



HAL
open science

La structuration des bases de connaissances des entreprises de défense

Cécile Fauconnet

► **To cite this version:**

Cécile Fauconnet. La structuration des bases de connaissances des entreprises de défense. Economies et finances. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I, 2019. Français. NNT : 2019PA01E040 . tel-03025177

HAL Id: tel-03025177

<https://theses.hal.science/tel-03025177>

Submitted on 26 Nov 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ PARIS I - PANTHÉON-SORBONNE

ENSTA Paris - Institut Polytechnique de Paris

SCIENCES ÉCONOMIQUES - SCIENCES HUMAINES - SCIENCES JURIDIQUES ET POLITIQUES



La structuration des bases de connaissances des entreprises de défense

Thèse soutenue pour le doctorat en sciences économiques
(arrêté du 30 mars 1992)
présentée et soutenue publiquement le 16 octobre 2019 par

Cécile FAUCONNET

Directeur de recherche :

Richard LE GOFF, professeur de l'ENSTA Paris et associé à l'université Paris I
Panthéon-Sorbonne

Membres du jury :

Richard LE GOFF, professeur de l'ENSTA Paris et associé à l'université Paris I
Panthéon-Sorbonne

Pierre KOPP, professeur des Universités à l'université Paris I Panthéon-Sorbonne

Julien PENIN, professeur des Universités à l'université de Strasbourg

Vincent FRIGANT, professeur des Universités à l'université de Bordeaux

Lorenzo CASSI, maître de conférences à l'université Paris I Panthéon-Sorbonne

Didier BAZALGETTE, DGA, Ministère des Armées



L'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne et l'ENSTA ParisTech n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans cette thèse ; elles doivent être considérées comme propres à leur auteur.



Résumé

Dans ce travail, nous défendons la thèse que les entreprises de défense, de par la nature de leur activité, ont un processus d'innovation singulier. Nous mobilisons la conception de la base de connaissances d'[Henderson & Clark \[1990\]](#). Cette base est composée des briques, *i.e.* les plus petites unités de connaissances manipulées et de l'architecture des connaissances, *i.e.* la manière dont ces briques fonctionnent ensemble. Notre travail empirique repose sur l'analyse du processus d'innovation technologique des entreprises ayant une activité de défense. Les deux premiers chapitres étudient de la contribution des connaissances scientifiques aux innovations technologiques de défense. Le premier chapitre aborde cette question sous l'angle des technologies dites "de défense" alors que le deuxième chapitre s'attache à distinguer les entreprises de défense des entreprises civiles au regard de leur intégration de connaissances scientifiques dans leur processus d'innovation. Ces chapitres mettent en avant l'importance des connaissances scientifiques pour l'innovation militaire. Le troisième chapitre s'intéresse à la structure de la base de connaissances des entreprises de défense à l'aide des indicateurs issues de la littérature sur la cohérence technologique [[Nesta & Saviotti, 2005, 2006](#)]. Nos résultats de ce chapitre montrent l'importance de la nature exploratrice de la base de connaissances des entreprises de défense, *i.e.* l'importance de réaliser des connexions technologiques originales. Enfin, le dernier chapitre questionne l'influence des caractéristiques des bases de connaissances des entreprises, et plus particulièrement des entreprises de défense, sur la performance du processus d'innovation technologique. Ce chapitre montre la spécificité des bases de connaissances des entreprises de défense et son influence sur la performance de leur processus d'innovation technologique.

Centre d'Économie de la Sorbonne
Maison des Sciences Économiques
106-112 Boulevard de l'Hôpital
75013 Paris

Unité d'Économie Appliquée
ENSTA Paris - IP Paris
828 Boulevard des Maréchaux
91120 Palaiseau

Abstract

In this research, we defend the thesis that defense companies, by the nature of their activity, have a unique innovation process. We are mobilizing the concept of knowledge base developed by [Henderson & Clark \[1990\]](#) knowledge base. This data-base is composed of the components, *i.e.* the smallest units of knowledge manipulated and the architectural knowledge, *i.e.* the way these bricks work together. Our empirical work is based on the analysis of the technological innovation process of firms with a defense activity. The first two chapters examine the contribution of scientific knowledge to defense technological innovations. The first chapter addresses this issue from the perspective of so-called “defense” technologies, while the second chapter focuses on distinguishing defense companies from civil companies in terms of their integration of scientific knowledge into their innovation processes. These chapters highlight the importance of scientific knowledge for military innovation. The third chapter focuses on the structure of the defense industry knowledge base using indicators from the literature on technological coherence [[Nesta & Saviotti, 2005, 2006](#)]. Our results in this chapter show the importance of the exploratory nature of the defense firm knowledge base, *i.e.* the importance of making innovative technological connections. Finally, the last chapter questions the influence of the characteristics of the knowledge bases of firms, and more particularly defense companies, on the performance of the technological innovation process. This chapter shows the specificity of defense firms’ knowledge bases and its influence on the performance of their technological innovation process.

Keywords : Applied economics, Technological innovation, Complex Product System, Patent, Knowledge-based economy.

Knowledge is power

Francis Bacon

Table des matières

Remerciements	11
Introduction générale	13
1 L'économie fondée sur la connaissance	18
1.1 Origines et concepts	18
1.2 La connaissance	20
1.3 La base de connaissances des entreprises	24
1.4 Cohérence de la base de connaissances technologiques	26
1.5 Connaissances scientifiques	30
2 La défense	32
2.1 L'organisation de la production	34
2.2 La dualité	38
2.3 La science et l'innovation de défense	39
3 Plan de thèse	41
0 Chapitre préliminaire	44
1 Le brevet comme indicateur d'innovation technologique	44
2 L'activité industrielle de défense	50
3 Base de données	52
1 L'innovation dans le spatial-armement : contribution scientifique et qualité des brevets	56
Résumé	57
1 Introduction	58
2 Ancrage théorique	59
2.1 L'innovation de défense	59
2.2 L'innovation basée sur la connaissance	61
3 Données	63
3.1 Les citations de littérature scientifique	64
3.2 La qualité des brevets	66
4 Résultats	68

TABLE DES MATIÈRES

4.1	Analyse descriptive	68
4.2	Connaissances scientifiques et qualité de l'innovation technologique	72
5	Conclusion	74
6	Annexes	75
2	Les entreprises de défense sont-elles mieux armées pour intégrer des connaissances scientifiques dans leur processus d'innovation ?	78
	Résumé	79
1	Introduction	80
2	L'innovation militaire et les firmes de défense	82
3	L'innovation dans les systèmes complexes	85
4	Méthode	88
5	Données	89
6	Résultats et discussion	92
7	Conclusion	96
8	Annexes	98
3	Knowledge base of firms and weapons production : an empirical investigation	104
	Abstract	105
1	Introduction	106
2	Conceptual framework	107
3	Defense innovation	111
4	Data	114
5	Empirical modelling	118
6	Results and Discussion	120
7	Conclusion	124
8	Appendices	126
4	Diversification de la base de connaissances et performance du processus d'innovation technologique : la spécificité des entreprises de défense	134
	Résumé	135
1	Introduction	136
2	Revue de littérature	138
3	Stratégie empirique	142
4	Données	148
5	Résultats et discussion	150
6	Conclusion	161
7	Annexes	162

Conclusion générale	171
Bibliographie	175
Table des figures	198
Liste des tableaux	199

Remerciements

Au terme de ces trois ans de travail de thèse, je tiens à remercier tous ceux qui m'ont accompagné et soutenu pendant les trois dernières années. Sans eux, ce travail n'aurait pas été possible.

En premier lieu, je souhaite adresser mes remerciements à Richard Le Goff d'avoir accepté d'être mon directeur de thèse. Il a su, par ses conseils avisés et ses suggestions judicieuses, m'encadrer afin d'éviter les embûches qui jalonnent une thèse. Sa disponibilité associée à son ouverture d'esprit ont fortement contribué aux choix théoriques et méthodologiques de ce travail. Enfin, en tant que directeur de l'Unité d'Economie Appliquée, je le remercie d'avoir créé à un environnement riche et propice à la réflexion autour de mes problématiques de recherche.

Je remercie également les membres de mon jury d'avoir accepté d'évaluer mon travail et qui me font le grand honneur de manifester leur intérêt pour ma recherche en assistant à ma soutenance. Ma gratitude est grande pour Pierre Kopp, qui m'enseigne l'économie depuis ma licence, et qui m'a permis de partager mes réflexions au sein de son laboratoire. Je remercie également Julien Penin de m'avoir accueilli et conseillé lors des journées doctorales de l'Université de Strasbourg. De même, je tiens à remercier Vincent Frigant et Lorenzo Cassi pour leur disponibilité, leur précieux conseils et de leur bienveillance. Je suis aussi reconnaissante à Didier Bazalgette qui a cru en mon sujet de thèse et qui a toujours été encourageant.

Je te tiens à remercier également les membres de l'Unité d'Économie Appliquée de l'ENSTA Paris, en particulier Didier Lebert et François-Xavier Meunier. Je remercie Didier Lebert pour ses nombreux conseils, son soutien ainsi que sa capacité à créer un réseau de recherche dynamique autour de lui. Je tiens aussi à exprimer toute ma gratitude à mon co-bureau, mon co-auteur et soutiens de tous les jours, François-Xavier Meunier. En plus de sa présence et de ses conseils quotidiens, il a m'accompagné dans ma recherche et toujours trouver les temps pour m'aider, me conseiller et me relire. Par ailleurs, ce travail n'aurait pas été possible sans le personnel de l'ENSTA Paris qui m'a accueilli et offert des conditions de travail extraordinaires. Je pense en

particulier à Annie Jonquais, souriante et toujours disponible pour m'aider dans les nombreuses démarches administratives qui jalonnent trois années de thèse.

Je souhaite aussi remercier tout particulièrement Antoine Pietri. Sans lui, je n'aurais pas réalisé de thèse. Il est mon maître jedi qui m'a pris sous son aile, qui m'a toujours soutenu, toujours conseillé et aidé pour la construction de mon avenir dans la recherche. Je le remercie de la confiance qu'il m'a accordé et des nombreuses heures passées à me relire, me corriger et me rassurer.

Je tiens à exprimer ma gratitude à l'ensemble des acteurs en économie de défense et de l'innovation, en particulier Renaud Bellais, Julien Malizard, Elisa Darriet, Josselin Droff, Frédéric Caillaud et Benoît Rademacher. Je les remercie de m'avoir accueilli dans leur réseau avec autant d'enthousiasme et de bienveillance. Ils ont toujours été une oreille attentive et de précieux conseils durant ces trois années de travail de thèse.

J'aimerais aussi remercier le laboratoire du centre d'économie de la Sorbonne de l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, pour leur accueil et leur soutien depuis mon master. Je tiens à remercier en particulier Patricia Vornetti, François Facchini, Luigi Moretti les doctorant du bureau 227 pour les nombreux échanges qui ont enrichis ma réflexion.

Enfin, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à l'ensemble de mes proches qui ont montré un soutien indéfectible durant ce long travail. Je remercie particulièrement, ma mère, Isabelle, qui m'a toujours soutenue et encouragée durant ces trois années. Je pense aussi évidemment à mon compagnon, Thomas, qui a été présent autant comme soutien moral et psychologique que comme ingénieur informaticien résolvant tous mes problèmes techniques. Sans ses conseils et son soutien, je n'aurais pu réaliser cette thèse. Je tiens aussi à remercier Nicole, Severine, Christine et Patricia qui par leur présence à mes côtés depuis l'enfance et pendant ses trois années ont été un soutien sans faille de mes samedis. Enfin, je pense à mes amis qui m'ont supporté, dans tous les sens du terme, qui m'ont offert leur aide, qui m'ont changé les idées et qui n'ont jamais été aux abonnés absents. Etienne, Justine, Man-Ting, Jeremy, Nood, Kevin, Ralph, Marion, Nicolas, Louise, Guillaume, Téva, Eleonor, Pierre-Vincent, et tous les autres qui se reconnaîtront, je les remercie sincèrement.

Introduction générale

La fin de la guerre froide marque un tournant pour la défense des pays occidentaux. L'intensification des conflits asymétriques combinée au renforcement des contraintes budgétaires sur les dépenses militaires entraînent de nouvelles problématiques pour les industriels de défense. Dans ce contexte, l'innovation de défense joue un rôle clé. Elle est cruciale tant pour la bonne réalisation des missions de défense que pour justifier les dépenses publiques militaires. L'innovation est un des moyens de surpasser l'ennemi grâce à une supériorité des tactiques et des matériels. L'industrie de défense irrigue aussi la sphère civile grâce à la diffusion de ses connaissances et de ses innovations. De nombreux travaux mettent en évidence l'importance de l'innovation pour la croissance économique [Verspagen, 2006], pour développement des sociétés [Fagerberg *et al.*, 2010], ou encore pour la performance des entreprises [Klomp & Leeuwen, 2001].

Ce travail de thèse se concentre sur l'innovation de défense et plus précisément sur la relation qui existe entre connaissances et défense. Ce sujet est à la confluence de deux branches de l'économie par le double traitement de l'activité de défense et des connaissances. Les outils de l'économie industrielle permettent de comprendre les connexions entre défense et connaissances alors que l'économie publique en évalue les enjeux. Ceux-ci concernent autant la politique de défense qu'industrielle à travers la gestion du système de connaissances national. Ce choix d'analyser conjointement la défense et les connaissances s'inscrit aussi fortement dans le contexte économique.

L'activité de défense est ainsi un enjeu de politique publique sur une multitude de dimensions. Les relations internationales, le commerce d'armement, la gestion des armées, ou encore l'organisation institutionnelle et industrielle sont autant d'enjeux pour les pouvoirs publics. Plus précisément, les connaissances au sein de l'activité de défense influent les politiques publiques concernant, évidemment l'organisation industrielle de la production militaire, mais plus largement la gestion des connaissances et de leur flux sur le territoire et de la diffusion de l'innovation entre la sphère défense et civile. Cependant, en amont de ces questionnements, il semble nécessaire de comprendre la manière dont cette relation entre connaissances, innovation et dé-

fense se réalise. En effet, les connaissances sont cruciales pour l'innovation et la demande militaire donne un rôle clé à l'innovation.

La relation entre connaissances et innovation est notamment traitée par le courant de pensée de l'économie fondée sur la connaissance (*knowledge-based economy*, KBE ci-après). Ce courant est né de la perception du rôle croissant des connaissances dans le fonctionnement des entreprises et des économies. Cette approche par les connaissances est motivée par l'évolution de l'analyse de l'innovation au sein de la théorie économique. En effet, depuis les années 1990, l'essor des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) combiné à l'importance accrue du capital intangible dans la production mettent l'innovation au cœur de l'économie industrielle [Foray & Lundvall, 1998]. L'augmentation du stock de connaissances est au centre de cette approche. La KBE met aussi l'accent sur les relations entre les agents qui favorisent la dynamique de création, d'exploitation et de distribution des connaissances. Ce rôle central des connaissances dans l'économie n'est évidemment pas nouveau, mais les modes de production et de diffusion des connaissances évoluant, de nombreux travaux plaident en faveur d'un changement dans la nature tant quantitative que qualitative, de la relation entre connaissances et développement économique [Boekema *et al.*, 2000, Carluer & Le Goff, 2002, Foray, 2004]. Ce courant de l'analyse économique vise à fournir de nouveaux outils pour répondre aux questions liées de la création et la circulation des connaissances.

Bien qu'émerge un consensus autour de l'importance de la connaissance pour l'innovation et le développement économique [Verspagen, 2006], il n'y a pas d'assentiment net sur le type de connaissance nécessaire à l'innovation et à la génération de la croissance. Une contribution à cette ligne de pensée est la littérature sur la connaissance recombinate. Elle exploite une idée clé de Schumpeter [1942] et Usher [1954] selon laquelle les innovations résultent de combinaisons nouvelles et non éprouvées d'éléments existants. En principe, les recherches peuvent être effectuées dans tous les domaines de la connaissance. Cependant, l'ensemble des compétences que possèdent les agents économiques et leur environnement social et technologique sont susceptibles de limiter leurs activités de recombinaison à des domaines bien définis de l'espace du savoir. Cette restriction façonne et délimite leur sentier d'évolution. Cette capacité de recombinaison contrainte par un stock de connaissances finies structure la base de connaissances. Plusieurs études proposent que la base de connaissances d'une organisation émerge d'un processus de recherche mené dans un espace au sein duquel les connaissances sont réparties. Le processus de recherche identifie des connaissances qui peuvent être combinées pour générer de nouvelles connaissances technologiques [Fleming, 2001, Fleming & Sorenson, 2001, Sorenson *et al.*, 2006, Weitzman, 1996, 1998].

Si nous savons donc que le lien entre connaissances, innovation et défense est important, nous ignorons à quel point il est spécifique. Cette question est fondamentale pour répondre aux enjeux de politique publique posés par l'activité de défense. En effet, si nous montrons qu'il existe effectivement une spécificité de l'activité d'innovation pour la défense alors il est nécessaire de la considérer dans la prise de décision pour les politiques industrielles et militaires. Afin d'approfondir ce questionnement, nous recourons aux fondements de l'économie de l'innovation. Celle-ci explore les relations entre grandeurs économiques d'une part, et innovation, d'autre part. La contribution de l'innovation technologique à l'économie est analysée du point de vue macro-économique, autour de questionnements tels que ses relations avec la croissance [Ruttan, 2000], la compétitivité [Vázquez *et al.*, 2001] ou la structure de marché [Cohen & Levin, 1989], qu'à l'échelle micro-économique avec les questionnements autour des déterminants individuels de l'innovation [Scott & Bruce, 1994, Teece, 1996].

Pour réaliser ce travail de thèse, trois choix majeurs sont réalisés. Premièrement, nous concentrons notre attention sur le processus d'innovation au sein des entreprises de défense. Cette approche "*micro-micro*" au sens de Leibenstein [1979] vise à compléter les approches institutionnalistes de la question des spécificités de la défense. En effet, ce sujet est le plus souvent traité par des approches institutionnelles. Cette littérature interroge les relations entre les acteurs de l'environnement défense par exemple par l'angle du système d'innovation national [Bellais & Guichard, 2006, Serfati, 2008], du complexe militaro-industriel [Adams, 1968, Giroux, 2015], des arrangements institutionnels [Driessnack & King, 2004, Gates, 1989]. Approcher la problématique de l'innovation de défense au niveau des entreprises permet de mieux comprendre une des entités essentielles composant la sphère défense. Cette unité d'analyse apporte une vision plus détaillée à l'organisation interne du processus d'innovation des entreprises productrices d'armes. Cette recherche pourrait apporter des éléments explicatifs aux analyses macro-économiques. Nous choisissons l'angle d'approche micro-économique pour étudier les déterminants de l'innovation internes à la firme. Plus précisément, nous nous demandons comment les caractéristiques des entreprises de défense en termes de connaissances influencent leurs innovations technologiques. Ce choix traduit notre intérêt pour l'économie de défense et notre volonté de compléter cette littérature.

Deuxièmement, une attention particulière est portée à la contribution des connaissances scientifiques et technologiques codifiées à l'innovation. Nous proposons une étude quantitative et structurale des bases de connaissances des entreprises de défense. Dans le cadre de l'économie de défense, peu de travaux portent sur la pro-

duction des connaissances qui constitue une phase amont du processus d'innovation. Différents points de vue, avec leur méthode empirique propre, sont exprimés par les auteurs de la littérature d'économie défense. [Belin & Guille \[2008\]](#) traitent des financements en Recherche et Développement (R&D) au sein de la sphère défense. D'autres se concentrent sur l'intégration des entreprises de défense dans leur environnement à l'aide des études de cas [[Lazaric *et al.* , 2009](#), [Versailles, 2005](#)]. Cependant, il est rarement question de l'organisation des connaissances technologiques et scientifiques au sein des entreprises.

Considérer à la fois les connaissances technologiques et les connaissances scientifiques offre un éventail de pistes de recherche prometteur pour mieux comprendre la base de connaissances des entreprises de défense. La diversification des connaissances est vue comme un enjeu stratégique pour les entreprises. Nous défendons la thèse que le processus d'innovation des entreprises de défense est spécifique et que cela structure leurs bases de connaissances différemment des entreprises civiles. Cette recherche vise à compléter les études qualitatives [[Lazaric *et al.* , 2009](#), [Versailles, 2005](#)] qui défendent la complexité des productions militaires et les caractéristiques de maître d'œuvre que les entreprises de défense se doivent de maîtriser. De même, l'ajout des connaissances scientifiques à la réflexion met en lumière la spécificité des productions militaires. Bien que la contribution de la science à l'innovation technologique fasse l'objet d'une attention accrue de la littérature économique, elle rejoint rarement la question de la base de connaissances des entreprises. Les recherches se concentrent principalement sur les connaissances technologiques et les processus de diffusion de celles-ci au sein de la firme. Ajouter la dimension scientifique à ces recherches apporte un point de vue diversifié de la base de connaissances des entreprises de défense.

Troisièmement, nous nous concentrons sur l'innovation technologique. En effet, l'innovation technologique est un enjeu militaire majeur. Comme le prône la Loi de Programmation Militaire 2019-2025 française, l'innovation militaire comme une de ses quatre priorités¹. Le Ministère des Armées français met ainsi au centre de sa politique l'innovation technologique. Ce choix est ainsi motivé par l'importance de ce type d'innovation pour notre cas d'étude : l'innovation de défense. Ainsi, pour défendre de la spécificité du processus d'innovation de défense, nous concentrons notre attention sur les entreprises, les connaissances scientifiques et technologiques ainsi que l'innovation technologique.

1. "Innover pour faire face aux défis futurs, en préparant la supériorité opérationnelle des armées à plus long terme ; cette innovation permettra ainsi de disposer des équipements adaptés aux menaces futures." p.2

La question de la structure de la base de connaissances technologiques et scientifiques des entreprises de défense est donc centrale dans notre réflexion. Plus précisément, la problématique de ce travail de thèse peut se formuler de la manière suivante :

Comment les caractéristiques de la base de connaissances des entreprises de défense influencent-elles leurs innovations technologiques ?

Montrer la manière dont l'organisation de la base de connaissances des entreprises de défense est spécifiques au regard de celle des entreprises civiles est l'une des valeur ajoutée de cette thèse. Cet argument se fonde sur la singularité de l'activité de défense des entreprises, notamment en terme d'innovation technologique [Hackett *et al.* , 2008]. En effet, comprendre comment des contraintes imposées sur la production structurent la base de connaissances des entreprises est central pour l'analyse des innovations industrielles. Ces contraintes sont de natures diverses et leur poids varie considérablement d'une entreprise de défense à une autre, en fonction de sa diversification d'activité, de son domaine d'expertise ou encore de son degré d'internationalisation. Malgré leur variété, ces contraintes peuvent être représentées selon les archétypes suivant :

- La structure de marché est conditionnée par un monopsonne national ;
- L'environnement de collaboration est contraint par les exigences de l'Etat-client ;
- La finalité des produits impose une exigence de fiabilité, d'avance stratégique et d'intensité technologique ;
- L'organisation de la production se réalise autour de systèmes complexes impliquant un grand nombre d'acteurs réunit autour des figures du maître d'ouvrage (Etat) et le maître d'œuvre, l'entreprise.

Nous cherchons à comprendre en quoi l'activité de défense rend spécifique la base de connaissances des entreprises et sa structure à travers quatre angles. Premièrement, nous questionnons la contribution des connaissances scientifiques aux innovations technologiques du domaine Spatial-armement. Deuxièmement, nous cherchons à mettre en évidence les différences de mobilisation de connaissances scientifiques entre les entreprises civiles et de défense dans leur processus d'innovation. Troisièmement, l'influence de la structure de la base de connaissances sur la production d'armement est analysée. Pour finir, nous étudions l'impact des caractéristiques de la base de connaissances, composition et structure, sur la performance du processus d'innovation.

Afin de développer plus avant le cadre conceptuel dans lequel nous ancrons cette recherche, nous présentons la KBE dans la première partie de cette introduction. La définition de la connaissance, le rôle des connaissances scientifiques et technologiques, ainsi que leur structuration au sein des entreprises sont discutées. La deuxième section traite de la spécificité de la production de défense en mettant en avant l'intérêt d'étudier ces entreprises dans le cadre de la KBE. Enfin, nous présentons le plan de cette thèse.

1 L'économie fondée sur la connaissance

La KBE a pour objet de définir et d'analyser le rôle de la connaissance dans l'organisation et le développement économique. Ce cadre conceptuel est fondé sur la perception du rôle croissant de la production, la distribution et l'utilisation des connaissances dans le fonctionnement des entreprises. Non seulement, la quantité de connaissances en circulation s'accroît mais également les relations entre les agents autour des connaissances s'intensifient. L'idée selon laquelle la connaissance est importante pour le développement économique n'est pas nouvelle. Toutefois, les modes de production et de diffusion des connaissances évoluent au cours du temps et de nombreux arguments plaident en faveur d'un changement dans la nature tant quantitative que qualitative de la relation entre connaissance et développement économique. L'entrée dans la KBE rend l'analyse des systèmes productifs plus complexe. Les approches statistiques classiques fondées notamment sur la contribution au Produit Intérieur Brut (PIB) des différents secteurs d'activité et les tableaux (*inputs, outputs*) ne permettent plus de saisir les principales caractéristiques de la création et de la circulation des connaissances. En d'autres termes, la transformation du mode de fonctionnement des économies doit s'accompagner d'un renouvellement des instruments de mesure des phénomènes économiques.

1.1 Origines et concepts

La KBE place la connaissance comme clé de lecture de l'organisation de la production et du développement économique. Son émergence marque un moment de l'histoire où la part de la connaissance dans l'ensemble des facteurs de production prend une place accrue. La naissance de la KBE est intimement liée à l'émergence des NTIC. La relation étroite entre l'accroissement de la part du capital intangible (éducation, formation, capital humain, R&D, *etc.*) et la diffusion des NTIC (internet, infrastructures, *etc.*) a modifié considérablement les sources et la vitesse de l'innovation, après la stabilité du modèle de production *fordiste* [Foray & Lundvall, 1998]. L'essor du rôle des connaissances dans la production s'est combiné à une base techno-

logique appropriée et a entraîné une consolidation mutuelle entre les activités intensives en connaissances, la production et la diffusion des nouvelles technologies. Cela entraîne à la fois des gains de productivité, l'émergence de nouvelles industries (e.g. le commerce électronique, le multimédia ou les plate-formes électroniques) et l'adoption de modèles d'organisation originaux en sont les conséquences.

Cette approche de la connaissance par l'économie contribue à l'analyse de l'innovation. L'innovation est définie par le manuel d'Oslo [OCDE, 2005, p.37], comme “ les produits et procédés technologiquement nouveaux ainsi que les améliorations technologiques importants de produits et de procédés qui ont été accomplis ”. Cette définition comprenant à la fois les innovations de procédés et de produits. Cette thèse se concentre, pour sa part, sur l'innovation technologique, cruciale pour l'activité de défense. En effet, dans le cas de la défense, l'innovation est vue comme l'action ou le processus d'introduire de nouvelles idées qui est essentiel pour accomplir les missions de défense. De telles capacités permettent l'exécution des missions de défense sans être compromises par un adversaire. La nécessité de surpasser les ennemis signifie que les forces armées doivent constamment améliorer leurs tactiques et matériels. L'industrie de défense porte en elle des enjeux stratégiques et de souveraineté qui la rendent spécifique [Dupuy, 2013].

En parallèle à ce rôle croissant des connaissances dans l'économie, de nouveaux modèles d'innovation émergent. La conception des économistes du changement technique et de l'innovation a connu certains changements au cours des années 1980-1990. Le changement technique n'est plus conçu comme une amélioration de la connaissance qui “tombe du ciel” et augmente la productivité. L'invention n'est plus considérée comme l'acte d'inventeurs isolés au comportement irréductible à des explications économiques à la manière de Schumpeter [1912]. Les innovations se font principalement dans les entreprises, pour des raisons essentiellement économiques [Penrose, 1959]. Le rôle primordial donné à la conception d'innovation découle de la perception, par les entreprises, d'opportunités économiques en liaisons avec des possibilités techniques. La recherche d'innovation peut être comprise comme un processus permettant une concordance entre les impératifs d'ordre technique et la volonté de fabriquer de nouveaux produits. Différents types de processus d'innovation sont développés dans la littérature. Dès le début des années 1950, l'innovation est vue comme le résultat d'un modèle linéaire et hiérarchique [Forest, 2014] : la découverte de nouvelles connaissances entraîne une phase de développement, de design puis de production pour finalement arriver aux utilisateurs finaux. La recherche fondamentale délimite les frontières des possibles pour les recherches plus appliquées, industrielles et technologiques. Cependant, cette vision du processus d'innovation est remise en cause pour mettre en valeur les interactions entre les phases en amont et en aval

du processus d'innovation, les incitations liées au marché et les possibilités offertes par les avancées scientifiques [Kline & Rosenberg, 1986]. Cette contestation du modèle linéaire d'innovation met deux aspects primordiaux en avant : l'organisation interne de la firme et les relations de cette dernière avec son environnement. Ce tissu de relations aide les entreprises à diluer les coûts et les risques liés à l'innovation dans un plus grand nombre d'organisation. Cet environnement élargi permet à ses composantes l'accès aux derniers résultats de la recherche, l'acquisition des composantes technologiques essentielles d'un nouveau produit ou procédé, et le partage des moyens de fabrication, de commercialisation et de distribution. Quel que soit le modèle d'innovation considéré, linéaire [Schumpeter, 1942], de liaisons en chaînes [Kline & Rosenberg, 1986] ou en triple hélice [Etzkowitz & Leydesdorff, 2000], le rôle de la connaissance et sa diffusion sont centraux. Cette notion de connaissance est complexe et nécessite une discussion de ses caractéristiques particulières et de ses conséquences sur les conditions de l'innovation.

1.2 La connaissance

La connaissance a de multiples définitions. Selon le Larousse, la connaissance est à la fois l' "*action, fait de comprendre, de connaître les propriétés, les caractéristiques, les traits spécifiques de quelque chose*" mais aussi l' "*opération par laquelle l'esprit humain procède à l'analyse d'un objet, d'une réalité et en définit la nature*" ou encore l' "*ensemble des domaines où s'exerce l'activité d'apprendre*". Cette collection de définitions place l'esprit humain au centre de la notion de connaissance, ce qui s'oppose à la vision d'Arrow [1962]. Cet auteur est à l'origine d'une première conception économique de la connaissance qui amalgame connaissance et information. L'activité d'innovation est séparée des activités de production classique. La connaissance est produite par un secteur spécialisé à partir d'une fonction de production qui combine du travail qualifié et du capital. L'output de ce secteur consiste en de l'information échangée sur un marché.

Cependant, de nombreux auteurs ont montré l'importance la distinction entre connaissance et information [David, 2004, Dosi *et al.* , 2006]. La connaissance est une capacité cognitive et d'apprentissage, tandis que l'information est un ensemble de données formatées et structurées ne pouvant être recombinaisonnées entre elles pour engendrer de nouvelles informations. La reproduction de la connaissance et celle de l'information sont des processus très différents : quand l'une se fait par l'apprentissage et nécessite une ressource cognitive, l'autre passe par la simple duplication, ne nécessitant aucune capacité cognitive. La connaissance est composée non seulement d'informations à caractère public mais aussi de savoir-faire et de compétences

qui sont incorporés dans les individus et les organisations et qui ne peuvent pas facilement être isolés de leur environnement. La création de connaissances nouvelles apparaît alors comme un processus d'apprentissage [Dosi, 1988]. Il nécessite la mise en place, par chaque firme, d'une capacité d'apprentissage suffisante pour "absorber" les résultats obtenus ailleurs [Cohen & Levinthal, 1990].

Ainsi, la connaissance correspond à toute idée, mécanisme cognitif qui nous permet de s'approcher d'une vérité, par un processus d'essais-erreurs. Cela est d'autant plus vrai que la valeur d'une recherche se mesure toujours, non seulement à l'aune des réponses qu'elle apporte, mais aussi des questions nouvelles qu'elle soulève. Le processus de création des connaissances n'est pas seulement celui d'établir des vérités mais de trouver de nouveaux questionnements.

Puisque la connaissance se distingue de l'information, il revient aussi de considérer les deux facettes de la connaissance : tacite et codifiée. La connaissance tacite peut se résumer par la célèbre phrase de Polanyi [1966, p.4] : "Nous en savons toujours plus que ce que nous sommes en mesure d'exprimer"². Ainsi la connaissance tacite est indissociable de l'individu et s'acquiert par l'apprentissage (*learning by doing/using/watching, etc.*). La connaissance codifiée désigne, elle, l'explicitation de la connaissance au moyen de règles et de codes qui permettent d'émettre cette connaissance sur un support indépendant du sujet qui détient initialement ce savoir. La connaissance codifiée désigne la possibilité de la séparer, dans une certaine mesure, de la subjectivité de l'individu qui en est porteur au départ. Cette codification peut être opérée de manière déclarative ou par le biais d'un support matériel ou immatériel. Elle désigne cette particularité propre à l'Homme de mettre sa mémoire sur un support autonome et donc de partager cette connaissance comme un bien collectif qui peut circuler librement parmi tous les individus. La codification de la connaissance est un élément clé pour comprendre la diffusion de la connaissance mais aussi de l'incitation à la production de nouvelles connaissances. Une de ces incitations est la protection du droit de propriété à travers le brevet ou le droit d'auteur, qui réduit la nature de bien collectif pur à des caractéristiques de bien privé au mieux, collectif impur, au pire. Nous utilisons, dans cette thèse, le brevet comme support de la connaissance créée à la suite d'un processus d'innovation. Pour comprendre l'intérêt de ce système, il est nécessaire de revenir sur les caractéristiques particulières de la connaissance en tant que bien.

La nature cumulative et les caractéristiques de bien collectif de la connaissance pose le problème classique de la fourniture optimale de bien collectif. Premièrement,

2. "we can know more than we can tell."

toute connaissance peut être un facteur de production de nouvelles connaissances. Autrement dit, la connaissance n'est pas seulement un bien de consommation mais aussi et surtout un bien de production, susceptible d'engendrer de nouveaux biens qui seront eux-mêmes infiniment utilisables. Cette caractéristique traduit la nature cumulative de la connaissance. Deuxièmement, la connaissance possède, dans une certaine mesure, les caractéristiques d'un bien collectif. La première caractéristique est la non-rivalité. En tant que ressource, la connaissance peut être caractérisée par son inépuisabilité. La connaissance a ainsi un coût de reproductibilité nul³. Puisque ce coût est nul, la tarification ne peut se faire au coût marginal car l'usage de la connaissance existante serait alors gratuit et il deviendrait impossible de compenser financièrement le fait qu'une connaissance soit utilisée un grand nombre de fois. La seconde caractéristique de bien collectif est la non-excluabilité, *i.e.* il est difficile de rendre ce bien exclusif et du contrôler de façon privée. Ces caractéristiques impliquent l'existence d'externalités positives. La connaissance produite par un agent bénéficie à d'autres, sans que des transactions marchandes, volontaires, ne garantissent l'efficacité de la coordination marchande. Le cumul de ces trois propriétés de cumulativité, de non-rivalité et de non-excluabilité est à l'origine des fortes externalités de l'activité de recherche et d'innovation. Cependant, ces propriétés sont aussi à l'origine du dilemme de la connaissance. Puisque le coût marginal d'usage de la connaissance est nul, son utilisation optimale implique qu'il n'y ait pas de restriction d'accès et que le prix d'usage soit nul alors que le coût fixe de la recherche pour produire cette connaissance est positif. Ainsi, le dilemme de la connaissance peut se résumer comme suit : seule l'anticipation d'un prix positif d'usage garantira l'allocation des ressources pour la création ; mais seul un prix nul garantira un usage efficient de la connaissance, une fois celle-ci produite.

Pour résoudre ce dilemme, il existe deux grands systèmes d'incitation et de coordination, qui fournissent des mécanismes susceptibles de régler le problème que pose la présence d'externalités positives. Le premier dispositif consiste en la création d'un marché pour motiver l'initiative privée, *via* l'instauration d'un système de droits de propriété. Il s'agit de restreindre l'accès à la connaissance en accordant des droits exclusifs temporaires sur la nouvelle connaissance, permettant à l'inventeur de fixer un prix d'usage de celle-ci. Le brevet et le droit d'auteur sont les principaux droits de la propriété intellectuelle assurant une certaine exclusivité sur la connaissance. Le deuxième dispositif consiste à substituer une initiative publique à l'initiative privée. On confie à la société le soin de couvrir les coûts des ressources nécessaires à la production de connaissances. Dans ce cas, le producteur renonce à ses droits exclusifs sur la connaissance, celle-ci appartient toute entière à la société. Ces deux modali-

3. Ce coût de reproductibilité tend de plus en plus vers zéro, notamment grâce à l'émergence et la diffusion constante des NTIC dans la société

tés de gestion des externalités liées aux connaissances et à leur diffusion entraînent deux grandes formes d'organisation de la production et de la distribution des connaissances : privée et publique. Le secteur privé choisit le système associé aux droits de propriétés et cherche à maximiser les rentes qui peuvent résulter d'une innovation. Dans le secteur public, où le coût de la recherche est subventionné, l'objectif est d'accroître le stock de connaissances. La séparation entre ces deux secteurs n'est pas totalement hermétique, comme cherche à l'illustrer l'étude du cas de la défense dans ce travail de thèse. En effet, les frontières entre recherche publique et privée tendent à devenir de plus en plus floue. Puisque l'Etat peut financer les recherches privées des entreprises, le cas des entreprises de défense en est un exemple caractéristique. Selon [Belin & Guille \[2008\]](#), en France, les entreprises de défense captent l'ensemble des financements publics de R&D du Ministère des Armées et 72% des autres financements publics en R&D. En plus de cette intrusion du public dans le système privé, les institutions publiques cherchent de plus en plus à valoriser économiquement leurs activités de recherche, et cela se traduit par l'accroissement des dépôts de brevets par des chercheurs publics [[Fisch et al. , 2015](#)]. Finalement, il semble que c'est l'usage de la connaissance qui détermine l'ampleur des externalités et qui explique de fait le recours aux procédures de codification.

