle transforme et enrichit le schéma primitivement formé... C'est ce mécanisme qui constitue la charnière élémentaire de notre pensée, qui agit sur notre corps et régit son comportement dans le milieu matériel et social qui l'entoure.* » Ce processus peut être mis en évidence dans la genèse d'un grand nombre d'inventions de type I (affectée) et III (fondamentale non-affectée). Les inventeurs procèdent par analogie à des schémas connus afin de résoudre un verrou technologique.

. La Pensée Réflexive facteur d'ordonnance et d'intelligence, « *A son niveau supérieur elle est capable d'adaptation rapide à des conditions nouvelles, comme base de raisonnement et contrôle efficace de la pensée mémoire* ». Dans le transfert de technologie, cette forme de pensée caractérise le « constant » besoin du chercheur à se

confronter (réflexion dans le sens physique de la lumière sur un miroir) à une problématique industrielle. Il n'y a pas forcément d'empathie particulière pour le problème, considéré ici que comme un « réflecteur » d'une pensée avide de son « image ». Cette forme de pensée « motrice » est la base des inventions de type I (invention affectée).

. La Pensée Inventive est une force de construction, *« l'invention tire partie de la découverte, la prolonge et la rend féconde (sérendipité). Les techniques qui découlent des disciplines scientifiques sont essentiellement des manifestations de pensées inventives... la vie sociale n'est possible que grâce à une invention sans cesse renaissante.. Bref l'humain se caractérise par l'invention plus encore que par la réflexion.. elle est incapable de créer elle-même les voies de son exécution (comme la Pensée Mémoire et la Pensée Réflexive) »*. Les inventions de type II (non-affectée) procèdent de cette force de pensée, elles ne cherchent pas forcément une justification économique.

. la Pensée Créative qui *« construit elle-même les voies d'accomplissement de son destin, ouvre ses voies et forge ses instruments d'incarnation dans le monde matériel.. Elle se comporte comme une personnalité autonome.. Elle porte en elle son propre Programme. Si les circonstances n'existent pas, elle les réunit afin de s'y insérer, créant ainsi hors de tout contrôle humain, les conditions propres à permettre sa réalisation matérielle »*. Nous pouvons illustrer parfaitement ce processus de création volontaire et puissante, par l'exemple du Taxotère, médicament anti-cancéreux « inventé » et « porté » par Pierre POTIER.

Parce que notre propos est plus limité (la production technologique) et restreint par rapport à l'analyse de Rohrbach sur toute la pensée vivante humaine, nous regrouperons ces quatre composantes de la pensée dans un concept plus restreint que nous nommerons : **la pensée créatrice autonome**.

Nous pouvons ainsi identifier la composante principale de ces quatre formes de pensée impliquée dans la typologie d'invention que nous proposons. La pensée Inventive : est le moteur des inventions de type II (appliquée non affectée), la pensée Réflexive régit les inventions de type I (appliquée) et IV (fortuite) car ces inventions viennent d'une confrontation directe avec un besoin, un interlocuteur ou un verrou technologique (réflexive est utilisé ici dans le sens optique-physique du terme, la pensée se réfléchit sur

un « objet » externe afin de créer), la Pensée Créative et la Pensée Mémoire sont des processus qui génèrent les inventions de type III majoritaires concernant la recherche publique. En effet la recherche n'est pas le processus central de l'innovation, mais la science constitue cependant un socle permanent de défi pour la pensée vivante et en ça la recherche participe du processus d'innovation technologique.

A ce point de notre réflexion, il nous a semblé important d'emprunter quelques éléments fondamentaux de l'approche structuraliste de la pensée, notamment la pensée scientifique, de **Claude Levi-Strauss**. Dans la « Pensée Sauvage » il oppose les notions de Percept et de Concept et résume deux modes d'accès à la connaissance ou deux niveaux stratégiques où « *la Nature se laisse attaquer l'un par l'intuition sensible (percept) l'autre par une voie 'plus éloignée' celle des hypothèses et des théories scientifiques (concepts)* ». L'opposition que Lévi-Strauss relève entre Percept et Concept a pu être justifiée par la « suffisance » et les excès, à son époque, de la gouvernance scientifique, associant hâtivement la pensée sauvage à une forme de pensée « primitive ». Dans le cadre de ce travail de thèse, et en particulier au travers de discussions (passionnantes) avec des chercheurs et inventeurs, nous avons pu discerner deux aspects :

- a) La découverte scientifique et l'invention passe nécessairement par une étape « non scientifique », c'est-à-dire que l'on peut mettre en évidence un « moment » crucial dans la genèse de l'invention qui ne doit rien à une suite logique de raisonnement. Même si la rigueur scientifique reste constante tout le long du processus, afin de « légitimer » l'invention et de la faire « advenir au monde ». Nous ne pouvons pas opposer la pensée sauvage et la pensée créatrice autonome, car la notion de percept est aussi identifiable dans le processus scientifique.
- b) La différence fondamentale pour nous est de l'ordre de l' **Ego**. « pour Wittgenstein « *l'idée d'un grand progrès, comme celle de la connaissance ultime de la vérité nous aveuglent* ». En effet la pensée créatrice est à notre avis emprunte d'orgueil, d'ego et de besoin de reconnaissance, ce qui la différencie fondamentalement de la pensée sauvage, emprunte de respect et soucieuse d'un équilibre « cosmique ».

Cette notion d'**Ego** est pour nous fondamentale dans le moteur de la créativité et l'inventivité de la recherche académique. Cet aspect doit être pris en compte pour toute politique qui tendrait à promouvoir l'invention et l'inventivité d'un organisme, et donc d'un système de recherche public.

3.3 Pensée créatrice et stratégies de valorisation

Cette réflexion sur la structure de la pensée créatrice, n'a de sens que si nous pouvons en appliquer les conséquences de façons très concrètes sur l'organisation, la stratégie et le fonctionnement du transfert de technologie public. C'est donc ce que proposons dans cette partie.

Dans le schéma suivant nous avons comparé le démarche actuelle du transfert de technologie (Fig. III.15a), qui procèdent plus de critères de brevetabilité et d'études de marché pour justifier la décision de dépôt de brevet et de transfert¹⁵⁴, à une autre méthodologie (Fig. III.15b) qui privilégie la structure de la connaissance et la typologie du processus de conception, à partir de l'étape embryonnaire de l'idée¹⁵⁵.

Dans notre approche nous remettons au centre du processus d'évaluation l'inventeur et le processus de création.

Ces deux procédures ne sont pas antinomiques, le processus actuel reste valable, mais ne peut pas être applicable à toutes les inventions (et inventeurs) de façon systématique, pour les raisons précédemment citées (typologie des inventions, typologie des inventeurs) et d'un point de vue rationalisation de gestion (coût global de gestion d'une déclaration d'invention et délai de prise en charge).

La nouvelle méthodologie de transfert de technologie est moins contraignante pour les inventeurs à l'étape initiale de l'idée. Justement l'idée est ici de « booster » la capacité inventive et imaginative des chercheurs, ingénieurs et techniciens avant de rentrer dans le « carcan » des procédures nécessaires administratives et juridiques.

Cette approche revendique une stratégie plus « proactive » du transfert de technologie public, en la rapprochant de l'instant de la création et en la prolongeant dans les phases de maturation pré-industrielle.

¹⁵⁴ On peut considérer que le modèle actuel du transfert de technologie est d'inspiration néoclassique dans lequel l'approche de l'innovation est probabiliste.

¹⁵⁵ Cette stratégie a été mise en œuvre en 2008 et 2009 au CNRS, afin de « relancer » la contribution de la recherche académique au développement technologique et à l'innovation.