Pour protéger la rente consécutive à une innovation, les entreprises peuvent avoir recours, dans le cas d'une innovation technologique, à deux alternatives : d'une part, le brevet, nécessitant une codification de la connaissance ; d'autre part, le secret commercial/industriel, ne nécessitant pas de codification formelle. Le secret commercial est un droit qui procède de la notion juridique de confidentialité. Tant que le secret n'est pas révélé, il permet de réserver le profit du nouveau savoir. Le secret n'engendre pas de droit de propriété et ne protège donc pas contre le risque de produits concurrents. Si le secret peut être une stratégie lucrative, il est inutile dès lors qu'il s'agit de connaissances destinées à être incorporées dans de nouveaux produits exposés aux yeux de tous. Dans l'optique de cette thèse, visant à analyser les connaissances codifiées maîtrisées, mobilisées et créées par les entreprises, le choix du secret comme protection de la diffusion des connaissances est un obstacle infranchissable à l'analyse quantifiée des bases de connaissances des entreprises. En effet, de par sa nature même, le secret est inobservable. Bien que certaines entreprises adoptent cette stratégie dominante (Dassault Systems ou Space X), la grande majorité des entreprises innovantes dans le monde, dont les entreprises de défense utilisent le brevet comme outils de protection de leur propriété intellectuelle. Ainsi ce travail de thèse s'intéresse à la connaissance codifiée dans les brevets des entreprises.

Le brevet représente une solution pertinente et reconnue au problème du bien public décrit précédemment. En augmentant le niveau de rentabilité privée espérée

d'une innovation, il agit comme un mécanisme d'incitation à l'investissement privé dans la production de connaissances. Dans ce système, la circulation des connaissances est organisée de façon délibérée de plusieurs manières. Premièrement, l'obtention du droit de propriété s'accompagne de la révélation publique de la connaissance protégée. S'il ne permet pas l'utilisation immédiate d'une nouvelle connaissance par une autre organisation, il favorise néanmoins, une certaine diffusion de la connaissance. Cette diffusion est partielle en raison de la perte de connaissance engendrée par le processus de codification. Cependant, même une protection partielle permet aux autres agents ou organisations d'évaluer leurs propres stratégies et de repérer les opportunités de coopérations. Deuxièmement, l'obtention d'un brevet crée un droit de transférabilité. En cédant une licence, le propriétaire de la connaissance permet que celle-ci soit exploitée par d'autres et recevra en retour une redevance. Ainsi, le brevet, de par sa nature juridique et du fait de l'obligation de description du contenu de son innovation, traduit une des facettes de la base de connaissances des entreprises. Afin de mieux comprendre les avantages et les limites de l'utilisation de cette source de données dans l'analyse du processus d'innovation des entreprises, nous présentons dans le [Chapitre préliminaire](#) ce qui caractérise le brevet et son obtention ainsi que les limites et les avantages de son utilisation pour capturer l'innovation technologique.

1.3 La base de connaissances des entreprises

Comme nous venons de le montrer, les connaissances prennent une place croissante dans l'économie, principalement *via* leur contribution à l'innovation. L'objet de la KBE appliquée à l'échelle de l'entreprise est de saisir comment une organisation acquiert, accumule, mobilise et diffuse des connaissances pour stimuler son innovation [Cowan & Foray, 1997]. Par le prisme des brevets, ce travail s'intéresse à la base de connaissances des entreprises. Nous considérons l'entreprise comme une organisation intégratrice et créatrice de connaissances [Grant, 1996]. La création de nouvelles connaissances par les entreprises "*est représentée comme un processus de recherche à travers un ensemble de composants alternatifs qui peuvent être combinés entre eux.*"⁴ Colombelli *et al.* [2013, p. 1471]. Cette définition regroupe à la fois la notion d'unités de connaissances et de connexions entre elles. Dans cette vision, la base de connaissances est ce qui permet aux entreprises d'en générer de nouvelles.

De nombreux auteurs se sont posés la question de la définition de la base de connaissances des entreprises. Que celle-ci soit définie en termes de capacités dynamiques [Teece & Pisano, 2003] *i.e.* la capacité d'adaptation compétences organisa-

4. "The creation of new knowledge is represented as a search process across a set of alternative components that can be combined with one another."

tionnelles internes et externes, des ressources et des compétences fonctionnelles vers un environnement changeant, de capacité d'absorption [Cohen & Levinthal, 1990], *i.e.* la capacité d'une entreprise à reconnaître la valeur d'une information nouvelle et externe, à l'assimiler, et à l'appliquer à des fins commerciales, ou de diversité de ses composantes [Garcia-Vega, 2006], la place des connaissances dans l'entreprise est centrale. Cette thèse s'attache à la définition donnée par Henderson & Clark [1990] car elle prend à la fois en compte les connaissances dans leur individualité et leur diversité mais aussi la capacité des entreprises à les combiner et les enrichir. Ces auteurs définissent la base de connaissances comme le résultat de deux éléments distincts : les briques de connaissances et l'architecture des connaissances. La distinction entre le produit dans son ensemble - le système - et le produit dans ses parties - les composants - a longtemps animé dans la littérature en ingénierie [Alexander, 1964, Marples, 1961]. Un composant, une brique d'un produit - est définie comme une partie, physiquement distincte de la production qui incarne un concept de base et réalise une fonction bien définie. Henderson & Clark [1990] illustrent leur propos en prenant l'exemple du moteur. Celui-ci est une partie d'un système avec pour objectif précis la fourniture d'énergie. Cependant, il existe une diversité de moyens de fournir de l'énergie. Le choix d'un moteur thermique, électrique ou à hydrogène dépend des connaissances du créateur, de l'objet final de la production ainsi que des contraintes imposées par le reste des composants. La distinction entre un produit en tant que système et un produit comme un ensemble de composants souligne l'idée que le développement réussi d'un produit requiert deux types de connaissances. Premièrement, il nécessite de maîtriser la brique de connaissance, *i.e.* la connaissance de chaque concept de base composant le système et la façon dont ils doivent être mis en place. Deuxièmement, il est aussi nécessaire de maîtriser l'architecture des connaissances, *i.e.* la connaissance sur la manière dont les briques sont intégrées et liées les unes aux autres, afin de créer un système cohérent et fonctionnel. La distinction entre les briques de connaissances et l'architecture des connaissances, ou entre les composants eux-mêmes et leurs liens est une source d'information sur la manière dont les innovations diffèrent les unes des autres. Ces deux éléments composent donc la base de connaissances sur laquelle se repose la firme en vue d'innover.

La base de connaissances d'une entreprise peut être définie comme la connaissance collective qu'une entreprise mobilise pour achever ses objectifs productifs [Saviotti *et al.* , 2005]. Le caractère collectif vient du fait que la base de connaissances résulte des connaissances individuelles des membres de l'entreprise et de leurs interactions, contraint par l'organisation de l'entreprise. Ainsi, la base de connaissances d'une entreprise peut être étudiée sous deux angles distincts mais interdépendants : d'une part, les connaissances et leurs connexions en elles-mêmes et d'autre part, l'organisation au sein de l'entreprise permettant ces interactions. La théorie évolution-

niste s'intéresse à cette question en traitant de la construction au sein des entreprises des routines organisationnelles. Celles-ci permettent la survie, l'émergence et la performance des entreprises. La théorie évolutionniste a pour principale ambition de comprendre l'émergence de la nouveauté et d'interpréter le changement, étant donné l'environnement et l'histoire dans lesquels les systèmes se situent [Nelson & Winter, 1982]. L'organisation de l'entreprise doit être traitée en répondant à deux questions essentielles [Lazarcic, 2010] :

- Où sont les compétences des individus ?
- Où se situe la connaissance de l'organisation pour mener à bien un processus de production ?

Les réponses à ces questions sont les routines organisationnelles. Elles regroupent le stock des connaissances individuelles et l'ensemble de connaissances collectives. Nelson & Winter [1982] conceptualisent la firme sous forme de compétences et de routines. Ils mettent en évidence les difficultés d'opérationnaliser sans ambiguïté ces notions. Il n'existe pas de modèle universel pour traiter de ces concepts. Les routines organisationnelles sont souvent traitées à travers des cas concrets [Howard-Grenville, 2005, Lazarcic & Denis, 2005]. Ces études questionnent des problématiques aussi diverses que l'émergence des entreprises et de leurs routines [Cohen & Bacdayan, 1994, Egidi & Narduzzo, 1997], que leur consolidation et mise en place [Becker & Zirpoli, 2008, D'Adderio, 2008, Lazarcic *et al.*, 2002] ou encore sous l'angle des systèmes d'incitations [Coriat & Dosi, 1999, Postrel & Rumelt, 1996]. Parallèlement, des recherches traitent des connaissances en elles-mêmes ainsi que leurs connexions [Henderson & Clark, 1990, Nesta & Saviotti, 2005, 2006]. Cette approche est complémentaire à celle se concentrant sur les routines organisationnelles et c'est celle que nous choisissons d'utiliser dans cette thèse. Ce choix traduit un intérêt particulier de la base de connaissances des entreprises. Nous souhaitons appliquer la conception de Henderson & Clark [1990] de la base de connaissances en termes de briques et d'architecture aux entreprises de la défense. Afin de traiter de cette problématique précise, l'approche quantitative semble plus appropriée que l'approche organisationnelle. Cette question de la composition de la base de connaissances des entreprises est intimement liée à la diversification des connaissances au sein des entreprises.

1.4 Cohérence de la base de connaissances technologiques

De façon concomitante à l'émergence de l'économie de la connaissance, ces dernières décennies ont été marquées par une croissance de la complexité des productions [Breschi *et al.*, 2003, Rosenberg, 1976]. Cette complexité semble imposer une diversité technologique aux entreprises, conduisant les firmes à manipuler une plus grande variété de connaissances. Autrement dit, pour produire de l'innovation tech-

1. L'ÉCONOMIE FONDÉE SUR LA CONNAISSANCE

nologique aujourd'hui, les entreprises se doivent d'utiliser diverses sources de connaissances, scientifiques et techniques, présentant des caractéristiques variées et visant différents segments de marché [Dosi, 1988].

La littérature en économie industrielle montre l'importance de cette diversification des connaissances pour les entreprises, notamment pour leur capacité d'innovation [Quintana-García & Benavides-Velasco, 2008]. Cette relation donne à penser que la diversité technologique peut atténuer les rigidités fondamentales et les dépendances de sentier technologique en améliorant les solutions novatrices qui accélèrent le rythme des inventions, surtout celles qui s'écartent des activités passées de l'entreprise. De même, la littérature sur la théorie évolutionniste de la firme suggère qu'il est essentiel de maintenir des compétences dans diverses technologies [Dosi, 1982, Nelson & Winter, 1982, Rosenberg, 1969]. Des nombreuses recherches empiriques illustrent l'importance de l'intégration de connaissances pour l'innovation technologique. Pour l'industrie de la robotique, il existe une relation linéaire et positive entre l'étendue de la recherche et l'innovation de produits [Katila & Ahuja, 2002]. Ahuja & Lampert [2001] démontrent, pour l'industrie chimique, que l'expérimentation avec des technologies nouvelles, émergentes et pionnières est positivement associée au nombre de nouvelles inventions. De même, Garcia-Vega [2006] insiste sur l'effet positif de la diversité technologique sur l'innovation au sein des entreprises grâce à une étude empirique portant sur 544 firmes européennes intensives en R&D⁵ entre 1995 et 2000. Ces études sur la diversité technologique sont complétées par des approches de la contribution de la connaissance scientifique. Certains travaux suggèrent que le potentiel d'innovation peut être renforcé par la sélection d'un large éventail de spécialités scientifiques [Cardinal, 2001, Dewar & Dutton, 1986, Ettl et al., 1984]. La disponibilité de multiples disciplines scientifiques aide les professionnels de la R&D à acquérir de nouvelles connaissances et à élargir les bases de connaissances existantes [Cardinal, 2001].

Cette littérature sur la diversité de la base de connaissances des entreprises se focalise sur la quantité et sur la concentration des connaissances dans les organisations. Cette définition peut se rapporter à la conception de briques de connaissances⁶ telle que présentée par Henderson & Clark [1990]. Une approche complémentaire de la diversification est celle des liens entre les connaissances pouvant ainsi être rapprochée du concept d'architecture de connaissances. Ces liens sont principalement étudiés sous l'angle de la cohérence de la base de connaissances. La base de connais-

5. Les entreprises intensives en R&D sont celles qui présentent dans la base de données de la R&D des entreprises de l'OCDE pendant au moins trois années consécutives.

6. Pour rappel, une brique de connaissances est définie par Henderson & Clark [1990] comme une partie, physiquement distincte de la production qui incarne un concept de base et réalise une fonction bien définie.

sances d'une entreprise est considérée comme cohérente lorsque ses connaissances sont complémentaires. Comme Penrose [1959] le fait remarquer, la performance d'une entreprise dépend non seulement sur la somme de ses compétences mais aussi de leur combinaison. La connaissance peut s'accumuler et s'intégrer efficacement uniquement par l'ajout de connaissances de types connexes. L'hypothèse de cette approche est que l'intégration des connaissances n'est pas un processus aléatoire, et son issue est un déterminant important de l'activité de l'entreprise [Penrose, 1959]. Ce concept de cohérence permet de représenter la base de connaissances d'une entreprise comme un réseau dans lequel les connaissances sont reliées entre elles. Elle est ainsi visualisée à travers des nœuds, les briques et des liens : l'architecture. Les architectures de bases de connaissances sont, selon Penrose, une "structure d'opportunités" pour la société [Cohendet & Gaffard, 2010, p. 73]. Cette structure d'opportunités détermine le potentiel d'innovation des entreprises. Afin d'analyser la base de connaissances des entreprises, et donc leur structure d'opportunités, cette thèse utilise le concept de la cohérence.

La cohérence aide à mieux comprendre les stratégies de diversification des entreprises à travers l'approche de la *relatedness* [Ansoff, 1957, 1965]. À cette fin, Ansoff [1965] mesure les liens existant entre des domaines industriels ou technologiques en évaluant le degré de connexions entre les connaissances. Plus les briques de connaissances sont reliées entre elles, plus la base de connaissances de l'entreprise est cohérente. Le premier traitement systématique de la cohérence a été fourni par les travaux de Teece *et al.* [1994]. Ils développent une méthode pour mesurer la cohérence de l'entreprise en fonction de ses *outputs*. Les auteurs considèrent qu'une entreprise n'est pas une collection d'activités sans rapport entre elles, mais qu'elle doit se diversifier de façon cohérente. Ils soutiennent que les entreprises cohérentes ont plus de chances de réussir économiquement que les entreprises "incohérentes". Cela s'explique par l'existence d'économies d'échelle liées à la diversification des activités dans des domaines connexes. Ces économies d'échelle proviennent du partage des compétences et des atouts technologiques et scientifiques similaires et complémentaires liés à la diversification [Montgomery, 1982, Montgomery & Hariharan, 1991, Ramanujam & Varadarajan, 1989]. Teece *et al.* [1994] se concentrent sur l'articulation entre les activités productives au sein des entreprises. Ils trouvent qu'à mesure que les entreprises manufacturières américaines se diversifient, elles maintiennent un niveau constant de cohérence entre les activités voisines. Cette constatation va à l'encontre de l'idée que les entreprises ayant de nombreuses activités sont généralement plus "incohérentes". Ces travaux ont ensuite été adaptés et enrichis pour évaluer la cohérence technologique des entreprises diversifiées [Piscitello, 2000], des secteurs industriels [Krafft *et al.*, 2011] ou des domaines technologiques [Rafols & Meyer, 2009].

Ces études aident à mieux comprendre la manière dont les connaissances sont structurées dans l'entreprise. Ces mesures, appliquées ici à un type particulier de ressources - les connaissances technologiques - permettent d'évaluer la cohérence de la base de connaissances d'une entreprise. Plus une entreprise combine des briques de connaissances qui sont communément associées les unes aux autres par toutes les autres entreprises, plus elle est cohérente. Grâce à cette évaluation de la cohérence, nous nous demandons si les innovations technologiques des entreprises de défense sont déterminées par des associations de connaissances communément utilisées (forte cohérence) ou si elles sont le fruit d'associations technologiques inhabituelles (faible cohérence).

Cette distinction entre liens fortement et faiblement cohérents renvoie au dilemme entre l'exploration et l'exploitation mis en avant par [March \[1991\]](#). Il montre qu'il existe différentes façons de tirer parti des connaissances existantes, soit pour exploiter des combinaisons technologiques connues, soit pour explorer de nouvelles possibilités : *“l'essence de l'exploitation est le raffinement et l'extension des compétences, des technologies et des paradigmes existants (...), l'essence de l'exploration est l'expérimentation de nouvelles alternatives”* [[March, 1991](#), p. 85]. Il y a d'une part l'exploitation des synergies déjà connues entre les ressources des entreprises afin d'accroître les liens entre elles [[Montgomery, 1979](#), [Rumelt, 1974](#)]. D'autre part, il y a l'exploration de nouveaux liens entre les ressources de l'entreprise dont le potentiel synergique n'est pas encore identifié et qui peuvent conduire à une combinaison inhabituelle de ressources [[Nesta & Saviotti, 2005](#)], pouvant générer des coûts organisationnels prohibitifs [[Reed, 1991](#)]. Cependant, cette exploration peut, en cas de succès, aboutir à des innovations de rupture. Ce dilemme semble être résolu avec le temps, car les entreprises commencent par explorer les opportunités avant d'exploiter les plus rentables [[Fauchart & Keilbach, 2009](#)]. Évidemment ces stratégies de gestion des bases de connaissances ont pour objet final d'atteindre une diversification optimale liée à la nature des connaissances qu'elles mobilisent et qu'elles combinent afin d'innover [[Montgomery, 1994](#)]. La firme arbitre alors entre le risque d'obsolescence associé à l'exploitation et le risque d'échec associé à l'exploration.

En plus de l'exploration et de l'exploitation, cette recherche distingue deux autres façons d'organiser les bases de connaissances des entreprises. La première, dite de “différenciation”, correspond à la conception proposée par [March \[1991\]](#), de la mise en œuvre, au sein de l'entreprise, d'une association inhabituelle de connaissances. La seconde, dite de “distinction”, est une conception opposée dans le sens où elle consiste à abandonner, dans l'entreprise, des associations de connaissances qui apparaissent très cohérentes [[Lebert et al. , 2015](#)]. Sous cet angle, la résolution du dilemme de l'ex-

ploration et de l'exploitation est plus complexe. Ce n'est plus un choix binaire entre : ajouter de nouveaux liens originaux ou se concentrer sur les plus forts. La question de l'intensité ou de l'engagement dans la stratégie d'exploration se pose à l'entreprise. En effet, elle peut choisir d'ajouter des liens de connaissances originaux sans se détourner de l'architecture de connaissances la plus forte, mais elle peut aussi choisir une stratégie d'exploration plus affirmée en décidant d'abandonner certaines combinaisons de connaissances fortes en faveur des liens originaux qu'elle préfère.

Ces questionnements sur l'exploration et l'exploitation et la différenciation et la distinction peuvent être considérés comme complémentaires, à la vision de la firme ambidextre [Lubatkin *et al.* , 2006]. Celle-ci ne vise pas un niveau relatif optimal d'exploration et d'exploitation afin d'équilibrer les coûts et les bénéfices, mais vise à tirer profit de la génération d'interactions entre exploration et exploitation créant des effets complémentaires [Cao *et al.* , 2009, Wei *et al.* , 2014]. Dans la perspective de l'ambidextrie, la capacité d'innovation des entreprises ne repose pas sur un compromis entre l'exploration et l'exploitation mais sur la capacité des entreprises à mener les deux activités en même temps. Si l'on considère que l'exploration vise une innovation de rupture et l'exploitation une innovation incrémentale, alors une entreprise ambidextre saura réaliser les deux simultanément [Benner & Tushman, 2003, O'Reilly & Tushman, 2004], en créant des synergies entre ces deux types d'innovation. Cette compétence organisationnelle des entreprises est mise en œuvre au niveau de la base de connaissances. En d'autres termes, une entreprise ambidextre opère, en même temps, des associations de connaissances très cohérentes et des associations qui, au contraire, le sont moins.

Cette approche par la cohérence de la base de connaissances des entreprises est évidemment à mettre en lumière à l'aune d'autres recherches se concentrant sur les compétences organisationnelles requises pour coordonner les activités et les connaissances. De telles contributions ont mis l'accent sur le rôle du “*noyau dur*” [Leonard-Barton, 1992], les “*capacités dynamiques*” [Teece & Pisano, 1994] et les “*capacités scientifiques*”. [Arora & Gambardella, 1994]. Cette thèse ne renie pas ces apports mais propose de se focaliser sur un des aspects de la question plus générale de la diversification des activités des entreprises. La composition et la cohérence de la base de connaissances scientifiques et technologiques des entreprises est le cœur de notre recherche.

1.5 Connaissances scientifiques

Comme nous l'avons présenté précédemment, nous mobilisons les données issues des brevets. Celles-ci permettent d'étudier conjointement les connaissances technolo-

giques mais aussi scientifiques à l'aide des citations de *non-patent literature*. Considérer ces deux facettes de la connaissance pour analyser l'innovation technologique traduit l'intérêt croissant de l'analyse économique pour ces questions. En effet, parallèlement au rôle joué par les connaissances technologiques dans la génération d'innovation, les connaissances scientifiques ont elles-aussi une place centrale pour l'innovation des entreprises. Historiquement, les interactions systématiques entre le marché et la science remontent à la moitié du XIX^e siècle et sont appelées la “ révolution techno-scientifique ” [Braverman, 1974]. Elles se définissent comme la transformation de la science elle-même en capital [Noble, 1979]. Cette thèse propose ainsi de mêler à l'analyse de la base de connaissances des entreprises de défense, la question du lien entre science et technologie. En effet, l'innovation de défense implique de développement de solutions caractérisées par un haut degré de complexité, d'intégration et de valeur économique [Dittrich *et al.* , 2006].

Ce travail de thèse cherche à compléter l'approche de la base de connaissances des entreprises de défense en considérant la contribution des connaissances scientifiques à leur innovation technologique. Nous nous demandons, si, dans le contexte de la production de défense, les connaissances scientifiques ont une influence particulière comparée aux autres industries. En effet, de nombreuses études s'intéressent spécifiquement à la contribution des connaissances scientifiques à l'innovation technologique. Cependant, celles-ci se font sans considérer de la base de connaissances des entreprises dans leur ensemble. Ce lien entre science et technologique (S&T) est étudié par un ensemble de recherches qui semblent s'accorder sur la méthode à utiliser : la bibliométrie. Celle-ci est définie par Mingers & Leydesdorff [2015] comme l'étude quantitative des aspects du processus de recherche scientifique comme un système de communication, capable de fournir des mesures du lien entre S&T. Souvent utilisée pour l'étude des articles scientifiques, cette méthode permet aussi l'analyse des voies de transmission des connaissances entre la recherche scientifique et technologique. Les flux de connaissances permettant l'innovation technologique sont multiples : science vers science, technologie vers technologie, technologie vers science et science vers technologie. L'objet de cette thèse étant de traiter de la base de connaissances des entreprises participant à leurs innovations technologiques, nous nous concentrons alors sur le flux allant de la science vers la technologie. L'enjeu de cette question est crucial pour l'ensemble de l'économie industrielle, comme le montre la publication biennale du rapport “*Science, Technologie et Industrie*” de l'OCDE. Ces rapports mettent en avant l'importance combinée de la science, technologie et de l'innovation pour l'avancée des sociétés en générale, et des productions en particuliers. Dès les années 1980, Carpenter *et al.* [1981] mettent en lumière l'intérêt de l'analyse des connaissances scientifiques pour étudier le processus d'innovation. Ils montrent la dépendance de l'évolution technologique à la recherche scientifique. Cette contri-

bution se fait par trois canaux :

- En lui évitant des expériences non-pertinentes et en lui permettant de se concentrer sur les voies de recherche pertinentes [Sorenson & Fleming, 2004];
- En augmentant et améliorant la capacité d’absorption interne et externe des nouvelles connaissances par la firme [Cockburn & Henderson, 1998];
- En améliorant la qualité et la valeur économique des technologies produites par les entreprises [Arora & Gambardella, 1994].

Des nombreux auteurs ont montré l’importance des connaissances scientifiques dans le processus d’innovation technologique [Tödtling *et al.* , 2009]. Narin *et al.* [1987] ont initié l’étude de cette relation en travaillant sur les références scientifiques dans les brevets, traduisant la contribution des connaissances scientifiques à l’innovation technologique. Plus précisément, ils étudient les citations de *non-patent literature* dans les brevets des entreprises. Nous présentons cette méthode, dans le [Chapitre préliminaire](#). Nous nous inspirons de ces travaux, dans le [Chapitre 1](#) et le [Chapitre 2](#), afin d’étudier la particularité du processus d’innovation de défense en termes de lien entre S&T. Nous montrons notamment que, hors des domaines technologiques très intensifs en science tels que la pharmaceutique ou les biotechnologies, les entreprises de défense mobilisent significativement plus de connaissances scientifiques.

Le lien entre science et défense permet de mettre en perspective les résultats de l’analyse de la base de connaissances des entreprises. Ce lien nous permet pertinent à étudier car, comme nous le développons dans la partie suivante, la production militaire est intimement liée aux connaissances scientifiques. Bien que ce ne soit pas la seule particularité de cette activité de défense, étudier de cette production particulière permet de compléter l’analyse des bases de connaissances des entreprises par un point de vue original. En effet, alors que le secteur pharmaceutique [Nesta & Saviotti, 2005] ou encore celui des biotechnologies [Gassmann & Keupp, 2007], ont retenu l’attention des économistes, l’économie de la défense traite rarement de la question des connaissances⁷.

2 La défense

“La défense regroupe l’ensemble des activités et services participant à la sécurité et à l’intégrité du territoire d’un pays ainsi qu’à la sécurité de sa population.” Bellais *et al.* [2014, p.3]. L’économie de la défense touche des pans de l’économie aussi divers que le commerce international avec les exportations d’armes, que le financement des

7. À l’exception des travaux de Meunier [2017].

2. LA DÉFENSE

activités des industrielles de défense ou encore que la source de la croissance économique. La défense, par sa nature à la fois opérationnelle, politique, stratégique et économique, est multi-dimensionnelle. Elle peut faire l'objet de recherche microéconomique, à l'échelle d'une entreprise [Benkeltoum, 2016], meso-économique avec le concept de Base Industrielle et Technologique de Défense (BITD) [Dunne, 1995] ainsi que macroéconomique, avec ses contributions à l'innovation nationale [Serfati, 2008] ou encore la croissance [Malizard, 2014]. L'activité de défense est particulière à plus d'un titre comme en atteste un grand nombre d'études. Certaines se sont concentrées sur des analyses de cas ou de pays [Avadikyan & Cohendet, 2005, Moura, 2008, Nagaoka, 2007], d'autres se sont intéressées à l'influence de la défense sur l'innovation globale [Guichard, 2005, James, 2009], d'autres encore l'ont approchée théoriquement [Blom *et al.*, 2013]. Cette thèse propose quant à elle une approche microéconomique de l'offre d'armement des plus grandes entreprises innovantes dans le monde⁸. Plus précisément, nous nous intéressons à la base de connaissances nécessaires aux entreprises afin de produire des armes, et ce qui les différencie des autres activités industrielles.

Ce point de départ pour analyser la production nous semble intéressant à double titre. D'une part, nous cherchons à contribuer à la recherche en économie de défense et, d'autre part, nous apportons un cas d'étude singulier à la littérature économique sur la base de connaissances des entreprises. L'activité de défense ne peut être réduite à l'étude d'un secteur spécifique. La production d'armement regroupe les navires, les sous-marins, les avions, les chars, les missiles, les satellites, les véhicules blindés ou encore les armes légères. Cette diversité des productions englobe le secteur naval, du transport terrestre, aérien et celui des NTIC et biotechnologies, ne permet pas de définir l'activité de défense comme un secteur industriel traditionnel. La proximité entre ces productions n'est pas tant une proximité technologique mais une mission commune : défendre la sécurité d'un territoire. Ce travail de thèse apporte une vision sur des proximités entre entreprises, non pas du point de vue usuel des types de marché mais par la destination des productions. Bien que cette activité semble mélanger des productions aussi diverses que distinctes, il existe un ensemble de caractéristiques communes pour ces entreprises productrices d'armement. L'argument de cette thèse est que, de par leurs spécificités communes dues à la production de défense, les firmes ont des caractéristiques communes en termes de base de connaissances.

Les spécificités de la défense se trouvent à différentes échelles et contribuent différemment à la construction des bases de connaissances des entreprises. Prises individuellement, ces caractéristiques ne sont pas uniquement le fait de l'activité de dé-

8. Ces entreprises de défense, selon le SIPRI, appartiennent au classement IPTS des 2000 plus grandes entreprises en termes de R&D. Nous développons ce point dans le [Chapitre préliminaire](#)

fense, mais leur combinaison au sein d'une même production en font un sujet d'étude particulièrement original. De même, toutes les entreprises de défense ne sont pas uniforme face à la façon dans la spécificité de la production d'armement influence la base de connaissances des firmes. Que ce soit à l'échelle des briques de connaissance ou de leur architecture, les caractéristiques de l'activité de défense ont une influence importance et c'est cela que nous développons maintenant. La nature de monopole et monopsonne nationale [Dunne, 1995], les particularités technologiques, la dualité de marché ou encore l'intégration des produits dans des architectures de systèmes complexes sont autant de contrainte qui pèsent à des degrés divers sur la production de défense. D'une part, elle correspond à un type particulier d'organisation de la production, intimement liée à la base de connaissances des entreprises, que sont les *Complex Product System* (CoPS) [Hobday, 1998], d'autre part, elle nécessite une gestion de la dualité des connaissances et du marché.

2.1 L'organisation de la production

Le concept de CoPS sert d'unité d'analyse de l'innovation, de la gestion et de la concurrence de produits technologiques spécifiques qui combinent des ensembles de sous-systèmes, une hiérarchie permettant leur intégration dans un système plus global, un certain niveau d'innovation technologique et une variété de connaissances incluses dans ces systèmes Hobday [2000b, pp. 691-693]. Dans ce cadre, la dynamique de l'innovation dans les CoPS diffère de la production de masse de biens et cette définition semble particulièrement bien adaptée à la production de biens militaires [Lee & Yoon, 2015]. Hobday [1998] soutient que le CoPS peut être analysé grâce à la distinction faite par Henderson & Clark [1990] entre *component knowledge* et *architectural knowledge*. Ce concept est particulièrement adapté aux productions militaires du fait de la complexité de ces produits et de leur nature de systèmes de systèmes⁹. En effet, afin de créer un produit adapté aux demandes de l'Etat et de haute technologie, les entreprises doivent posséder une base évolutive de connaissances technologiques et scientifiques. Les porte-avions, les sous-marins ou encore les avions de chasse sont composés d'une large quantité de sous-systèmes, de connaissances technologiques et scientifiques et d'une grande variété de compétences organisationnelles [Versailles, 2005]. La complexité technologique des équipements militaires est notamment étudiée par Kelley & Watkins [1995]. Ils montrent qu'alors qu'une automobile est composée de 4 000 parties, un système de guidage pour missile intercontinental en contient plus de 19 000. De même, un moteur à réaction peut contenir plus de 22 000 parties

9. Un système de systèmes est un ensemble de systèmes orientés tâches ou dédiés qui mettent en commun leurs ressources et leurs capacités pour créer un nouveau système plus complexe qui offre plus de fonctionnalités et de performances que la simple somme des systèmes constitutifs (Popper et al. 2004).

2. LA DÉFENSE

[Hobday, 1998].

Plus précisément, [Davies & Hobday \[2005\]](#) introduisent trois capacités nécessaires à la production de CoPS liées à la base de connaissances des firmes :

- Capacité stratégique : la capacité d'allouer des ressources et de mettre en œuvre des plans à long terme pour maintenir, renouveler et développer leur compétence organisationnelle ;
- Capacité fonctionnelle : la gestion des aspects technologiques y compris la conception, l'ingénierie et l'interaction entre les différentes connaissances ;
- Capacité en gestion de projet : la gestion des relations avec des partenaires pour la conception et la réalisation de CoPS pendant le cycle de vie du projet.

Nous allons maintenant voir en quoi les spécificités défense font de la production d'armes une production organisée à la manière des CoPS en développant les mêmes capacités. La capacité stratégique des entreprises de défense à gérer et à anticiper l'évolution de leur base de connaissances est particulièrement développée pour trois raisons principales : i) le long cycle de développement des programmes et la durée de vie des systèmes ; ii) la nécessité de maintenir les connaissances rares et/ou obsolètes, iii) le besoin de fiabilité des équipements et leur adaptabilité au contexte.

La longue durée de vie des systèmes associée au long temps de développement des produits impliquent une gestion solide des bases de connaissances. Cette gestion vise le maintien des connaissances du système et l'aptitude à les articuler avec les nouvelles connaissances émergentes. Les cycles de vie des équipements sont longs et l'innovation est " générationnelle " [\[Bellais & Droff, 2016\]](#). Il s'agit d'un paradigme d'innovation techno-centré dont le principe est le développement des capacités par générations successives afin d'éviter toute surprise stratégique¹⁰. La longue durée de développement des produits militaires est particulièrement bien illustrée par [Mowery \[2012\]](#). Il montre que, à la différence de la R&D civile, la R&D orientée défense cherche des solutions à des problèmes techniques complexes qui requiert souvent des années, voire des décennies afin de produire *in fine* un matériel militaire. En addition, le cycle de vie des matériels militaires complexes est aussi de long terme. Prenons l'exemple de l'avion de combat F-35. Ce programme de conception et de construction d'un avion multicontrôle de cinquième génération sous l'égide des Etats-Unis avec la participation d'autres pays de l'OTAN, a été lancé en 1993. Le vol du premier avion de série n'a eu lieu qu'en 2007 et a été poursuivi par une série de tests. En 2012 seulement, la première version du F-35 (A) a frappé sa première cible en situation

10. Le "concept de surprise stratégique traduit généralement l'idée d'une menace mal ou non anticipée frappant un Etat de manière inattendue et ébranlant les conceptions et sa posture de sécurité." (Brustlein, 2008, p.7)

d'entraînement. Avec ces premières diffusions, de nombreux problèmes techniques ont repoussé encore son opérationnalité. Finalement, la première frappe recensée du F-35 en situation de combat date de mai 2018 par l'armée Israélienne.

Cette caractéristique de long terme liée aux matériels militaires est complétée par nécessité de maintien des connaissances rares et obsolètes. Du fait de la durée de vie des matériels militaires, les systèmes doivent être maintenus en condition opérationnelles longtemps après que la technologie soit devenue obsolète. Les nouveaux systèmes d'armes doivent s'intégrer dans une architecture de systèmes qui ne fonctionnent pas forcément selon les dernières technologies, les derniers standards, en particulier en termes de systèmes de communication [Maier, 1998]. De plus, les entreprises de défense doivent maintenir à long terme des connaissances orphelines, *i.e.* des connaissances employées dans un seul type de projet. Ce type de connaissances n'est pas maintenu dans les entreprises civiles faute de rentabilité. En effet, maintenir une connaissance au sein de son entreprise est coûteux et les connaissances orphelines sont peu utilisables et donc peu génératrice de profit. Par exemple, Naval Group (ex-DCNS) identifie plusieurs types de ces connaissances pour la construction de sous-marins. Ce groupe identifie trente compétences rares, dont douze orphelines (navigation inertielle, sûreté nucléaire des armes, sûretés réciproques des armes, pyrotechnie, *etc.*) [Bridey *et al.* , 2016].

La dernière particularité de la production défense se rapportant à la capacité stratégique est liée à l'exigence d'excellence, de fiabilité et d'adaptabilité au contexte des matériels. Cette exigence est liée aux enjeux stratégiques et de souveraineté que porte la production d'armement [Dupuy, 2013]. La production d'armement exige une avance technologique sur l'adversaire ainsi qu'une adaptabilité des matériels aux contextes de conflits incertains. La prédominance des conflits asymétriques depuis la fin de la guerre froide [Badie & Vidal, 2016] associée à un contexte international mouvant, mène à une demande de polyvalence des matériels militaires [Droff & Malizard, 2014]. Toutes ces caractéristiques de la production de défense contribuent ainsi à la capacité stratégique des entreprises en termes de base de connaissances.

La production de défense nécessite aussi la maîtrise de la capacité fonctionnelle associée aux CoPS. Celle-ci renvoie à l'aptitude des entreprises à créer et à personnaliser des solutions spécifiques de haute-technologie. Selon Moura [2008], beaucoup d'équipements militaires sont des systèmes intensifs en ingénierie qui sont composés d'un nombre très important de technologiques et qui nécessitent un ensemble de compétences complémentaires. Que ce soit les systèmes de télécommunications, les sous-marins ou les porte-avions, ils sont composés d'un grand nombre de sous-systèmes. Ces solutions techniques et technologiques sont personnalisées aux demandes de son

2. LA DÉFENSE

unique client ; l'Etat. En effet, comme nous l'avons précédemment précisé, le marché de défense est un monopsonne. Cette particularité structure le processus d'innovation notamment par la personnalisation des produits. L'Etat étant le seul client, présent en amont, en finançant la R&D, au cours du processus, en collaboration et en testant les prototypes et le design et en aval, en utilisant les productions. Ainsi, la capacité fonctionnelle des entreprises de défense semble particulièrement importante pour leur activité de défense.