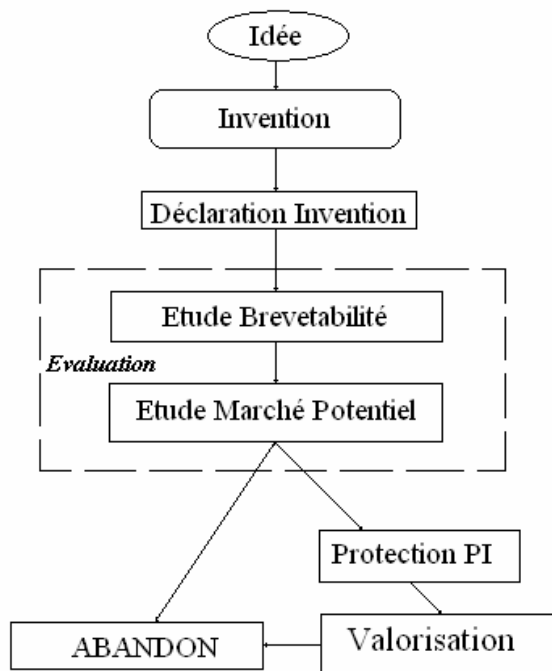


Fig.III.15a : Procédure actuelle du Transfert de technologie.

La figure 13a présente le processus classique du transfert de technologie. Ce processus s'applique à toutes les inventions et pour tous les chercheurs – inventeurs. Les critères principaux pour « juger » de l'invention sont principalement des critères de brevetabilité et de marchés potentiels courts et moyens termes.

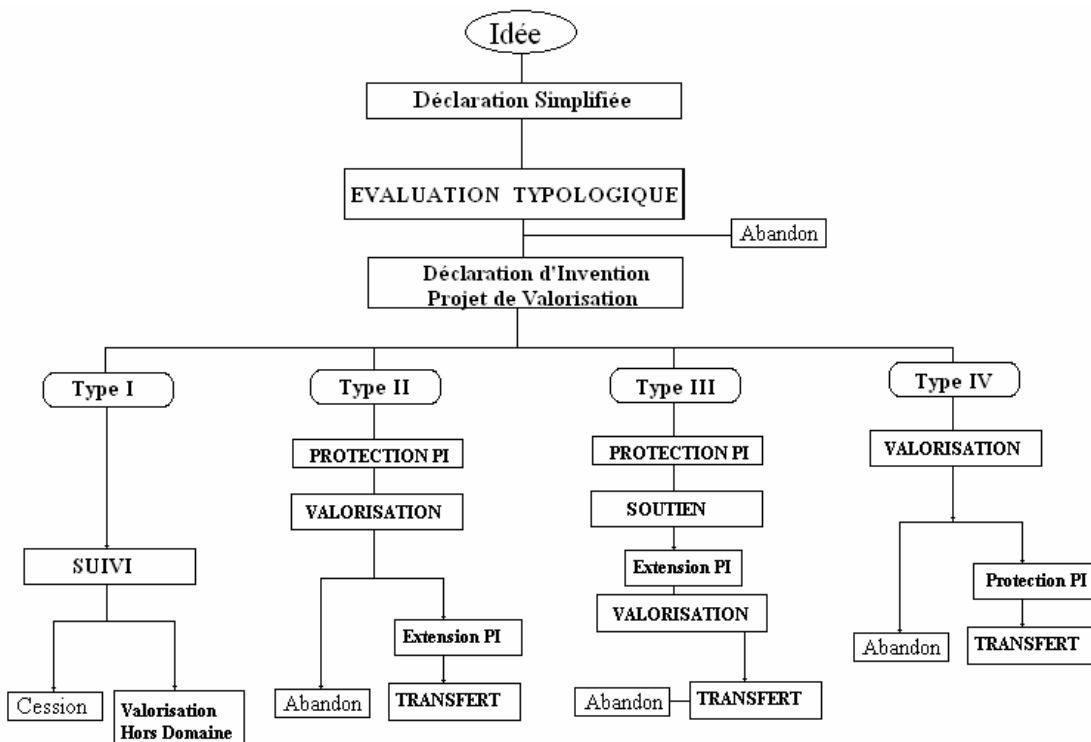


Fig.III. 15b : Procédure proposée pour le transfert de technologie. Le principe général est de rapprocher le transfert de technologie de l'étape de conception (idée) et d'adapter le processus de valorisation en fonction de la typologie de l'invention. Dans ce schéma [Valorisation] englobe toutes de actions de « marketing » et recherche de partenaire industriel et [Transfert] concerne l'étape de finalisation du transfert de technologie ie négociation, rédaction du contrat de licence.

Le principe fondamental de notre approche est de recentrer le transfert de technologie sur l'instant initial de la création. Cet instant est fragile et selon Rohrbach « *elle [La pensée inventive] est incapable de créer elle-même les voies de son exécution* ». Il s'agit ici pour le TTO public de concentrer le support sur cette étape, et de créer les conditions favorables à la genèse de l'innovation.

Dans le modèle proposé de fonctionnement pour le transfert de technologie et la valorisation, l'amplitude de fonctionnement est élargi en amont « au plus près » de l'idée elle-même, en allégeant ainsi la procédure de « déclaration d'invention » pour le chercheur, en une déclaration simplifiée. C'est cette déclaration simplifiée qui va être l'objet, d'une étape essentielle : **l'évaluation** (dite typologique). Cette évaluation conduit à une catégorisation (en type I, II, III et IV) dépendant de la nature de l'invention mais plus encore qui va conduire à des processus bien différenciés de valorisation :

Type I : Cette catégorie concerne les inventions issues d'une collaboration directe avec un Industriel (ou correspondant à un contrat de service), et peut être qualifiée « d'appliquée ». Dans ce mode, c'est le partenaire industriel qui procède à la protection de la propriété intellectuelle générée et en principe exploite le procédé ou la solution à son propre compte. Il est proposé dans ce mode de procéder après un certain délai, ou au moment des extensions (PCT, Phases Nationales..) d'analyser ces technologies et d'en étudier l'éventuel exploitation hors du domaine technico-économique du partenaire industriel. Dans le cas (très majoritaire) de technologie propriétaire spécifique du partenaire industriel, il pourrait être proposé une cession totale de la part de propriété industrielle du CNRS dans ces brevets.

Type II : Ce mode de transfert concerne (d'après notre classification) des inventions appliquées mais non affectées, donc non issues d'une collaboration industrielle. Ces inventions sont difficilement transférables dans le sens linéaire du transfert : Invention – Brevet – Licence – Revenus. Le coût de la PI est dans ce cas un argument prépondérant dans la stratégie de valorisation. Par suite dans ce mode de valorisation II, il est procédé à une protection rapide et limitée (dépôt de brevet Français INPI) afin de pouvoir procéder aux actions de valorisation assez rapidement (inventions appliquées). C'est le résultat de ces démarches de valorisation concurremment au dépôt de brevet, qui détermine les investissements plus importants d'extension de PI (PCT, Phases Nationales). En d'autres termes si les actions de valorisation ne

trouvent aucun intérêt dans le monde industriel, il ne sera procédé aux extensions de brevet (partie la plus coûteuse des frais de PI).

Type III: Le type III est le cœur de l'activité du transfert de technologie, il est caractérisé par des inventions directement issues de la recherche fondamentale. Ce type d'invention nécessite des développements complémentaires et de modes de transfert particulier comme la création de Start-up. Cette maturation est une nécessité, il s'agit ici d'encourager les développements et donc des dépôts de brevets plus appliqués (voir paragraphe sur la maturation des inventions de type III en type I et une vision quantique du transfert de technologie). Le processus de transfert proposé passe par la protection de la PI (en général dépôt de brevet), mais couplé à des aides aux développements technologiques (soutien au transfert, sous forme de budget complémentaire ou de postes) et bien entendu le suivi des extensions (PCT, Phases Nationales). Les actions de valorisations n'intervenant que tardivement dans le processus.

Type IV : Le type IV concerne des inventions 'fortuites' ou 'opportunes', dont la valorisation doit être engagée très précocement afin de déterminer assez rapidement l'intérêt économique éventuel et la stratégie de protection PI nécessaire. Ce sont des inventions très proches du marché donc la vitesse de transfert est une nécessité.