Enfin, la capacité de gestion de projet est cruciale pour les entreprises de défense. La production d'armes nécessite des facultés d'organisation autour de projets avec des relations particulières avec l'Etat-client et l'environnement imposé par la complexité des productions. Le développement des systèmes d'armes s'inscrit dans la relation étroite entre l'Etat-client qui joue un rôle d'orientation et de financement de la R&D et de la production à travers son statut de maître d'ouvrage [Lazaric *et al.* , 2009]. La firme, quant à elle, a un rôle d'intégrateur de systèmes, un rôle de maître d'œuvre. Cette relation maître d'ouvrage (Etat-client) et maître d'œuvre (entreprise de défense) conditionnant la production de défense doit être complétée par l'environnement composé d'acteurs diverses, *i.e.* sous-traitant, laboratoire de recherche, *etc.* contribuant au projet. Amin & Cohendet [2004] insistent sur la nécessité de prendre en compte les diverses communautés d'acteurs afin de structurer, développer et maintenir les connaissances nécessaires à l'activité de défense. Les industriels de la défense doivent gérer, non seulement leur relation avec l'Etat mais aussi avec de nombreux acteurs hétérogènes tels que les sous-traitants ou encore les laboratoires de recherche publique. La chaîne de sous-traitance dans la défense est particulièrement longue [Frigant & Moura, 2004]. Ainsi l'organisation autour de projets génère un nombre important d'implications en termes de gestions de connaissances et de compétences [Marshall & Brady, 2001] à la fois en interne et en externe. En plus des sous-traitants, l'environnement des entreprises de défense est aussi composé d'acteurs de la recherche scientifique. Ce type d'interactions entre science et industrie peut être rapproché de la capacité de gestion de projets complexes énoncés par Davies & Hobday [2005].

Toutes ces spécificités de l'activité de défense qui favorisent les capacités liées à la production de CoPS ont un effet variable sur les entreprises produisant des biens de défense. En effet, l'industrie dans laquelle opère l'entreprise, la diversification entre le marché civil et militaire ainsi que la nature de l'activité technologique sont autant d'éléments qui nuancent l'influence de l'activité de défense sur les stratégies des entreprises. De plus, la production de CoPS n'est pas réservée aux entreprises de défense. Toutes les capacités que nous avons présentés précédemment peuvent se retrouver à des degrés divers dans les entreprises civiles. Ce travail de thèse cherche à évaluer

les proximités qui existent entre les entreprises de défense sans renier l'hétérogénéité de ce groupe de firmes.

2.2 La dualité

La base de connaissances des entreprises de défense doit aussi être construite afin de gérer la dualité. Celle-ci se traduit de deux manières interconnectées. D'une part, la dualité de marché est le fait pour les entreprises de vendre des armes à l'Etat et des produits civils à une demande traditionnelle. D'autre part, la dualité technologique consiste pour les entreprises à intégrer et diffuser des connaissances technologiques à la fois civiles et militaires.

La diversification de marché entre civil et défense peut révéler deux types de stratégies de la part des entreprises. Premièrement, une stratégie duale des entreprises peut être une diversification de marché sans diversification des compétences, *i.e.* valorisation de ses compétences en s'adaptant à de nouveaux clients. Deuxièmement, la dualisation peut être la proposition de nouveaux produits aux mêmes clients (militaires et/ou civils) en faisant appel à des compétences nouvelles venant de l'autre sphère complétant ce que l'entreprise sait déjà faire [Meunier, 2017].

La dualité de marché implique des spécificités technologiques et peut s'apparenter à la diffusion des connaissances produites dans le domaine de la défense et aux similarités qui peuvent exister entre ces connaissances et celles produites au sein de la sphère civile. Ces caractéristiques des technologies duales posent la question des *spillovers* (*spin-in* et *spin-off*) des technologies entre le civil et le militaire [Acosta *et al.*, 2018, Chinworth, 2000]. Ces deux enjeux influencent fortement les relations des entreprises de défense avec le marché civil et le monde scientifique notamment. L'exigence de diffusion des innovation militaires dans le civil de l'Etat-client pour justifier les dépenses publiques intenses dans ce secteur, poussent aux *spin-off*. Au contraire, la nécessité d'une innovation de haute technologie dépendant d'un corpus technologique divers implique un nombre de plus en plus important de *spin-in*.

Enfin, la dualité technologique se rapporte aussi au processus même de la R&D. C'est dans la co-conception de la connaissance entre le civil et militaire que réside la dualité [Cowan & Foray, 1995]. La dualité est, dans cette approche, une donnée d'entrée du changement technologique, elle suppose une évolution compatible des caractéristiques techniques des applications militaires et civiles, ce qui conditionne la base de connaissances des entreprises devant gérer cette dualité. Ces briques de connaissances duales que les entreprises de défense doivent mobiliser et diffuser sont

2. LA DÉFENSE

une des particularités de la base de connaissances de celles-ci.

Tous ces aspects de la production militaire nous amène à nous demander si l'innovation technologique de défense résulte d'une structuration particulière de la base de connaissances rendant compte :

- des produits à composantes technologiques multiples ;
- des connaissances architecturales complexes ;
- de l'équilibre entre la spécialisation dans les activités de défense et l'intégration des diverses connaissances technologiques civiles.

2.3 La science et l'innovation de défense

Cet ensemble de caractéristiques de la production de défense structure leur base de connaissances technologiques mais aussi scientifiques. En effet, les produits militaires impliquent une forte intensité des connaissances en ingénierie ainsi qu'en connaissances scientifiques. L'Etat-client financeur de la R&D pousse les entreprises à entretenir d'étroites collaborations avec les laboratoires de recherche fondamentale. Cette intensité des relations entre industriels de la défense et recherche publique est notamment prônée afin d'assurer l'avance stratégique sur l'adversaire. Cette relation étroite entre défense et science est notamment mise en évidence par [Bellais \[2005\]](#) et [Serfati \[2005\]](#). [Serfati \[2005\]](#) montre, à l'aide de l'analyse du projet Manhattan, l'importance prise par la contribution des connaissances scientifiques pour la production militaire. Ce projet réunissait plus de 150 000 personnes avec un budget de 26 milliards de dollars. Son objectif était la mise au point de la bombe nucléaire et faisait collaborer pour cela des industriels, des militaires et des scientifiques des Etats-Unis, du Canada et du Royaume-Uni. En France, le Commissariat à l'Energie Atomique et aux énergies alternatives (CEA) est un parfait exemple de collaboration industrie-science. En effet, avec une mission de recherche en science fondamentale, cet institut collabore étroitement avec les industriels de défense dans quatre domaines cruciaux : l'énergie (nucléaire et renouvelable), la défense et la sécurité, les technologies pour l'information et celles pour la santé. Le CEA entretient des relations très proches avec les industriels grâce notamment à une formalisation de ces relations à travers "les modèles de partenariat CEA Tech". Cette offre propose des modèles de partenariat à géométrie variable, selon la volumétrie, le type d'activité et les besoins des partenaires industriels. Elle s'étend de l'expertise jusqu'au développement d'un nouveau composant ou système adaptés à vos besoins, entre les niveaux 3 et 7 de l'échelle des TRL (*Technology Readiness Level*)¹¹.

11. L'échelle TRL peut se traduire par niveau de maturité technologique. C'est un système de mesure employé pour évaluer le niveau de maturité d'une technologie (matériel, composants, périphériques,

Ces collaborations entre connaissances technologiques et connaissances scientifiques associées à la complexité des matériels militaires sont aussi importantes pour la production de CoPS, en général. En effet, la base de connaissances des entreprises combinant briques et architecture de connaissances, n'est pas uniquement composée des connaissances technologiques mais aussi scientifiques. Pour innover technologiquement, il est nécessaire de maîtriser des connaissances scientifiques [Coombs & Hull, 1998]. La science assiste la firme dans toutes les aptitudes nécessaires à la production de CoPS. Elle facilite le choix de connaissances (capacité stratégique), et leurs combinaisons (capacité fonctionnelle). De même, elle structure l'interaction avec l'environnement extérieur (capacité de gestion de projets). Ainsi, cette thèse vise à questionner la structure de la base de connaissances nécessaire pour la production de CoPS dans le contexte de bien militaires.

Les précédentes recherches sur les entreprises de défense et leur production se rejoignent sur la manière spécifique dont les entreprises de défense produisent des systèmes d'armement en organisant leur base de connaissances de façon adéquate. À notre connaissance, la majeure partie de études empiriques se concentrent sur les productions technologiques militaires. Acosta *et al.* [2011, 2018] traitent uniquement d'un ensemble de briques technologiques spécifiquement associés à la défense, Avadi-kyan *et al.* [2005], pour leur part, réalisent des interviews au sein de deux entreprises de défense et Lee & Yoon [2015] comparent la production de l'aviation militaire dans trois pays différents. En utilisant l'approche de la production de défense par la base de connaissances des plus grandes entreprises innovantes au monde, ce travail de thèse apporte une vision élargie à l'économie de défense.

Cette approche de la spécificité de la défense contribue aussi à la littérature sur la diversification technologique des entreprises. En effet, nous nous demandons comment les spécificités d'une production influence la structure de la base de connaissances des entreprises. En particulier, si l'activité de défense a une combinaison de spécificités originale, prises individuellement, elles caractérisent d'autres industries. L'industrie automobile est ainsi caractérisée par une longue chaîne de sous-traitance, la production navale possède une longue durée de vie et les laboratoires pharmaceutiques et cosmétiques ont une relation intense avec la recherche scientifique. Ainsi, cette thèse traite plus généralement des relations entre les contraintes liées à la production d'innovations technologiques et la diversification des connaissances des entreprises. Les recherches sur la base de connaissances nécessaire à l'innovation dans les biotechnologies et les télécommunications montrent l'importance de l'explo-

etc.), notamment en vue de financer la recherche et son développement ou dans la perspective d'intégrer cette technologie dans un système ou un sous-système opérationnel.

tation des recombinaisons de connaissances usuelles, traduisant, selon les auteurs, une phase de maturité technologique dans ces secteurs [Krafft *et al.* , 2014]. Nous nous demandons dans cette thèse s'il en est de même pour les innovations de défense. En effet, la production militaire n'est pas une industrie émergente et les grandes entreprises qui la produisent ne sont pas des nouvelles actrices sur le marché. Il est intéressant de se demander, de même, si les activités innovantes de défense dépendent d'un sentier d'évolution similaire et tendraient ainsi à terme à abandonner l'exploration pour se concentrer uniquement sur l'exploitation. Nous trouvons, dans le [Chapitre 3](#) qu'à la différence du secteur des biotechnologies et des télécommunications, la nature exploratrice de la base de connaissances est primordiale pour la production d'armes, alors même que cette production technologique s'apparente à une industrie mature.

3 Plan de thèse

Ce travail de thèse questionne l'influence de la base de connaissances, technologiques et scientifiques, des entreprises de défense sur la performance de leur processus d'innovation. La recombinaison des connaissances comme source de l'innovation est mobilisée pour analyser le cas spécifique de la défense. L'originalité de cette application est complétée par une prise en compte non seulement des connaissances technologiques mais aussi scientifiques. Cette recherche contribue d'une part à la littérature sur la KBE, en l'appliquant à une activité de production particulière et en ajoutant les connaissances scientifiques et d'autre part à l'économie de défense, en apportant de nouveaux outils permettant de caractériser de la base de connaissances à l'aide de plusieurs études empiriques complémentaires. Cette thèse est composée de quatre chapitres représentant quatre articles distincts. Premièrement, nous questionnons la place du lien entre science et technologie dans la génération d'innovations technologiques de défense, dans le [Chapitre 1](#) et [Chapitre 2](#). Le premier se concentre sur les technologies militaires alors que le deuxième étudie l'innovation des entreprises de défense. Deuxièmement, nous nous intéressons à la cohérence des liens technologiques que les entreprises de défense réalisent en vue d'innover, dans le [Chapitre 3](#). Enfin, [Chapitre 4](#) questionne la manière dont cette structure de la base de connaissances influence la performance du processus d'innovation des entreprises, en général, et de défense, en particulier.

Le [chapitre préliminaire](#) présente les choix de méthodes et de données que nous avons réalisés dans le cadre de ce travail de thèse. Nous discutons de la pertinence du choix du brevet comme approximation de l'innovation technologique, la caractérisation des entreprises de défense par leur chiffre d'affaires militaires ainsi que l'utilisation de la *non-patent literature* pour approcher les connaissances scientifiques

contribuant aux innovations technologiques.

Le [Chapitre 1](#), publié dans *Technologie et Innovation* en 2018, étudie l'évolution du processus d'innovation dans le secteur du Spatial-Armement (S&A) entre 1945 et 2015 à travers le lien entre science et technologique. Afin de réaliser cette étude, nous utilisons l'outil bibliométrique en nous inspirant des travaux d'[Albert et al. \[1991\]](#), [Narin & Noma \[1985\]](#), [Narin et al. \[1997\]](#). Ils étudient l'intensification des relations entre la recherche scientifique publique et la production technologique par le comptage de la *non patent literature* (NPL) présente dans les brevets [[Narin et al. , 1997](#)]. Ils montrent l'existence d'une croissance significative de l'utilisation de connaissances scientifiques pour la production d'innovations technologiques. Nous défendons l'idée que le secteur du S&A ne fait pas figure d'exception. Pour réaliser cette étude, nous identifions les brevets déposés dans les domaines technologiques du S&A grâce à la classification de [Schmoch \[2008\]](#). Nous montrons une nette évolution dans les pratiques d'innovation de ce secteur qui intègrent de plus en plus des savoirs divers, en particulier issus de la recherche scientifique.

Afin de compléter cette approche par les technologies, le [Chapitre 2](#) s'intéresse aux entreprises de défense et à leur mobilisation de connaissances scientifiques pour leurs innovations technologiques. Plus particulièrement, nous nous demandons si les firmes de défense, par leur histoire de collaboration avec des acteurs extérieurs tels que le monde académique et leur capacité d'intégrateur de CoPS sont plus à même d'utiliser des connaissances scientifiques afin de produire de l'innovation technologique. A cette fin, nous menons une étude empirique sur des données de brevets entre 2010 et 2014. Grâce à un Wilcoxon Rank Sum test, nous montrons que dans la majorité des domaines technologiques, les entreprises de défense utilisent plus de connaissances scientifiques que les firmes civiles pour leur processus d'innovation.

Le [Chapitre 3](#), co-écrit avec François-Xavier Meunier, traite pour sa part de la structuration de la base de connaissances technologiques des entreprises nécessaire à la production d'armement. Pour tester cette relation, nous mobilisons les outils de la théorie de la base de connaissances de la firme, grâce aux indicateurs de la cohérence [[Nesta & Saviotti, 2005](#), [Teece et al. , 1994](#)] et l'appliquons à toutes les connaissances technologiques des entreprises. Pour la période 2010-2014, ce chapitre étudie empiriquement les innovations et les ventes des 2000 grandes entreprises de R&D dans le monde afin de distinguer celles qui peuvent contribuer à la base technologique et industrielle de la Défense (BITD) des autres. Notre stratégie empirique, un *zero-inflated model*, permet une identification endogène des entreprises de défense à partir des caractéristiques de leur base de connaissances technologiques. Cette analyse empirique montre que les entreprises du secteur de la défense mobilisent une

3. PLAN DE THÈSE

architecture des connaissances technologiques exploratrice, qui se traduit par l'ajout de combinaisons inhabituelles de connaissances. Nous trouvons aussi que les structures des bases de connaissances des entreprises de défense sont intersectorielles. Elles explorent des solutions pour synthétiser des technologies provenant de multiples secteurs industriels.

Enfin, le [Chapitre 4](#), co-écrit avec François-Xavier Meunier, traite conjointement de la problématique du lien entre science et technologie et de celle de la structuration des bases de connaissances technologiques. Nous étudions la contribution de la diversification de la base de connaissances des plus grandes entreprises innovantes mondiales sur la performance de leur processus d'innovation technologique. Plus particulièrement, nous nous demandons comment les briques de connaissances diverses et leur organisation influencent la quantité, l'originalité et la généralité des innovations technologiques des firmes. Cette étude questionne plus particulièrement l'influence de l'activité de défense combinée à la diversification de la base de connaissances sur cette performance. Nos résultats montrent l'importance de l'activité de défense, combinée une base de connaissances exploitant des combinaisons de connaissances technologiques usuelles pour la performance du processus d'innovation.

0

Chapitre préliminaire

Ce chapitre préliminaire présente nos choix pour la réalisation empirique de ce travail de thèse. En effet, toute approche quantifiée d'un problème impose de sélectionner un périmètre de données, une période temporelle ainsi que des indicateurs. Nous présentons ici les choix que nous avons réalisés pour approcher l'innovation technologique des entreprises, le périmètre des entreprises de défense ainsi que les différentes bases de données mobilisées.

1 Le brevet comme indicateur d'innovation technologique

Alors que l'innovation est considérée comme un des moteurs principaux de la croissance économique, la mesurer est très complexe et notre connaissance de cette innovation reste insatisfaisante. Une des approches permettant sa qualification est le brevet. Il confère à l'inventeur des droits exclusifs sur l'exploitation commerciale de l'invention pendant une période limitée dans certaines conditions en échange de la publication de l'invention. Les brevets sont le résultat des activités scientifiques et technologiques qui ont un caractère exclusif et sont susceptibles de générer des applications commerciales ; en d'autres termes, ils sont plus susceptibles de refléter des activités technologiques plutôt que scientifiques. Les brevets constituent une source d'information très précieuse sur la répartition temporelle, géographique, sectorielle et technologique des inventions. Ils contiennent les informations suivantes : titre, résumé, description complète de l'invention, nom, adresse et nationalité du titulaire, classes technologiques, réclamations juridiques, *etc.*

Selon l'Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI), le brevet est "un droit exclusif conféré sur une invention. En règle générale, un brevet octroie à son titulaire le droit de décider comment – ou si – l'invention peut être utilisée par des tiers. En contrepartie, le titulaire du brevet met les informations techniques

1. LE BREVET COMME INDICATEUR D'INNOVATION TECHNOLOGIQUE

sur l'invention à la disposition du public dans le document de brevet publié"¹. Cette protection est conférée pour une durée limitée, en général 20 ans à compter de la date de dépôt de la demande. Les conditions d'obtention de ce droit peuvent varier en fonction du territoire de dépôt, cependant, l'invention doit respecter trois critères :

- être nouvelle, c'est-à-dire que rien d'identique n'a jamais été accessible à la connaissance du public, par quelque moyen que ce soit (écrit, oral, utilisation. . .), où que ce soit, quand que ce soit. Elle ne doit pas non plus correspondre au contenu d'un brevet qui aurait été déposé mais non encore publié ;
- doit impliquer une activité inventive, c'est-à-dire qu'elle ne peut pas découler de manière évidente de l'état de la technique, pour un homme du métier ;
- doit être susceptible d'une application industrielle, c'est-à-dire qu'elle peut être utilisée ou fabriquée dans tout genre d'industrie, y compris l'agriculture (ce qui exclut les œuvres d'art ou d'artisanat, par exemple).

Ces critères restreignent le périmètre des innovations capturées par les brevets. Les inventions n'ayant pas de visée industrielle directe, telle qu'une découverte préliminaire, ne peuvent être brevetés. Malgré ces limites, le processus d'obtention du brevet assure à la fois la nouveauté de l'invention et la codification la plus complète possible de l'invention. Le long processus d'examen par des experts indépendants des déposants favorise la révélation de l'information. Ce processus peut se résumer comme suit :

- Vérification de la brevetabilité à travers les critères précédemment cités ;
- établissement du dossier de demande contenant une requête en délivrance d'un brevet, une description de l'invention, des revendications (*claims*, des dessins si nécessaires ainsi qu'un résumé) ;
- Dépôt de la demande auprès d'un office national ou régional de la protection de la propriété intellectuelle ;
- Examen de la demande par des experts technologiques des offices de la propriété intellectuelle. Ces experts ont pour mission à la fois le contrôle de la forme et du fond de la demande de brevet. Ils associent notamment l'invention à une ou des classes technologiques appropriées ;
- Délivrance du brevet. Le contenu d'un brevet reste secret entre la date de dépôt de la demande et la date de publication. Dix-huit mois après la date de dépôt, le dossier de brevet est publié intégralement ;
- Maintien du brevet en vigueur. En effet, un brevet délivré peut être déclaré nul en tout ou en partie par le tribunal s'il s'avère par la suite que l'un des trois

1. <https://www.wipo.int/patents/fr/>

critères de validité n'était pas rempli. N'importe quelle partie peut faire opposition devant le tribunal national du pays dans lequel le brevet est en vigueur.

Ainsi, ce document juridique et uniformisé permet aux économistes d'analyser le processus d'innovation des entreprises. L'utilisation des données de brevets pour l'étude de l'innovation a aussi de nombreux avantages. Selon [Griliches \[1990\]](#), les principaux avantages des données brevets sont les suivants :

1. Par définition, les brevets sont étroitement liés à l'activité inventive.
2. Les données sur les brevets sont objectives parce qu'elles sont générées par un bureau des brevets indépendant et que leurs normes changent lentement avec le temps.
3. Les brevets sont disponibles dans plusieurs pays, sur de longues périodes, et couvrent presque tous les domaines de l'innovation technologique.

Cette donnée, concentrée sur l'innovation technologique, apporte divers avantages, lorsqu'il est mobilisé par les chercheurs s'intéressant au processus d'invention. Premièrement, les brevets représentent le résultat du processus inventif, et plus particulièrement des inventions dont on s'attend à ce qu'elles aient un impact commercial. Elles constituent une dimension particulièrement compétitive du changement technologique. Deuxièmement, l'obtention d'une protection par brevet prend du temps et coûte cher. Il est probable que des demandes sont réalisées pour les innovations qui, en moyenne, devraient procurer des avantages compensant ces coûts. Troisièmement, les brevets sont classés par classe technologique, fournissant des informations non seulement sur le rythme de l'activité inventive, mais aussi sur son orientation. Enfin, les statistiques sur les brevets sont disponibles en grand nombre et pour de très longues séries chronologiques. En effet, le système des brevets est l'une des plus anciennes institutions des sociétés de marché [[Kaufer, 1989](#)] et il est conçu pour promouvoir et diffuser l'innovation. Cependant, les données de brevets ont des limites dans leur capacité à capter l'innovation technologique. Ses biais sont de deux natures : d'une part, il ne permet de capter toute l'innovation technologique, d'autre part, sa comparabilité dans le temps, l'espace et les types activités est imparfaite.

Cependant, utilisé le brevet comme indicateur permettant de comparer l'activité innovante dans le temps, dans l'espace, entre les différentes industries *etc.* pose des limites évidentes pouvant être expliquées des plusieurs facteurs [[Guellec *et al.*, 2010](#)] :

- Les changements institutionnels et juridiques du brevet dans le temps ;
- Les différences institutionnelles et juridiques entre les pays et régions du monde ;

1. LE BREVET COMME INDICATEUR D'INNOVATION TECHNOLOGIQUE

- Les stratégies des firmes en termes de dépôts de brevet.

Tout d'abord, l'inconstance institutionnelle et juridique trouve sa source dans les changements de politiques associées à la protection des droits de propriété. Par exemple, dans les années 1980-1990, initiés aux US puis étendu en Europe et dans le reste des pays de l'OCDE, les changements légaux visent à rendre plus facile l'obtention d'un brevet et accroît sa valeur économique. À l'inverse à partir de 2005, le rétablissement de standards plus élevés de brevetabilité réduisent de la valeur économique des brevets (moindre capacité de contraindre le contrefacteur présumé, calcul plus stricte des dommages et intérêts) [Guellec *et al.* , 2010]. Ces modifications juridiques amènent à une imparfaite comparabilité temporelle. Il existe aussi des différences de législatives entre les pays. En dépit des accords internationaux sur les brevets conclus entre la majorité des pays industrialisés, chaque office national des brevets a ses propres caractéristiques institutionnelles. Or, l'attrait de toute institution de brevet pour les déposants dépend de la nature, du coût, de la durée et de l'efficacité de la protection accordée. Ces différences de législatives influencent les stratégies de dépôt de brevets des entreprises. Par exemple, le fait que les brevets soient plus faciles et aient une plus grande valeur conduit à l'engagement des entreprises dans des stratégies de prises de brevets "stratégiques" (visant à bloquer les stratégies de leurs concurrents et à faciliter la mise en œuvre de leurs propres innovations) [Guellec *et al.* , 2010]. En addition à ces incitations juridiques, les entreprises ont une propension différente à breveter sur chaque marché national et en fonction de leurs attentes quant à l'exploitation commerciale de leurs inventions. La taille des marchés nationaux et le niveau d'intégration dans le commerce international influencent le nombre de demandes de brevets déposées à l'étranger par des inventeurs et des entreprises nationales [Archibugi & Pianta, 1992, Archibugi, 1992].

De plus, de nombreuses études montrent des limites liées à la capacité du brevet à capturer l'ensemble de l'innovation technologique à travers l'existence de plusieurs biais [Abbas *et al.* , 2014, Archibugi, 1992, Griliches, 1990, Nagaoka *et al.* , 2010] :

- La restriction à des innovations technologiques à visées industrielles ;
- Tous les brevets ne sont pas forcément innovant ;
- Les alternatives aux brevets pour protéger la propriété intellectuelle des inventions ;
- Les nouveaux modes d'innovation collaboratifs.

Premièrement, la définition même d'un brevet exclue une partie des innovations produites dans la société. En effet, les innovations organisationnelles ne sont pas

contenues dans les brevets. De même, toutes les inventions ne sont pas techniquement brevetables. C'est le cas des logiciels, qui jouent un rôle de plus en plus important dans les progrès technologiques actuels et qui, après une longue controverse, sont désormais protégés par le droit d'auteur dans la majorité des pays. En plus du logiciel, certaines inventions, comme les composants chimiques n'étaient pas brevetables dans certains pays, dont l'Europe avant la fin des années 1960. Pour le cas des innovations issues du monde scientifiques, le brevet n'a souvent pas été le moyen préféré de diffusion de la connaissance. Cela s'explique par deux facteurs : d'une part, par l'orientation non industrielle de l'invention ; d'autre part, par les politiques éditoriales de valorisation de la recherche, qui avant les années 1980, ne permettaient pas aux laboratoires publics de recherche de breveter.

Deuxièmement, certains brevets ne contiennent pas d'invention à proprement parler mais leur existence est due à des stratégies de dépôts des firmes ou encore d'une contribution aux connaissances déjà existantes très faible, voire nulle. Lorsque l'on s'intéresse plus précisément à la valeur des brevets, [Scherer & Harhoff \[2000\]](#) montrent que, dans le cas des brevets allemands, 10% des brevets ayant la plus grande valeur représentent 80% de la valeur de l'ensemble des brevets. De plus, de nombreux brevets ne sont ni exploités en interne, ni vendus *via* des licences. Ainsi, ces inventions restent au stade d'invention et ne se diffuse jamais dans la société grâce à un processus d'industrialisation [[Nagaoka et al. , 2010](#)].

Troisièmement, les organisations peuvent choisir un autre moyen de protéger leur propriété intellectuelle que le brevet. En effet, toute organisation qui parvient à se saisir d'opportunités technologiques se trouve confrontée à la question de la protection de son avance [[Teece, 1988](#)]. Pour cela, il existe différents régimes de protection possibles parmi lesquels le brevet, particulièrement performant pour s'approprier une innovation de produit et le secret qui, quant à lui, ferait plus facilement valoir ses droits sur des innovations de procédés. L'arbitrage entre ces deux modes de protection de l'innovation se fait par l'organisation qui en est à l'origine. Dans le cas d'innovation ayant trait à la défense, l'Etat peut contraindre une organisation à tenir le secret, alors que celle-ci aurait pourtant préféré publier un brevet. En effet, au regard des enjeux de souveraineté et alors même que le potentiel de diffusion d'une technologie peut être considéré comme élevé, le gouvernement est en capacité d'intervenir pour limiter le périmètre d'exploitation économique d'une innovation. Cependant, il est nécessaire de noter que la nature même de ce biais, le secret, explique qu'il ne peut être observé par un brevet ou par tout autre variable.

Enfin, les nouveaux modèles d'innovation collaborative, souvent approchés par le concept d'*open innovation*, fonctionnent grâce au principe fondateur de la libre

appropriation des connaissances par l'ensemble des personnes intéressées. Dans ce mode d'organisation, le brevet est un frein à l'innovation car il cadenasse l'exploitation de certaines technologies. Les exemples les plus emblématiques de ces modes d'innovation collaboratifs se trouvent dans le domaine du logiciel, un secteur qui par définition est absent du périmètre des brevets. Cependant, le logiciel n'est pas la seule technologie à profiter de ces nouveaux modes d'innovation permis par les nouvelles technologies de l'information et de la communication. Certains projets technologiques tels que les microcontrôleurs développés par Arduino, sont publiés en licence libre. Autour de cet objet technologique est organisée toute une communauté d'ingénieurs, de scientifiques mais aussi de particuliers qui personnalisent et ajoutent des fonctionnalités à ce contrôleur pour leur utilisation propre, par exemple, pour de la domotique, de la robotique ou encore de l'informatique embarqué sur des drones, *etc.* Ces ajouts sont mis librement en disponibilité sur le site de Arduino ou bien sur des communautés d'échanges alternatives, telles que Reddit ou GitHub. Ces nouveaux systèmes alternatifs de protection de la propriété intellectuelle que sont les licences libres, telles que les Creative Commons ou encore la licence Apache, captent une partie des innovations technologiques. Cependant, ces deux modes de diffusion de la connaissance (licence libre *vs* brevet) ne sont pas exclusif l'un par rapport à l'autre. Les flux de connaissances entre ces deux alternatives peuvent se faire des manières divers, que ce soit une valorisation par le brevet après une phase de développement collaboratif, ou encore des participants aux innovations collaboratives qui d'autres part, brevettent *via* leurs institutions ou leurs entreprises. Reprenons le cas de Arduino, cet ensemble de *hardware/software* est utilisé par les inventeurs à des fins de prototypage qui peut ensuite être industrialisé et breveté. De plus, parmi les initiateurs de Arduino, deux d'entre eux ont aussi déposés des brevets². Il serait illusoire de croire que les inventeurs cloisonnent les connaissances qu'ils mobilisent quand ils brevettent et quand ils participent à des projets collaboratifs. Ainsi, ces nouveaux modes d'innovation ne peuvent évidemment pas être représenté dans leur ensemble par les brevets mais il n'est pas non plus exclus qu'une partie de ces inventions soient perçues par les données contenues dans les brevets. Les nouveaux modes de diffusion de la connaissance que sont les licences libres présentent au moins les mêmes limites que le brevet avec comme facteur aggravant, l'absence de barrière à l'entrée, une absence de recul temporel ainsi qu'une difficulté d'agrégation des informations qu'elles contiennent.

Le brevet est un indicateur imparfait de l'innovation mais cela ne signifie pas que

2. Massimo Banzi est l'inventeur d'un brevet appliqué en 2004 avec pour titre "*Method for interactively a wall and coating thus obtained*" et Tom Igoe à déposer un brevet en 2006 avec pour titre "*System, method, software arrangement and computer-accessible medium for proving audio and/or visual information*"

son étude n'apporte aucune compréhension, même parcellaire, du processus de création de nouvelles connaissances technologiques. En effet, la masse d'informations qu'il contient doit être considérée avec précaution mais peut apporter un éclairage sur le phénomène complexe qu'est la créativité humaine dans un environnement où la quantité de connaissances disponibles et leur accessibilité ne fait que croître. De nombreux auteurs ont démontré l'intérêt de l'utilisation du brevet afin d'appréhender différentes problématiques liées à l'innovation. À l'échelle macro-économique, les brevets permettent de questionner l'influence de l'innovation et de son type de protection sur la croissance économique [Iwaisako & Futagami, 2013, Maskus & McDaniel, 1999, Niwa, 2016, Wong *et al.*, 2005]. À l'échelle géographique, les brevets permettent d'appréhender les systèmes régionaux d'innovations, des effets *spillover* des connaissances sur un territoire ou encore de faire le lien entre une zone géographique et l'émergence d'une technologie [Fischer *et al.*, 2009, Jaffe *et al.*, 1993, Montresor & Quatraro, 2017, Thompson & Fox-Kean, 2005]. À l'échelle des industries, de nombreux auteurs se sont questionnés sur le processus de création de nouvelles connaissances dans une industrie et ses effets sur sa performance comme par exemple dans le semi-conducteur [Almeida & Kogut, 1997, Hall & Ziedonis, 2001], dans l'industrie pharmaceutique [Henderson & Cockburn, 1993, Penner-Hahn & Shaver, 2005] mais aussi dans l'aérospatial [McGuire, 2007, Park *et al.*, 2012]. Enfin, à l'échelle micro-économique, que ce soit en se concentrant sur une firme ou d'un laboratoire [Jaffe *et al.*, 1998, Suzuki & Kodama, 2004] ou bien en s'intéressant à une technologie précise [Mendis *et al.*, 2017, Verspagen, 2007], les données de brevets sont mobilisées afin de comprendre un peu mieux les processus d'innovation.

Dans ce travail de thèse, nous proposons d'utiliser les données de brevets comme indicateurs traduisant de l'innovation technologique. En complément à ce questionnement sur les indicateurs de l'innovation technologique, il est aussi nécessaire de s'interroger sur le processus d'identification des entreprises de défense, cœur de cette recherche.

2 L'activité industrielle de défense

Nous cherchons à mieux comprendre la structuration des bases de connaissances des entreprises de défense. Or, le mode d'identification de celles-ci ne fait pas consensus au sein de l'économie de défense et dépend fortement des questionnements traités. Ainsi, la composition de la BITD est un questionnement majeur pour l'économie de la défense [Belin & Guille, 2008, Fauconnet *et al.*, 2018b, Moura, 2012]. Cette difficulté d'identification est liée à plusieurs éléments. Premièrement, la large majorité des entreprises fournissant la défense ne sont pas des "*pures-players*", et ont une part importante de leur chiffre d'affaires sur le marché civil telles que Airbus, Thales, *etc.*

2. L'ACTIVITÉ INDUSTRIELLE DE DÉFENSE

Deuxièmement, la production de défense comprenant un nombre important d'activités productives différentes (naval, aérien, terrestre, *etc.*). Ainsi, la production de défense ne peut se raccrocher à un secteur d'activité bien défini par le marché. Enfin, les listes des entreprises contractantes avec les ministères de défense, pour des raisons évidentes de sécurité, ne sont pas publiées publiquement dans la majorité des pays³. Face à ces difficultés d'identification des entreprises de défense, il existe différentes solutions.

Premièrement, certains auteurs résolvent cette question en se concentrant sur une entreprise. Ces études de cas posent des questionnements autour de l'organisation de la production et des stratégies d'entreprises. [Hérault \[2018\]](#) s'intéresse au cas de Naval Group (ex-DCNS) et plus particulièrement au processus d'internationalisation des chaînes de valeur au sein de cette entreprise. Il cherche à comprendre la stratégie adoptée par cette entreprise grâce à des données précises. [Depeyre \[2013\]](#) aussi traite de la stratégie d'une entreprise. Plus précisément, elle questionne la stratégie duale de Boeing. D'autres études se concentrent plutôt sur l'organisation du processus de production. [Ayerbe et al. \[2012\]](#) illustrent les problématiques organisationnelles liées à l'externalisation de la propriété intellectuelle grâce au cas de Thales. Pour leur part, [Merindol & Versailles \[2018\]](#) étudient les interdépendances entre le *business model* et la stratégie de diversification cette même entreprise, à travers l'analyse de sa capacité organisationnelle. Ces études de cas proposent une alternative simple au problème d'identification des entreprises de défense en n'en considérant qu'une seule, facilement identifiable comme participant à l'industrie de défense. Elles permettent de comprendre certains mécanismes organisationnels ainsi que certaines stratégies d'entreprises. Cependant, ces résultats ont une portée explicative limitée du fait de la restriction de l'objet d'analyse.

Deuxièmement, d'autres auteurs utilisent les sources de financements des entreprises afin de distinguer celles de défense. [Mowery \[2012\]](#) comparent les programmes industriels recevant de la R&D orientée défense à la R&D orientée défense. [Belin et al. \[2019\]](#) pour leur part identifient les entreprises de défense grâce aux financements de Ministère des Armées. Grâce à ce périmètre de la BITD, ils questionnent la contribution de ces entreprises de défense au système national d'innovation français. De même, [Chinworth \[2000\]](#) s'intéresse à l'industrie de défense japonaise et étudie pour cela des flux financiers allant de l'Etat aux entreprises de défense. Cette méthode est le plus souvent utilisée afin de répondre à des questions macro-économiques, telles que la contribution de l'activité de défense à celle d'un pays. Cependant, ces études ne traitent pas de la production des entreprises de défense mais seulement de leur source

3. Aux Etats-Unis, la liste des entreprises financées par le Ministère de la Défense américaine est publique.

de financement. Notre étude se concentrant sur les caractéristiques nécessaires à la production de matériel militaire innovant, il semble que la définition suivante du périmètre des entreprises de défense soit la plus pertinente.