Cette méthodologie de valorisation et de transfert de technologie présente l'avantage de rapprocher le transfert de technologie de l'étape initiale, genèse de l'innovation d'une part. Ce qui réconcilie quelque part le processus de valorisation avec les modèles d'innovation. Mais d'autres part, compte tenu des coûts de gestion de la valorisation (traitement des dossiers, frais de PI, durée totale de transfert), ce modèle constitue une optimisation des coûts de valorisation. En effet s'il y a réduction des coûts de transfert des inventions de type I gérées par le partenaire ou cédées, et du type IV dont le résultat de la valorisation déterminera la stratégie de PI, cependant l'effort de valorisation des inventions de type II et III sera plus important au niveau du soutien, de la protection et des extensions.

4 Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre nous avons essayé de dégager les principales (à notre avis) raisons endogènes et exogènes de la difficulté du transfert de technologie public.

Les causes endogènes principales sont :

- a) La nature même de connaissance technologique qui constitue ces inventions
- b) Le processus de création (genèse) de l'invention

Les causes exogènes sont :

- a) Le « Gap » technico-économique.
- b) La capacité d'intégration du monde industriel.

Par l'analyse de centaines de déclarations d'inventions et de la typologie de leur transfert, nous avons proposé une typologie des inventions en tenant compte de leur genèse et de leur destinée. Cette typologie aboutit, malgré les milliers d'inventions (brevets) du CNRS, à seulement 4 types d'inventions (I,II,III et IV), générées par 4 modes de la pensée scientifique (la pensée mémoire, la pensée inventive, la pensée réflexive et la pensée créatrice) et selon 4 modes de relation recherche – industrie (A,B,C et D).

Cette approche par vectorisation de l'invention intégrant l'intention et le processus de conception permet d'envisager une vision dynamique du transfert de technologique, plus conforme à la complexité de la connaissance scientifique générant ces externalités technologiques et pouvant conduire à des innovations.

Cette stratégie de recentrage a été mise en œuvre en grande partie, concrètement au sein du TTO du CNRS. Les résultats (voir Chap.1) ont été bien sûr une augmentation des dépôts de brevets en 2007 et 2009 de plus 30%, et comme nous l'avons vu dans le chapitre 1, sans diminution significative de la qualité des brevets du CNRS¹⁵⁶ ou une baisse du Licensing.

Cette approche revendique non pas un nouveau positionnement du transfert de technologie public mais plutôt un retour aux sources. Comme le montre le schéma suivant, où le TTO trouve son origine dans le monde de la production de la connaissance et dont la destination est le monde industriel et sociétal.

Au final, nous soutenons l'hypothèse selon laquelle le transfert de technologie en revenant sur ces concepts de base pourra concilier la valorisation de la recherche publique et l'innovation.

¹⁵⁶ Un des résultats le plus remarquable a été le retour du CNRS, dans les 10 premiers déposants académiques principaux avec l' US Navy, US DOE ou encore JAPAN METI (Amato et al. « USPTO-Patent Scorecard 2009 »)

« *Nous ne parvenons jamais à des pensées.
Elles viennent à nous.* »
Martin Heidegger in *Être et Temps* (1927)

CONCLUSION

Transfert de Technologie et Innovation

1. Les principaux résultats.

Au-delà des procédures de prises en charge par le TTO des inventions issues de laboratoires de recherche publics et donc à dominante fondamentale, les résultats empiriques que nous avons obtenus (principalement temps de transfert en fonction de la typologie des inventions) et à l'aune des théories sur la connaissance (fig.III.16) et sur l'innovation, militent pour une vision renouvelée du transfert de technologie.

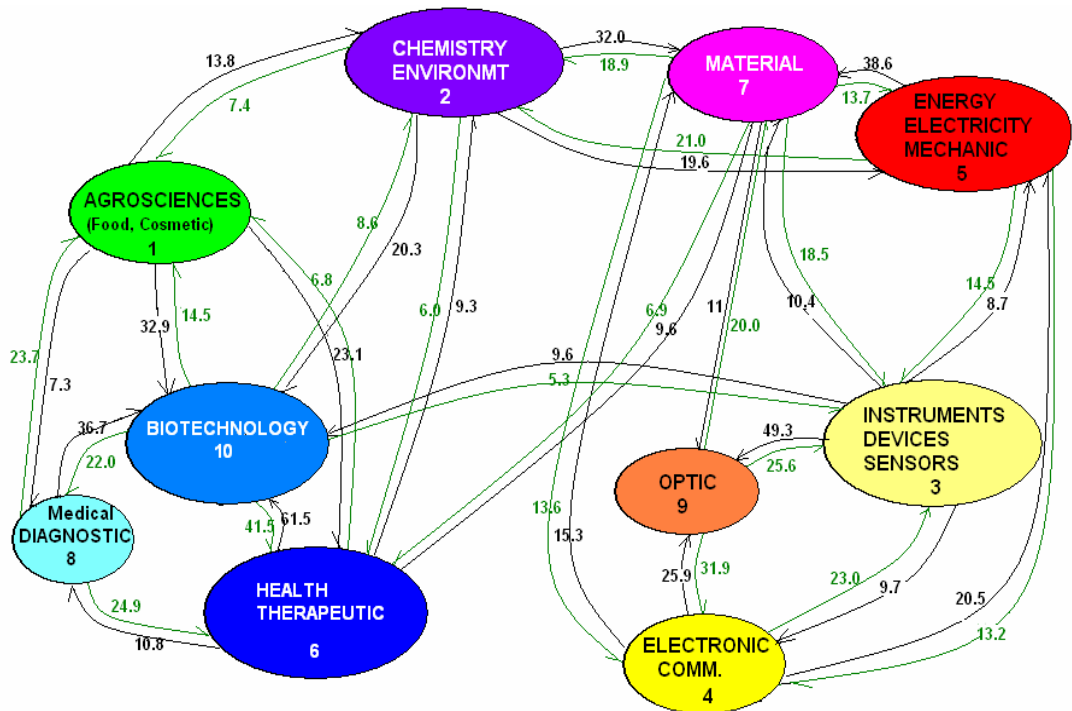


Fig. III.16: Résultat du calcul des connexités des technologies issues des brevets CNRS.

Le transfert de technologie actuel est marqué historiquement (et à juste titre) par une structuration administrative (statut du fonctionnaire, et de la Propriété Intellectuelle publique) et juridique (droit de la PI). Ce cadre légal et administratif est parfaitement justifié, il constitue la colonne vertébrale de la professionnalisation nécessaire du TTO. Cependant, compte tenu de la position stratégique du TT dans le processus d'innovation, il devient nécessaire pour le TT d'intégrer : en amont le processus de création et en aval le processus de maturation.

Nous avons proposé pour la phase amont une typologie des inventions (I invention affectée, II non affectée, III fondamentale, ou IV fortuite) et en aval une approche quantique de la maturation des inventions afin de réduire l'asymétrie d'information spécifique du transfert de technologie issue de la recherche publique.

La figure III.17 suivante présente une synthèse finale des hypothèses et des résultats que nous avons obtenus. Cette synthèse présente les différentes « voies d'innovations » en fonction du mode principal de création, c'est à dire 4 modes de pensée qui bien sûr peuvent se combiner, qui sont impliqués dans 4 processus organisationnelles de relation recherche-industrie (A,B,C ou D) pouvant conduire à une innovation technologique issue de 4 Types d'inventions (I invention affectée, II non affectée, III fondamentale, ou IV fortuite).

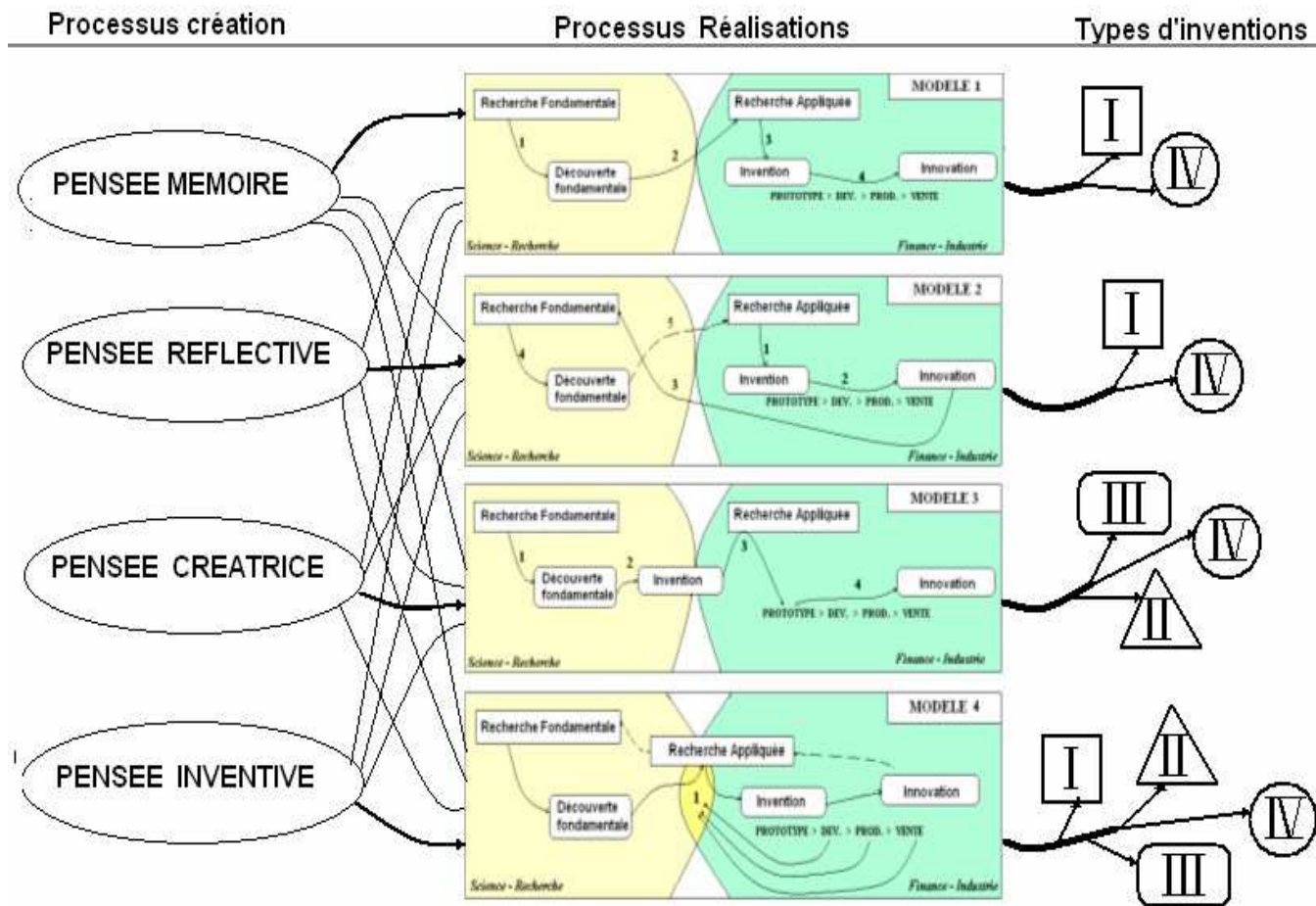


Fig.III.17 : 4 processus de création impliqués dans 4 Processus d'Innovation résultant de 4 Types d'inventions. Pour une vision renouvelée du transfert de technologie

Ce travail nous a permis de proposer une vision renouvelée du transfert de technologie recentré sur l'invention et l'inventeur, le processus de création et avec des procédures plus adaptées à la réalité des relations recherche – industrie actuelles.

2. Une histoire sans fin.

En partant de l'historique de la création du CNRS, nous avons pu souligné le rapport constant entre science et industrie et à posteriori, la justesse de la vision de Jean Perrin de la nécessité d'une science libre, de la notion (déjà) d' « Open Science »¹⁵⁷, situé dans un espace « protégé », qui sera la seule au final réellement « utile » au monde et à la société. Cette vision a été reprise et traduite par Frédéric Joliot Curie dans ses tentatives de rendre le CNRS inter-ministériel (plus uniquement sous l'égide du ministère de l'éducation). Cet historique a le mérite de mettre en lumière que cette problématique de la relation Science-Industrie est profondément ancrée dans l'histoire de la science, en tous cas en France. Par suite, il est peu étonnant qu'un siècle après, le débat de l'indépendance scientifique et, concernant le transfert de technologie, des faibles retours sur investissement de la recherche fondamentale et le « déficit » d'innovations, reste aussi vivace. Cette « ambiguïté » non résolue constitue la base du « mal-être » des structures en charge de cette mission.

Cependant pour nous l'environnement politico-juridique ne constitue pas l'essentiel de la problématique du transfert des résultats de la recherche dite « fondamentale » donc publique. Le problème est à notre avis plus fondamental encore, il tient au fondement de la notion de « Connaissance » scientifique et de sa production.

Dans cette optique (chapitre 2) nous avons essayé (inspiré par la remarque de Ludovic Di Biaggio (2005) [*“... the information contained in patent databases has not been fully exploited, far from it...patent statistics was based on mere patents counts..”*]) de concilier une approche économiste traditionnelle s'appuyant uniquement sur l'indicateur objectif des brevets (Griliches, Jaffe, Trajtenberg, Breschi notamment..) avec une l'approche plus épistémologique et méta heuristique (Griffiths, Garfield, Magerman et Van Raan principalement). Les résultats de cette fusion appliquée aux indicateurs du CNRS (brevets et contrats) ont montré l'extrême connexité (relatedness) des connaissances technologiques, par suite une cartographie étonnante de la complexité des technologies issues de la recherche fondamentale (comme décrite par K. Pavitt) qui rajoute à la complexité de la problématique du transfert de technologie public.

Pour « redescendre » de cette approche trop macroscopique nous avons proposé dans le chapitre 3 une typologie des inventions en 4 classes de « vecteurs », cette vectorisation induisant une autre approche du transfert de technologie. Ce travail de classification et

¹⁵⁷ Les principes de la « science ouverte » *ie* : la libre et large diffusion des connaissances scientifiques, la règle de priorité et la reconnaissance par les pairs. Lire notamment David (2002)

caractérisation des inventions au regard du transfert de technologie, a par ailleurs montré que les inventions dites « fondamentales » se transfèrent significativement mieux que les inventions dites « appliquées ». Ce résultat peut constituer un paradoxe à un moment où la tendance est de vouloir « rendre plus appliquée la recherche académique ».

Ce travail de classification des inventions nous a aussi conduit à nous intéresser aux processus de genèse de l'invention issue de la recherche fondamentale, sur la base des travaux de M.A. Rohrbach sur les quatre mécanismes fondateurs de la pensée : La Pensée Mémoire, La Pensée Réflexive, La Pensée Inventive et la Pensée Créative. Ces composantes de ce que nous avons appelé « **La Pensée Créatrice Autonome** » sont mises en jeu de façons autonomes ou combinées, dans la genèse des inventions que nous avons observées. Ces observations ont permis de proposer un modèle de transfert de technologie basé sur 4 modes de pensée qui peuvent emprunter 4 chemins d'innovation basés sur 4 types d'inventions (Fig. III.15).

Ce travail de thèse s'était donné l'ambition d'éclairer le rapport entre le transfert de technologie, valorisation de la recherche fondamentale (essentiellement académique) et l'Innovation. Nous avons tenté d'apporter des éléments sur la difficulté et le paradoxe apparent de ce « métier » de valorisateur.