En effet, troisièmement et dernièrement, une des manière la plus utilisée pour identifier ces entreprises est par leur *output*, leur chiffre d'affaires de ventes de matériel militaire [Dunne, 1995, Moura, 2012, Watkins & Kelley, 2001]. Cette méthode est la plus proche de l'identification des entreprises dans les activités civiles. Les études s'intéressant à la diversification des entreprises de défense retiennent le chiffre d'affaires militaire afin de questionner leur base de connaissances [Piscitello, 2000, 2004]. Ce choix se justifie par l'existence d'un "*environnement de sélection*" [Nelson & Winter, 1975]. Ils montrent que l'environnement au sein duquel est insérée une organisation influence ses choix technologiques. Plus particulièrement, l'environnement marchand, dans lequel le choix technologique est orienté par la perspective de profit. La rôle de la demande publique militaire (unique débouché pour les biens militaires) différencie l'environnement pour une entreprise qui a une activité de défense. L'influence de ce paramètre est d'autant plus important que ce débouché est essentiel à la firme. Ainsi, considéré le chiffre d'affaires militaire des entreprises permet de capturer cet environnement de sélection contraignant la base de connaissances des entreprises de défense.

Ce travail de thèse utilise les données de brevets des entreprises ayant un chiffre d'affaires de ventes d'armes afin de questionner la structuration des bases de connaissances technologiques et scientifiques des firmes de défense.

3 Base de données

Pour étudier le processus d'innovation des entreprises de défense, nous mobilisons deux bases de données complémentaires grâce à la collaboration entre l'*European Commission's Joint Research Centre* (JRC) et l'OCDE : i) les données de firmes ; ii) les données de brevets, capturant la capacité d'innovation des firmes et leur mobilisation de connaissance. La première construit et consolide le panel des 2000 plus grands groupes mondiaux et leurs 500 000 filiales en termes de dépenses en R&D (IPTS scoreboard) et est utilisée par diverses auteurs [Kancs & Siliverstovs, 2016, Moncada-Paternò-Castello *et al.*, 2010] et la seconde répertorie le portefeuille brevets de ces groupes [JRC/OECD, 2015, 2017]. Elle regroupe l'ensemble des numéros de brevets uniques attribués à chacune des firmes composant la base des firmes entre 2010 et 2014. Ces bases de données conjointes sont utilisées par Gkotsis & Hernández [2017], Tagliapietra & Zachmann [2018] ou encore Zanfei & Marin [2018]. Les données contenues dans les brevets sont extraites de la base PATSTAT maintenue

3. BASE DE DONNÉES

par l'Office Européen des Brevets (OEB) sur la période 2010-2014.

Données de brevet

Comme nous l'avons présenté précédemment, nous utilisons les brevets comme *proxy* de l'innovation technologique. Nous mobilisons deux bases de données de brevets, d'une part Orbit et d'autre part Patstat. Orbit est la base de données propriétaire de Questel alors que Patstat est maintenu par l'office de brevet européen (EPO). Nous utilisons deux types d'informations contenues dans les brevets : d'une part, la classification technologique à laquelle se raccroche l'innovation contenue dans le brevet et d'autre part, les citations de références scientifiques.

La connaissance technologique contenues dans les brevets est catégorisée selon la Classification Internationale de Brevet (CIB)⁴. Cette classification, "créée par l'Arrangement de Strasbourg de 1971, est un système hiérarchique de symboles indépendants de la langue pour le classement des brevets et des modèles d'utilité selon les différents domaines technologiques auxquels ils appartiennent"⁵. Elle est conçue pour permettre un classement des documents de brevet uniforme à l'échelon international. Elle se découpe en quatre niveaux d'agrégation exclusifs, de l'IPC 1-digit à l'IPC 7-digit. Le niveau 4-digit est le plus utilisé par les économistes [Squicciarini *et al.*, 2013]. Il est composé de 641 classes technologiques. La connaissance scientifique, pour sa part, est contenue dans la citation de *non-patent literature* (NPL). Celle-ci est composée de l'ensemble des références ayant permis l'innovation technologique contenue dans le brevet. Cette littérature représente les citations de littérature scientifique, que ce soit des articles scientifiques, des livres ou encore des communications scientifiques. Cette variable est fréquemment utilisée par les économistes afin de mieux comprendre les liens entre science et technologie [Brusoni *et al.*, 2005, Callaert *et al.*, 2011, Narin & Noma, 1985, Narin *et al.*, 1987].

Enfin, les données de brevets sont traitées en famille de brevets dans cette thèse. En effet, les inventions font souvent l'objet de plusieurs demandes de brevet auprès de différents offices nationaux ou régionaux ou auprès de l'OMPI. C'est pourquoi l'analyse en terme de famille de brevets est plus pertinente lorsqu'il s'agit d'innovation technologique. La famille des brevets englobe une innovation effective et non simplement la reproduction d'une innovation dans un contexte national ou régional. Nous considérons les brevets en termes de familles INPADOC⁶.

4. International Patent Classification (IPC)

5. <https://www.wipo.int/classifications/ipc/fr>

6. Une famille de brevets INPADOC englobe tous les documents couvrant une même technologie. Le contenu technique couvert par la demande est similaire, mais pas nécessairement identique. Les membres d'une famille de brevets élargis auront au moins une priorité en commun avec au moins un autre membre, directement ou indirectement.

Données de firmes

La base de données des firmes est issue des travaux de l'IRI (The Economics of Industrial Research & Innovation), dirigés par le Centre de Recherche Joint de la Commission Européenne (European Commission's Joint Research Center, JRC). Elle regroupe l'ensemble des 2000 plus grandes firmes mondiales en termes de dépenses de R&D et fournit un ensemble de variables mettant en avant les caractéristiques économiques de ces firmes. Celles-ci sont consolidées à l'échelle de la maison-mère, *i.e.* le JRC a recomposé la structure des firmes en prenant en compte l'ensemble de leurs filiales sur la période 2010-2014.

Ainsi, nous utilisons comme variables de contrôle pour capter la particularité des firmes l'investissement en R&D de ces firmes, leur dépense en capital, leur capitalisation boursière et enfin le nombre de leurs employés. L'investissement en R&D de ces firmes, noté $RD_{f,t}$, englobe l'ensemble des dépenses effectuées par les entreprises elles-mêmes. La partie recherche de R&D est défini par " l'exploration originale et planifiée dans l'espoir d'acquérir de nouvelles connaissances et connaissances scientifiques ou techniques " alors que la partie développement est défini comme " l'application des résultats de la recherche ou d'autres connaissances a un plan ou un design pour la production d'un nouveau ou d'une amélioration d'un matériel, d'un objet, d'un produit, d'un procédé, d'un système ou d'un service avant sa commercialisation ou son usage" [IPTS, 2012, p.79]. L'investissement en R&D est exprimé en millions d'euro. Nous utilisons la variation des dépenses de R&D des entreprises, notées $\text{var}RD_{f,t}$. Deuxièmement, le nombre d'employés, noté $Emp_{f,t}$ et exprimé en milliers, permet d'approcher la taille de firme mais cette fois en termes d'*input* plutôt que d'*output*. En supplément, cette base de données informe aussi sur les dépenses en capital. Nous utilisons la variation des dépenses de R&D des entreprises, notées $\text{var}Capex_{f,t}$. Elles sont l'ensemble des dépenses d'une firme pour acquérir ou améliorer le capital matériel comme l'équipement ou encore les bâtiments industriels. Cette variable est exprimée en millions d'euro.

Données de défense

Dans le premier chapitre de cette thèse, nous nous intéressons aux technologies caractéristiques de la défense selon l'Observatoire des Sciences et Techniques à partir des travaux de Schmoch (2008). Cette classification identifie, comme classes technologique de l'industrie du spatial-armement :

- les installation offensives ou défensives sur les navires, les sous-marins et les porte-avions (B63G);

3. BASE DE DONNÉES

- l’aéronautique, véhicules ou équipements à cet effet (B64G);
- les explosifs (C06);
- les armes (F41);
- les munitions (F42).

Cette classification nous permet d’étudier les évolutions du lien entre S&T pour la production de défense, dans le [Chapitre 1](#).

Dans les trois derniers chapitres, nous nous intéressons plus précisément aux entreprises de défense. Nous avons précédemment discutés dans ce chapitre de l’intérêt d’identifier les entreprises de défense par leur chiffre d’affaires. À cette fin, nous utilisons la base de données “*Arms Industry*” du Stockholm International Peace Research Institut (SIPRI)⁷. Elle contient des informations sur la production d’armes et les services militaires et comprend les entreprises publiques et privées, mais pas les unités de fabrication ou d’entretien des forces armées. La base de données contient des données financières et des données sur l’emploi pour les entreprises productrices d’armes de l’OCDE et des pays en développement (à l’exception de la Chine) basées sur des sources ouvertes. Les sources comprennent les rapports annuels de l’entreprise et des articles dans des revues et des journaux. Les estimations des ventes d’armes sont faites sur la base d’informations ouvertes. Cette base de données est la plus reconnue au sein des économistes de la défense [[Brauer, 2007](#), [Dunne, 1995](#), [Dunne et al. , 2002](#)]. Elles présentent les ventes d’armes des 100 plus grandes entreprises de défense en termes de volume de chiffre d’affaires militaires. Elle est consolidée au niveau des groupes, de la même manière que l’IPTS scoreboard. Nous avons ainsi pu réaliser un croisement entre ces deux bases de données et ainsi identifier les entreprises de défense parmi les plus grandes entreprises en termes de dépenses de R&D dans le monde. Cette sélection n’est pas parfaite du fait de la restriction de la base de données du SIPRI, ne considérant que les cent premières entreprises de défense. Nous tentons de lever cette limite dans le [Chapitre 3](#) grâce à un modèle économétrique particulier.

L’ensemble de ces données nous permettent de réaliser ce travail de thèse questionnant de la structure de la base de connaissances des entreprises de défense. Nous développons, plus spécifiquement, la particularité des données mobilisées en fonction des questions précises posées dans chacun des chapitres de ce manuscrit.

7. <https://www.sipri.org/databases/armsindustry>

1

L'innovation dans le spatial-armement : contribution scientifique et qualité des brevets

Ce chapitre est fortement inspiré de l'article :
Fauconnet, Cécile. 2018. "L'innovation dans l'Aérospatial et la Défense : contribution
scientifique et qualité des brevets". *Technologie et innovation* 3(3).

Résumé

Ce chapitre a pour objet d'étudier l'évolution du lien entre science et technologique pour l'innovation dans le secteur du Spatial-Armement (S&A) entre 1945 et 2015. Nous nous demandons, pour le cas des technologies directement liées à la production d'armes, quelles sont les relations qui existent entre les connaissances scientifiques et l'innovation technologique. Afin de répondre à cette question, nous menons une étude empirique des données de brevets. Cette analyse met en évidence l'augmentation constante des citations de littérature scientifique dans les brevets du secteur depuis les années 1980. Nous montrons aussi une nette évolution dans les pratiques d'innovation de ce secteur qui intègrent de plus en plus des savoirs divers, en particulier issus de la recherche scientifique.

1 Introduction

Le 7 juin 2017, la Commission Européenne a présenté sa vision de la “ Défense européenne ” centrée autour de la recherche scientifique et industrielle. Ce projet est un premier pas pour développer une politique d'innovation de défense commune aux pays membres de l'Union Européenne *via* une dotation annuelle estimée à 500 millions d'euros par an. Cette avancée dans la coopération européenne en termes de recherche devra s'accompagner de résultats en termes d'innovation. Or, une des sources de plus en plus étudiée de l'innovation technologique est la connaissance et s'accompagne de l'émergence d'un nouveau courant de l'économie : l'économie fondée sur la connaissance (*knowledge-based economy*, KBE). [Foray & Lundvall \[1998\]](#) met notamment l'accent sur la place de la recherche scientifique dans le processus d'innovation. Cette place accrue des connaissances dans l'économie est permise par l'émergence des nouvelles technologies de l'information et de la communication qui favorise et facilite la diffusion des connaissances, en particulier scientifiques.

Dans ce chapitre, nous proposons d'étudier les innovations technologiques du Spatial-Armeement (S&A) à l'aune de cette vision de l'économie. Nous défendons l'idée que le secteur du S&A ne fait pas figure d'exception face à cette évolution de l'utilisation des connaissances scientifiques. Premièrement, nous analysons l'évolution de la contribution des connaissances scientifiques aux innovations technologiques du S&A entre 1945 et 2015. Deuxièmement, nous cherchons à connaître l'influence de cette évolution sur la qualité des innovations de ce secteur.

Pour réaliser cette étude, nous utilisons l'outil bibliométrique. L'intensité d'utilisation des connaissances scientifiques dans la production de l'innovation est introduite par les travaux de Narin [[Albert *et al.* , 1991](#), [Narin & Noma, 1985](#), [Narin *et al.* , 1997](#)]. Il étudie l'intensification des relations entre la recherche scientifique publique et la production technologique américaine à travers deux vecteurs : d'une part, *via* la publication de brevets industriels par des chercheurs académiques, et d'autre part *via* un comptage de la *non-patent literature* (NPL) présente dans les brevets sur deux périodes (1987-1988 et 1993-1994) [[Narin *et al.* , 1997](#)]. Leur article montre une augmentation de 30% des citations NPL dans les brevets entre ces deux périodes, c'est-à-dire une croissance significative de l'utilisation de connaissances scientifiques pour la production d'innovation. De plus, des auteurs, tels [Mowery *et al.* \[2001\]](#) ou encore [Sampat *et al.* \[2003\]](#) mettent en évidence que les brevets citant des connaissances fondamentales sont plus originaux et davantage sensibles d'influencer d'autres catégories technologiques. Selon [Tijssen \[2004\]](#), l'analyse de la NPL représente la meilleure approximation des interactions entre la science et la technologie (S&T) et de la créativité humaine permettant l'innovation industrielle. Nous inscri-

2. ANCRAGE THÉORIQUE

vons notre analyse des liens entre S&T dans cette tradition en nous concentrant sur la production du S&A. Nous identifions les brevets déposés dans les domaines technologiques du S&A grâce à la classification technologique de [Schmoch \[2008\]](#). Ces domaines incluent cinq classes technologiques correspondant aux installations offensives et défensives sur les navires, à l'aéronautique, aux explosifs, armes et munitions (respectivement les codes de la classification internationale des brevets B63G, B64G, C06, F41 et F42).

Ainsi, nous proposons, dans une première partie, une revue de la littérature permettant de poser le cadre conceptuel de notre réflexion et la particularité de notre champ d'application qu'est le S&A. Les parties suivantes viseront à tester notre hypothèse théorique pouvant être résumée ainsi : l'émergence de l'économie fondée sur la connaissance se traduit par une augmentation des collaborations entre les producteurs de connaissances scientifiques et industrielles entraînant une production accrue d'innovation technologique, à la fois en quantité et qualité. Nous consacrons ainsi la deuxième partie de notre travail à une présentation des données de brevets mobilisées pour cette étude ainsi qu'à une description de la méthode utilisée. Enfin, notre dernière partie traitera de l'évolution des contributions des connaissances scientifiques à l'innovation du S&A ainsi qu'une analyse conjointe de la qualité des brevets et des contributions des connaissances scientifiques à ceux-ci afin d'étudier l'évolution du processus d'innovation du S&A.

2 Ancrage théorique

2.1 L'innovation de défense

L'innovation technologique est définie dans le manuel d'Oslo [[OCDE, 2005](#), p.37] comme “ les produits et procédés technologiquement nouveaux ainsi que les améliorations technologiques importants de produits et de procédés qui ont été accomplis ”. Dans la défense, [Sempere \[2015\]](#) définit l'innovation comme l'action ou le processus d'introduire de nouvelles idées qui est essentiel pour accomplir les missions de défense. De telles capacités permettent l'exécution des missions de défense de manière effective, sans être compromises par un adversaire potentiel. La nécessité de surpasser les ennemis éventuels signifie que les forces armées doivent constamment améliorer leurs tactiques et matériels. Ainsi, l'industrie de défense a des spécificités propres car elle porte en elle des enjeux stratégiques et de souveraineté [[Dupuy, 2013](#)].

Aujourd'hui l'innovation de défense implique le développement de solutions caractérisées par un haut degré de complexité, d'intégration et de valeur économique

[Dittrich *et al.* , 2006]. Ces solutions intensives en ingénierie, intègrent un grand nombre de technologies et nécessitent un ensemble des compétences complémentaires. Un exemple saillant est l'avion de combat car il nécessite des combinaisons de connaissances qui diffèrent drastiquement de l'innovation du secteur civil. En effet, il demande à la fois des compétences en termes de motorisations (moteur à réaction, moteur-fusée), d'électronique (radar, système de navigation, assistant électronique, *ect.*) mais aussi les technologies liées à l'armement (missile air-air, air-sol, bombe guidée laser, *etc.*).

L'innovation utilise deux mécanismes pour atteindre ses objectifs [March, 1991]. Le premier est de créer de la variété en explorant les différents sentiers de création de connaissances (recherche, invention, développement, design, *etc.*). Le second se concentre sur le choix et l'exploitation des différentes alternatives. Dans le secteur civil, la création de variétés est menée par des entrepreneurs ayant pour objectif le profit consécutif à l'introduction d'un nouveau produit sur le marché. L'innovation suit un processus " classique " où les équipes de R&D développent le design et le marché fournit une réaction rapide à ce nouveau produit. Dans le domaine de la défense, les motivations et retours suivent un parcours différent. Premièrement, les cycles de vie des équipements sont longs et l'innovation est "générationnelle" [Bellais & Droff, 2016]. En effet, le paradigme d'innovation dans la défense est techno-centré : le principe est le développement des capacités par générations successives afin d'éviter toute surprise stratégique (exemple du Mirage 2000 et du Rafale). Pour reprendre l'exemple des avions de combat, le lancement du projet " Rafale " à débiter dans les années 1970, pour aboutir à une première mise en service en 2002 pour la Marine nationale et en 2006 dans l'Armée de l'air. Deuxièmement, le contexte dans lequel le système sera utilisé ne peut être anticipé avec exactitude. A titre d'illustration, les hélicoptères d'attaque Tigre, utilisés par l'armée française, se trouvent inadaptés aux conditions naturelles de certaines zones maliennes. En effet, même si cet hélicoptère est prévu pour une utilisation dans le désert, la finesse du sable au Mali entraîne une sur-usure des moteurs due à des problèmes de filtrations¹.

Les matériels militaires ont trois caractéristiques principales qui influencent fortement l'innovation : i) la concurrence militaire entre Etats ; ii) la production différenciée ; et iii) la complexité technologique [Sempere, 2015]. Tout d'abord, la concurrence sur les matériels militaires se fait sur plusieurs critères : précision, fiabilité, manœuvrabilité, protection, qualité et interopérabilité. De telles exigences demandent un développement complexe de l'offre, nécessitant de mêler la recherche scientifique à la

1. Source : Article du Point International du 2 juin 2016. http://www.lepoint.fr/monde/mali-les-helicopteres-francais-de-l-operation-barkhane-les-pales-du-desert-02-06-2015-1932966_24.php

recherche technologique. Ensuite, la production différenciée est définie par le fait que les Etats et leurs forces armées ont des préférences en termes de matériels de guerre, du fait des différences géographiques, des types de conflits potentiels, *etc.* Quand les préférences nationales diffèrent fortement, des achats groupés semblent compromis. Enfin, la complexité des équipements militaires augmentent à chaque nouvelle génération. Elle est due au grand nombre de sous-systèmes, composants et interfaces qui constituent les systèmes d'armement. En effet, alors qu'une automobile contient environ 4000 parties, un système de guidage pour un missile intercontinental en contient plus 19 000 [Kelley & Watkins, 1995] et un moteur à réaction peut excéder 22 000 parties [Hobday, 1998].

Le secteur de la défense entretient donc une relation particulière avec l'innovation technologique. La course à l'armement durant le XIX^e siècle a entraîné une dynamique d'innovation dans l'ensemble de la société. Un exemple de ces innovations est la localisation GPS, un projet initié en 1960 par l'armée américaine sous l'impulsion du président américain Richard Nixon. Cependant, la fin de la Guerre froide et la baisse du budget militaire associée [Fauconnet & Malizard, 2016], ont amené les entreprises productrices de technologies de défense à revoir leur processus d'innovation et à orienter leur production vers plus de dualité [Depeyre, 2013] et ainsi s'adapter aux méthodes d'innovation "civils". Or le modèle d'innovation de défense est souvent appréhendé par des modèles linéaires où l'innovation est perçue comme un processus quasi-externe aux développements des programmes d'armement [Gansler, 1992] et où la contribution des connaissances scientifiques est lointaine et de long terme. Cependant, l'évolution de l'économie et de la société remet en cause cette vision de l'innovation et la connaissance scientifique joue un rôle de plus en plus important et de court terme sur l'innovation technologique.

2.2 L'innovation basée sur la connaissance

A partir des années 1980, l'utilisation accrue de capital immatériel combinée à la révolution des technologies de l'information et la communication ont donné lieu à l'essor d'une économie fondée sur la connaissance [Foray & Lundvall, 1998]. L'innovation n'émerge plus par grappe, ni par surprise mais est devenue la norme. Elle est nécessaire aux entreprises et devient, dans certains secteurs, le cœur de la concurrence [Lenfle & Midler, 2002]. Ce changement technologique perpétuel se traduit par une combinaison multilatérale, pluridisciplinaire, et mouvante des recherches scientifiques et technologiques et des méthodes d'invention. En 1996, à Paris, l'OCDE [OECD, 1996, p.3] déclare que les économies développées "*s'appuient de plus en plus sur le savoir et l'information. Le savoir est désormais reconnu comme moteur de la productivité et de la croissance économique, ce qui éclaire sous un nouveau jour le*

rôle que jouent l'information, les technologies et l'apprentissage dans les performances économiques". Plus particulièrement, la place de la recherche scientifique dans le processus d'innovation est de plus en plus prédominante. Leydesdorff [1995] montre que la mondialisation combinée avec l'émergence de l'économie fondée sur la connaissance remet en question la place de la recherche scientifique dans la société et plus particulièrement sa contribution à l'innovation. La science n'est plus dans sa "tour d'ivoire" avec une contribution à long voir très long terme à l'innovation industrielle. Il met en évidence un modèle où la transmission de connaissances entre la recherche publique et industrielle est dynamique et où les contributions scientifiques peuvent être de court terme.

Cette place accrue des connaissances, notamment scientifiques, pour développement économique, en général, et dans l'innovation, en particulier, fait l'objet de multiples approches. Etzkowitz & Leydesdorff [2000] s'inspirent de la théorie évolutionniste de la firme [Nelson & Winter, 1982]. Cependant, au lieu de se concentrer sur la co-évolution des firmes et de la technologie, sachant l'architecture des connaissances, ils ajoutent une perspective historique et ainsi endogénéisent l'architecture de la société. D'autres auteurs se concentrent sur la capacité d'absorption des organisations en le mettant en relation avec les investissements en R&D, l'environnement concurrentiel ainsi que la diversité du stock de connaissances déjà assimilés, telles que les connaissances scientifiques, par exemple [Cockburn & Henderson, 1998]. Historiquement, les interactions systématiques entre le marché et la science remontent à la moitié du XIX^e siècle et sont appelées la "révolution techno-scientifique" [Braverman, 1974]. Elle se définit comme la transformation de la science elle-même en capital [Noble, 1979]. Pour l'historien [Bret, 2002] la collaboration entre la science et la défense est amorcée en France dès 1793 avec la création de la première unité de recherche publique, chargée de "rechercher et d'éprouver les nouveaux moyens de la Défense". Ainsi le S&A, de par ses caractéristiques de haute technologie, de systèmes complexes et de forte relation entre le décideur public et l'industrie, semble particulièrement pertinente pour aborder ce thème. Les différentes interactions entre l'industrie, le gouvernement et l'université ont pour effet d'engendrer de nouvelles structures (*i.e.* centres de recherche public-privé, pôles d'innovation) et de créer de nouvelles mécaniques d'intégration de la connaissance entre les différents acteurs.

Le point de départ de cette analyse est que l'économie évolue vers une utilisation et une intégration des connaissances de plus en plus intensive *via* une diffusion des connaissances et une collaboration des différents acteurs de la société accrue. Dans ce chapitre, nous cherchons à savoir si ce constat s'applique aussi à l'industrie du S&A malgré ses particularités. L'hypothèse testée dans ce chapitre peut être formulée comme suit : l'émergence de l'économie fondée sur la connaissance se traduit par

une intensification et une codification accrue des collaborations entre les producteurs de connaissances scientifiques et industrielles entraînant une plus grande production d'innovation technologique, à la fois en quantité et qualité.

Pour ce faire, il nous faut étudier les liens et leurs évolutions entre les connaissances scientifiques et technologiques. Nous proposons de mobiliser les données issues des brevets afin de comprendre ces phénomènes.

3 Données

Dans ce chapitre, nous proposons d'utiliser les données de brevets comme indicateurs traduisant de l'innovation dans les technologies du S&T. A partir de ces données, nous construisons deux types d'indicateurs : les citations de littérature scientifique et la qualité des brevets. Comme discuté précédemment, les brevets sont des estimations imparfaites mais pertinentes de l'innovation technologique [Garfield, 1979]. Il est un document très informatif avec des données à la fois sur les détenteurs, sur la nature de l'innovation (domaine technologique) et les connaissances mobilisés pour la produire. De plus, ce document juridique harmonisé, contrôlé et référencé par des experts des domaines technologiques, est plus fiable et détaillé que nombre de données sur l'innovation.

Ainsi nous mobilisons les brevets comme *proxy* de l'innovation technologique. Ces droits de propriété industrielle assurent une protection dans un ou plusieurs pays donnés. Il est fréquent que les inventions fassent l'objet de plusieurs demandes de brevets auprès de différents offices nationaux ou régionaux des brevets ou auprès de l'Organisation mondiale de la propriété intellectuelle (WIPO). Le WIPO est l'instance mondiale pour les services, les politiques, l'information et la coopération en matière de propriété intellectuelle. C'est pourquoi l'analyse en termes de famille de brevets est plus pertinente lorsque l'on s'intéresse à l'innovation. En effet, la famille de brevets permet de capter une innovation effective et non simplement la reproduction d'une innovation dans un contexte national ou régional. Orbit-Questel a développé une définition de la famille qui combine la règle de famille stricte de l'European Patent Office (EPO) avec des règles complémentaires qui permettent de prendre en compte les liens avec la demande parente EPO et/ou PCT, les liens entre les demandes américaines provisoires et les demandes américaines publiées. Cette définition prend également en considération les définitions de la notion d'invention différentes selon les offices.

Pour étudier les technologies contenues dans les brevets, nous utilisons la classification internationale des brevets du WIPO, qui est unanimement reconnue et utilisée pour l'étude des brevets. Elle divise la technologie en huit sections comptants

environs 70000 subdivisions au niveau le plus désagrégé. Nous utilisons la base de données brevets générée par Orbit. Entre 1945 et 2015, nous avons identifié 51 161 familles de brevets contenant les domaines technologiques du S&A, déposées dans plus de 63 offices de dépôts dans le monde (voir [annexe 2](#) pour la distribution des familles de brevets par premier office de dépôt). La date retenue pour sélectionner les brevets est la première date de dépôt.

3.1 Les citations de littérature scientifique

L'émergence de l'économie fondée sur la connaissance amène une nécessité de description des distinctions entre science et technologie (ci-après S&T), entre université et industrie. Cependant, l'évaluation de l'impact de la recherche sur la production innovante est un des champs d'analyse scientifique les plus difficiles à investiguer empiriquement [[Cohen *et al.*, 2002](#), [Coombs & Hull, 1998](#), [Salter & Martin, 2001](#)]. Bien qu'il existe une diversité dans les approches de l'interface entre S&T, un consensus émerge cependant quant à la méthode d'analyse empirique à utiliser : la bibliométrie. Celle-ci est une étude quantitative des aspects du processus de recherche scientifique comme un système de communication [[Mingers & Leydesdorff, 2015](#)], capable de fournir des mesures du lien entre S&T aux échelles micro, meso et macro. A un degré micro, elle capture la relation entre une publication scientifique et un brevet, ce qui permet d'identifier la proximité entre différents objets de recherche. A l'échelon sectoriel (ou meso), elle capte les transferts de connaissances et les potentiels effets induits (description des bases de connaissances associées à une technologie ou à une industrie particulière). Enfin, le niveau macro permet de construire des tables de concordance entre les classifications scientifiques et les nomenclatures technologiques, d'investiguer les dépendances et de développer des instruments de politique publique.

La bibliométrie est un outil aux multiples facettes ayant pour objectif d'identifier, de quantifier et d'analyser la production des connaissances et leurs qualités. Majoritairement utilisée pour l'étude de la littérature scientifique, cette méthode permet aussi l'analyse des voies de transmission des connaissances entre la recherche scientifique et technologique. Les flux de connaissances permettant l'innovation sont divers : science vers science, technologie vers technologie, technologie vers science et science vers technologie. Narin, à partir des années 1960, consacre ses recherches à l'analyse de la production et la diffusion des connaissances, en introduisant une analyse de co-citation, à l'intérieur de la recherche scientifique (*via* les publications scientifiques), de la R&D technologique (*via* les brevets) mais aussi les flux entre ces deux supports. La production de connaissances de la science peut être approchée par les connaissances contenues dans la littérature scientifique et celle de la technologie

3. DONNÉES

par les connaissances diffusées dans les brevets.

La méthode d'analyse des citations entre différents supports de la connaissance est la plus utilisée et c'est celle-ci que nous retenons dans notre étude. Présentée par [Narin *et al.* , 1987], elle consiste à étudier les références à des articles scientifiques (*non-patent literature*, ci-après NPL) dans les brevets et inversement. Selon [Tijssen, 2004], l'analyse de la NPL représente la meilleure approximation des interactions entre S&T et de la créativité humaine permettant l'innovation industrielle. " Si la littérature scientifique reflète les activités scientifiques, un catalogue pluridisciplinaire des citations peut fournir une vision intéressante de ces activités. Cette vision peut mettre en lumière à la fois "*la structure de la science et le développement des processus scientifiques*" Garfield [1979, p.62]. Cette analyse peut être étendue aux brevets. Dès le début des années 1980, [Carpenter *et al.* , 1981] montrent l'intérêt de l'analyse de la NPL pour étudier les processus d'innovation. Ils mettent en lumière la dépendance de l'évolution technologique à la recherche scientifique. D'autres auteurs, comme [Lenten *et al.* , 2007] s'intéressent à des domaines technologiques précis. Ils montrent une relation positive entre l'intensité scientifique des brevets et la productivité technologique dans le secteur de la biotechnologie. Cette approche permet aussi des analyses en termes de flux de connaissances sur une zone géographique donnée, [Verbeek *et al.* , 2002] regardent la distribution géographique des NPL dans le secteur de la biotechnologie et des technologies de l'information et mettent en évidence une concentration à l'échelle nationale des citations ainsi qu'une contribution significative des connaissances produites aux Etats-Unis et en Europe pour l'innovation technologique dans le monde. Dans une autre optique, [Looy *et al.* , 2003] expliquent la performance à l'innovation par l'intensité d'utilisation de références scientifiques dans les brevets.

Afin d'affiner ce type d'analyse, nous pouvons identifier trois catégories de citations : i) autocitation [Narin *et al.* , 1997], ii) citations nationales et les citations internationales [Hicks *et al.* , 2001]. Narin *et al.* [1997] met ainsi en évidence les biais de cette analyse en pointant le problème des autocitations (*self-citations*), des barrières linguistiques amenant les chercheurs à préférer des références nationales (qui ne sont pas forcément les plus pertinentes), et des problèmes de connaissances des déposants de brevets et des auteurs d'articles scientifiques sur la production des types de recherche. Contrairement à d'autres indicateurs de coopération entre la recherche scientifique et industrielle telles que des collaborations informelles ou encore de chercheurs issus du milieu académique travaillant pour l'industrie, l'étude de la NPL montre des connexions explicites, volontaires, sélectives et asymétriques. Cette méthode permet d'étudier le secteur du S&A qui tient une place particulière dans les systèmes d'innovation.

3.2 La qualité des brevets

Cette étude de la NPL dans les brevets du S&A doit être complétée par l'analyse de l'influence de la diffusion des connaissances scientifiques sur la qualité de l'innovation. En effet, la vision de l'économie fondée sur la connaissance défend l'hypothèse que la collaboration accrue entre les différents acteurs producteurs de connaissances accélère et améliore le processus d'innovation. La science favorise l'innovation industrielle de plusieurs manières. Premièrement, la recherche scientifique permet aux industriels d'éviter des expériences non-pertinentes [Sorenson & Fleming, 2004]. Deuxièmement, elle permet d'améliorer la capacité d'absorption des entreprises. Troisièmement, la science améliore la qualité et la valeur économique des technologies produites par les entreprises [Arora & Gambardella, 1994].

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à la contribution de la science à la qualité de l'innovation du secteur du S&A. La qualité d'un brevet peut être appréciée à l'aide de plusieurs critères. Le premier critère est celui de la valeur " commerciale ". Dans ce cas, la qualité d'un brevet est traitée comme la valeur économique du brevet sur le marché, *i.e.* l'augmentation de valeur d'un portefeuille de brevets d'une firme consécutive au dépôt du brevet. D'autre part, la qualité d'un brevet peut être vue sous l'angle technologique. Dans ce cas, la qualité du brevet dépend d'un arbitrage entre la généralité et l'originalité. Afin d'étudier cette question de la qualité, à la fois sous l'angle commercial et technologique, nous mobilisons quatre indicateurs de qualité des brevets, discutés par le rapport de l'OCDE [Squicciarini *et al.*, 2013].

Premièrement, la qualité commerciale d'un brevet peut être approchée par la taille de la famille de brevets (*patent family size*), notée NPN. Rappelons qu'un groupe de brevets protégeant la même innovation est appelé une famille de brevets. Ici, la valeur du brevet est associée à la portée géographique de la protection de l'innovation [Lanjouw *et al.*, 1998]. Harhoff *et al.* [2003] montrent qu'une famille de brevets ayant des représentations dans beaucoup de pays est un indicateur de la valeur économique du brevet. En effet, étendre la protection d'une innovation à plusieurs pays dans le monde traduit, de la part des déposants, une disposition à accepter des coûts de brevetage ainsi que des délais administratifs supplémentaires. Or ces coûts supplémentaires ne sont supportés que si la firme, ou le déposant, estime qu'il en retirera un bénéfice supérieur.

Deuxièmement, la généralité d'un brevet peut être appréciée par le *patent scope* correspondant au nombre de domaines technologiques différents référencés dans la famille de brevets, noté NBIPC. En effet, l'examinateur du brevet assigne à chaque brevet un ou plus domaines technologiques à 4-digit basé sur la classification interna-

3. DONNÉES

tionale des brevets (WIPO). Cet indicateur permet de capter la généralité de l'innovation et ainsi que son influence sur le marché. [Lerner \[1994\]](#) observe que la technologie contenue dans les portefeuilles de brevets des firmes affecte significativement la valeur de la firme sur le marché. L'idée supportant cet argument est que les brevets sont plus précieux lorsque de nombreux substituts dans la même classe de produit sont disponibles et que ceux-ci sont possédés par la même firme. Cet argument est d'autant plus vrai lorsque les innovations influencent potentiellement différents secteurs industriels.

Troisièmement, l'originalité d'un brevet peut être approchée par le nombre de citations de brevets (*backward citation*) dans le brevet, notée NSCT. En vue d'évaluer la nouveauté d'une innovation, un inventeur doit citer tous les brevets précédents reliés à son invention. L'examineur du brevet doit s'assurer que tous les brevets appropriés sont cités. Ceux-ci permettent d'attester de la brevetabilité de l'invention et définir la légitimité de la revendication de paternité. [Criscuolo & Verspagen \[2008\]](#) expliquent qu'un indicateur basé sur le nombre de citations dans un brevet atteste du degré de nouveauté de l'invention et évalue les transferts de connaissances réalisés pour produire cette invention. De plus, agréger les citations de brevets à l'échelle d'une technologie permet d'éclairer le processus d'innovation et ses dynamiques. [Harhoff et al. \[2003\]](#) trouvent une corrélation positive entre le nombre de brevets cités et la valeur d'un brevet sur le marché. D'autre part, cet indicateur permet de mettre en lumière la nature du processus d'innovation, *i.e.* si l'invention est incrémentale ou de rupture. Ainsi, lorsque le nombre de brevets cités est faible, il est aisé de conclure que l'invention technologique concernée ne se repose pas sur des innovations passées, et sera donc plutôt de rupture. A l'inverse, lorsque la quantité de brevets cités est importante, cela s'interprète comme une invention reposant sur nombre d'innovations passées, et sera donc de nature incrémentale. Afin d'utiliser un tel indicateur, il est primordial de contrôler les autocitations des inventeurs. En effet, les autocitations constituent à la fois un biais dû à un comportement stratégique de la part de l'inventeur - l'inventeur peut s'auto-citer afin d'augmenter les statistiques de qualité sur ces brevets - ainsi qu'un biais de connaissance - l'inventeur se cite car c'est ce qu'il connaît. C'est pourquoi, nous ne considérons ici les citations, à l'exclusion des autocitations.