Dans le contexte très actuel des « nouvelles » politiques d'innovation, il s'agissait de revisiter sur ce qui est, il faut bien le nommer, devenu un paradigme. Pour Laroche et Nioche (1994) « *le paradigme est un ensemble de croyances et hypothèses relativement répandues dans une organisation (ou un milieu) et tenues pour vraies* », ainsi le paradigme finit par tenir lieu d'identité et de culture, par la sédimentation des actions et expériences passées. Pour Tarondeau (2003) le paradigme constitue une mémoire stratégique de l'organisation « *Son mode de construction et inscription dans la mémoire collective rendent son changement improbable et coûteux* ». Miller (1992) montre que le maintien sur une longue période d'un paradigme stratégique inadéquat¹⁵⁸ peut conduire des organisations à leur perte. De même, Mowery faisant le bilan du Bayh-Dole Act américain (2001) est très sceptique sur le rôle du transfert de technologie dans l'innovation issue de l'informatique ou des biotechnologies. C'est pour nous le dilemme majeur de la valorisation de la recherche publique qui par sa professionnalisation et son cadre politico-juridique peut fournir à l'organisme public le moyen de se différencier des autres et d'en tirer des rentes mais qui devient aussi source de rigidification et d'immobilisme. Cette structuration des TTO entraîne une dérive de moins en

¹⁵⁸ Le TT comme accélérateur d'innovations ou le TT comme source de revenus principal ou

moins satisfaisante pour les deux « mandataires » du transfert de technologie que sont la Recherche Scientifique et le Monde Industriel. Il est peut-être temps dans le mouvement actuel de réflexion sur l'écosystème d'innovation national de procéder non pas à un autre changement de paradigme mais en revenir à une expérimentation systématique d'autres voies de transfert plus proches des modèles de processus d'innovation et donc de relation entre le système de recherche et le monde industriel. Loin de nous, l'intention de sous-estimer le poids de plus en plus important des aspects administratifs (droit des tutelles), juridiques (droit de la propriété intellectuelle) et politiques (lois, lois sur l'innovation) de la valorisation de la recherche publique, ou d'ignorer la mission légitime de défense des intérêts (essentiellement financiers) de la science libre mais pas forcément gratuite. Le sujet central de cette thèse n'est pas le Transfert de Technologie Public en tant que structure mais plutôt son rôle dans le processus d'innovation, ceci en partant d'une affirmation provocatrice : Le Transfert de Technologie n'a rien à voir avec l'innovation. Cette assertion est bien entendu fautive, pour la simple et unique et raison que le TT est exactement à l'endroit et au moment de la genèse des innovations. Et cette position même, oblige le TT à la prise en compte de concepts fondamentaux plus complexes comme la structure de la connaissance, l'appropriation industrielle et la maturation. Pour nous, le problème central du transfert de technologie n'est pas d'ordre politico-juridique mais reste ancré dans la difficulté de compréhension du processus de conception qui est la genèse de l'innovation. De façon extrême nous pourrions dire que l'invention par la structure même de la connaissance qui la constitue et par le processus de création qui l'a générée détient en elle l'expression de son chemin d'innovation, et ceci de façon totalement indépendante des structures et système d'innovation¹⁵⁹.). **L'évaluation** devient alors l'étape cruciale car elle détermine le degré d'investissement initial du soutien à l'innovation.

En d'autres termes, malgré la complexité réelle de l'organisation du système d'innovation national, l'enjeu central du transfert de technologie est (et restera) la nature initiale de l'invention (bien avant le brevet).

Pour alléger la criticité de cette étape d'évaluation initiale, nous avons tenté de proposer un modèle « renouvelé » du transfert de technologie public. Ce modèle est une tentative d'inscrire dans une méthodologie une approche différente du métier de valorisation. L'invention n'est plus analysée en termes technico-économiques et marchés, mais vectorisée (origine, destination et intensité). Cette vectorisation de l'invention intègre donc un processus

¹⁵⁹ Bien entendu, d'autres facteurs sont nécessaires pour faire advenir l'innovation (financement, soutien..)

de valorisation prédéterminé et spécifique de la typologie de l'invention. L'origine du vecteur dépend de la discipline scientifique, la destination intègre les applications éventuelles et le degré de maturation et enfin l'intensité dépend de la centralité de l'invention pour le laboratoire et les inventeurs et du processus de création. Cette approche revendique une vision du transfert de technologie public plus dynamique, et plus adaptée à l'évolution constante de la relation de Science/Industrie et aux nouveaux processus d'innovation.

Pour Gaston Bachelard¹⁶⁰ « *La manière dont on imagine est souvent plus instructive que ce qu'on imagine [...] Comme la science l'imagination s'apprend et comme la science, elle peut compléter notre connaissance* ».

Au regard de l'économie basée sur la connaissance et l'innovation, cette thèse tente d'éclairer les mécanismes et processus de création, genèse de l'innovation issue de la pensée scientifique. A un moment où l'économie de la connaissance, la Recherche et l'Innovation sont au cœur même du débat de toutes les politiques économiques, il nous a semblé fondamental d'essayer de comprendre, ou du moins d'apporter des éléments de compréhension sur les **moteurs réelles** de la créativité et d'inventivité de la recherche académique et fondamentale. Notre approche permet peut-être d'expliquer les impacts très limités voire l'échec de politiques d'innovation (prime au brevet, « nouvelles » structures de valorisation, bourse spéculative de brevets publics, etc.) qui n'adresseraient pas les « bons » leviers des moteurs de la créativité scientifique.

¹⁶⁰ G. Bachelard, *La Philosophie du Non* (1940).

BIBLIOGRAPHIE

- ADAMIC L.A., ADAR E., (2003), "Friends and Neighbors on the web", In : *Social Networks*, 25(3) pp. 211-230..
- ADAMS J. and GRILICHES Z. (1996), « Measuring science: an exploration », NBER Working Paper, n° 5478, March
- AMIN A. and COHENDET P. (2004), "Architectures of knowledge", Oxford University Press
- AMIT R., and SCHOEMAKER P.J.H., (1993), « Strategy assets and organization rent », *Strategic Management Journal*, Jan., pp.33-46
- ARCHONTOPOULOS E., GUELLEC D., et al., (2007), « When small is beautiful: voluminosity of patent applications at the EPO », *Information Economics and Policy*, Vol. 19(2), pp. 103-132
- ARORA, A. and GAMBARDELLA, A. (1997), "Public Policy Towards Science: Picking Stars or Spreading the Wealth ?", *Revue d'Economie Industrielle*, n° 79, pp.63-75
- ARROW K. J. (1962), « Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention », in R. R. Nelson éd., *The rate and direction of invention activity: economic and social factors*, Princeton University Press, pp. 609-627
- ARUNDEL A. (2003), « Indicateurs des biotechnologies et politiques publiques », Documents de travail sur la science, la technologie et l'industrie, 2002/5, Editions OCDE, doi : 10.1787/724862501206, 46p.
- ASSEMBLEE NATIONALE (2004), *Projet de loi sur la Bioéthique*, Journal officiel de la République Française, août, 36p.
- AZAGRA-CARO J., CARAYOL N. and LLERENA P., (2006) "Patent production at the European Research University: Exploring evidence at the Laboratory Lecvel", *Journal of Technology Transfer*, 31(3), pp.257-268.
- AZOULAY H., KRIEGER E. et POUILLAIN G. (2001), *De l'entreprise traditionnelle à la start-up. Les nouveaux modèles de développement*, Edition d'Organisation, 306 p.
- BIENAYME A. (1994), *L'économie des innovations technologiques*, Presses universités de France, Collection Que sais-je ?, N°127p.
- BELLOT P., (2004), « Classification de documents et enrichissement de requêtes », In : *Méthodes avancées pour les systèmes de recherche d'informations*. Dirigé par M. Ihadjadene. Paris :Hermes, Tome 2.
- BERTIN J., (2006), « La sémiologie graphique ». Paris : Gauthier-villars, 1967.
- BESSEN J. and MEURER M., (2005), "The patent litigation explosion", Boston Univ. School of Law, WP n° 05-18.
- BOUAKA M., (2004), « Développement d'un modèle pour l'explicitation d'un problème décisionnel : un outil d'aide à la décision dans un contexte d'IE », Thèse. doctorat., Université Nancy 2.
- BOUROCHE J.-M., SAPORTA G., (1989), « L'analyse des données », Paris : PUF, 1989. Que sais-je, n°1854.
- BULINGE F.,(2002), « Pour une culture de l'information dans les petites et moyennes organisations : un modèle incrémental d'intelligence économique », Thèse. Doctorat, Université du Sud ToulonVar.
- BRESCHI S., LISSONI F. and MALERBA, F., (2002). "*The empirical assessment of firms' technological coherence: data and methodology*" In: Cantwell, J., Gambardella, A., Granstrand, O. (Eds.), *The Economics and Management of Technological Diversification*, Routledge.