Enfin, les brevets citant, noté NCTG (*forward citation*) traduisent à la fois l'importance technologique du brevet et la valeur économique et commerciale de l'invention [[Hall et al. , 2005](#), [Harhoff et al. , 2003](#), [Trajtenberg, 1990](#)]. Le nombre de brevets citant traduit l'importance technologique. L'idée est que l'innovation contenue dans le brevet entraîne une grappe d'innovations incrémentales. La quantité de brevets citant marque aussi la valeur économique d'un brevet en indiquant à l'ensemble du

secteur industriel la potentialité de l'innovation et ainsi augmente la valeur de marché de la firme déposante. A partir de cet ensemble d'indicateurs de qualité des brevets, nous cherchons à connaître le lien qui existe entre ceux-ci et les changements de dynamique d'innovation, traduit par la quantité de NPL contenue dans les brevets (notée NPL/brevet).

4 Résultats

Dans cette partie, nous présentons les résultats empiriques de notre étude. Premièrement, est développée une analyse descriptive des données de famille de brevets du domaine S&A, en particulier un compte rendu de l'utilisation de connaissances scientifiques dans ces familles. Dans un second temps, nous approfondissons cette étude descriptive en introduisant les corrélations entre la qualité des brevets et la NPL.

4.1 Analyse descriptive

L'étude de ces familles de brevets et des données associées permet de mettre en évidence des grandes tendances. Dans un premier temps, nous observons une forte augmentation dans le temps des dépôts de familles de brevets, ce qui est conforme à la littérature [Hall, 2004, Hall & Trajtenberg, 2004, Hall & Ziedonis, 2001, Kortum & Lerner, 1999]. Cette tendance s'explique par une combinaison de facteurs. Premièrement, l'entrée de nouveaux pays sur le " marché des brevets " notamment la Chine et la Corée du Sud [WIPO, 2016]. Deuxièmement, Kortum & Lerner [1999] l'expliquent par la combinaison de l'augmentation globale de l'innovation dans la société et l'amélioration du management de la R&D. Troisièmement, l'augmentation de l'importance des portefeuilles de brevets en vue de se protéger de ses concurrents a contribué à cette tendance [Harhoff *et al.* , 2003]. En effet, la valeur accrue que les marchés financiers accordent aux portefeuilles de brevets amène les entreprises, notamment les nouvelles firmes à verrouiller leurs innovations technologiques grâce au brevetage.

D'autre part, le référencement de contributions scientifiques à l'innovation contenue dans le brevet, connaît elle aussi une forte hausse. Comme l'illustre la [figure 1.1](#), la première référence à la littérature scientifique dans nos brevets intervient au début des années 1970. Ces références contiennent à la fois des articles publiés dans des revues à comité de lecture mais aussi des livres scientifiques ainsi que des comptes rendus de conférences. Cette apparition de la NPL dans le brevet ainsi que sa hausse constante peut s'expliquer par trois éléments principaux.

Premièrement, les offices de dépôts augmentent leurs exigences en termes de

4. RÉSULTATS

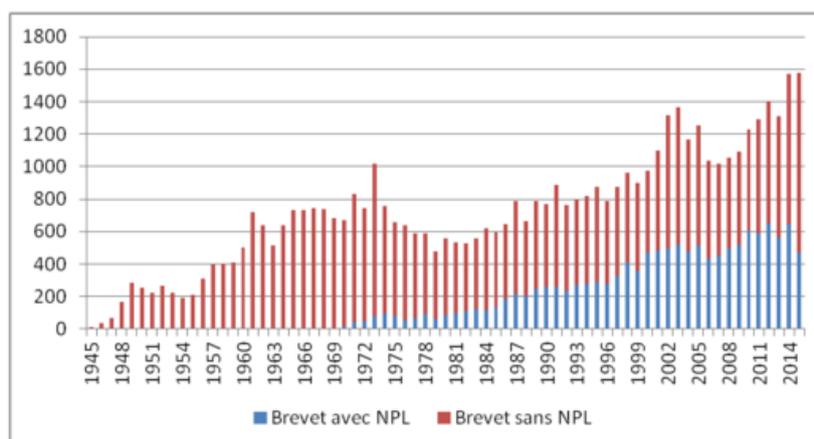


FIGURE 1.1 – L'évolution des brevets et de la NPL du S&A entre 1945 et 2015

complétude des brevets. Deuxièmement, le travail des experts des offices de dépôts chargés de référencer les brevets est de plus en plus précis. Enfin, notre hypothèse de départ qui suppose que l'intensification du rôle des connaissances scientifiques a mené à une croissance des innovations technologiques poussée par une diffusion accrue des connaissances scientifiques. Comme nous l'avons présenté précédemment la rencontre entre la montée du capital immatériel et la révolution des technologies de l'information et la communication a donné lieu à l'essor d'une économie fondée sur la connaissance [Foray & Lundvall, 1998]. Le changement technologique perpétuel qui en résulte se traduit par une combinaison multilatérale, pluridisciplinaire, et mouvante des recherches scientifiques et technologiques et des méthodes d'invention. Ces nouvelles tendances sont associées à une augmentation de l'utilisation des connaissances générées par les recherches universitaires [Branstetter & Ogura, 2005]. Selon l'OCDE [OECD, 1996], la part de la haute technologie dans la production, largement dépendante de la production et de la diffusion des connaissances notamment scientifiques, a doublé entre 1970 et 1990 dans la production industrielle et les exportations, et cette évolution est se perpétue aujourd'hui. Ce constat de l'OCDE est conforté par notre étude des secteurs technologiques du S&A. La figure 1.1 montre en effet une part croissante des brevets faisant référence à au moins une littérature scientifique. Le nombre de brevets citant de la NPL passe de quasi-existant avant les 1980, à plus du tiers des brevets à partir des années 2000.

Les brevets du S&A sont composés de cinq classes technologiques distincts et leur poids dans le domaine évolue au cours de la période. Ainsi, la figure 1.2 montre que la technologie des armes (F41) domine le domaine S&A sur l'ensemble de la période avec un poids allant jusqu'à 60% sur la dernière période (1996-2015). L'augmentation ce poids est tirée par le blindage et autres moyens d'attaque ou de défense, tel que

1. L'INNOVATION DANS LE SPATIAL-ARMEMENT : CONTRIBUTION SCIENTIFIQUE ET QUALITÉ DES BREVETS

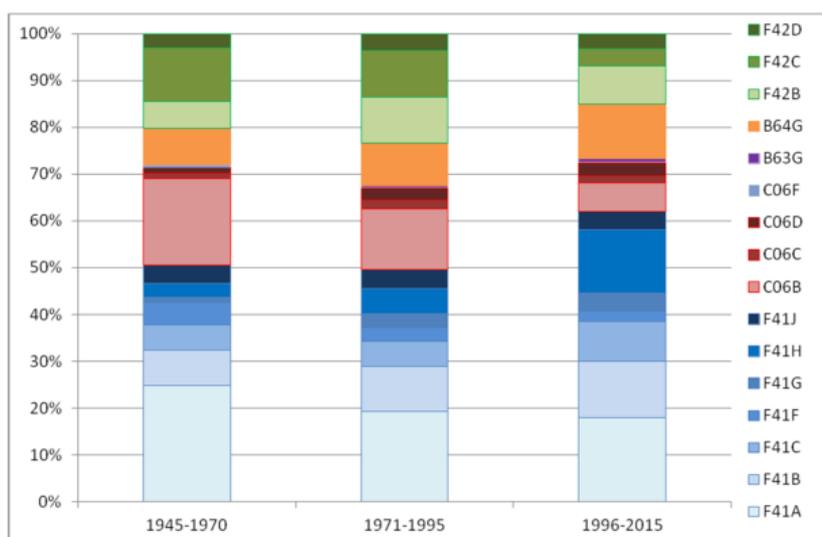


FIGURE 1.2 – Répartition des brevets S&A par domaines technologiques entre 1945 et 2015

le camouflage. Si l'économie fondée sur la connaissance est une analyse adéquate de notre société alors ce domaine technologique, du fait de son expansion, devrait être intensif en utilisation de connaissances scientifiques. C'est ce que nous proposons d'étudier dans la [figure 1.3](#).

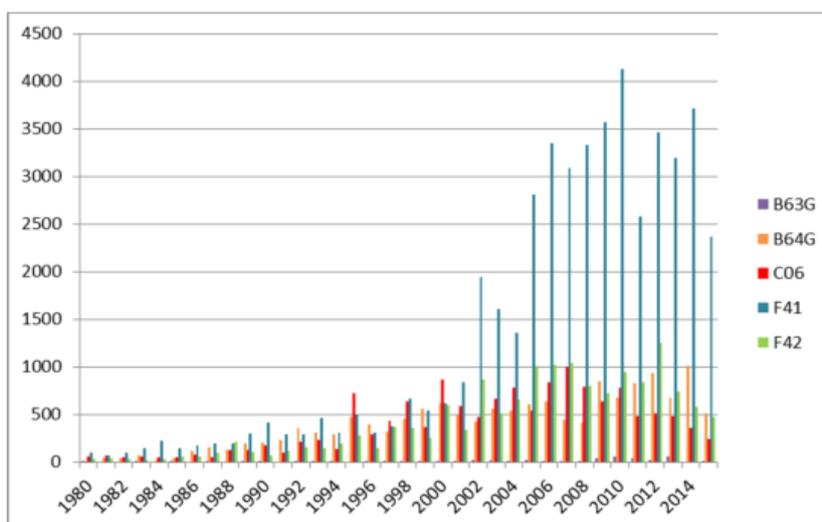


FIGURE 1.3 – Evolution de la NPL en volume par domaine technologique d'S&A

Afin de rendre les résultats plus lisibles, nous proposons d'analyser les classes technologiques regroupées au niveau 3-digit pour F41, F42 et C06. Nous présentons cette analyse à partir de 1980 car c'est à partir de cette période que la présence de la

4. RÉSULTATS

NPL dans les brevets émerge dans l'ensemble des domaines technologiques étudiés. La [figure 2.3](#) montre que l'augmentation de la part de F41 dans l'ensemble des familles de brevets du domaine S&A s'accompagne d'une hausse plus que significative des citations de NPL de cette classe. En effet, même si la quantité de NPL augmente dans l'ensemble des classes technologiques sur la période 1980-2015, ce sont les technologies se rapportant à F41 qui observent la plus forte augmentation en volume de NPL, notamment à partir de 2002. Cependant, cette étude en termes de volume ne permet pas de prendre en compte l'augmentation de la NPL relativement au poids de la classe technologique dans le domaine du S&A.

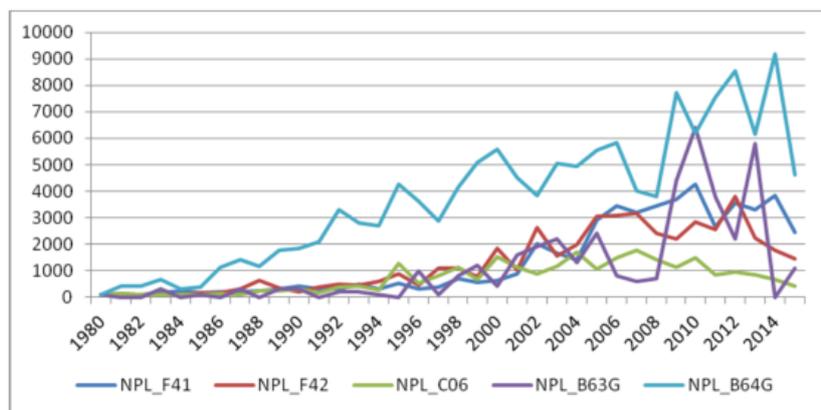


FIGURE 1.4 – Evolution de la NPL par domaine technologique d’S&A (base 100 : 1980)

C’est pourquoi nous présentons la [figure 1.4](#) qui illustre l’évolution du nombre de référence NPL dans les brevets par technologie du S&A, en base 100 de l’année 1980. Nous observons que l’ensemble des technologies a connu une forte de croissance de la NPL sur la période 1980-2015. Cette croissance est la plus marquée pour le domaine technologique B64G, correspondant à l’innovation technologique des véhicules et équipements pour l’aéronautique. Cette catégorie comprend notamment l’ensemble des véhicules spatiaux, les outils adaptés au travail dans l’espace, les vêtements spatiaux ou encore les simulateurs de conditions de vie dans l’espace. A titre d’illustration, un des brevets classés dans cette catégorie est un lanceur de satellites, publié en 1990 et citant comme NPL un article scientifique publié dans le *Journal of the British Interplanetary Society* en 1977. Les autres domaines technologiques étudiés ont eux aussi connus une croissance marquée de la quantité de NPL dans leurs brevets, avec une tendance globale à l’accélération de cette augmentation. En effet, entre 1980 et 2010, la quantité de NPL dans les brevets associés aux installations offensives et défensives des navires (B63G) a été multipliée par 60. Nous observons la même tendance pour les technologies des armes et des munitions (respectivement

F41 et F42). Pour l'innovation se rapportant à la chimie, et plus particulièrement aux explosifs (C06), contrairement aux autres domaines, la croissance de la NPL dans les brevets est moins erratique et a été multipliée par 8 entre 1980 et 2015.

Ainsi, cette étude descriptive des données de brevets et des citations en termes de NPL met en évidence l'augmentation conjointe de la mobilisation de connaissances scientifiques dans l'industrie et de la production d'innovation technologique. Cependant, cette étude descriptive n'est pas suffisante pour comprendre comment l'intensification de l'utilisation de connaissances scientifiques dans la production d'innovation technologique influence la capacité d'innover, notamment en termes qualitatif. A cette fin, nous proposons dans la partie suivante d'étudier le lien entre la quantité de NPL dans les familles de brevets et la qualité de ces mêmes brevets par classe technologique appartenant au domaine du S&A.

4.2 Connaissances scientifiques et qualité de l'innovation technologique

La [figure 1.5](#) représente les tables de corrélations entre la quantité de NPL et les indicateurs de qualité des brevets. Les coefficients de corrélation (de Pearson) ont été calculés à partir de 1980 et jusqu'en 2015. Ces tables de corrélation montrent plusieurs éléments. Globalement, nous observons une corrélation positive et significative entre la quantité de NPL dans les brevets et les différents indicateurs de qualité, malgré une faiblesse des coefficients (en moyenne entre 0,2 et 0,3) pour la majorité des observations. Cependant, une corrélation sort particulièrement du lot pour l'ensemble des classes technologiques : la corrélation entre la quantité de NPL et de brevets cités (0,6).

Cette tendance peut s'expliquer par deux facteurs. D'une part, l'amélioration du renseignement contenu dans les brevets est due à la fois à la vigilance accrue des examinateurs des brevets et au rôle croissant des services de propriété intellectuelle dans les firmes innovantes. D'autre part, elle met en évidence l'émergence des collaborations accrues entre les producteurs de connaissances scientifiques et technologiques. En effet, nous observons qu'une hausse des brevets cités, traduisant la nature incrémentale de l'innovation, augmente la quantité de NPL présent dans ce même brevet. Comme nous l'avons développé dans la partie méthode, une quantité importante de brevets cités traduit la nature incrémentale de l'innovation. Ainsi, cette corrélation entre NPL/brevet et NSCT peut s'interpréter comme le fait que le caractère incrémental des innovations du S&A est non seulement basé sur les innovations technologiques antérieures mais aussi sur les connaissances scientifiques produites. On observe que ce lien est particulièrement fort pour le domaine technologique re-

4. RÉSULTATS

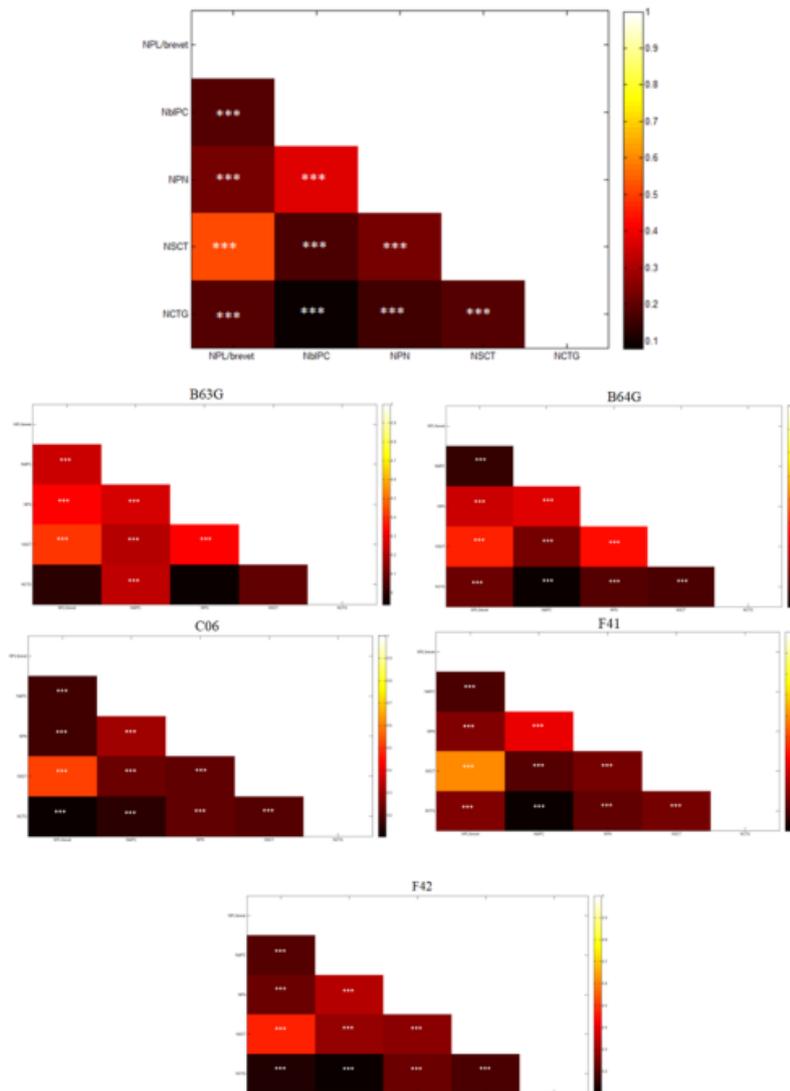


FIGURE 1.5 – Tables de corrélation entre contribution scientifique et qualité des brevets entre 1980 et 2015 par domaines technologiques

groupant les armes (F41).

Si l'on s'intéresse aux résultats par domaines technologiques, nous remarquons que seule la technologie B63G, *i.e.* les installations offensives ou défensives sur les navires, sous-marins et porte-avions, a des coefficients différents de ceux du tableau global. En effet, le coefficient de corrélation entre la NPL/brevet et le NbIPC, la taille de la famille et le nombre de brevets cités est plus haut que pour les autres domaines technologiques (entre 0,3 et 0,4) alors que celui entre la NPL/brevet et le nombre de brevet citant n'est pas significatif. Cette technologie est très spécifique car caractérisée par une forte composante militaire et ainsi qu'un domaine d'action plutôt restreint : le naval.

Ainsi, cette étude des coefficients de corrélation a permis de mettre en évidence un lien linéaire assez faible, bien que significatif, entre la qualité des brevets et la quantité de NPL présente dans ceux-ci. Ceci vient confirmer notre hypothèse théorique visant à défendre que l'émergence de l'économie fondée sur la connaissance se traduit par une augmentation des collaborations entre les producteurs de connaissances scientifiques et industrielles, entraînant une production accrue d'innovation technologique en termes de qualité. De plus, cette tendance à l'augmentation de la NPL met en évidence un changement dans la nature de l'innovation du S&A incrémentale, qui repose de plus en plus sur les connaissances scientifiques.

5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons évalué l'évolution du rôle des connaissances scientifiques pour l'innovation technologique dans le secteur du S&A. Dans un premier temps, nous avons analysé l'évolution de la contribution des connaissances scientifiques aux innovations technologiques du S&A entre 1945 et 2015. Cela a permis de mettre en évidence une augmentation de la NPL présente dans les brevets, avec une émergence de ce type de citation à partir des années 1980. Cette apparition correspond au début de ce que les économistes appellent l'économie fondée sur la connaissance. Ainsi, nous pouvons conclure que le secteur du S&A ne fait pas exception quant aux changements des dynamiques d'innovation observés dans l'ensemble de l'économie.

Deuxièmement, nous avons approfondi ce sujet à travers l'étude de la qualité des brevets et de son lien avec la NPL. Cette analyse a mis en évidence la co-évolution des citations de brevets et de NPL dans l'ensemble du secteur S&A, ainsi que la particularité du domaine technologique B63G, englobant les équipements offensifs et défensifs des navires, les sous-marins et les porte-avions. Cependant, notre analyse est biaisée par la sélection, *a priori*, des domaines technologiques ayant trait à la défense sans traiter de la question de la dualité de telles innovations. Cette étude quantitative de l'innovation met en lumière l'émergence de l'économie fondée sur la connaissance se traduisant par une augmentation des collaborations entre les producteurs de connaissances scientifiques et industrielles. Il conviendrait, à l'avenir, de réaliser une étude similaire en sélectionnant, non pas les domaines technologiques S&A mais les firmes ayant une activité de défense.

6 Annexes

Annexe 1 : Les sous-classes technologiques S&A (OST, 2010)

TABLE 1.1 – Les classes technologiques S&A à 4-digit (OST, 2010)

B63G	<i>Offensive or defensive arrangements on vessels, mine-laying, ...</i>
B64G	<i>Cosmonautics, vehicles or equipment therefor (apparatus for, or methods ...</i>
C06B	<i>Explosive or thermic compositions (blasting f42d), manufacture thereof, ...</i>
C06C	<i>Detonating or priming devices, fuses, chemical lighters, pyrophoric ...</i>
C06D	<i>Means for generating smoke or mist, gas-attack compositions, generation ...</i>
C06F	<i>Matches, manufacture of matches</i>
F41A	<i>Functional features or details common to both small arms and ordnance, ...</i>
F41B	<i>Weapons for projecting missiles without use of explosive or combustible ...</i>
F41C	<i>Small arms, e.g. Pistols, rifles (functional features or details common ...</i>
F41F	<i>Apparatus for launching projectiles or missiles from barrels, e.g</i>
F41G	<i>Weapon sights, aiming (optical aspects thereof g02b)</i>
F41H	<i>Armour, armoured turrets, armoured or armed vehicles, means of attack or ...</i>
F41J	<i>Targets, target ranges, bullet catchers</i>
F42B	<i>Explosive charges, e.g. For blasting, fireworks, ammunition (explosive ...</i>
F42C	<i>Ammunition fuses (blasting cartridge initiators f42b0003100000, chemical ...</i>
F42D	<i>Blasting (fuses, e.g. Fuse cords, c06c0005000000, blasting cartridges ...</i>

1. L'INNOVATION DANS LE SPATIAL-ARMEMENT : CONTRIBUTION SCIENTIFIQUE ET QUALITÉ DES BREVETS

Annexe 2 : Distribution des familles de brevets par premier office de dépôt

TABLE 1.2 – Distribution des familles de brevets par premier office de dépôt

Premier office de dépôt	Nombre de brevets	Premier office de dépôt	Nombre de brevets
Argentine	12	Luxembourg	83
Autriche	159	Monaco	1
Australie	321	Mexique	12
Belgique	120	Pays-Bas (les)	63
Bulgarie	5	Norvège	92
Brésil	29	Nouvelle-Zélande	30
Canada	267	Pérou	4
Suisse	501	Philippines (les)	5
Chili	3	Pologne	10
Chine	84	Portugal	5
Colombie	5	Roumanie	2
Costa Rica	1	Serbie	1
Tchécoslovaquie	21	Russie (la Fédération de)	57
Cuba	1	Arabie saoudite	1
Tchéquie	26	Suède	720
Allemagne	3175	Singapour	26
Danemark	38	Slovénie	1
Eurasian Patent Organization	2	Slovaquie	1
European Patent Office	337	Saint-Marin	1
Espagne	78	Union Soviétique (USSR)	6
Finlande	91	Thaïlande	1
France	1961	Turquie	11
Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord	1244	Taiwan (Province de Chine)	120
Grèce	9	Ukraine	9
Hong Kong	15	états-Unis d'Amérique (les)	38794
Hongrie	11	Uruguay	1
Irlande	5	Venezuela (République bolivarienne du)	2
Israël	367	World Intellectual Property Organization (WIPO)	277
Inde	17	Yugoslavie/Serbie et Montenegro	1
Italie	409	Afrique du Sud	204
Japon	1059	Zimbabwe	1
Corée (la République de)	249		

2

**Les entreprises de défense
sont-elles mieux armées pour
intégrer des connaissances
scientifiques dans leur processus
d'innovation ?**

Résumé

Nous nous demandons, dans ce chapitre, si les firmes de défense, par leur histoire de collaboration avec des acteurs extérieurs, notamment avec le monde académique et leur capacité d'intégrateur de Complex Product System (CoPS) sont plus à même d'utiliser des connaissances scientifiques afin de produire de l'innovation technologique. À cette fin, nous menons une étude empirique sur des données de brevets entre 2010 et 2014. Grâce à un Wilcoxon Rank Sum test, nous montrons que dans la majorité des domaines technologiques, les entreprises de défense utilisent plus de connaissances scientifiques que les firmes civiles pour leur processus d'innovation.

1 Introduction

Ces trente dernières années témoignent d'une hausse substantielle des interactions entre les communautés académiques et industrielles [Libaers, 2009]. Ce constat est l'une des composantes de ce que les économistes appellent l'économie fondée sur la connaissance (*knowledge-based economy*, KBE). Celle-ci place les connaissances et leur diffusion au cœur de l'activité économique et traduit des interactions historiquement inédites entre acteurs privés et publics, entre consommateurs et producteurs, entre monde académique et monde industriel [Etzkowitz & Leydesdorff, 2000, Gibbons *et al.*, 1994, Kline & Rosenberg, 1986]. Alors que dans le secteur civil, l'émergence de ces connexions est datée des années 1980-90, dans la défense, leur naissance est observée au lendemain de la seconde guerre mondiale [Serfati, 2005]. Cet écart de temporalité entre les productions civiles et militaires ainsi que les spécificités technologiques de l'activité défense et l'environnement institutionnel particulier, ont pu entraîner une différence de développement des connaissances nécessaires à la gestion de ces relations complexes en particulier les flux allant du monde académique vers l'industrie.

Ce chapitre propose d'étudier les disparités entre les entreprises civiles et celles de la défense du point de vue de la mobilisation de connaissances scientifiques pour la production d'innovation technologique. En effet, l'intensification de la contribution des connaissances à l'activité économique nous amène à nous demander si les spécificités de la production d'armement sont toujours un élément discriminant en termes de mobilisation de connaissances scientifiques pour innover ou bien si la complexification de l'ensemble des productions technologiques amène à une convergence de l'organisation de l'innovation au sein des firmes civiles et de défense.

La relation entre science et technologie (S&T) suppose une double capacité des organismes innovants à mobiliser des connaissances, à la fois en interne et en externe, et à savoir les articuler pour obtenir une innovation. Cette compétence est approchée par les travaux de Henderson & Clark [1990] qui distinguent les briques de connaissance (*component knowledge*) de la connaissance architecturale (*architectural knowledge*). Les premiers renvoient aux savoirs spécifiquement associés aux briques technologiques contenues dans un système alors que la seconde traite de la fonction permettant de combiner et d'intégrer une variété très grande de technologies lors de la conception d'un système complexe. La connaissance architecturale est indissociable du métier de producteur de *Complex Product System* (CoPS). Il nécessite des compétences technologiques et organisationnelles préalables pour être à même de concevoir et intégrer le système [Davies & Brady, 2000, Davies & Hobday, 2005, Hobday, 2000b, Prencipe, 1997]. Cette double maîtrise des connaissances relevant

1. INTRODUCTION

des composants et de l'architecture d'un système, permet aux entreprises innovantes de concevoir, de tester le système, de faire face aux interactions imprévues entre les composants mais aussi de gérer le développement des briques de connaissances et leurs rythmes disparates.

Cette nécessité d'innovation dans les systèmes de haute-technologie rend crucial la connaissance architecturale. Pour les industriels de la défense, la production de systèmes complexes est la principale activité, et se traduit à travers leur rôle de maître d'œuvre [Mérindol, 2005, Versailles, 2005]. Ce rôle développé par les firmes de défense tend à devenir de plus en plus critique pour la performance des systèmes d'armes [Bellais & Droff, 2016]. Parallèlement, la transition de modèles d'innovation fermée vers des modèles d'innovation ouverte [Chesbrough *et al.* , 2006] a accentué la nécessité pour les firmes d'exploiter non seulement leurs ressources internes mais aussi des facteurs de production, notamment les briques de connaissances d'acteurs extérieurs. Depuis les années 1980, nous constatons une intensification du lien entre S&T dans l'ensemble de l'économie, et en particulier dans certains domaines technologiques tels que l'aérospatial, la biotechnologie ou encore l'énergie [Branstetter & Ogura, 2005, Narin *et al.* , 1987].

Ainsi, nous nous demandons si les spécificités historiques des entreprises de défense en termes de connaissance architecturale, en particulier par la mobilisation de connaissances scientifiques, sont toujours observables dans ce contexte d'intensification des contributions scientifiques à l'innovation technologique globale. Nous étudions cette relation entre les connaissances issues de la recherche académique et celles issues de la recherche industrielle à l'aide des brevets déposés par les plus grandes firmes innovantes mondiales entre 2010 et 2014. Ce chapitre questionne la différence de mobilisation de connaissances scientifiques entre les firmes de défense et civiles, à domaine technologique donné.

Dans une première partie, nous présentons les particularités des entreprises de défense et mettons en avant, dans une seconde partie, l'émergence de la notion de CoPS dans les entreprises innovantes. Dans un troisième temps, nous proposons une méthode originale d'analyse de la mobilisation de connaissances scientifiques pour la production d'innovation grâce à l'objet brevet. Enfin, nous cherchons à observer empiriquement si les spécificités des entreprises de défense en termes de mobilisation des connaissances scientifiques distinguent leur processus d'innovation de celui des firmes civiles.

2 L'innovation militaire et les firmes de défense

Historiquement, le cas de l'activité de défense est particulier à plus d'un titre et de nombreux auteurs ont tenté d'en rendre compte. Certains se sont concentrés sur des analyses de cas d'un pays ou d'une entreprise [Avadikyan & Cohendet, 2005, Moura, 2008, Nagaoka, 2007], d'autres se sont intéressés à l'influence de cette industrie sur l'innovation globale Guichard [2005], James [2009] et d'autres encore ont étudié ce secteur d'un point de vue plus théorique [Blom *et al.*, 2013]. Afin de mettre en évidence cette similarité entre les caractéristiques d'organisation des productions de systèmes complexes et celles des entreprises de défense, nous reprenons les caractéristiques associées aux CoPS et mettons en évidence leurs singularités.

La production d'armement exige une avance technologique sur l'adversaire [Dupuy, 2013] ainsi qu'une adaptabilité des matériels aux situations incertaines. La prédominance des conflits asymétriques [Badie & Vidal, 2016] associée à un contexte international mouvant, mène à des demandes polyvalentes de contrainte par la restriction budgétaire importante des Etats [Droff & Malizard, 2014]. Afin de créer un produit personnalisé et de très haute technologie, les entreprises doivent posséder une base évolutive de connaissances et de compétences scientifiques et technologiques [Dittrich *et al.*, 2006]. Ces solutions intensives en ingénierie, intègrent un grand nombre de technologies et nécessitent un ensemble de compétences complémentaires [Moura, 2008]. Les porte-avions, les sous-marins ou encore les avions de chasse sont composés d'une grande quantité de sous-systèmes, de connaissances technologiques et scientifiques et d'une grande variété de compétences organisationnelles [Versailles, 2005]. Les entreprises fournissant ces demandes sont communément appelées les entreprises de la Base Industrielle et Technologique de Défense (BITD). La composition de cette BITD est un des majeurs questionnement des économistes de la défense [Belin & Guille, 2008, Fauconnet *et al.*, 2018b, Moura, 2012]. Bien qu'il n'y ait pas de réel consensus sur le sujet, une des manière les plus usuelles d'identifier ces entreprises est par leur chiffre d'affaires en vente de matériel de guerre ou leur dépendance à la demande étatique [Dunne, 1995, Moura, 2012, Watkins & Kelley, 2001]. Quel que soit le périmètre choisi pour étudier les entreprises de la BITD, la large majorité des entreprises fournissant la défense ne sont pas des "pure-players", et ont une part importante de leurs ventes sur le marché civil (Airbus, Thales, *etc.*).

Du point de vue technologique, cette diversification de marché peut se considérer de deux manières. Une stratégie duale des entreprises peut être une diversification de marché sans diversification de ses compétences (valorisation de ses compétences en s'adaptant à de nouveaux clients) ou peut être la proposition de nouveaux produits aux mêmes clients (militaires ou civils) en faisant appel à des compétences nouvelles

2. L'INNOVATION MILITAIRE ET LES FIRMES DE DÉFENSE

venant de l'autre sphère complétant celles que l'entreprise possède déjà [Meunier, 2017]. La dualité des marchés implique des spécificités technologiques et peut s'apparenter à la diffusion de connaissances produites dans le domaine de la défense et aux similarités qui peuvent exister entre ces connaissances et celles produites au sein de la sphère civile. Ces caractéristiques des technologies duales posent la question des *spillovers* (*spin-in* et *spin-off*) des technologies entre le civil et le militaire [Acosta *et al.* , 2018, Chinworth, 2000]. Ces deux enjeux influencent fortement les relations des entreprises de défense avec le marché civil et le monde scientifique. D'une part, l'exigence de l'Etat-client de diffusion des innovations militaires dans le civil, justifiant les dépenses publiques intenses dans ce secteur, poussent les *spin-off*. D'autre part, la nécessité d'une innovation de haute technologie dépendant d'un corpus technologique extrêmement divers implique un nombre de plus en plus important de *spin-in*. La dernière facette de la dualité technologique se rapporte au processus même de la R&D. C'est dans la co-conception de la connaissance entre civil et militaire que réside la dualité [Cowan & Foray, 1995]. La dualité est dans ce cas une donnée d'entrée du changement technologique, elle suppose une évolution sinon identique, mais pour le moins compatible des caractéristiques techniques des applications civiles et militaires. Ces briques de connaissances duales que les entreprises de défense doivent pouvoir mobiliser et diffuser sont une des particularités de leur base de connaissances.

Ainsi, les entreprises ayant une activité de défense sont des actrices de l'innovation civile mais avec des exigences supplémentaires. Bien que de nombreuses caractéristiques soient similaires à des entreprises civiles de haute technologie, la fourniture d'armes impose des contraintes et des conditions sur l'environnement de développement, le système dans lequel elles seront intégrées. Si l'on se concentre sur les connaissances technologiques, les entreprises de défense doivent maintenir à long terme des connaissances orphelines, *i.e.* des connaissances employées par un seul type de projet. À titre d'illustration, Naval Group (ex-DNCS) identifie plusieurs de ces compétences. Pour la construction de sous-marins, il définit trente compétences rares, dont douze orphelines (navigation inertielle, sûreté nucléaire des armes, sûretés réciproques des armes, pyrotechnie, *etc.*) [Bridey *et al.* , 2016]. À ces connaissances orphelines, s'ajoutent les connaissances obsolètes. Les nouveaux systèmes d'armes doivent s'intégrer dans une architecture de systèmes qui ne fonctionne pas forcément selon les dernières technologies, en particulier en termes de communications. Comme Maier [1998] le met en évidence, les systèmes militaires modernes sont composés d'un système éclectique de communication. Du fait de la longue durée de vie des systèmes militaires, les anciens systèmes de communications doivent être maintenus longtemps après que la technologie soit devenue obsolète.

2. LES ENTREPRISES DE DÉFENSE SONT-ELLES MIEUX ARMÉES POUR INTÉGRER DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES DANS LEUR PROCESSUS D'INNOVATION?

La longue durée de vie des systèmes associée au long temps de développement des produits impliquent une gestion solide des bases de connaissances pour le maintien des connaissances mais aussi savoir les articuler avec les nouvelles connaissances émergentes. [Mowery \[2012\]](#) appuie ce point en montrant qu'à la différence de la R&D civiles, la R&D orientée défense cherche à développer des solutions techniques à des problèmes complexes, nécessitant souvent des années, voire des décennies de travail pour produire *in fine* un matériel militaire. Prenons l'exemple des avions de combat, le lancement du projet " Rafale " a débuté dans les années 1970 afin de remplacer la génération précédente, le Mirage 2000, pour aboutir à une première mise en service en 2002 pour la Marine Nationale et en 2006 dans l'Armée de l'air.

[Sempere \[2015\]](#) définit l'innovation militaire comme l'action ou le processus d'introduire de nouvelles idées essentielles à l'accomplissement des missions de défense, directement définie par l'Etat. Les systèmes militaires s'inscrivent dans la relation étroite entre l'Etat-client et la firme développant les systèmes et correspondent à la vision des CoPS de Hobday qui insiste sur la notion de personnalisation des projets en fonction du client. Or, la production de systèmes d'armement nécessite la firme, intégrateur de systèmes et maître d'œuvre, et l'Etat, maître d'ouvrage et client [[Lazaric et al. , 2009](#)]. Les firmes de défense fournissent l'Etat-client et construisent les nouveaux systèmes d'armes en étroite relation avec lui. En France, ce rôle étatique est assuré par la DGA, aux Etats-Unis, par la DARPA.

Pour s'adapter à ces demandes spécifiques, la firme agit dans un fort contexte de collaboration entre acteurs hétérogènes. Le réseau des entreprises de défense est multiple et ses liens sont divers. À l'échelle concurrentielle, la firme de défense se retrouve dans des positions très différentes avec une forte concurrence sur le marché civil et à l'international d'une part, et un monopole national de l'autre. De plus, [Amin & Cohendet \[2004\]](#) insistent sur la nécessité de prendre en considération les diverses communautés d'acteurs afin de structurer, développer et maintenir les connaissances de défense. Ainsi, pour innover, les industriels doivent gérer l'échange des connaissances entre des acteurs hétérogènes [[Avadikyan & Cohendet, 2005](#)] à l'échelle de leur longue chaîne de sous-traitance ainsi que de leurs relations avec la recherche scientifique et académique.

La longueur de cette chaîne de sous-traitance est mise en avant par [Belin & Guille \[2008\]](#), notamment en termes de R&D dans la production de défense. Ces constatations sont confortés par [[Frigant & Moura, 2004](#)] sur les bassins de sous-traitance ayant une activité de défense. Ainsi, l'organisation autour de projets génère un nombre important d'implication en termes de gestion des connaissances et des compétences [[Marshall & Brady, 2001](#)] à la fois en interne mais aussi en externe. Cela concourt au

3. L'INNOVATION DANS LES SYSTÈMES COMPLEXES

maintien et à l'amélioration constante de la base de connaissances de la firme.

Cette chaîne de sous-traitance particulière est complétée par un large réseau de collaboration avec le monde scientifique pour les entreprises de défense. Les relations entre science, technologie et défense prennent un essor particulier à la fin de la seconde guerre mondiale [Serfati, 2005]. Cet auteur montre, à l'aide de l'analyse du Projet Manhattan, l'importance prise par la contribution des connaissances scientifiques à l'innovation de défense. Ce projet, débuté en 1942, réunissant plus de 150 000 personnes et 26 milliards de dollars, avait pour objectif la mise au point la première bombe nucléaire. Il a réuni à la fois des industriels, des militaires et des scientifiques de trois pays (USA, Canada, Royaume-Uni). Plus récemment, la création en 2006 du laboratoire AIRSYS, par une union de partenaires du monde industriel (Airbus) et académique (CNRS, Université de Toulouse 1 et 3) et ayant pour objectif une réflexion commune dans le domaine des systèmes d'aviation illustre parfaitement les relations entre science et industrie de défense à travers le rôle d'intégrateur des firmes de défense. Historiquement, les interactions systématiques entre le marché et la science remontent à la moitié du 19^{ème} siècle et sont appelées la "révolution techno-scientifique" [Braverman, 1974]. Elle se définit comme la transformation de la science elle-même en capital [Noble, 1979].

Ainsi les programmes militaires sont multifonctionnels et pluridisciplinaires et nécessitent de manipuler un large éventail de technologies et de connaissances. Les projets tendent à être composés d'une diversité de fonctions (*i.e.* planification, design, management) et de disciplines techniques (électronique, mécanique, logiciel, *etc.*). L'activité de défense, dont les caractéristiques de haute technologie, de systèmes complexes et le rôle de d'intégrateur de systèmes de ses firmes, est une production où la collaboration entre science et technologie se fait de longue date. Nous nous demandons dans ce chapitre, si ces particularités ont encore une influence sur la manière dont ses productions complexes sont gérées, *i.e.* une compétence en termes de connaissance architecturale particulière dans un contexte d'intensification du rôle des connaissances sur l'innovation et l'économie.

3 L'innovation dans les systèmes complexes

Dans le contexte de l'économie fondée sur la connaissance (KBE), les connaissances et leurs organisations au sein des entreprises sont l'enjeu crucial de leur innovation et de leur performance économique pour l'ensemble des entreprises innovantes et non uniquement pour l'activité de défense. Ces nouvelles sources d'échanges et de profits ont amené les économistes à s'intéresser plus intensément aux processus de

2. LES ENTREPRISES DE DÉFENSE SONT-ELLES MIEUX ARMÉES POUR INTÉGRER DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES DANS LEUR PROCESSUS D'INNOVATION?

création, stockage et diffusion des informations et des connaissances dans la société. Selon Foray & Lundvall [1998], l'essor de l'économie fondée sur la connaissance résultent de la rencontre de deux facteurs : la montée du capital immatériel et la révolution des technologies de l'information et de la communication. Ce rôle majeur des connaissances, notamment scientifiques, est daté des années 1980 alors qu'il semble prédominant pour les activités de défense depuis la fin de la seconde guerre mondiale. Dans ce contexte, nous nous demandons si les entreprises de défense gardent encore aujourd'hui une maîtrise accrue de ces connaissances ou bien si les entreprises civiles les égalent aujourd'hui. Nous nous concentrons sur l'innovation technologique, définie dans le manuel d'Oslo, [OCDE, 2005, p.37], comme “ *les produits et procédés technologiquement nouveaux ainsi que les améliorations technologiques importants de produits et de procédés qui ont été accomplis* ”.

L'innovation est nécessaire aux entreprises et devient, dans certains secteurs, le cœur de la concurrence [Lenfle & Midler, 2002]. Ce changement technologique perpétuel se traduit par une combinaison multilatérale, pluridisciplinaire, et mouvante des recherches scientifiques et technologiques et des méthodes d'invention et d'organisation. Afin d'étudier ces nouvelles voies d'innovation, nous mobilisons le concept de base de connaissances des firmes [Krafft *et al.* , 2011, Nesta & Saviotti, 2005]. Cette base de connaissances est étudiée par les économistes à l'échelle des connaissances [Branstetter & Ogura, 2005] mais aussi sous l'angle de l'organisation de celle-ci au sein de la firme [Cockburn & Henderson, 1998, Davies & Hobday, 2005, Henderson & Clark, 1990].

Une de ces approches introduit le concept de *Complex Product System* (CoPS) et le définit comme une unité d'analyse de l'innovation, du management et de la concurrence [Hobday, 1998, 2000a]. Les dynamiques d'innovation dans les CoPS diffèrent de la production de masse de marchandises [Hobday, 1998]. Les CoPS sont caractérisés par un haut degré de personnalisation, des biens intensifs en ingénierie qui requièrent une coopération entre acteurs. Hobday [2000b] identifie un ensemble d'indicateurs critiques caractérisant les CoPS. Ils incluent, entre autre, des ensembles de sous-systèmes, et une hiérarchie permettant l'intégration de ceux-ci à un système plus global, un certain niveau de nouveauté technologique ainsi qu'une variété de connaissances incluses dans ces systèmes. De plus, l'implication de l'utilisateur final dans le processus d'innovation est cruciale et les producteurs, régulateurs et professionnels travaillent ensemble pour déterminer avec le demandeur le design de la nouvelle production, les méthodes de production et les innovations post-livraison. Ce concept de CoPS est suivie d'une large gamme d'études traitant d'une diversité de problématiques allant des changements de la gestion de l'activité d'ingénieur [Li & Moon, 2012] à l'émergence d'innovation de rupture [Dedehayir *et al.* , 2014] en pas-

3. L'INNOVATION DANS LES SYSTÈMES COMPLEXES

sant par l'évolution des industries dites " matures " telles que les médias imprimés [Hardstone, 2004].

Que ce soit aux Etats-Unis ou en Europe, le développement des CoPS apparaît concomitant à l'émergence de firmes occupant le rôle d'intégrateur de système. Ce terme désigne l'industriel responsable de la conception de l'architecture technologique du système. Cette compétence peut être analysée grâce à la distinction faite par Henderson & Clark [1990] entre les briques de connaissances (*component knowledge*) et la connaissance architecturale (*architectural knowledge*). Les briques de connaissances désignent les connaissances spécifiquement associées aux savoirs technologiques développés par exemple par des organismes externes, tels que les sous-traitants, et qui sont intégrés dans le système. La connaissance architecturale renvoie à la capacité de combiner et intégrer une variété très grande de connaissances, notamment technologiques et scientifiques, lors de la conception d'un système complexe. Cette connaissance est indissociable du métier d'intégrateur de systèmes et nécessite des compétences technologiques et organisationnelles préalables pour pouvoir piloter la production du système [Davies & Brady, 2000, Hobday *et al.*, 2005, Hobday, 2000b, Prencipe, 1997]. Prencipe [2000] illustre ce propos en analysant l'industrie de l'aéronautique. Il montre que toute décision majeure concernant la connaissance architecturale nécessite de maîtriser les briques de connaissances et de comprendre l'ensemble des incidences possibles de l'architecture du système sur le développement des différentes technologies qui composent le programme. Il doit être apte à choisir et faire évoluer les différentes options technologiques qui se présentent au gré des innovations, en plus de la gestion de la structure globale du système.

Les CoPS sont des systèmes, des réseaux, des infrastructures, de l'ingénierie complexe et des services qui sont intensifs en technologies et relativement coûteux. Davies & Hobday [2005] introduisent trois capacités nécessaires pour produire des CoPS, liées à la connaissance architecturale :

- La capacité stratégique : l'aptitude à allouer les ressources et mettre en œuvre des plans de long-terme afin de maintenir, renouveler, et étendre les capacités organisationnelles.
- La capacité fonctionnelle : structurée autour des aspects technologiques comprenant le design, l'ingénierie, et l'interaction entre les différentes connaissances.
- La capacité de gestion de projet : capacité de management des relations avec les partenaires dans le design et à la mise en œuvre d'un CoPS à travers le cycle de vie d'un projet [Davies & Brady, 2000].

2. LES ENTREPRISES DE DÉFENSE SONT-ELLES MIEUX ARMÉES POUR INTÉGRER DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES DANS LEUR PROCESSUS D'INNOVATION?

La connaissance architecturale est la capacité des firmes à acquérir, utiliser et maintenir des briques de connaissances. Or, les principales briques de connaissances contribuant à l'innovation technologique des firmes sont des connaissances technologiques et scientifiques qui jouent un rôle en amont de la R&D des entreprises mais aussi dans l'ensemble des étapes de leur production d'innovation. Que ce soit dans l'industrie des technologies de l'information et des communications, dans l'aérospatial [Paoli & Prencipe, 1990], dans la construction [Gann & Salter, 2000] ou encore dans l'aviation [Woodruff *et al.*, 2013], cette vision de l'organisation des connaissances se retrouve. Nous avons précédemment identifié ces caractéristiques, avec des particularités propres, dans les entreprises de défense.

4 Méthode

La sollicitation d'un "nécessaire rapprochement entre science et défense" de [Bellais, 2005, p.5] propose en fait de conserver la configuration singulière des relations entre la science et la défense qui a connu son expansion dans les années d'après-guerre [Serfati, 2005]. C'est pourquoi, nous nous demandons si les firmes de défense, du fait de leurs particularités, ont maintenu une capacité à exploiter les complémentarités entre S&T différente de celle des entreprises civiles. Nous proposons d'étudier la mobilisation de connaissances scientifiques pour l'innovation technologique à l'aide des brevets déposés par les plus grandes firmes mondiales entre 2010 et 2014. Nous arguons qu'une des faces de la connaissance architecturale maîtrisée par les entreprises de défense peut être capturée par une de ses capacités : la variété des connaissances scientifiques inclus dans les productions.

L'évaluation de l'influence de la recherche scientifique sur l'innovation technologique est un des champs d'analyse les plus difficiles à traiter empiriquement [Coombs & Hull, 1998, Salter & Martin, 2001]. Bien qu'il existe différentes approches du lien S&T, un consensus émerge quant à la méthode d'analyse empirique à utiliser : la bibliométrie. C'est une étude quantitative des aspects du processus de recherche scientifique comme un système de communication [Mingers & Leydesdorff, 2015], capable de fournir des mesures du lien entre S&T aux échelles *micro*, *meso* et *macro*-économiques. Souvent utilisée pour l'étude des articles scientifiques, cette méthode permet aussi l'analyse des voies de transmission des connaissances entre la recherche scientifique et la recherche industrielle via l'étude des brevets. Narin *et al.* [1987] étudie les flux de connaissances entre S&T en étudiant les références à des articles scientifiques dans les brevets (*non-patent literature*, ci-après NPL). Ils utilisent cet indicateur comme une des caractéristiques des capacités technologiques des firmes et le lie à leurs performances économiques, dans le domaine pharmaceutique. Nous proposons d'étendre cette vision pour caractériser la connaissance archi-

tecturale des firmes.

Dès les années 1980, [Carpenter *et al.* \[1981\]](#) mettent en lumière l'intérêt de l'analyse de la NPL pour étudier le processus d'innovation. Ils montrent la dépendance de l'évolution technologique à la recherche scientifique. Cette contribution des connaissances scientifiques à l'innovation technologique se fait via trois canaux :

- En lui permettant d'éviter des expériences non pertinentes et de se concentrer sur les voies de recherche pertinentes [[Sorenson & Fleming, 2004](#)].
- En augmentant et améliorant la capacité d'absorption interne et externe des nouvelles connaissances par la firme [[Cockburn & Henderson, 1998](#)].
- En améliorant la qualité et la valeur économique des technologies produites par les entreprises [[Arora & Gambardella, 1994](#)].

Selon [Tijssen \[2004\]](#), l'analyse de la NPL représente la meilleure approximation des interactions entre S&T et de la créativité humaine permettant l'innovation industrielle. Or, une des caractéristiques de la connaissance architecturale liée à la production de systèmes complexes est la maîtrise et l'incorporation des connaissances de natures diverses dans leurs programmes innovants, notamment à travers des collaborations avec des acteurs extérieurs. Les connaissances scientifiques incorporées dans les innovations technologiques représentent une approximation de ces compétences. Nous utilisons cette méthode pour comparer l'innovation des firmes de défense et civiles en termes de mobilisation de connaissances scientifiques, traduisant leur connaissance architecturale et modélisant la complexité des innovations de défense. Dans cette étude, les brevets sont utilisés comme *proxy* de l'innovation technologique [[Garfield, 1979](#)].

5 Données

Données de brevets

Les données utilisées pour réaliser cette étude empirique sont les données issues des brevets. Nous nous concentrons, dans ce chapitre, sur les contributions des connaissances scientifiques aux brevets des firmes afin de percevoir la particularité des CoPS en termes de connaissance architecturale. Cet outil permet questionner l'influence des spécificités de l'activité de défense sur les capacités de gestion des connaissances nécessaires à la production de systèmes complexes. Plus précisément, nous mobilisons la littérature issue de production scientifique contribuant aux innovations technologiques contenues dans les brevets, à l'image des travaux de Narin présentés précédemment. Notons que la mobilisation de connaissances scientifiques n'est pas uniforme dans l'ensemble des classes technologiques existantes. [Branstetter](#)

2. LES ENTREPRISES DE DÉFENSE SONT-ELLES MIEUX ARMÉES POUR INTÉGRER DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES DANS LEUR PROCESSUS D'INNOVATION?

& Ogura [2005] montrent que la citation de NPL varie considérablement d'une classe technologique à l'autre et se concentre particulièrement dans ce qu'ils appellent le "bio-nexus". Afin de prendre en compte cette hétérogénéité entre les technologies, nous comparons la mobilisation de connaissances scientifiques dans les brevets, non pas uniquement en distinguant firmes de défense et firmes civiles mais aussi en décomposant par grands domaines technologiques.

Notre indicateur de contribution des connaissances scientifiques à l'innovation technologique des firmes, notée $NPL_{i,j,t}$, est la quantité moyenne de citations de littérature scientifique dans la classe technologique j (IPC 4-digit), de l'entreprise i à la date t . La classification des technologies contenues dans les brevets utilisée est la classification internationale des brevets éditée par le WIPO unanimement utilisée par les offices de dépôts ainsi que par les chercheurs. Nous nous demandons si les entreprises de défense, du fait de leur relation particulière avec l'Etat-client, les interactions avec un grand nombre d'acteurs, en particulier scientifiques, ont une capacité d'articulation des connaissances technologiques et scientifiques différente de celle des entreprises civiles. Si ces spécificités ont des conséquences sur la connaissance architecturale des firmes, alors cet indicateur devrait être plus important pour les firmes de défense quelle que soit la classe technologique étudiée.

Données de firmes

Pour cette étude, nous mobilisons les deux bases de données présentées dans le [Chapitre préliminaire](#). Celles-ci complémentaires grâce à la collaboration entre l'*European Commission's Joint Research Centre* (JRC) et l'OCDE : i) les données de firmes ; ii) les données de brevets. La première construit et consolide le panel des 2000 plus grands groupes mondiaux et leurs 500 000 filiales en termes de dépenses en R&D (IPTS scoreboard) et la seconde répertorie le portefeuille brevets de ces groupes [JRC/OECD, 2015, 2017]. Les données de citation de littérature scientifique sont extraites de la base PATSTAT maintenue par l'Office Européen des Brevets (OEB) sur la période 2010-2014.

Nous sélectionnons les brevets à travers trois filtres. Le premier est qu'il soit déposé par l'une des 2000 firmes de notre panel. Le deuxième vise à ne conserver que les brevets déposés et accordés (*granted*), ce qui traduit la nature effectivement innovante de la technologie considérée. Enfin, le dernier filtre est la date. Nous retenons la première date de dépôt afin de se situer au plus proche de la date d'invention. Ainsi, nous trouvons que parmi les firmes composant la base de données entre 2010 et 2014, 1876 ont déposé 2 100 858 brevets qui ont été accordés entre 2010 et 2014 et que ceux-ci sont regroupés en 1 111 692 familles de brevets. Les inventions peuvent

5. DONNÉES

faire l'objet de plusieurs demandes de brevets auprès de différents offices nationaux ou régionaux des brevets ou auprès du WIPO. Celui-ci est l'instance mondiale pour les services, les politiques, l'information et la coopération en matière de propriété intellectuelle. C'est pourquoi l'analyse en termes de famille de brevets est plus pertinente lorsque l'on s'intéresse à l'innovation technologique. La famille de brevets permet de capter une innovation effective et non simplement la reproduction d'une innovation dans un contexte national ou régional. Nous utilisons la définition de familles INPADOC¹. Toutes les firmes de notre échantillon ne déposent pas de brevets et cela peut s'expliquer par deux éléments : i) le choix du secret industriel comme protection de la propriété intellectuelle ; ii) par le fait que le domaine d'activité des firmes ne fait pas partie des domaines couverts par les brevets, comme, par exemple, les entreprises innovant dans des secteurs où le brevet n'est pas la voie principale de protection et de valorisation des inventions comme le logiciel.

Notre objectif étant de tester les différences de mobilisation des connaissances scientifiques dans la production d'innovation technologique entre les firmes civiles et celles de défense, il est nécessaire d'identifier précisément ces dernières. Nous utilisons le top 100 mondial des firmes de la défense du SIPRI (Stockholm International Peace Research Institute) sur la période 2010-2014. Nous recoupons cette liste de firme avec celle de l'IPTS scoreboard et trouvons que parmi les 2000 firmes considérées, 60 ont une production de défense et déposent des brevets ([Annexe A](#)). Ce croisement de bases de données permet de construire une variable indicatrice, notée Def_i , qui prend la valeur de 1 si la firme se trouve au moins une fois dans le top 100 du SIPRI entre 2010 et 2014 et 0 sinon. Les firmes de défense sont donc définies comme des entreprises faisant un chiffre d'affaires défense significatif durant au moins l'une des années de la période étudiée. Nous ne retenons aussi que les firmes "groupe" et non les filiales afin d'avoir une adéquation valide entre les firmes identifiées dans le top 100 du SIPRI et celle de l'IPTS scoreboard. Cette identification par le chiffre d'affaires de défense des firmes est une des *proxys* les plus courantes pour l'activité de défense [[Brauer, 2007](#), [Dunne, 1995](#), [Meunier, 2019](#)]. Malgré l'impossibilité d'une analyse sur longue période à partir de ces données, l'étude sur 2010-2014 permet d'observer l'influence actuelle de ces compétences de production de CoPS et d'utilisation de connaissances architecturales pour l'innovation. En effet, nous supposons que ces capacités développées tout au long de l'histoire des différentes firmes se traduisent dans leur manière d'innover aujourd'hui.

1. Une famille de brevets INPADOC englobe tous les documents couvrant une même technologie. Les membres d'une famille de brevets élargis auront au moins une priorité en commun avec au moins un autre membre, directement ou indirectement.

6 Résultats et discussion

Dans cette partie, nous présentons un test d'égalité des distributions entre les firmes civiles et de défense en termes d'utilisation moyenne de NPL par classe technologique. Notre variable $NPL_{i,j,t}$ n'étant pas normalement distribuée, nous ne pouvons pas utiliser le *dependent t-test*. Ainsi nous utilisons un test non-paramétrique : le test de Wilcoxon Rank Sum [Wilcoxon, 1945]². Grâce à cette approche empirique, nous cherchons à questionner les différences de mobilisations de connaissances scientifiques entre les entreprises civiles et celles de défense et à travers cet indicateur des différences en termes de connaissance architecturale.

Pour réaliser ces tests et rendre les résultats plus lisibles, nous regroupons les classes technologiques (IPC 4-digit) par grands domaines technologiques, au nombre de 30, comme définis par Schmoch [2008]. Ces domaines regroupent les technologies par les grands usages industriels. Nous proposons aussi, en Annexe B, les résultats de ces mêmes estimations mais en regroupant les classes technologiques par fonctionnement de la technologie plutôt que par usage final en regroupant les technologies par les classes technologiques à 3-digit et confortent les résultats présentés dans la table 2.1.

La table 2.1 présente les résultats du Wilcoxon Rank Sum test. La première colonne regroupe les technologies 4-digit distribuées en 30 domaines technologiques. La deuxième colonne est la variable def_i prenant la valeur de 0 si l'entreprise est civile, *i.e.* si elle n'est pas dans le top 100 SIPRI, et la valeur 1 si l'entreprise est de défense, *i.e.* si l'entreprise est dans le top 100 SIPRI. Les colonnes 3 à 6 traduisent les résultats du Wilcoxon Rank Sum test, *i.e.* les comparaisons des distributions entre la NPL des entreprises de défense et civiles. Celle-ci se fait grâce à un calcul des scores associés à chaque groupe (colonne "Somme des scores") et teste la validité de l'hypothèse nulle de similarité des distributions (colonne "Scores espérés sous H0"). Si la différence est significative, alors l'hypothèse alternative est validée (colonne "Similarité des distributions") et ainsi les distributions de la NPL entre fonction de nos deux groupes de firmes ne sont pas similaires. Enfin, sont présentées dans les dernières colonnes des statistiques descriptives facilitant la lecture des résultats. La table 2.1 nous amène à trois constatations principales.

2. Ce test peut se résumer comme suit : supposons que l'on mélange les deux ensembles d'observations (X et Y), et que l'on classe par ordre croissant les valeurs de l'échantillon ainsi créé alors, si H0 est vraie, nous devrions observer une alternance régulière tout au long du support de l'échantillon joint des valeurs prises dans X d'une part et dans Y d'autre part. À l'inverse, l'apparition de zones de concentration d'observations issues de X ou de Y est défavorable à l'hypothèse nulle.

6. RÉSULTATS ET DISCUSSION

TABLE 2.1 – Wilcoxon Rank Sum test

Variabes	N	Défense	Similarité des distributions	Somme des scores	Scores espérés sous H0	Moyenne	Médiane
Domaines technologiques où les entreprises de défense mobilisent significativement plus de connaissances scientifiques que les entreprises civiles.							
Composants électriques	9668	0	<i>Non***</i>	48978011	49785366	0, 578	0, 083
	630	1		4051540	3244185	0, 868	0, 307
Audiovisuel	2767	0	<i>Non***</i>	4027354	4071640, 5	0, 912	0, 125
	175	1		301799	257512, 5	0, 715	0, 333
Télécommunications	5635	0	<i>Non***</i>	16784246, 5	17065597, 5	1, 351	0, 25
	421	1		1556349, 5	1274998, 5	1, 439	0, 708
Informatique	4212	0	<i>Non***</i>	9285223, 5	9407502	1, 666	0, 435
	254	1		689587, 5	567309	1, 659	0, 899
Semi-conducteurs	1119	0	<i>Non***</i>	658171	668043	0, 88	0, 184
	74	1		54050	44178	0, 983	0, 5
Optique	2393	0	<i>Non***</i>	3012078	3054664, 5	0, 627	0, 129
	159	1		245550	202963, 5	1, 324	0, 429
Analyse-Mesure-Contrôle	10232	0	<i>Non***</i>	55514569	56424364	0, 784	0, 143
	796	1		5299337	4389542	0, 89	0, 384
Ingénierie médicale	2367	0	<i>Non***</i>	2915494	2933896, 5	1, 162	0, 125
	111	1		155987	137584, 5	3, 397	0, 352
Techniques nucléaires	749	0	<i>Non***</i>	308328	317576	0, 934	0, 167
	98	1		50800	41552	1, 605	0, 419
Chimie moléculaire	2674	0	<i>Non***</i>	3710394	3760981	0, 792	0, 238
	138	1		244684	194097	1, 231	0, 653
Chimie de base	3009	0	<i>Non*</i>	4750170	4769265	0, 913	0, 252
	160	1		272695	253600	1, 156	0, 366
Traitement surface	3310	0	<i>Non***</i>	5758632	5822290	0, 644	0, 137
	207	1		427771	364113	0, 781	0, 3
Matériaux - Métallurgie	3632	0	<i>Non***</i>	6982785, 5	7064240	0, 778	0, 199
	257	1		581319, 5	499865	0, 899	0, 382
Procédés techniques	3839	0	<i>Non*</i>	7833414, 5	7864191, 5	0, 633	0, 083
	257	1		557241, 5	526464, 5	0, 627	0, 129
Manutention - Imprimerie	4038	0	<i>Non***</i>	8609664	8705928	0, 342	0
	273	1		684852	588588	0, 671	0, 091
Travail des matériaux	4970	0	<i>Non***</i>	13050775, 5	13254990	0, 502	0, 079
	363	1		1172335, 5	968121	0, 595	0, 286
Environnement - Pollution	1050	0	<i>Non**</i>	583876	589050	0, 478	0, 021
	71	1		45005	39831	0, 679	0, 143
Machines - Outils	4419	0	<i>Non***</i>	10381320	10592343	0, 327	0
	374	1		1107501	896478	0, 585	0, 217
Moteurs - Pompes - Turbines	3387	0	<i>Non***</i>	6298150	6552151, 5	0, 316	0, 008
	481	1		1184496	930494, 5	0, 579	0, 227
Procédés thermiques	3207	0	<i>Non***</i>	5486848, 5	5628285	0, 289	0
	302	1		671446, 5	530010	0, 779	0, 159
Composants mécaniques	4720	0	<i>Non***</i>	11872957	12144560	0, 388	0, 013
	425	1		1365128	1093525	0, 481	0, 222
Transport	4721	0	<i>Non***</i>	12261897, 5	12706571, 5	0, 298	0
	661	1		2223755, 5	1779081, 5	0, 559	0
Spatial-Armement	317	0	<i>Non***</i>	81808, 5	92247	0, 525	0
	264	1		87262, 5	76824	0, 727	0, 251
Consommation des ménages	4824	0	<i>Non***</i>	12427261, 5	12539988	0, 491	0
	374	1		1084939, 5	972213	0, 413	0, 11
BTP	2536	0	<i>Non***</i>	7410957, 5	7496055	0, 337	0
	326	1		751862, 5	666765	0, 325	0, 054
Domaines technologiques où les entreprises civiles mobilisent significativement plus de connaissances scientifiques que les entreprises de défense.							
Produits agricoles et alimentaires	1140	0	<i>Non**</i>	666577	663480	1, 431	0, 4
	23	1		10289	13386	2, 075	0
Domaines technologiques où les entreprises de défense et les entreprises civiles ne mobilisent pas différemment les connaissances scientifiques.							
Chimie organique	1485	0	<i>Oui</i>	1142198	1138995	3, 703	0, 168
	48	1		33613	36816	2, 103	0, 934
Biotechnologies	1891	0	<i>Oui</i>	1854859, 5	1855071	3, 523	1, 333
	70	1		68881, 5	68670	3, 461	1, 412
Pharmacie - Cosmétiques	1233	0	<i>Oui</i>	783212	781722	3, 562	1, 164
	34	1		20066	21556	3, 443	1, 108
Appareils agricoles et alimentation	981	0	<i>Oui</i>	518332, 5	518949	0, 848	0
	76	1		40820, 5	40204	0, 689	0, 025

avec *, **, *** notant respectivement une p-value sous le seuil de 10%, 5%, and 1%.

2. LES ENTREPRISES DE DÉFENSE SONT-ELLES MIEUX ARMÉES POUR INTÉGRER DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES DANS LEUR PROCESSUS D'INNOVATION?

La première est que les firmes de défense mobilisent significativement plus de NPL que les firmes civiles dans 25 des 30 domaines technologiques. Cette différence est significative à 1% pour la majorité des domaines technologiques à l'exception de deux. Les procédés techniques et la chimie moléculaire ne présentent qu'une différence significative à 10%. De plus, les écarts entre les moyennes du civil et de la défense sont particulièrement importants pour trois domaines : l'optique, les techniques nucléaires, l'ingénierie médicale ; des technologies particulièrement critiques pour la défense. L'optique, par exemple, est une des voies privilégiées pour l'innovation militaire à travers les avancées dans le domaine des lasers. À titre d'illustration, nous pouvons citer le projet américain de la munition EXACTO, destinée à équiper un fusil de haute précision pour les tireurs d'élite et capable d'utiliser un système de guidage optique en temps réel pour trouver et neutraliser sa cible. Cette technologie doit accroître les portées des systèmes de tir de précisions, de jour comme de nuit. Ainsi, afin de conserver leurs avancées technologiques à la fois sur le marché concurrentiel entre firmes mais aussi entre pays, et sous l'impulsion des Etats, les entreprises de défense sont toujours poussées à collaborer avec des producteurs de connaissances scientifiques et d'intégrer celles-ci dans leur processus d'innovation technologique.

De plus, les télécommunications, l'informatique et l'ingénierie médicale sont les plus intensifs en NPL. Cela s'explique aisément par l'importance des innovations de ces domaines pour l'ensemble de l'économie ainsi que par la diversité de disciplines scientifiques qu'ils mobilisent. Les télécommunications demandent des compétences en physique afin d'appréhender les questions de transmission et de diffusion des ondes et des signaux optiques, mais aussi des connaissances mathématiques. À l'inverse, les domaines technologiques les moins intensifs en NPL sont tous des domaines où les firmes de défense mobilisent plus de connaissances scientifiques et sont le bâtiment et des travaux publics, les composants mécaniques et la consommation des ménages. Ainsi, dans les domaines technologiques à faible intensité technologique, les innovations des firmes de défense sont plus intensives en connaissances scientifiques et traduisent leur modèle d'innovation quel que soit la technologie concernée.

Enfin, parmi ces domaines où les firmes de défense mobilisent plus de NPL, nous observons des différences en termes de nombre d'observations, *i.e.* en termes d'occurrence des technologies dans les brevets des firmes. Il existe évidemment un écart entre le nombre d'observations de nos deux groupes d'entreprises à l'avantage des firmes civiles. Rappelons que nous considérons le nombre moyen de NPL par classe technologique (IPC 4-digit), par entreprise et par année. Le nombre d'entreprises civiles étant bien plus important que celui d'entreprises de défense dans notre échantillon (60 firmes de défense contre 1816 firmes civiles), il est ainsi naturel d'avoir une plus grande quantité d'observations dans le civil. Cependant, ces écarts d'observa-

6. RÉSULTATS ET DISCUSSION

tions n'ont pas la même ampleur selon le domaine technologique considéré. Il est très important dans le domaine des composants électroniques alors qu'il est minimal pour les techniques nucléaires et de spatial-armement. Ce dernier constat est cohérent car ces technologies sont spécifiquement liées aux activités des entreprises de défense, et comprennent notamment, les armes et munitions, les équipements défensifs et offensifs des navires ou encore les explosifs.

Il existe deux autres domaines technologiques où les entreprises de défense mobilisent plus de NPL que les firmes civiles mais où la quantité d'innovation dans ces domaines est faible dans les entreprises de défense. Ceux-ci sont l'environnement-pollution et le semi-conducteur. Autant le premier n'est pas un cœur de métier pour les entreprises de défense autant le second est une technologie clé pour l'ensemble des systèmes d'armes produit par les entreprises de défense. Ce domaine technologique trouve son origine dans les recherches d'après-guerre sur les matériels militaires allemands et américains [Licoppe, 1996]. Il est ainsi surprenant que les entreprises de défense n'innovent pas intensément dans ce domaine. Etant donné que les semi-conducteurs sont présents dans la grande majorité des systèmes de défense, il est possible que les flux d'innovations entre le civil et la défense se soient inversés. Avec la diffusion de cette technologie dans l'ensemble de l'économie, les autorités et la logique économique ont poussé à un *spin-off* des technologies développées dans la défense vers le secteur civil [Ruttan, 2005]. Cette faible intensité d'innovation dans les semi-conducteurs des entreprises de défense peut traduire un inversement de cette tendance. Les entreprises de défense se reposent sur les innovations du secteur civil et ainsi que l'on observe maintenant des *spin-in* dans ce domaine et ce pour plusieurs raisons. D'une part, la volonté des autorités de diversifier les autorités ont voulu diversifier l'offre de semi-conducteurs pour éviter la dépendance à un monopole [Ruttan, 2005]. D'autre part, l'activité des semi-conducteurs étant une des technologies centrales des nouvelles technologies de l'information et de la communication, il n'est pas étonnant de trouver une forte intensité de l'innovation civile dans ce domaine.

Le deuxième résultat de cette étude est que les firmes civiles mobilisent significativement plus de NPL dans un seul domaine technologique, celui des produits agricoles et alimentaires. Ce constat est assez cohérent avec la nature de la production des firmes de défense. En effet, peu de systèmes militaires mobilisent des connaissances liées au travail de la terre, à la sylviculture ou encore à la plantation. Ceci est conforté par la très faible citation de ces technologies par les entreprises de défense (23 contre 1140).

Notre dernier résultat est l'absence de différence significative entre les entreprises civiles et de défense en terme de connaissances scientifiques dans quatre do-

2. LES ENTREPRISES DE DÉFENSE SONT-ELLES MIEUX ARMÉES POUR INTÉGRER DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES DANS LEUR PROCESSUS D'INNOVATION?

maines technologiques. À l'exception des appareils agricoles et l'alimentation, tous ces domaines technologiques sont extrêmement intensifs en connaissances scientifiques. La chimie organique, les biotechnologies et la pharmacie-cosmétiques ont les moyennes de NPL les plus élevés des 30 domaines technologiques étudiés. Ces résultats sont cohérents avec l'étude de [Branstetter & Ogura \[2005\]](#) montrant l'intensité des connaissances scientifiques mobilisées dans ce qu'ils appellent le "*bio-nexus*". Ainsi, dans les secteurs très intenses en connaissances scientifiques, la connaissance architecturale est tellement nécessaire à l'innovation technologique que les différences en termes d'histoire d'intégrateur de systèmes ainsi que la spécificité de leur environnement institutionnel et des briques de connaissance mobilisées n'ont pas d'influence sur la capacité finale des firmes à intégrer des connaissances scientifiques. Ainsi, les entreprises de défense n'ont pas d'avantages en termes de connaissance architecturale dans les industries très intenses en science.

Cette étude confirme la perpétuation d'une plus grande exploitation des connaissances scientifiques dans le but d'innover de la part des entreprises de défense dans le cadre d'une économie de plus en plus intense en utilisation de connaissances. Nous montrons que l'histoire d'intégration de connaissances scientifiques des firmes de défense, *i.e.* leur connaissance architecturale, est toujours présente et a aujourd'hui encore une influence sur leur manière d'innover. En ce sens, elles se différencient des firmes civiles, à l'exception des domaines technologies du "*bio-nexus*".

7 Conclusion

Ce chapitre traite des différences entre les firmes de la défense et civiles en termes de mobilisation des connaissances scientifiques en vue produire de l'innovation technologique. Grâce à un test d'égalité des distributions, nous montrons que pour la grande majorité des domaines technologiques, les firmes de défense mobilisent significativement plus de NPL que les firmes civiles. Malgré les limites de notre périmètre des firmes ayant une activité de défense, ce résultat corrobore l'influence, encore aujourd'hui, des spécificités de l'activité de défense sur la capacité à mobiliser des connaissances scientifiques dans leur production d'innovation technologique. Du fait de leur rôle de maître d'œuvre, d'intégrateur de systèmes et de leur longue histoire de collaboration avec des acteurs extérieurs, notamment scientifiques, les firmes de défense ont conservé et consolidé une particularité sur les firmes civiles en termes de connaissance architecturale liée à l'incorporation de savoirs scientifiques dans leurs bases de connaissances. Cette étude met aussi en évidence l'importance de réaliser des analyses de l'innovation en prenant en compte les spécificités de chaque domaine technologique afin de ne pas avoir des résultats biaisés.

7. CONCLUSION

Nous notons aussi une particularité des domaines technologiques les plus intenses en connaissances scientifiques, correspondant au “*bio-nexus*” identifié par [Branstetter & Ogura \[2005\]](#). Pour ces domaines technologiques, nous n’observons aucune différence de mobilisation de science entre les entreprises de défense et civiles. Ainsi, dans les secteurs très intenses en connaissances scientifiques, la connaissance architecturale est si nécessaire à l’innovation technologique que les différences en termes d’histoire d’intégrateur de systèmes n’ont pas d’influence sur la capacité actuelle des firmes à intégrer des connaissances scientifiques. Afin d’approfondir cette recherche, il sera nécessaire de s’intéresser aux conséquences des différences de mobilisation de la connaissance architecturale sur les performances des firmes, en particulier les performances à l’innovation.

2. LES ENTREPRISES DE DÉFENSE SONT-ELLES MIEUX ARMÉES POUR
INTÉGRER DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES DANS LEUR
PROCESSUS D'INNOVATION?