- BRESCHI S., LISSONI F. And MONTORBIO F., (2005), "Open science and university patenting: a bibliometric analysis of the Italian case", in Petters C. And B. Van Pottelsberghe de la Potterie (Eds), "Economic and management perspectives on intellectual property rights", New York, Palgrave MacMillan, pp.83-103.
- BURETH A., LEVY R., PENIN J. et WOLFF S. (2006), « Le rôle du brevet dans les biotechnologies : le cas de la BioValley du Rhin Supérieur », *Education & formations*, n° 73, août, pp. 75-85
- CALLON M. (1991), « Réseaux technico-économiques et irréversibilités », in Boyer, Chavance & Godard, *Les figures de l'irréversibilité en économie*, EHESS, Paris, pp. 195-230
- CALLON M., COURTIAL JP, PENAN H., (1993), *La scientométrie*, Paris : PUF, 1993. Que sais-je, n° 2727.
- CALLON M. et FORAY D. (1997), « Introduction : Nouvelle économie de la Science ou socio-économie de la recherche scientifique ? », *Revue d'Economie Industrielle*, n° 79, 1^{er} trimestre, pp. 13-35
- CALLON M., LASCOUMES P. et BARTHE Y. (2001), « *Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique* », Editions du Seuil, septembre
- CARAYOL N. et MATT M. (2003), « Does research organization influence academic production? Laboratory level evidence from a large European university », First version, June, 37p., puis dans *Research Policy*, Vol. 33, Issue 8, October 2004, pp. 1081-1102
- CARAYOL N. et MATT M. (2004), « The exploitation of complementarities in the scientific production process at the laboratory level », *Technovation*, vol. 24, n° 6, pp. 455-465
- CASSIER M (1997), « Compromis institutionnels et hybridations entre recherche publique et recherche privée », *Revue d'Economie Industrielle*, n°79, 1er trimestre, pp. 191-212
- COCKBURN I. M., HENDERSON R. and STERN S. (1999), « The diffusion of science driven drug discovery: organizational change in pharmaceutical research », NBER, Working Paper 7359, September
- COHENDET P., FARCOT M. and PENIN J., (2006), "Entre incitation et coordination: repenser le rôle du brevet", *Management International*, Numéro Spécial, Vol. 10, pp. 65-84.
- COHENDET P. and MEYER_KRAHMER F., (2001), "The theoretical and policy implications of knowledge codification", *Research Policy*, Vol.30, pp.1563-1591.
- COOKE P. (2002b), « Biotechnology clusters as regional, sectoral innovation systems », *International Regional Science Review*, vol. 25, n° 1, January, pp. 8-37
- CORIAT B., ORSI F. et WEINSTEIN O. (2003), « Does biotech reflect a new science-based innovation regime? », *Industry and Innovation*, Vol. 10, n° 3, September, pp. 231-233 octobre 2007)
- COURTIAL J.-P.,(1990), « Introduction à la scientométrie : de la bibliométrie à la veille Technologique », Paris : Anthropos.
- CURIEN H. et FORAY D. (1999), « Réflexions sur la Science et l'Economie: une synthèse critique des débats tenus au Palais de la découverte », Working paper IMRI
- DAVID P.A. (1999), « The Political Economy of Public Science », Working Papers from Stanford University, Department of Economics, May, 23p.
- DAVID P.A. and FORAY D. (2002), « Economic Fundamentals of the Knowledge Society », February, 24p. Also in *Policy Futures In Education – An e-Journal*, Vol. 1, n° 1: Special Issue: "Education and the Knowledge Economy", January 2003
- DEBACKERE K. et VEUGELERS R. (2005): «The role of academic technology transfer organizations in improving industry science links», *Research Policy*, Volume 34, Issue 3

- DIBIAGGIO, L. and NESTA, L.(2005), “*Patent Statistics, Knowledge Specialization and the Organization of Competencies*” *Revue d’Economie Industrielle*, n°110, pp.103-126.
- DOSI G. (1982), « Technological Paradigms and Technological Trajectories: A Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change », *Research Policy*, vol. 11, n° 3, pp. 147-162
- DOSI G., LLERENA P. and SYLOS LABINI M. (2006), « The relationships between science, technologies and their industrial exploitation : an illustration through the myths and realities of the so-called ‘European Paradox », *Research Policy*, n° 35, pp. 1450-1464
- ECHAUDEMAISON C.-D. (sous la direction de) (1996), *Dictionnaire d’Economie et de Sciences sociales*, Nathan, p. 370
- EMIN S. (2004), « Les facteurs déterminant la création d’entreprise par les chercheurs publics : application des modèles d’intention », *Revue de l’Entrepreneuriat*, vol. 3, n° 1
- ENGELSMAN, E.C., VAN RAAN, A.F.J., (1992), “A patent-based cartography of technology”, *Research Policy* 23, 1–26.
- ESTADES J., JOLY P.B. et MANGEMATIN V. (1996), « Dynamique des relations industrielles dans les laboratoires d’un grand organisme public de recherche : Coordination, apprentissage, réputation et confiance », *Sociologie du travail*, n° 3, pp. 391-407
- ETZKOWITZ H. and LEYDESDORFF L. (1995), « The Triple Helix: University-Industry-Government Relations: A Laboratory for Knowledge-Based Economic Development, *EASST Review*, vol. 14, n° 1, pp. 14-19
- ETZKOWITZ H. et LEYDESDORFF L. (2000), « Le « Mode 2 » et la globalisation des systèmes d’innovation « nationaux ». Le modèle à Triple hélice des relations entre université, industrie et gouvernement », *Sociologie et sociétés*, vol. 32, n° 1, printemps
- ETZKOWITZ H. (2002), « The triple helix of university-Industry-Government. Implications for policy and evaluation », *Working Paper n° 2002-11*, 18p.
- FORAY D. (1991), « Economie et politique de la science : les développements théoriques récents », *Revue française d’Economie*, Vol. 4, pp. 53-87
- FORAY D. (2000), « L’économie de la connaissance », *La découverte*, Collection Repères, Paris
- FORAY D.(2002), «Trois modèles d’innovation dans l’économie de la connaissance », WP Dec.2002, IMRI-Dauphine.
- FORAY D. (2002), « Propriété intellectuelle et innovation dans l’économie du savoir », *ISUMA*, Vol. 3, n°1, Printemps
- FUTURIS (Groupe d’Etude) (2008), “Orientation National des Politiques Publiques de quelques Pays”, Rapport Final, Mai.
- GARFIELD E. (1955), “Citation Indexes for Science. A new dimension in Documentation through Association of Ideas”, *Science*, vol. 122, n° 3159, July 15, pp. 108-111
- GEROSKI, P., VAN REENEN, J. And WALTERS, C.F., (1997) „How persistently do firms innovate?”, *Research Policy*, 26, 33–48.
- GEUNA A. and NESTA L. (2006), « University patenting and its effects on academic research: The emerging European evidence », *Research Policy*, n° 35, pp. 790-807
- GIBBONS M, LIMOGES H, NOWOTNY S, SCHARTZMAN S, SCOTT P et TROW M