8 Annexes

Annexe A : Statistiques descriptives

TABLE 2.2 – Statistiques descriptives

Variable	Type de firme	N	Moyenne	Ecart type	Min	Max	Médiane
NPL_i	Civil	1816	5593,18	40115,69	0	1229699	298,5
	Défense	60	7952,85	16511,38	0	77522	756
$Cnt - inpadoc_i$	Civil	1816	567,4537	2127,59	1	35624	70
	Défense	60	1353,27	2909,85	1	15135	136
$Cnt - appln_i$	Civil	1816	1068,58	4077,54	1	87889	146
	Défense	60	2672,07	5642,05	2	27525	219
$Scope - IPC_i$	Civil	1816	56,0017	67,1902	1	455	31
	Défense	60	131,7667	118,6635	2	425	77
def_i	Civil	1816	0	0	0	0	0
	Défense	60	1	1	1	1	1
RD_i	Civil	1816	267,1246	791,0131	10,5265	9567,6	61,2414
	Défense	60	614,8748	880,6914	26,174	3627,87	220,2444
NS_i	Civil	1807	8268,99	23449,73	0,0489	358737,98	1886,67
	Défense	60	16688,13	24023,43	639,9667	121477,08	5517,64
$MCap_i$	Civil	1663	9260,73	23856,71	25,3509	378189,39	2121,22
	Défense	55	14243,16	28082,16	911,8726	188137,3	4517,01
OP_i	Civil	1816	857,7652	2755,05	-4388,65	35992,08	146,9567
	Défense	60	1269,8	2277,52	-127,4	14750,18	348,2753
Emp_i	Civil	1730	26310,52	58128,95	9,6	898500	7928,1
	Défense	57	58661,73	72435,29	3419	325100	20738,4
$Capex_i$	Civil	1657	597,3399	2288,23	0,0551	39022,05	78,7994
	Défense	55	797,4438	1785,58	18,0786	10664,85	320,7312

Annexe B : Distribution de la NPL entre entreprises civiles et de défense par classe technologique 3-digit

Annexe B.1. : Classes technologiques 3-digit où les firmes de défense et civiles mobilisent différemment les connaissances scientifiques

2. LES ENTREPRISES DE DÉFENSE SONT-ELLES MIEUX ARMÉES POUR INTÉGRER DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES DANS LEUR PROCESSUS D'INNOVATION?

TABLE 2.3 – Wilcoxon Rank Sum test à 3-digit

Variables	Description	
Classes technologiques où les entreprises de défense mobilisent significativement plus de connaissances scientifiques que les entreprises civiles.		
A41	Vêtements	***
A42	Chapellerie	*
A47	Ameublement; Articles ou appareils ménagers;	***
A62	Sauvetage; Lutte contre l'incendie	*
B01	Procédés ou appareils physiques ou chimiques	*
B05	Pulvérisation ou atomisation; Application de liquides	**
B08	Nettoyage	***
B21	Travail mécanique des métaux sans enlèvement substantiel de matière; Découpage du métal à l'emporte-pièce	***
B22	Fonderie; Métallurgie des poudres métalliques	***
B23	Machines-outils; Travail des métaux non prévu ailleurs	***
B24	Meulage; Polissage	***
B25	Outils à main; outils portatifs à moteur; Manches pour ustensiles à main; Outillage d'atelier; Manipulateurs	***
B26	Outils pour tailler à main; Coupe; Séparation	***
B27	Travail ou conservation du bois ou de matériaux similaires; Machines pour clouer, agraffer ou brocher en général	***
B29	Travail des matières plastiques; Travail des substances à l'état plastique en général	***
B31	Fabrication/ Travail d'articles en papier, en carton ou en matériaux travaillés d'une manière analogue au papier	***
B44	Arts décoratifs	*
B60	Véhicules en général	***
B61	Chemins de fer	***
B62	Véhicules terrestres se déplaçant autrement que sur rail	***
B64	Aéronautique; Aviation; Astronautique	***
B65	Manutention; Emballage; Emmagasinement	***
B66	Hissage; Levage; Halage	***
B67	Ouverture ou fermeture des bouteilles, bocaux ou récipients analogues; Manipulation des liquides	**
B81	Technologie des microstructures	***
C01	Chimie inorganique	***
C04	Ciments; Béton; Pierre artificielle; Céramiques; Réfractaires	***
C05	Engrais; Leur fabrication	***
C06	Explosifs; Allumettes	***
C08	Composés macromoléculaires organiques	***
C09	Colorants; Peintures; Produits à polir; Résines naturelles; Adhésifs	*
C10	Industries du pétrole, du gaz, ou du coke; Combustibles; Lubrifiants	***
C21	Métallurgie du fer	**
C22	Métallurgie; Alliages ferreux ou non ferreux; Traitement des alliages ou des métaux non ferreux	**
C23	Revêtement de matériaux métalliques;	***
C25	Procédés électrolytiques ou électrophorétiques; Appareillages à cet effet	***
D01	Fibres ou fils naturels ou faits par l'homme; Filature	***
D03	Tissage	**
D04	Tressage; Fabrication de la dentelle; Tricotage; Passementeries; Non-tissés	***
D06	Traitement des textiles ou similaires; Blanchissage; Matériaux flexibles non prévus ailleurs	***
E04	Bâtiment	***
E05	Serrures; Clés; Appareillage des portes ou fenêtres; Coffres-forts	***
E06	Portes, fenêtres, volets ou stores à rouleau, en général; Echelles	**
F01	"Machines" ou machines motrices en général;	***
F02	Moteurs à combustion;	***
F03	"Machines" liées à la production d'énergie mécanique ou de poussée propulsive par réaction	***
F04	"Machines" à liquides à déplacement positif, pompes à liquides ou à fluides compressibles	***
F15	Dispositifs de manœuvre à pression de fluide; Hydraulique ou technique pneumatique en général	***
F16	Mesures générales pour assurer le bon fonctionnement des machines ou installations; Isolation thermique	***
F17	Stockage ou distribution des gaz ou des liquides	*
F21	Eclairage	***
F22	Production de vapeur	**
F23	Appareils à combustion; procédés de combustion	***
F24	Chauffage; Fourneaux; Ventilation	***
F25	Réfrigération ou refroidissement; Liquéfaction ou solidification des gaz	*
F27	Fours; Cornues de distillation	**
F28	Echangeurs de chaleur en général	***
F41	Armes	***
G01	Métrie; Essais	***
G02	Optique	***
G05	Commande; Régulation	***
G06	Calcul; Comptage	***
G08	Signalisation	***
G09	Enseignement; Cryptographie; Présentation; Publicité; Sceaux	***
G10	Instruments de musique; Acoustique	**
G11	Enregistrement de l'information	***
G21	Physique nucléaire; Technique nucléaire	***
H01	Éléments électriques fondamentaux	***
H02	Production, conversion ou distribution de l'énergie électrique	***
H03	Circuit électroniques fondamentaux	**
H04	Technique de la communication électrique	***
H05	Technique électriques non prévues ailleurs	***
Classes technologiques où les entreprises civiles mobilisent significativement plus de connaissances scientifiques que les entreprises de défense.		
A01	<i>Agriculture; Sylviculture; Elevage; Chasse; Piégeage; Peche</i>	**
C07	<i>Chimie organique</i>	**

avec *, **, *** notant respectivement une p-value sous le seuil de 10%, 5%, and 1%.

Annexe B.2 : Classes technologiques 3-digit où les firmes de défense et civiles ne mobilisent pas significativement différemment les connaissances scientifiques

8. ANNEXES

TABLE 2.4 – Liste des classes technologiques 3-digit où les entreprises civiles et de défense mobilisent les connaissances scientifiques de la même façon

ICP 3-digit	Description
A21	Cuisson au four; Matériel pour la préparation ou le traitement de la pâte; Pâte à cuire
A23	Aliments ou produits alimentaires; Leur traitement, non couvert par d'autres classes
A24	Tabac; Cigares; Cigarettes; Articles pour fumeurs
A43	Chaussures
A44	Mercerie; Bijouterie
A45	Objets d'usage personnel ou articles de voyage
A46	Brosserie
A61	Sciences médicale ou vétérinaire; Hygiène
A63	Sports; Jeux; Distractions
B02	Broyage; Réduction en poudre ou désagrégation
B03	Séparation des solides par utilisation de liquides ou de tables ou cribles à piston pneumatiques ou magnétique ou électrostatique
B04	Appareils ou machines centrifuges utilisés avec les procédés physiques ou chimiques
B06	Production ou transmission des vibrations mécaniques, en général
B07	Séparation des solides; Triage
B09	Elimination des déchets solides; Régénération des sols pollués
B28	Travail du ciment, de l'argile ou de la pierre
B30	Presses
B32	Fabrication/ Travail d'articles en papier, en carton
B41	Imprimerie; Lignards; Machines
B42	Reliure; Albums; Classeurs; Imprimés particuliers
B43	Matériel pour écrire ou dessiner; Accessoires de bureau
B63	Navires ou autres engins flottants; Leur équipement
B68	Bourrellerie; Capitonage
B82	Nanotechnologie
C02	Traitement de l'eau, des eaux résiduaires, des eaux ou boues d'égout
C03	Verre; Laine minérale ou scories
C11	Huiles; Graisses; Matières grasses ou cires animales ou végétales; Leurs acides gras; Détergents; Bougies
C12	Biochimie; Bière; Spiritueux; Vin; Vinaigre; Microbiologie; Enzymologie; Techniques de mutation ou de génétique
C13	Industrie du sucre
C30	Croissances des cristaux
C40	Technologie combinatoire
D02	Fils; Finition ou faits par l'homme; Filature
D05	Couture; Broderie; Implantation de poils ou touffes par piquage
D07	Cordes; Câbles autres que les câbles électriques
D21	Fabrication du papier; production de la cellulose
E01	Construction de routes, de voies ferrées ou de ponts
E02	Hydraulique; Fondations; Terrassement
E03	Adduction d'eau; Evacuation des eaux
E21	Forage du sol ou de la roche; exploitation minière
F26	Séchage
F42	Munitions; Sautage
G03	Photographie; Cinématographie; Holographie
G04	Horométrie
G07	Dispositifs de contrôle
G12	Détails ou parties constitutives des instruments

Annexe C : Test de robustesse

Pour nous assurer que nos résultats ne sont pas dus à un biais de sélection, *i.e.* qu'ils ne traduisent une conséquence de notre méthode de sélection de firmes de défense, nous proposons dans cette partie une analyse en composante principale des firmes. Nous craignons que notre variable de sélection (le chiffre d'affaires de défense), traduise une autre caractéristique, non observée, de ces firmes et ainsi biaise nos résultats. Si la variable de distinction entre les firmes civiles et les firmes de défense est une variable cruciale pour distinguer les firmes cela signifierait que cette distinction va au-delà de la distinction civile-défense et capte d'autres caractéristiques des firmes.

Nous mobilisons les données caractérisant économiquement les firmes de la base de données de l'IPTS scoreboard. Elle regroupe l'ensemble des 2000 plus grandes firmes mondiales en termes de dépense de R&D et fournit un ensemble de variables mettant en avant les caractéristiques de ces firmes sur la période 2010-2014. Nous utilisons, pour capter la particularité des firmes, l'investissement en R&D ($RD_{i,t}$),

2. LES ENTREPRISES DE DÉFENSE SONT-ELLES MIEUX ARMÉES POUR INTÉGRER DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES DANS LEUR PROCESSUS D'INNOVATION?

de ces firmes, leurs ventes nettes ($NS_{i,t}$), leurs dépenses en capital ($Capex_{i,t}$), leurs bénéfices d'exploitation ($OP_{i,t}$), leurs capitalisations boursières ($MCap_{i,t}$), toutes exprimées en millions d'euros et enfin le nombre de leurs employés ($EMP_{i,t}$), exprimés en milliers. En addition, à partir des données brevets, nous construisons deux variables supplémentaires :

- $Scop-ipc_{i,t}$: le nombre d'occurrence des technologies uniques (IPC 4-digit) dans les brevets de la firme i pendant l'année t .
- $Cnt - inpadoc_{i,t}$: le nombre de familles INPADOC de brevets déposées et publiées par la firme i durant l'année t .

Pour valider de l'absence de variable latente dans notre sélection, nous réalisons une ACP en utilisant les variables des caractéristiques économiques et des brevets des entreprises et enfin notre variable de catégorisation des firmes de défense. Pour représenter les firmes selon les caractéristiques citées précédemment, nous faisons la moyenne de ces variables sur la période 2010-2014. Nous retenons, selon le critère de Kaiser, deux axes principaux. Le premier est composé de l'ensemble des caractéristiques économiques des firmes, *i.e.* le volume de R&D et d'emploi, les ventes nettes, les profits, la capitalisation boursière et l'investissement en capital. Le second représente les caractéristiques en termes de dépôt de brevets des firmes, *i.e.* le nombre moyen de familles déposées sur la période ainsi que l'étendue technologique de ces brevets. La variable représentant l'appartenance à la défense (Def_i) n'est contributive à aucun des axes principaux. Cela nous permet à conclure que notre variable de sélection des firmes de défense n'est pas une caractéristique principale définissant nos firmes et nous permet d'éloigner le biais de sélection et de valider notre analyse des résultats précédents.

TABLE 2.5 – ACP

Variables	Axe 1	Axe 2
def_i	0, 1318	0, 3442
$Scop - ipc_i$	0, 5997	0, 6423
$Cnt - inpadoc_i$	0, 5462	0, 6743
RD_i	0, 6979	0, 1727
EMP_i	0, 735	0, 2159
NS_i	0, 8713	-0, 2462
OP_i	0, 8594	-0, 4136
$MCap_i$	0, 7758	-0, 2636
$Capex_i$	0, 7789	-0, 3938
Valeur propre	4, 4092	1, 5167
Proportion	0, 4899	0, 1685
Cumulé	0, 4899	0, 6584

FIGURE 2.1 – Analyse en Composantes Principales caractérisant les 2000 plus grandes firmes en termes de R&D (moyenne sur 2010-2014, avec la dummy défense)



3

**Knowledge base of firms and
weapons production : an
empirical investigation**

Ce chapitre est co-écrit avec François-Xavier Meunier (UEA ENSTA Paris)

Abstract

In recent years, ‘dual-use technologies’ have become a response to the problems faced by defence industries and policy maker confronting the technological challenges posed by the increasing complexity of arm systems. This evolution results in the expansion of the DTIB in terms of both technology and actors. Today, Information and Communication Technologies (ICT), Semiconductors, or Biotechnologies *etc.* are more and more critical in defence innovation. Then, traditional defence firms and new technological companies have to adapt themselves in order to produce new generation of arms [Bellais & Droff, 2017]. In this context, it appears interesting to better understand how technological knowledges influences corporates arms sales. To test this relation, we mobilize coherence indicators [Nesta & Saviotti, 2005, Teece *et al.* , 1994] and apply it on both all technological knowledge of firms. For the period 2010-2014, this chapter aims to empirically study innovations and sales of the 2000 major R&D firms in the world (CordIP14-17) to distinguish those that can contribute to the Defense technological and industrial base (DTIB) from others [SIPRI, 2019]. To this end, we mobilize two other databases to capture innovation through patent JRC/OECD [2015, 2017], and EPO [2018]. Regarding to our empirical strategy we use a zero-inflated negative binomial model to address the excess of zero linked to the weak number of companies identified as defence by the SIPRI present among the 2000 major R&D firms (SIPRI [2019]). As noted by Bagozzi *et al.* [2015, p. 729] “*it is likely that (...) two types of zero observations (...) may related to two distinct sources.*” We assume that some defence firms are missing from the SIPRI database. So, we need to distinguish between companies that don’t sale any arms and those that do sale arms but not identified because the amount of their arms sales is too low to be in the top100.

1 Introduction

Facing with increasing technological complexity, defence companies have undertaken, particularly since the 2000s, a movement towards technological diversification. This development is partly linked to the process of technological dualization began in the 1980s and which is driving defence manufacturers to establish closer relations with civil industry. Indeed, after the end of Cold War, in order to deal with the decline in military demand, one of the reactions was to encourage defence companies to turn to the civilian market in order to find new outlets [Dunne, 1995].

Thanks to their experience of Complex Products Systems (CoPS) in military area [Prencipe, 2000], defence system producers have begun to integrate new technologies from the civilian sectors (microcomputing, biotechnologies, artificial intelligence). These technological spin-ins complement the technological spin-offs (from defence to civil) already widely developed in the other way since 1980s [Alic *et al.* , 1992].

This interweaving between the civil and defence spheres, commonly known as duality [Meunier, 2019], has led, on the one hand, to an extension of the Defence Industrial and Technological Base (DITB) and, on the other hand, to a diversification of traditional defence firms into civil markets. Today, very large companies, mainly oriented towards civil markets, have become major contributors to the DITB (*e.g.* Hewlett Packard or General Electric, see SIPRI Arms Industry Database) and historical defence firms are implementing technological diversification strategies. Thales for example, implements a multi-product and multitechnology strategies in search of synergies and technological coherence between civil and military [Merindol & Versailles, 2015]. In this context, traditional defence firms and new technological companies have to adapt themselves to produce new generation of arms [Bellais & Droff, 2017].

In addition to these technological and competitive changes, a movement towards the privatization and internationalization of defence firms began in the early 2000s [Lazaric *et al.* , 2011]. Since then, there have been major mergers and acquisitions, particularly in Europe in the attempt to consolidate the DITB. The latest between Nexter and KMT (KNDS) is a good example of this movement. In Europe, this privatization movement has also occurred at the level of procurement agencies, such as the Defence Evaluation Research Agency (DERA) in England, whose most of its Research and Development (R&D) activities has been transferred to the company QinetiQ (created for this purpose), or as *Direction Générale de l'Armement* (DGA) in France which has refocused on project management activities since the 2003 reform, on the basis of the technological expertise and organizational skills already acquired

2. CONCEPTUAL FRAMEWORK

in the past. This (dual, privatized, internationalized, *etc.*) context leads to a reexamination of the link between structuring of technological knowledge and arms sales. Considering these elements, the question raised by this chapter is : How does the civil and defence structuring of firms' technological knowledge bases influence their presence on the arms market?

To answer this question, we define technological innovation as technologically new products and process, as well as significant improvements of product or processes which have been implemented [OCDE, 2005]. And as commonly used in innovation economics and increasingly in defence economics, we use patent to measured this innovation [Acosta *et al.* , 2011, 2018, Chinworth, 2000, Meunier & Zyla, 2016]. Patent data is interesting for our analysis because patents are classified into technological classes according to the technical field of innovation they are contributing to. They are categorized in standardized technological classes, it makes it possible to measure firm's technological innovation as a quantity. But more important, it makes it possible to examine technological knowledge firms mobilize in order to produce technological innovation and allows us to calculate coherence indicators [Teece *et al.* , 1994] that help us to study firms' innovation both at the level of component knowledge and architectural knowledge [Henderson & Clark, 1990]. These indicators give information on firms' knowledge base [Krafft *et al.* , 2011, Nesta & Saviotti, 2005] and their structures. We use these indicators to build variables and investigate how firm knowledge base structures impact defence firm activities. Patent data is provided by [JRC/OECD, 2015], [JRC/OECD, 2017] and [EPO, 2018]. Regarding arms sales, we estimate its intensity using SIPRI Arms Industry Database which identifies the top 100 defence companies according to their defence arms sales.

First, we present our conceptual framework link to the knowledge-based theory of firm. Then, the second section is devoted to a literature review on the technological specifics of defence innovation followed by the data. The last two sections are devoted to our empirical modelling and discussion.

2 Conceptual framework

It is common to say that defence innovation is different from civil innovation. Some technologies such as nuclear weapons or vehicle furtivity are, if not specific to defence, at least very largely dominated by this field of application. Nevertheless, these technologies represent a small part of defence innovations and a large part of defence technological specificities seems to be based more on specific performance requirements and an original knowledge base organization - resulting from architectural knowledge of defence systems - than on the mobilization of specific knowledge

3. KNOWLEDGE BASE OF FIRMS AND WEAPONS PRODUCTION : AN EMPIRICAL INVESTIGATION

bricks. Indeed, by using the typology proposed by [Henderson & Clark, 1990] weapon systems would be distinguished more by an architectural knowledge adapted to military specificity than by the mobilization of component knowledge specific to the world of defence [Lazaric *et al.* , 2011, Merindol & Versailles, 2010, Meunier & Belais, 2018]. This is the reason why this chapter proposes to study not only component knowledge but also the way defence companies organize their knowledge base. In order to analyze knowledge organization in defence firms, this chapter uses the concept of knowledge base as defined by Nesta & Saviotti [2005], Nesta & Saviotti [2006] or Krafft *et al.* [2011].

This concept makes it possible to represent the knowledge base of a firm as a network in which pieces of knowledge are linked together. So, as a reference to Henderson & Clark [1990], the knowledge base distinguishes between knowledge component that correspond to technological classes of a patent in our chapter and architectural knowledge that are represented by the links between technological classes. These two dimensions must be taken into account in the study of knowledge production as they condition a firm's innovative capacities. Secondly, it allows to visualize the characteristics both at the level of nodes and links and therefore at the level of knowledge bricks and knowledge architectures. Knowledge base architectures are, in Penrose's words, a "opportunity structure" for the company [Cohendet & Gaffard, 2010, p. 73]. This opportunity structure determines the innovative potential of firms and finally sales performance. In order to analyze knowledge base of firms and therefore these opportunity structure, this chapter proposes to use coherence tools.

These tools originates from research on the diversification of firms. In order to better understand firms' diversification strategies, the concept of "relatedness" [Ansoff, 1957, 1965] was developed. It allows to measure links that may exist between industrial or technological fields. It is from these links that it is possible to analyse the coherence of the firms' portfolios of activities, particularly technological ones. The study of these links combines two complementary dimensions.

- First, the study of the links between activities through the functional relationships that exist between them. In this case, it is the flows between activities that are taken into account and that allow the link to be measured (*e.g.* Fan & Lang [2000], Rondi & Vannoni [2005]).
- Secondly, the link between activities according to a portfolio of resources common to these activities. In this case, combinations of resources determine the link ; the resources considered may be "human" (*e.g.* Farjoun [1994]) or "technologies" (*e.g.* Robins & Wiersema [1995]).

It is this second kind of analyses that have led to the development of coherence

2. CONCEPTUAL FRAMEWORK

measures [Teece *et al.* , 1994]. They originally focus on the articulation between productive activities within companies. They are then adapted and enriched to assess the technological coherence of diversified firms [Piscitello, 2000], industrial sectors [Krafft *et al.* , 2011] or technological programs [Cohen, 1997]. These studies provide a better understanding of how knowledge is structured in the company. These measures, applied here to a particular type of resource - technological knowledge - evaluate the coherence of a firm's knowledge base. The more a firm combines knowledge bricks that are commonly associated with each other by all other companies, the more coherent it is. For example it gives the opportunity to measure whether defence innovation leads companies to make commonly used knowledge associations and thus to increase their coherence or whether it leads them to use unusual technological associations that generate low coherence scores.

Foss & Christensen [2001] propose that technological coherence in a company is the result of a trial and error process. It makes that what may appear as coherent for a firm may not be for another. In other words, this exploration/exploitation dilemma [March, 1991] emanates from the different ways of taking advantage of existing knowledge, which is either to exploit known technological combinations or to explore new opportunities : *“the essence of exploitation is the refinement and extension of existing competencies, technologies, and paradigms (...) the essence of exploration is experimentation with new alternatives”* [March, 1991, p. 85]. In other words, there is on the one hand the exploitation of synergies already known between the resources of companies in order to increase the "links" between them [Montgomery, 1979, Rumelt, 1974]. On the other hand, there is the exploration of new links between the firm's resources whose synergetic potential is not yet identified and which may lead unusual combination of resources [Nesta & Saviotti, 2005], maybe generating prohibitive organizational costs, so that will be abandoned [Reed, 1991]. This dilemma seems to be resolved over time, as firms start by exploring opportunities before exploiting the most profitable ones [Fauchart & Keilbach, 2009]. Finally firms seek to reach an optimum diversification related to the nature of the knowledge that the company mobilizes and combines and therefore to the types of innovation it produces [Montgomery, 1994]. The company arbitrates between the risk of obsolescence associated with exploitation and the risk of failure associated with exploration.

An other point of view consist in considering exploration and exploitation as the tow faces of the same coin. from this perspective, an ambidextrous firm do not target an optimal relative level of exploration and exploitation in order to balance costs and benefits, but aims to take advantages through generation of interactions between exploration and exploitation creating complementary effects [Cao *et al.* , 2009, Wei *et al.* , 2014]. The innovation capacity of firms is not based on a trade-off between

3. KNOWLEDGE BASE OF FIRMS AND WEAPONS PRODUCTION : AN EMPIRICAL INVESTIGATION

exploration and exploitation that is resolved over time, but in the ability of firms to carry out both activities at the same time. Simultaneously, a firm is looking for breakthrough innovation without abandoning its traditional activities, making incremental innovation [Benner & Tushman, 2003, O'Reilly & Tushman, 2004]. In this chapter, this organizational competence of firms is implemented at the level of the knowledge base. In other words, an ambidextrous firm operates, at the same time, very coherent knowledge associations and associations that are, on the contrary, not very coherent.

In order to go further in this trade-off between exploration and exploitation, we propose to distinguish two types of exploration. In the same perspective as the one Foss & Christensen [2001] propose, we consider technological coherence can reveal companies' innovation choices. Nevertheless, contrary to them we do not consider that only the exploitation of non-coherent links reveals a technological exploration strategy. Indeed, we believe that to technologically differentiate itself, a company can not only choose to explore new associations of knowledge; but it can also choose to abandon some links that are part of the technological core of its activity. In other words, contrary to a concentration strategy that would consist in exploiting only the technological core of its activity, the company chooses, to the detriment of the most obvious knowledge associations, to set up a knowledge architecture based on links weaker in terms of coherence and therefore more original.

From this perspective, the resolution of the exploration and exploitation dilemma is more complex. It is no longer a binary choice between : adding new original links or focusing on the strongest ones. A question of intensity, or commitment in the exploration strategy comes up since the company can choose to add original knowledge links without turning away from the strongest knowledge architecture, but it can also choose a more assertive exploration strategy by deciding to abandon some strong knowledge combinations in favour of the original links it favours.

So, in addition to exploration and exploitation, we propose to distinguish two other ways of organizing firms' knowledge bases. The first, called differentiation, corresponds to the conception proposed by [March, 1991], *i.e.* the implementation, within the company, of an unusual association of knowledge, while the second, called distinction, is an "opposite" conception, since it consists in abandoning, within the company, associations of knowledge that appear to be very coherent [Lebert *et al.* , 2015].

As it reveals distinctive choices of knowledge association over time, the exploration / exploitation arbitration during the innovation process of firms seems to us as an appropriate framework to represent defence technological specifics described in

the next section. We use this conceptual framework to capture differences of architectural knowledge between defense and civilian firms.

3 Defense innovation

This literature review highlights two main characteristics of defence technological innovation : complexity of systems and technological duality. We support the idea that these two points about defence activity brings to a particular structuring of technological knowledge in defence firms. About complexity, [Hobday \[1998\]](#) introduces the term Complex Product and System (CoPS) and defines it as a proper unit for analyzing innovation, management and competition of specific technological product which combine sets of subsystems, a hierarchy that allows them to be integrated into a more global system, a certain level of technological innovation and a variety of knowledge included in these systems [Hobday \[2000b\]](#), pp. 691-693]. He argues that dynamics of innovation in the CoPS differ from the mass production of goods and this definition seems particularly well suited to the production of military goods [[Lee & Yoon, 2015](#)]. However, [Hobday \[1998\]](#) support that CoPS can be analysed thanks to the distinction made by [Henderson & Clark \[1990\]](#) between *component knowledge* and *architectural knowledge* and thus using the knowledge base approach and coherence indicators. While component knowledge refers to the smallest technological building blocks integrated into the system; architectural knowledge refers to the ability to combine and integrate a very wide variety of knowledge, including technological and scientific knowledge, in a complex system [[Davies & Brady, 2000](#), [Hobday et al. , 2005](#), [Hobday, 2000a](#), [Prencipe, 1997](#)].

[Davies & Hobday \[2005\]](#) introduce three capacities necessary to produce CoPS related to architectural knowledge : i) Strategic capacity : the ability to allocate resources and implement long-term plans to maintain, renew, and expand organizational capacity; ii) Functional capacity : handling of technological aspects including design, engineering, and interaction between different knowledge; iii) Project management capacity : the management of relations with partners in the design and implementation of a CoPS throughout the life cycle of a project.

These capacities appear to correspond with defence innovation. First, their strategic capacity to manage and anticipate the evolution of the their knowledge base is particularly developed for three main reasons, i) long life cycle of programs, actually defence innovation is called "long-term" because of both the product development time [[Mowery, 2012](#)] and the expected lifetime of the systems [[Bellais & Droff, 2017](#)]; ii) the need to maintain orphan knowledge, *i.e.* knowledge used by a single type of project (ex : nuclear weapons safety for submarines) and obsolete skills, for exemple,

3. KNOWLEDGE BASE OF FIRMS AND WEAPONS PRODUCTION : AN EMPIRICAL INVESTIGATION

Maier [1998] highlights that even in modern military systems, because of the long life of military systems, older communications systems have to be maintained long after the technology has become obsolete ; iii) the need for equipment reliability and adaptability to the context.

Secondly, functional capacity can be understood by the ability of firms to create and customized very specific high-tech product solutions [Dittrich *et al.* , 2006]. Many defence equipment are engineering intensive solutions that integrate a large number of technologies and require a set of complementary skills [Moura, 2008]. We can mention telecommunication systems, submarines or fighter aircrafts, which are composed of a large number of subsystems, technological and scientific knowledge and a wide variety of organizational skills [Versailles, 2005]. So defence companies have to maintain a large scientific and technological knowledge and organize this knowledge to handle the production of these systems.

Finally, project management capacity can be approached by what is called project-based organization [Hobday, 2000b]. In the case of defence companies, several elements show that the production of arm systems requires specific project organization skills regarding to particularity of the relationship between firms and client states. Indeed, in this activity, production is organized around two major players : the firm - a systems integrator and prime contractor - and a State - contracting authority and customer - [Lazaric *et al.* , 2009]. Military systems are directly customize to accomplish defence missions, directly defined by the state [Sempere, 2015]. However, this project management capacity of defence firms is not only characterized by the relationship between the client state and the firm but also for the management of the long subcontracting line [Belin & Guille, 2008, Frigant & Moura, 2004] as well as the relations with academic research [Serfati, 2005]. Thus, the project-based nature of CoPS generates a significant number of implications in terms of knowledge and skills management [Marshall & Brady, 2001]. All these studies show the importance for the defence activity of firms of mastering these different capacities.

The second defence innovation specificity highlighted in this section is linked to the previous one and is called technological duality. Technological duality can be addressed in several ways. A first approach favours an analysis in terms of artifacts. It has given rise to a spin-off paradigm that describes the many technology transfers from the defence to the civilian domain until the 1980s [Alic *et al.* , 1992]. Later on, the reciprocal nature of these transfers was underlined. Then, duality “*refers to the ways in which objects used in one field[civil, military] can be adapted to others*” [Molas-Gallart, 1997] and raises the question of mechanisms for technological transfers from civil to defence (spin-in) and from defence to civil (spin-off). It also suggests

3. DEFENSE INNOVATION

that there is a long-term relationship between civil and military innovation, which can lead to historical reversals of trends (relative weight of spin-ins vs. spin-offs; see Galbraith *et al.* [2004]).

A second point of view does not focus on the artifact but on the technology defined as the set of knowledge. In other words, it focuses on the combination of knowledge that makes up the artifact [Carlsson & Stankiewicz, 1991]. In this perspective studying duality is similar to studying knowledge diffusion between civil and defence and the similarities that may exist between the knowledge production within the two spheres. It supports the idea that it is difficult to determine *a priori* whether a technology is dual or not. This approach in terms of knowledge refers to innovation processes, and the challenge of duality is to facilitate technological co-production between the civil and military spheres based on a "balance between specialization and the creation of a common knowledge base between actors" Mérindol [2005, p. 52]. Then in a systemic perspective, duality consists in considering a dual innovation system [Meunier, 2019]. Thus, for a given technical system, civil and defence actors contribute to the innovation process according to the similarity and/or complementarity of the knowledge they can bring to the development of the technology.

All these aspects of defence innovation make us believe defence technological innovation results in specifics of defence knowledge bases : multiple technological component knowledge, complex architectural knowledge and balancing between specialization in defence activity and integration of divers civil technological knowledge. Previous studies on defence firms and production concluded that there is a specificity in the way defence companies produce military system, and organize their knowledge base to do so. To our knowledge, most empirical research focus on specific parts of defence technological production. Acosta *et al.* [2011, 2018] focus on a specific set of technological knowledge, Avadikyan *et al.* [2005] use interviews of two defence firms, or Lee & Yoon [2015] compare the case study of a particular system (military aircraft) in three different countries. Using knowledge base approach to study defence in a broader context. However, defence system complexity, and technological duality makes it difficult to define a relevant firm and technological perimeter to analyze defence as a whole.

Beyond complexity of defence systems and technological duality, it is not uncommon for defence companies to also sell on the civilian market. So, many defence companies are not pure players and defence activity can represent a minority share of their revenue (Sipri arms industry database 2017). This market and technological diversification of defence companies make it difficult to identify the companies involved in this area of activity. Most of the time, authors use the concept of the Defence Indus-

trial and Technological Base (DITB). It is defined by Dunne [1995] as the set of companies that enable the armed forces to conduct their operations. However, as Hartley [2007] shows, this definition poses operational problems. In this respect, duality is one of the main limitations of this approach since it dilutes the boundary between what belongs and what does not belong to the DTIB. So, in the data section, we discuss these perimeter definition approaches and we present an original method for endogenous identification of defence companies among the 2000 most R&D-intensive companies in the world, based on the organizational characteristics of their knowledge base.

4 Data

For this study, we mobilize two complementary databases : (*IPTS scoreboard*) and (*COR&DIP v.1. 2014/2017*). We introduce these database in our [preliminary chapter](#).

Patent data and indicators

In this chapter, we use patent data in order to capture the technological knowledge organisation of firms. Patents are industrial property rights that provide protection in one or more countries. We use patents as a proxy for technological innovation. We discuss this choice of the patent as proxy for technological innovation more further in our [preliminary chapter](#).

We select patents by three filters. The first is that it be filed by one of the 2000 firms in our panel. The second is to retain only patents filed and granted, which reflects the effectively innovative nature of the technology in question. Finally, the last filter is the date. We use the first filing date in order to be as close as possible to the invention date. Thus, we find that among the firms in the database, 1,482 filed 1,481,091 patent families that were granted between 2010 and 2014¹. Not all the firms considered in the IPTS scoreboard file patents and this can be explained by two factors : on the one hand, the choice of industrial secrecy as protection of intellectual property, and on the other hand, the fact that the field of activity of the firms does not belong to the fields covered by patents, such as, for example software.

The coherence indicators are constructed in two steps. First, the measurement of the technological link. For this purpose, an “expected” number of co-occurrences between technologies is calculated using a hypergeometric law. The link $\tau_{i,j}$ between i and j technologies depends on the difference between the number of co-occurrences observed and the expected number. If $\tau_{i,j}$ is high, *i.e.* if the number of links $J_{i,j}$ observed between i and j technologies is superior to the expected number of links $\mu_{i,j}$, the

1. These patent families including 1,080,323 dual patents according to Meunier classification.

4. DATA

two technologies are linked. The larger and more positive the difference, the stronger the relationship between them [Teece *et al.* , 1994]. We have :

$$\mu_{i,j} = E(X_{i,j} = x) = \frac{O_i O_j}{B}$$

Where P is all patent families granted; $p_i = 1$ if the patent family refers to i technology, 0 otherwise; $O_i = \sum p_i$ the total number of times the i technology is referenced among all patent families. Finally, X_{ij} is a hypergeometric random variable of the number of patent families associated with technologies i and j (with a population P , a realization number O_i and a sample size O_j) whose variance is equal to σ_{ij}^2 .

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

So, the technological link is noted :

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

Where J_{ij} the number of occurrences of the association of technologies i and j is $J_{ij} = \sum_b p_i p_j$. All the links between technologies are listed in a technology link matrix. Then, considering the knowledge base of the company f represented by a set of patent families, $p_{fi} = 1$ if the patent family filed by the company f refers to technology i , 0 otherwise. With P_f the number of technology classes in which company f is active. A set of indicators is constructed according to the same formula where the adjacent matrix $M_{ij}^{Indic_f}$ is used to specify the technological relationships retained for each of them.

$$Indic_f = \frac{1}{P_f} \sum_i C_{fi} \left(\frac{\sum_{j \neq i} \tau_{ij} M_{ij}^{Indic_f} P_{fj}}{\sum_{j \neq i} M_{ij}^k P_{fj}} \right)$$

Then, $Indic_f \in]0, +\infty[$ refers to the indicators related to company f . Where, i is the technological class compared to all the other technologies produced by this company, τ_{ij} is the technological link index between i and j , C_{fi} the vector of the technological classes in which the company is active and $P_{fj} = \sum_j p_{fj}$ corresponds to the number of patent families referring to the technological class j owned by company f .

Using $M_{ij}^{kIndic_f}$ we define four indicators in the same way as [Lebert *et al.* , 2015].

- War_f : where $M_{ij}^{Indic_f}$ takes into account all possible links between the technologies manipulated.
- $Warn_f$: where $M_{ij}^{Indic_f}$ only takes into account the strongest links in the knowledge base (weighted maximum spanning tree).