- (1994), "The new production of knowledge: the dynamics of science and research in contemporary societies », London, Sage
- GRANSTRAND, O., (1998)., "Towards a theory of the technology-based firm.", *Research Policy* 27 (5), pp. 467–491.
- GRANSTRAND, O., PATEL, P., PAVITT, K., (1997), "Multi-technology corporations: why they have distributed rather than distinctive core competencies", *California Management Review* 39 (4), pp.8–25.
- GRILICHES Z. (1958), Research costs and social returns: hybrid corn and related innovations, *The journal of political economy*, volume 66, n° 5, Oct, pp. 419-431
- GRILICHES, Z., (1991). "Patent statistics as economic indicators: a Survey". *Journal Economic Literature* 28, 661–707.
- GUELLEC D. (1999), *Economie de l'innovation*, La Découverte, Paris, 121p.
- GUELLEC D., VAN POTTELSBERGHE DE LA POTTERIE B. And Van ZEEBROECK N., (2007), "Patents and Academic Research: A state of Art", *Journal of Intellectual Capital*, Vol.9 (2), pp. 246-263.
- GUILLAUME H. (2007), *Rapport sur la valorisation de la recherche*, Inspection générale des finances, n° 2006-M-016-01, janvier
- GUTHLEBEN D., (2009) « Histoire du CNRS », Denis,CNRS Edition
- HENDERSON R. and COCKBURN I. (1996), « Scale, scope and spillovers: the determinants of research productivity in drug discovery », *RAND Journal of Economics*, The RAND Corporation, vol. 27, n° 1, spring, pp. 32-59
- HENDERSON R., JAFFE A. B. and TRAJTENBERG M. (1998), « Universities as a source of commercial technology: a detailed analysis of university patenting, 1965-1988 », *The review of economics and statistics*, vol. 80, n° 1, pp. 119-127
- JAFFE A.B. and LERNER J. (2001), « Reinventing public R&D: patent policy and the commercialization of national laboratory technologies », *Rand Journal of Economics*, vol 32, n°1, spring, pp. 167-198
- JAFFE A.B., TRAJTENBERG M. and HENDERSON R. (1993), « Geographic localization of knowledge spillovers as evidenced by patent citations », *Quartely Journal of Economics*, vol. 108, pp. 577-598
- JAFFE A.B. and TRAJTENBERG M. (2002). "Patents Citations and Innovations", Cambridge MA, MIT Press
- JENSEN, R., THURSBY M., (2001), "Proofs and prototypes for sale: the licensing of university inventions", *American Economic Review*, vol.91, pp.240-259.
- KAYSER D., (1997), « La représentation des connaissances », Paris : Hermes. Coll. Informatique.
- KEIM D.A.,(2002), "Information Visualization an Visual Data Minig", *IEEE transactions on visualization and computer graphics*,Vol.7, No.1.
- KONTOSTATHIS ET AL. (2002), " Detecting patterns in the LSI Term-Term Matrix " <http://citeseer.ist.psu.edu/kondostathis02detecting.html>
- JOLY P.-B. (1997), « Chercheurs et laboratoires dans la nouvelle économie de la science », *Revue d'Economie Industrielle*, n° 79, 1er trimestre, pp. 77-94
- JONG S. (2006), « How organizational structures in science shape spin-off firms : the biochemistry departments of Berkeley, Stanford, and UCSF and the birth of the biotech industry », *Industrial and Corporate Change*, vol. 15, n° 2, pp. 251-283

KAMIEN M.I., (1992), « Patent licensing », In: Aumann, R.J., Hart, S. (eds.) *Handbook of game theory*, vol.1, pp. 332–354. Amsterdam: North-Holland 1992

KLINE S.J. and ROSENBERG N. (1986), « An Overview of Innovation », in LANDAU R., ROSENBERG N. (eds.), *The Positive Sum Strategy*, National Academy Press, pp. 275-305

LANDRY M., (2001), « L'ambiguïté comme outil de gestion », *Revue Française de Gestion*, n°105, pp.110-126.

LAREDO P. (2001), « Government labs or public institutions of professional research ? The case of France », in COX D., GUMMETT P. and BARKER K. (eds), *Government Laboratories, Transition and Transformation*, IOS Press, pp. 114-127

LAREDO P. et MUSTAR P. (2001), « La recherche, le développement et l'innovation dans les grandes entreprises françaises : dynamiques et partenariats », *Education & formations*, n° 59, avril-juin, pp. 21-39

LAREDO P. et MUSTAR P. (2004), « La recherche publique en France : évolutions et enjeux », *Le Banquet*, n° 19, pp. 95-113

LASZLO P. (1999), *La découverte scientifique*, Presses Universitaires de France, Collection Que sais-je ?, 128

LE BAS C. (2002), « Fonctionnement, transformation et tensions du système de brevet. Les implications du "cours pro-brevet" à la lumière des études empiriques récentes », *Revue d'Economie Industrielle*, n° 99, 2ème trimestre, pp. 249-266

LELU A., (2006), « Classification dynamique d'un flux documentaire : une évaluation statique préalable de l'algorithme GERMEN », In : *Actes du colloque JADT 2006*.

LE MOIGNE J.-L., (1995), « La modélisation des systèmes complexes », Paris : Dunod.

LEYDESDORFF L. and ETZKOWITZ H. (1998), « The triple helix as a model for innovation studies », *Science and Public Policy*, vol. 25, n° 3, pp. 195-203

LEYDESDORFF L. and MEYER M. (2003), « The Scientometrics of a Triple Helix of University-Industry-Government Relations: Introduction to the topical issue », *Scientometrics*, vol. 58, n° 2, pp. 191-203

LEYDESDORFF L. and MEYER M. (2006), « Triple Helix indicators of knowledge-based innovation systems. Introduction to the special issue », *Research Policy*, vol. 35, n° 10, pp.1441-1449

LLERENA P., M. MATT AND V. SCHAEFFER, (2002)
"Evolutions of the french innovation policy and the impact on universities", Workshop 'Le rôle des universités dans une économie basée sur la science', Strasbourg, 8 mars 2002.

LLERENA P., (2002) "The Economics of Knowledge Production : funding and structure of University Research : a book review of A Geuna", *Research Policy*

LLERENA P. (2004), « Recherche et innovation une comparaison internationale », *Cahiers français*, N°323

LLERENA P. (2006), « Valorisation de la recherche française : éléments d'analyse économique et de politique de recherche », BETA ULP-CNRS, v.2.2, Octobre 2006

LISSONI F., (2006), « Academic inventors in Europe : First evidence from the KEINS database », ECIS seminar, Eindhoven, Oct.25.

MACHLUP F. (1984), *Knowledge, its creation, distribution and economic significance*, VolIII, Princeton University Press

MAGERMAN T., "Application of the Text-Mining on Science and Technology linkage", (2006), WP For 6th Helix Conference, January.

- MEYER M. (2000), « Does science push technology ? Patents citing scientific literature », *Research Policy*, vol. 29, n° 3, mars, pp. 409-434
- MONOD H. (1990), « La relation science industrie », *Les Cahiers du MURS*, n°21, 3ème trimestre, pp. 55-65
- MOWERY D.C., NELSON R.R., SAMPAT B.N. And ZIEDONIS A.A. (2001), « The growth of patenting and licensing by U.S. universities: an assessment of the effects of the Bayh-Dole Act of 1980 », *Research Policy*, vol. 30, pp. 99-119
- MOWERY D.C., NELSON R.R., SAMPAT B.N. And ZIEDONIS A.A. (2004), « Ivory tower and industrial innovation: University-Industry Technology Transfer before and after the Bayh-Dole Act », published by EH.NET, November
- MOWERY D.C., SAMPAT B. (2004), « The Bayh-Dole act of 1980 and University-Industry Technology transfer: a model for OECD governments »
- MOWERY D.C. and ZIEDONIS A.A. (1999), « The effects of the Bayh-Dole Act on US university research and technology transfer: Analysing data from entrants and incumbents », Working Paper, UC Berkeley and University of Pennsylvania
- MUSTAR P. (1998), « Les transformations du système de recherché français dans les années quatre-vingt », *Annales des Mines*, février, pp. 16-21
- MUSTAR P. and LAREDO P. (2002), « Innovarion and research policy in France (1980-2000) or the disappearance of the Colbertism state », *Research Policy*, vol. 31, pp. 55-72
- NELSON R. R. (1959), « The simple economics of basic scientific research », *Journal of Political Economy*, vol. 67, June, pp. 297-306, in ROSENBERG N. (1971), *The economics of technological change*, Penguin Books Ltd, Harmondsworth, Middlesex, England, pp. 148-163
- NELSON R. R. (1982), « The role of knowledge in R&D efficiency », *The Quaterly Journal of Economics*, vol. 97, n° 3, August, pp. 453-470
- NELSON R.R. and WINTER S.G. (1982), *An evolutionary theory of economic change*, Cambridge: Harvard University Press
- NONAKA I., (1991), « The knowledge creating company », *Harvard Business Review*, vol. 69, N°3, pp.96
- NONAKA I., VON KROGH E.G. and ICHIKO K. (2000), «Enabling Knowledge Creation », Oxford University Press
- NOWOTNY H., SCOTT P. et GIBBONS M. (2003), *Repenser la science. Savoir et société à l'ère de l'incertitude*, Editions Belin, 320p.
- NOYONS E.C.M. and VAN RAAN A.F.J., (1998), “Monitoring scientific developments from a dynamic Perspective: an introduction to Co-Word analysis”, *Journal of American Society for Information Science (JASIS)*, vol. 49, pp. 68-81.
- NOYONS E.C.M., (2004), “Science maps within a science policy context”, In : H.F. MOED et al., *Handbook of quantitative science and technology research*. Kluwer Academics Publishers, pp.237-255.
- OCDE (2002), *Benchmarking Industry-Science Relationships*, Rapport de l'OCDE
- OCDE (2004), *Les partenariats public-privé pour la recherche et l'innovation : une évaluation de l'expérience française*, Rapport de l'OCDE
- PAVITT K. (1987), «The objectives of Technology Policy », *Science and Public Policy*, vol. 14, pp. 182-188
- PAVITT K. (1991), « What makes basic research economically useful? », *Research Policy*, vol. 20, pp. 109-119

- PAVITT K. (1998), « The social shaping of the national science base », *Research policy*, vol. 27, pp. 793-805
- PAVITT K. (2001), « Public policies to support Basic Research: What can the rest of the world learn from US theory and practice? (And what they should not learn). », *Industrial and Corporate Change*, 10(3), pp.761-779
- PICARD J.F.,(1999), « La création du CNRS », in *Revue pour l'histoire du CNRS*, N°1, Nov., pp.51
- PICARD J.F.,(1990), « La république des savants », Paris, Flammarion, pp.21
- POLANYI M. (1962), « Republic of Science: Its Political and Economy Theory », *Minerva*, vol. 1, pp. 54-74
- POLANCO X., (2002), « La notion de visualisation de l'information et le modèle de référence », In : *Actes du colloque « Cartographie de l'information »*, Paris, ESIEE.
- PRAX J.Y. (2003), “Le manuel du Knowledge Management”, Eds DUNOD
- PRAHALAD C.K., and HAMEL G., (1990) « The core competencies of the corporation”, *Harvard Business Review*, June.
- QUERE M and SAVIOTTI P. P. (2002), « Knowledge dynamics and the organisation of the life science industries », *DRUID Summer Conference on “Industrial Dynamics of the New and Old Economy-Who is Embracing Whom?”*, Copenhagen, 6-8 June
- ROHRBACH M.A (1993), “La Pensée Vivante”, Eds Le Courrier du Livre
- ROSENBERG N. (1982), *Inside the Black Box: technology and economics*, Cambridge University Press, 304p.
- ROSENBERG N. (1990), « Why do firms do basic research (with their own money) ? », *Research Policy*, vol. 19, pp. 165-174
- ROSENBERG N. (1991), « Critical issues in science policy research, *Science and public policy* », Vol. 18, n° 6, pp. 335-346 / Chapitre 8 in *Exploring the Black Box: Technology, economics and history*, Cambridge University Press (1994), pp. 139-158
- SALTON G., (1989). “Automatic text processing: the transformation, analysis and retrieval of information”. Addison-Wesley ed., Reading, MA
- SALTON G., and BUCKLEY, C.(1988). “Term-weighting approaches in automatic text retrieval.”, *Information Processing and Management*, 24(5), pp.513-523
- SAMPAT B. N., MOWERY D. C. and ZIEDONIS A. A (2003), « Changes in university patent after the Bayh-Dole act: a re-examination », *International Journal Of Organization*, vol. 21, pp. 1371-1390
- SELOSSE S., (2007) « L'organisation des activités scientifiques et les relations science industrie. Analyse des brevets du CNRS 1995-2005 », Thèse 2007–GREDEG/CNRS
Site : http://hp.gredeg.cnrs.fr/Sandrine_Selosse/Sommaire_these_SELOSSE_2007.htm
- SHANE S., (2004), in « *Academic Entrepreneurship..* », Ed Edward Elgar, MA, USA.
- SMALL H.,(1993), “Macro-level changes in the structure of co-citation clusters: 1983-1989”, *Scientometrics*, 1993, n°26, pp. 5-20.
- SMALL H., (1999), “Visualizing Science by Citation Mapping”, *Journal of the American Society for Information Science*, 1999. n°50(9), pp. 799-813,.
- STEPHAN P. E (1996), « The Economics of science », *Journal of Economic Literature*, vol. 34, September, pp. 1199-1235

- TARONDEAU J.C., (2002), « La gestion des savoirs », PUF, Que sais-je ? , N°3407.
- TAUMAN et WAKANABBE, (2007), “The Shapley value of a patent licensing game: the asymptotic equivalence to non-cooperative results”, *Economic Theory*, vol.30, pp.135-149
- THIETARD R.A., (2002), « Le management », PUF, Que sais-je ? , 2002
- THURSBY J. G and THURSBY M. C. (2003), « Are Faculty critical? Their role in university-industry licensing », NBER Working Paper 9991, September, 34p.
- TOMMASI M., (2007), WP-UMR USTL/CNRS/INRIA), *Mathématiques Informatiques Appliqués au Sciences Humaines et Sociales*, juin.
- TURNER L. (2003), *La recherche publique dans la production de connaissances - contributions en Economie de la Science*, Thèse pour le doctorat en Economie, 27 novembre, Université de Paris I, 286 p.
- Van RAAN A.F.J., (1998), “*Handbook of Quantitative Studies of Science and Technology*”, Amsterdam: North Holland, Elsevier Science Publishers.
- VAN RAAN, A., BRAAM, R., MOED, H., (1991), “Mapping of Science by combined co-citation and word analysis”, *Journal of American Society for Information Science*, 42(4), 233-251, 1991
- VAN RAAN, A., (2000), “*Practising interdisciplinarity*”, University of Toronto Press
- VERGES P. and BOURICHE B., (2001), « L’analyse de données par graphe de similitudes », WP CNRS-Sciences Humaines Juin.
- VERSPAGEN, B., (1997). “Measuring inter-sectoral technology spillovers: Estimates from the European and US patent office databases”. *Economic Systems Research* 9 (1), 49–67.
- VERSPAGEN, B., (2005). «Mapping Technoogical Trajectories as Patent Citation Networks », Working paper 05.11, ECIS Eindhoven Universiteit, July 2005
- WIPO, 2007. *International Patent Classification: IPC Guide, Survey*.
<http://www.wipo.int/classifications/ipc/en/ITsupport/links.html>
 World Intellectual Property Organization, Geneva.
- YOSSI ET AL. (2001)
 "Analyse spectrale des données "
 site:<http://citeseer.ist.psu.edu/azar00spectral.html>

Ouvrages cités non consultés

- BENZECRI J.-P., BENZECRI C., *La pratique de l’analyse des données, T1 : Analyse des correspondances, exposé élémentaire*, Dunod, 1980
- DIDAY E., *La méthode des nuées dynamiques*, *Revue de Stat Appliquée*, vol. 19, n°2, pp.19-34, 1971.
- MAC QUEEN, J., *Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations*, In : Berkeley Symposium, 1967.
- NONAKA I. and NISHIGUCHI T. (2001), « Knowledge emergence », Oxford University Press
- POLANYI M., “The Tacit Dimension”, London Eds, 1966, p.4
- ZIPF G. K., *Human Behaviour and the Principle of Least-Effort*. Cambridge : Addison-Wesley, 1949.