3. KNOWLEDGE BASE OF FIRMS AND WEAPONS PRODUCTION : AN EMPIRICAL INVESTIGATION

- Kbc_f : where $M_{ij}^{Indic_f}$ only takes into account the links actually observed in a patent.
- Ekb_c_f : where $M_{ij}^{Indic_f}$ adds strong missing links to the Kbc_f coherence.

Finally, we build indicators to study the knowledge base of firms according to the exploration and exploitation arbitration.

- Exploitation corresponds to the integration of the obvious knowledge architectures within the company.

$$Exploit_f = Kbc_f - War_f$$

- Differentiation corresponds to the integration of original knowledge architectures within the company.

$$Diff_f = Warn_f - Ekb_c_f$$

- Distinction corresponds to the non-integration of obvious knowledge architectures within the company.

$$Dist_f = Ekb_c_f - Kbc_f$$

- Exploration corresponds to what the company does that others do not do, or what it fails to do when others do it abundantly.

$$Explor_f = Warn_f - Kbc_f$$

In order to take into account industrial specifics, for each company we calculate both a global relatedness score *i.e.* we take into account all patents without considering industrial sectors of firms; and we calculate nine industrial sector specific relatedness scores considering the nine industries identified with the first digit of Industry Classification Benchmark (ICB) classification. As all companies of *COR&DIP* database are classified according to ICB classification, to calculate relatedness scores for each industrial sectors, we only take into account patents of firms that belong to each one of these sectors. If, two or more companies of the database filed together a patent and if these companies do not belong to the same industry, we take into account this patent to calculate relatedness scores for each industry the different companies belong to. Then, based on these two relatedness scores, we can calculate two coherence indicator for each company, a global coherence indicators and an industrial specific coherence indicators.

Firms' variables

We use the global TOP 100 of the SIPRI (Stockholm International Peace Research Institute) defence firms over the period 2010-2014. We cross-reference this list of firms with that of the IPTS Scoreboard and find that among the 2000 firms considered, 60 have defence production and file patents. This database cross-reference makes it possible to construct an indicator variable, ($SRdefence_{f,t}$), representing military turnover, from the SIPRI database mentioned above. In addition, we only select 'group' firms and not subsidiaries in order to have a valid match between the firms identified in SIPRI and the IPTS scoreboard. This method of identification by the defence turnover of firms is one of the most common proxies for defence activity [Brauer, 2007, Fauconnet, 2018, Meunier, 2018, Meunier & Zyla, 2016, Perlo-Freeman & Wezeman, 2012]. In order to treat the excess of zero, we transform this continuous variable in count variable, denoted $defence_{f,t}$, and expressed as following :

$$defence_{f,t} = \begin{cases} 0 & \text{if arms sales revenue are equal to 0} \\ 1 & \text{if arms sales revenue are between 1 and 5833} \\ 2 & \text{if arms sales revenue exceed 5833} \end{cases}$$

This threshold represent the mean of arms sales in our database (see distribution of arms sales in [Annex B](#)). We also propose an alternative threshold (see [Annex E](#)).

The database of firms is based on the work of IRI (The Economics of Industrial Research & Innovation), led by the European Commission's Joint Research Centre (JRC). It brings together all the 2000 largest firms in the world in terms of R&D expenditure and provides a set of variables highlighting the characteristics of these firms. These are consolidated at the parent company level, *i.e.* the JRC has recomposed the structure of the firms by taking into account all their subsidiaries over the period 2010-2014. Thus, we use as control variables to capture the specificity of the firms' R&D investment, net sales, capital expenditures, operating income and the number of employees. The R&D investment of these firms, rated $RD_{f,t}$, includes all the expenses incurred by the companies themselves. The R&D research component is defined as "original and planned exploration in the hope of acquiring new scientific or technical knowledge and skills while the development component is defined as the application of research results or other knowledge to a plan or design for the production of a new or improved material, object, product, process, system or service before its commercialization or use" [IRI, 2014, p. 79]. We use the variation of R&D investment between $t/t - 1$, noted $varRD_{f,t/t-1}$. We anticipate a positive relationship between the amount of R&D invested by the company and the arms sales intensity. Second, the number of employees, noted $EM_{f,t}$ and expressed in thousands, also makes it possible to approximate the size of the firm but this time in terms of

input rather than output. This variable controls the size of the company in terms of turnover. This variable is used in logarithm form. Thirdly, we mobilize the variable of capital expenditures which is the total expenditure of a firm to acquire or improve physical capital such as equipment or industrial buildings. We use the variation of capital expenditure between $t/t - 1$, noted $\text{var}Capex_{f,t/t-1}$. Finally, we mobilize the Industry Classification Benchmark (ICB) in order to control industrial particularities. We use the one-digit form of ICB, that identifies 9 large group of industries.

This database, *i.e.* the merge between patent data, defence data and firms data, is unfortunately unbalanced. Indeed, we lost information at two different levels. First of all, patent indicators aren't available for 1,488 firms out of 2000 and on these 1,488 firms, we keep 44 defence firms out of 60 previously identified. These missing values are due to three main reasons. Some companies have an intellectual property protection strategy different from patenting. They may also operate in industries where patenting is not an adequate means of protecting intellectual property. For example, software-related innovations are rarely protected by patents, although this remains possible in some countries. Finally, a little part of firm grant patents with only one IPC4-digit per patent family. They are considered as missing value as it is impossible to calculate coherence indicator for them. The second source of missing values comes from IRI database on firm control variables. Indeed, when we considered firms with observable R&D and employment data on 2010-2014, it remains 1,223 companies with the same number than before of defence firms (*i.e.* 44 firms).

5 Empirical modelling

In this section, we detail our empirical model. Our baseline equation takes the following form :

$$Y_{f,t} = \eta_0 + \eta_1 W'_{f,t} + \eta_2 X'_{f,t} + \epsilon_{f,t} \quad (3.1)$$

where $Y_{i,t}$ is the dependent variable in our model and represents arms sales intensity for firm f at time t . $X'_{f,t}$ is the vector which includes technological knowledge coherence variables. $W'_{f,t}$ includes common controls for firm characteristics. $\epsilon_{f,t}$ represents the error term. To test this relation, we use data covering 2010 to 2014. Note that the panel is unbalanced due to missing information on few firms as discussed before and descriptive statistics are presented in [Annex A](#).

One key issue arises in the interpretation of the absence of arms sales, coded 0 in our data. As noted by [Bagozzi et al.](#) [2015, p. 729] “*it is likely that [...] two types of zero observations [...] may relate to two distinct sources*”. It may represent either a si-

5. EMPIRICAL MODELLING

tuation of *No defence activity* – firm isn't in the SIPRI database and firm doesn't sales any arm systems – or *Potential defence activity* – a firm isn't in the SIPRI database but can have defence activity. Indeed, SIPRI database includes only the 100 largest defence firms in terms of turnover from arms sales. The main idea is to distinguish two types of zero : the one that denotes zero arms sales and the one where the sales amount is too small to be in SIPRI database.

From an econometric perspective, standard linear regression are not able to address this problem ; we overcome this issue by using an appropriate method presented by Lambert [1992], Minami *et al.* [2007], Welsh *et al.* [1996] : the Zero-Inflated Negative Binomial (ZINB) model. It serves to control for the fact that a value coded as zero is driven by different facts. The approach comprises a two-stage model. The first stage is a split equation that determines whether a zero corresponds to a no defence activity or a potential defence activity ; this leads to the “inflated equation”. The second stage is a standard logit, called the “outcome equation”². The use of a binomial negative distribution is instead of a Poisson distribution because of the distribution of our dependent variable, especially since its mean and variance are not equal.

As following Welsh *et al.* [1996], a zero-inflated distribution for count data is a mix of two distributions, the delta distribution on zero (the one that takes only the value zero ; ‘perfect state’) and a distribution on the non-negative integers (including the value zero, ‘imperfect state’). Suppose the counts $y_i, i = 1, \dots, n$, are independent and $y_i = 0$ with the probability $1-p(x)$ and y_i followed a truncated Negative Binomial $(\lambda(z), \delta)$ with probability $p(x)$. So the probability model can be expressed as :

$$\Pr(Y) = \begin{cases} \Pr(Y = 0|x) = 1 - p(x) \\ \Pr(Y = r|x, z) = \frac{p(x)\Gamma(r+(\frac{1}{\delta}))}{r!\Gamma(\frac{1}{\delta})} (\delta\lambda(z))^r (1 + \delta\lambda(z))^{-r+(\frac{1}{\delta})} (1 - (1 + \delta\lambda(z))^{-\frac{1}{\delta}})^{-1} \quad (r = 1, 2, \dots) \end{cases} \quad (3.2)$$

Here $p(x)$ is the probability to observing at least one arms turnover, given that there is at least one arms turnover, $\lambda(z)$ is the parameter of the truncated Negative Binomial distribution which describes the level of arms turnover observed and δ is the extra-variation parameter in the untruncated version of the Negative Binomial distribution, *i.e.*

$$\mathbf{E}(Y) = \lambda(z) \text{ and } \mathbf{V}(Y) = \lambda(z)[1 + \delta\lambda(z)] \quad (3.3)$$

2. A likelihood ratio test allowed us to discriminate between a negative binomial regression and a ZINB model.

We also use the usual logistic model for $p(x)$, then we have :

$$\text{logit}(p(x)) = \log\left(\frac{p(x)}{1-p(x)}\right) = x^T \beta \quad (3.4)$$

for covariates x and z and unknown parameter β . This empirical method allows us to treat the dependant variable as having two states : a state in which no arms sales occurs and a state in which arms sales occur with varying level. If we are only concerned about modelling state one, that is whether any arms sales occur then logistic modelling is commonly applied. Given that arms sales are observed, the level observed can be modelled by a truncated discrete distribution, as stated above. In order to confirm our empirical strategie, we will provide, in a more mature version of this work, alternative estimation model, like a tobit or a panel analysis.

6 Results and Discussion

Main results

Our theoretical assumption is that defence companies have a different knowledge base architecture than civil firms. This assumption is tested through an econometric analysis of major R&D firms and the relation between architectural knowledge and arms sales probability and intensity, *i.e.* the presence of a defense activity in firms' production.

[Table 3.1](#) and [Table 3.2](#) present our main results. It can be seen that all control variables retain the same role with few changes in significativity. Whether it is on the probability of being a defence firm or on the intensity of arms sales $\ln Span_{f,t}$, always has a negative impact similarly $varRD_{f,t/t-1}$ negatively impacts the intensity of arms sales and the intensity as well as the probability of selling arms while $varCape_{f,t/t-1}$ no significant impact on our models. So, defence companies appear to be rather large firms whose variation of R&D contributes negatively to their positioning in the defence market but for which patenting plays a negative role in this activity. This negative role of patent filings can be explained by the specificity of defence mentioned in the first section on secrecy. In these firms, it is more opportunities in the civil market that would encourage them to file patents. We test all our models by using alternately the indicator of global coherence and industrial coherence. We observe no significant difference between these two versions of our coherence indicators on the arms sales intensity.

In [Table 3.1](#), the first model (M1) is based on a basic technological coherence indicator $Kbc_{f,t}$. As a reminder, this indicator calculates the firm's coherence by conside-

6. RESULTS AND DISCUSSION

TABLE 3.1 – Main : Global coherence

dependant variable : Defence	M1 Global Coherence	M2 Industrial Coherence
<i>Outcome equation</i>		
$Kbc_{f,t}$	0.0122 (0.0182)	0.0256 (0.0167)
$\ln Span_{f,t}$	-0.5245*** (0.0722)	-0.5009*** (0.0717)
$\ln Emp_{f,t}$	1.4324*** (0.1182)	1.3972*** (0.1191)
$\text{var}RD_{f,t/t-1}$	-0.1973 (0.1554)	0.1131 (0.2311)
$\text{var}Cape_{f,t/t-1}$	0.0232 (0.0153)	0.0221 (0.0177)
Intercept	-14.06*** (1.1488)	-14.04*** (1.1269)
<i>Inflated equation</i>		
$Kbc_{f,t}$	0.021 (0.0243)	0.0423 ⁺ (0.0234)
$\ln Span_{f,t}$	-0.5864*** (0.1498)	-0.5491*** (0.1457)
$\ln Emp_{f,t}$	0.8632** (0.2838)	0.7864** (0.2694)
$\text{var}RD_{f,t/t-1}$	-0.4477 (0.4111)	0.1838 (0.1783)
$\text{var}Cape_{f,t/t-1}$	0.0114 (0.0276)	0.0128 (0.028)
Intercept	-4.3792 ⁺ (2.6616)	-4.1585 (2.5751)
Industry Vuong	yes NB<ZINB	yes NB<ZINB
AIC	1184.853	1183.91
log likelihood	-571.4265	-570.9552
N	4486	4486

with + , * , ** , *** respectively denoting a p-value below 10% , 5% , 1% , and 0.1% .
M1 uses general indicator ($Kbc_{f,t}$) of coherence .
M2 uses industrial indicator ($Kbc - ICB_{f,t}$) of coherence .

ring only the technological co-occurrence actually observed at the level of one of the firm's patents. If two technologies are never specifically associated in a firm's patent, then this technological association is not taken into account in the consistency calculations. This first model no significant impact of $Kbc_{f,t}$ on arm sales intensity as well as $Kbc - ICB_{f,t}$ in the second model (M2), where the coherence have no significant influence on the intensity of arms sales. But if you look at [Table 3.2](#), We find that particular structuring of knowledge base impacts both probability to be a defence firm and the intensity of arms sales. Indeed, in [Table 3.2](#), we go deeper and investigate

3. KNOWLEDGE BASE OF FIRMS AND WEAPONS PRODUCTION : AN EMPIRICAL INVESTIGATION

TABLE 3.2 – Main : Dilemma Exploration-Exploitation

dependant variable : Defence <i>Outcome equation</i>	M3	M4	M5	M6
	Global Coherence	Industrial Coherence	Global Coherence	Industrial Coherence
<i>Explor_{f,t}</i>	0.0574 *** (0.0095)	0.0505 *** (0.0086)		
<i>Exploit_{f,t}</i>	0.0023 (0.018)	0.0121 (0.0176)	0.0032 (0.0176)	0.0138 (0.0185)
<i>Diff_{f,t}</i>			0.0592 *** (0.0097)	0.0533 *** (0.009)
<i>Dist_{f,t}</i>			0.0305 (0.0434)	0.0219 (0.0419)
<i>lnSpan_{f,t}</i>	-1.0375*** (0.1051)	-0.9571*** (0.0925)	-1.0551*** (0.1088)	-0.9795*** (0.0973)
<i>lnEmp_{f,t}</i>	1.4358 *** (0.1232)	1.4425 *** (0.1201)	1.4486 *** (0.1241)	1.4471 *** (0.1231)
<i>varRD_{f,t/t-1}</i>	-0.4813* (0.1998)	-0.4633* (0.2029)	-0.4763* (0.1962)	-0.4409* (0.1985)
<i>varCapex_{f,t/t-1}</i>	0.0238 (0.0164)	0.0271 (0.024)	0.0233 (0.0162)	0.0254 (0.0213)
Intercept	-13.47 *** (1.1386)	-13.82 *** (1.1151)	-13.56 *** (1.1359)	-13.84 *** (1.1386)
<i>Inflated equation</i>				
<i>Explor_{f,t}</i>	0.0861*** (0.024)	0.0723 * (0.0227)		
<i>Exploit_{f,t}</i>	-0.0525 ⁺ (0.0318)	-0.0322* (0.0329)	-0.0552 ⁺ (0.0329)	-0.0348 (0.0378)
<i>Diff_{f,t}</i>			0.0912 *** (0.0255)	0.081 ** (0.0249)
<i>Dist_{f,t}</i>	-1.4911		0.0128 (0.0991)	-0.0303 (0.0976)
<i>lnSpan_{f,t}</i>	0.9435 *** (0.3251)	-1.3666** (0.3118)	-1.5411*** (0.3389)	-1.4332*** (0.3279)
<i>lnEmp_{f,t}</i>	-1.6787** (0.3307)	0.9905 * (0.3131)	0.9744 ** (0.3366)	1.0014 ** (0.3238)
<i>varRD_{f,t/t-1}</i>	0.0192 * (0.6781)	-1.6677 ⁺ (0.7621)	-1.7001* (0.6708)	-1.6028* (0.7617)
<i>varCapex_{f,t/t-1}</i>	-2.8286 (0.0773)	0.0373 (0.1074)	0.0179 (0.0696)	0.0299 (0.1229)
Intercept	(2.9191)	-3.687 (2.7911)	-2.9711 (2.9476)	-3.6334 (2.9045)
Industry Vuong	yes NB<ZINB	yes NB<ZINB	yes NB<ZINB	yes NB<ZINB
AIC	1160.2	1163.655	1163.539	1166.337
log likelihood	-557.1	-558.8273	-556.7694	-558.1684
N	4486	4486	4486	4486

with +, *, **, *** respectively denoting a p-value below 10%, 5%, 1%, and 0.1%
M3 and M5 use general indicator ($Kbc_{f,t}$) of coherence.
M4 and M6 uses industrial indicator ($Kbc - ICB_{f,t}$) of coherence

the trade-off between exploration and exploitation $Explor_{f,t}$ and $Exploit_{f,t}$ as an explanatory factor in defence activity (M3 and M4). It shows that on the probability of being a defence firm as well as on the intensity of arms sales, exploration has a positive impact. Defence companies would implement original knowledge architectures. In complement, it is interesting to note that while exploitation has no impact on the intensity of arms sales, it has a significantly negative impact on the probability of being a defence firm, even if this result need to be discussed in the light of robustness checks presented below in this section and in [Annex D](#) and [Annex E](#).

These results seem consistent with the particularities linked to the development of CoPS, which in the field of defence integrate very different characteristics from the civil ones and the duality of companies, which leads them to develop new architectural knowledge capable defence innovation would then be more exploratory than in the civilian field. Defence companies are integrator of complex systems with components from multiple sectors. Indeed, defence activity takes place in the aerospace sector as well as in the naval sector, the transport sector or the telecommunications sector, *etc.* and integrator firms have to build knowledge architectures that are not

6. RESULTS AND DISCUSSION

characteristic of each of these sectors but on the contrary capable of synthesizing the different technological building blocks they integrate from different sectors. Moreover, the duality of firms makes the technological environment within which they fit increasingly wider and consequently leads defence companies to develop knowledge architectures adapted to this broad scope. It explains that defence firms have to explore distinguishing knowledge architecture. Then, defence innovation would be more exploratory than in the civilian field.

M5 and M6 focus on exploration distinguish between its two components : differentiation and distinction $Diff_{f,t}$ and $Dist_{f,t}$, it appears that only differentiation has a positive impact on the probability of being a defence firm and on the intensity of arms sales. Here again, we can assume that it is the multisectoral nature of defence that leads to this result. Indeed, the τ_{ij} at the origin of the coherence indicators are calculated on all the firms of our database. However, it is reasonable to imagine that sectoral behaviour strongly influences the value of these τ_{ij} by defining dominant technological paradigms [Dosi, 1982] in the different sectors. This explains why defence, which refers to a use, a mission and not an industrial sector, diverges from these dominant technological paradigms to adapt to this particular use. To confirm or refute this hypothesis, it would be appropriate to calculate R_{ijs} at the level of the different industrial sectors and to test whether, when for each firm, the indicators are calculated at the level of its own sector, the same results are obtained.

These results are stressed with robustness tests (Annex D) and sensitivity tests (Annex E). We find a robust effect of exploration and differentiation on both probability of being a defence firm and the arms sales intensity. But we also found a no robust influence of exploitation and distinction on the probability to be a defence company. So, these additional investigations confirm our previous intuition and results that this is the exploration in technological associations and their differentiation make defence firms particular. Our study shows that defence firms have characteristics in terms of architectural knowledge, in particular in terms of exploration of new technological associations and more precisely differentiation for the integration of original knowledge architectures. Our empirical specification allows us to distinguish between “pure” civil firm and potential defence firm, *i.e.* firms that have the same characteristics in architectural knowledge and other traditional attributes.

This empirical study allows us to highlight firms’ proximity by considering there inputs, here technological knowledge and their organization. Using this approach to focus on defense firms and activity bring out the exploratory nature of R&D required for produced arms. Even if these defence companies have activities as diverse as automotive, chemistry or aerospace, they have common characteristics in terms

of R&D strategy and organization. This study corroborate management research on organizational particularities of the defence firms [[Lazaric et al. , 2011](#), [Merindol & Versailles, 2015](#)]. Defence is certainly a specific field of activity, but other industries are also undergoing profound changes. The interconnection of many common technological building blocks, the organization into a system-of-system, the predominance of ICT technologies, *etc.* lead us to the possible extension of this approach to other companies. Indeed, the changes in recent years/market increase, interconnection of network industry issues. Which also have their own specificities and whose problems are related.

7 Conclusion

The methodological originality of this chapter is that we propose an endogenous identification of defence firms from their technological innovation, through original technological coherence indicators. We mobilize zero-inflated model. To our knowledge, it is the first research that uses this type of econometric model in order to better understand industrial production. Despite the emergence of these zero-inflated model since 1990's, few economists have adopted this method (except in conflict field [[Bagozzi et al. , 2015](#), [Fauconnet et al. , 2018a](#)] and none in industrial economics.

In this chapter, we are looking for effects of technological innovation on arms sales and results demonstrate an ambivalent role of these innovations. We decided to investigate this question refereeing to knowledge base framework and proposing interpretation through exploration / exploitation dilemma. Our first main finding is that defence firms mobilize a specific knowledge architecture. More specily, this knowledge architecture translates into greater technological exploration, which results in the addition of unusual combinations of knowledge. Another, which is a contribution of our empirical analysis, is that the knowledge architectures of defence firms seem to be cross-sectoral. They are exploring solutions to synthesize technologies from multiple industrial sectors. Finally, this behaviour of defence companies shows that while they do not adopt a dominant sectoral behaviour over their entire knowledge base, they nevertheless adopt a dominant paradigm when it comes to mobilizing the knowledge of their technological core.

This result reflects the context of defence industry where companies are integrating more and more technologies from the civilian domain particularly in telecommunication and IT. However, at the same time defence technological specialization appears to be a key determinant of arms sales intensity and shows that, despite the dualization of defence industry, there is still a no superficial specificity in defence innovation and arms sales. These two elements corroborate the double movement of

7. CONCLUSION

both expansion of DITB to new companies and (re)specialization of historic actors.

8 Appendices

Annex A : Descriptive statistics

TABLE 3.3 – Descriptive statistiques

Variable	N	Mean	Std deviation	Min	Max	Median
$Intensity - def_{f,t}$	10000	0.0315	0.205	0	2	0
$Intensity - def2_{f,t}$	10000	0.0329	0.2209	0	3	0
$Intensity - def3_{f,t}$	10000	0.0325	0.2145	0	2	0
$Kbc_{f,t}$	7440	19.606	26.3765	-38.881	312.974	12.652
$Kbc - ICB_{f,t}$	7440	19.806	26.2094	-38.881	312.974	12.889
$Explor_{f,t}$	7440	23.56	20.0529	-46.53	95.97	21.79
$Explor - ICB_{f,t}$	7440	23.712	19.9854	-46.532	95.973	6.0673
$Exploit_{f,t}$	7440	7.9904	9.4573	-27.8993	126.9286	20.387
$Exploit - ICB_{f,t}$	7440	8.074	9.4404	-27.899	126.929	0.4398
$Diff_{f,t}$	7440	22.801	19.4842	-2.128	95.467	12.889
$Diff - ICB_{f,t}$	7440	22.948	19.4117	-2.128	95.467	22.066
$Dist_{f,t}$	7440	0.7619	2.8807	-46.5319	33.0227	0.4398
$Dist - ICB_{f,t}$	7440	0.76	2.8681	-46.53	33.02	0.44
$\ln Span_{f,t}$	6264	3.697	1.8644	0	9.490	3.664
$\ln Emp_{f,t}$	8890	8.894	1.8143	0	13.776	9.022
$\text{var}RD_{f,t/t-1}$	9433	0.543	22.599	-0.984	2144.331	0.089
$\text{var}Cape_{f,t/t-1}$	7994	0.748	9.401	-0.999	503.692	0.107
$\ln N_{s_{f,t}}$	9772	7.445	1.9788	-5.587	12.867	7.518

Annex B : Military sales distribution in decile and percentile

We construct our dependant variable after studying the distribution in decile and percentile of arms sales revenue for defence firms.

FIGURE 3.1 – Distribution of arms sales revenue for defence firms

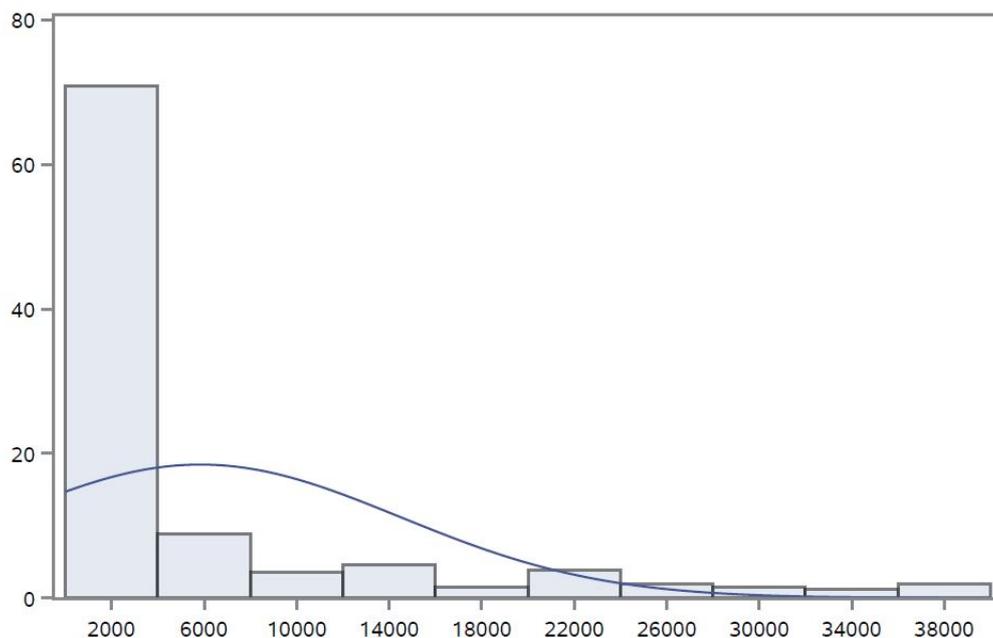


TABLE 3.4 – Distribution of arms sales revenue of defence firms

Level	Quantile
100%	38699,618
99%	36984,047
90%	21702,516
80%	9264,1158
70%	4294,0788
60%	3027,7213
50%	2495,333
40%	1883,9385
30%	1227,1486
20%	982,0938
10%	834,513
1%	644,965
0%	581,474

Annex C : Correlation table

TABLE 3.5 – Correlation table

	$Kbc_{f,t}$	$Kbc - ICB_{f,t}$	$Explor_{f,t}$	$Explor - ICB_{f,t}$	$Exploit_{f,t}$	$Exploit - ICB_{f,t}$	$Diff_{f,t}$
$Defence_{f,t}$	-0.06	-0.07	0.04	0.04	0.01	0	0.03
$Kbc_{f,t}$		0.95	0.04	0.04	0.35	0.32	0.09
$Kbc - ICB_{f,t}$			0.03	0.03	0.33	0.36	0.08
$Explor_{f,t}$				0.97	0.07	0.07	0.99
$Explor - ICB_{f,t}$					0.07	0.06	0.96
$Exploit_{f,t}$						0.94	0.14
$Exploit - ICB_{f,t}$							0.13
$Diff_{f,t}$							
	$Diff - ICB_{f,t}$	$Dist_{f,t}$	$Dist - ICB_{f,t}$	$\ln Span_{f,t}$	$\ln Emp_{f,t}$	$\text{var}RD_{f,t/t-1}$	$\text{var}Cape_{f,t/t-1}$
$Defence_{f,t}$	0.03	0.03	0.04	0.08	0.17	0	0
$Kbc_{f,t}$	0.08	-0.31	-0.28	-0.21	-0.25	0.02	-0.02
$Kbc - ICB_{f,t}$	0.08	-0.29	-0.31	-0.22	-0.26	0.02	-0.02
$Explor_{f,t}$	0.96	0.22	0.21	0.62	0.19	0.02	-0.03
$Explor - ICB_{f,t}$	0.99	0.21	0.22	0.61	0.19	0.02	-0.04
$Exploit_{f,t}$	0.13	-0.41	-0.38	0.11	0.06	0.04	-0.02
$Exploit - ICB_{f,t}$	0.13	-0.37	-0.41	0.09	0.07	0.04	-0.02
$Diff_{f,t}$	0.97	0.07	0.07	0.62	0.19	0.02	-0.03
$Diff - ICB_{f,t}$		0.06	0.07	0.61	0.19	0.02	-0.04
$Dist_{f,t}$			0.94	0.09	0.04	0	-0.01
$Dist - ICB_{f,t}$				0.1	0.03	0	-0.01
$\ln Span_{f,t}$					0.47	0.02	-0.04
$\ln Emp_{f,t}$						-0.01	0.01
$\text{var}RD_{f,t/t-1}$							0.01

Annex D : Robustness tests

Table 3.6 and Table 3.7 present some robustness tests by changing control variable. The level of employment ($\ln Emp_{f,t}$) by the level of net sales in logarithm ($\ln NS_{f,t}$). The variable of net sales of companies, noted $NS_{f,t}$, includes the usual definition of sales, excluding sales taxes and the share of sales of joint ventures and associates. We use, as for the variable $Emp_{f,t}$, the logarithm of net sales.

TABLE 3.6 – Robust : Global coherence

dependant variable : Defence	R1 Global Coherence	R2 Industrial Coherence
<i>Outcome equation</i>		
$Kbc_{f,t}$	0.0215 (0.0153)	-0,055286013** (0,017323768)
$\ln Span_{f,t}$	-0.5157*** (0.0694)	0,083511191 (0,085525347)
$\ln NS_{f,t}$	1.3342*** (0.092)	0,162901199 (0,160344499)
$\text{var}RD_{f,t/t-1}$	-0.2508 (0.3395)	0,219351443 (0,208950532)
$\text{var}Cape_{f,t/t-1}$	0.0264 (0.0222)	0,019355459 (0,019203369)
Intercept	-11.41*** (0.7529)	-2,171539728+ (1,297102946)
<i>Inflated equation</i>		
$Kbc_{f,t}$	0.0529 (0.0228)	-0,086648007* (0,035521054)
$\ln Span_{f,t}$	-0.7361** (0.1757)	0,496911682** (0,180012669)
$\ln NS_{f,t}$	0.8479* (0.2624)	-1,400529691*** (0,323302906)
$\text{var}RD_{f,t/t-1}$	-0.8284+ (1.4343)	0,197940748 (0,197108954)
$\text{var}Cape_{f,t/t-1}$	0.0352 (0.0534)	0,015530491 (0,0317514)
Intercept	-2.5612 (2.0386)	15,39985537*** (2,546464849)
Industry Vuong	yes NB<ZINB	yes NB<ZINB
AIC	1162.769	1189.795
log likelihood	-560.3845	-573.8977
N	4839	4839

with +, *, **, *** respectively denoting a p-value below 10%, 5%, 1%, and 0.1%. S1 and S2 are replication of M1 and M2 with alternative variable of firm's size ($\ln NS_{f,t}$).

3. KNOWLEDGE BASE OF FIRMS AND WEAPONS PRODUCTION : AN EMPIRICAL INVESTIGATION

TABLE 3.7 – Robust : Dilemma Exploration-Exploitation

dependant variable : Defence	R3		R4		R5		R6	
Outcome equation	Global Coherence	Industrial Coherence	Global Coherence	Industrial Coherence	Global Coherence	Industrial Coherence	Global Coherence	Industrial Coherence
<i>Explor_{f,t}</i>	0.0575 *** (0.0093)	0.0506 *** (0.0086)						
<i>Exploit_{f,t}</i>	-0.0026 (0.0213)	0.0261 (0.0196)			0.0084 (0.0214)		0.0255 (0.0206)	
<i>Diff_{f,t}</i>					0.0578 *** (0.0093)		0.053 *** (0.0088)	
<i>Dist_{f,t}</i>					0.0239 (0.0415)		0.0104 (0.0416)	
<i>lnSpan_{f,t}</i>	-0.9966*** (0.1031)	-0.9208*** (0.0932)			-1.0024*** (0.1076)		-0.9477*** (0.0975)	
<i>lnNS_{f,t}</i>	1.3271 *** (0.1026)	1.3532 *** (0.0982)			1.3485 *** (0.1018)		1.3651 *** (0.0981)	
<i>varRD_{f,t/t-1}</i>	-0.2704 (0.1763)	-0.2376 (0.1893)			-0.2715 (0.1734)		-0.2256 (0.1871)	
<i>varCape_{f,t/t-1}</i>	0.0146 (0.0162)	0.0164 (0.0162)			0.0146 (0.0163)		0.0157 (0.0162)	
Intercept	-10.7163*** (0.8538)	-11.3671*** (0.7971)			-10.9646*** (0.8287)		-11.3796*** (0.8051)	
Inflated equation								
<i>Explor_{f,t}</i>	0.0881 *** (0.025)	0.0695 ** (0.0217)						
<i>Exploit_{f,t}</i>	-0.0255 (0.0536)	0.0329 (0.0306)			-0.0089 (0.0422)		0.0235 (0.0355)	
<i>Diff_{f,t}</i>					0.0919 *** (0.0259)		0.0807 ** (0.0246)	
<i>Dist_{f,t}</i>					-0.0345 (0.0931)		-0.0899 (0.0931)	
<i>lnSpan_{f,t}</i>	-1.5972*** (0.3134)	-1.4392*** (0.2797)			-1.6392*** (0.3236)		-1.5282*** (0.3056)	
<i>lnNS_{f,t}</i>	0.8351 ** (0.2851)	0.9287 *** (0.2685)			0.9075 ** (0.2884)		0.9624 *** (0.2789)	
<i>varRD_{f,t/t-1}</i>	-1.1831 ⁺ (0.6599)	-1.0087 (0.7626)			-1.2264 ⁺ (0.6515)		-0.9851 (0.7906)	
<i>varCape_{f,t/t-1}</i>	0.0127 (0.0454)	0.0135 (0.0374)			0.0121 (0.0392)		0.0132 (0.0387)	
Intercept	-0.2393 (2.3805)	-1.8593 (2.1225)			-0.8691 (2.2965)		-1.8341 (2.2288)	
Industry Vuong	-yes NB<ZINB	-yes NB<ZINB	-yes NB<ZINB	-yes NB<ZINB	-yes NB<ZINB	-yes NB<ZINB	-yes NB<ZINB	-yes NB<ZINB
AIC	1143.018	1143.487	1145.482	1144.36				
log likelihood	-548.5088	-548.7433	-547.7412	-547.1801				
N	4839	4839	4839	4839				

with +, *, **, *** respectively denoting a p-value below 10%, 5%, 1%, and 0.1%

Annex E : Threshold tests

Due to thresholds used to code arms sales intensity, our main results captures a peculiar picture. As a consequence, the results presented in this chapter focus on only these two ranges of turnover. However, we are not able to capture, say, an increase from 6000 to 20000 dollars of arms sales; such a situation is defined as ‘stable’ in our study, in spite of its being clear that there is an increase in the intensity of arms sales. Thus, we propose to change the thresholds to see whether our results still hold. In [Table 3.8](#), [Table 3.9](#) and [Table 3.10](#), we recode our variable $defence_{f,t}$ in two different ways, first, such that :

$$defence2_{f,t} = \begin{cases} 0 & \text{if arms sales revenue are equal to 0} \\ 1 & \text{if arms sales revenue lie between 1 and 5833} \\ 2 & \text{if arms sales revenue lie between 5833 and 26350} \\ 3 & \text{if arms sales revenue exceed 26350} \end{cases}$$

8. APPENDICES

Here, we keep the same threshold at mean, for the first step of arms sales intensity. But we add a last threshold at the 5% of the top distribution. we chose it because there is a break in distribution at this point.

The second one is expressed as follow :

$$defence3_{f,t} = \begin{cases} 0 & \text{if arms sales revenue are equal to 0} \\ 1 & \text{if arms sales revenue lie between 1 and 4294} \\ 2 & \text{if arms sales revenue exceed 4294} \end{cases}$$

Here, we replace the average threshold with a threshold at 70% of the distribution of the arms sales variable. We also choose it because there is a break in distribution at this point.

TABLE 3.8 – Sensitivity : Global coherence

dependant variable : Defencei	S1 Global Coherence	S1bis Industrial Coherence	S2 Global Coherence	S2bis Industrial Coherence
<i>Outcome equation</i>				
<i>Kbc_{f,t}</i>	0.0231 (0.0182)	0.0083 (0.0181)	0.0203 (0.0174)	0.0101 (0.0184)
<i>lnSpan_{f,t}</i>	-0.4857*** (0.0793)	-0.4886*** (0.0731)	-0.4982*** (0.0695)	-0.4881*** (0.0749)
<i>lnEmp_{f,t}</i>	1.3764*** (0.1336)	1.3553*** (0.1341)	1.4379*** (0.1201)	1.3471*** (0.1341)
<i>varRD_{f,t/t-1}</i>	0.1945 (0.2455)	-0.2296 (0.1826)	0.1181 (0.2565)	-0.4851 (0.3046)
<i>varCape_{f,t/t-1}</i>	0.0336 (0.0186)	0.0201 (0.0159)	0.0308 (0.0192)	0.026 (0.0354)
Intercept	-13.78*** (1.3387)	-13.15*** (1.3472)	-14.2923*** (1.1662)	-13.06*** (1.3505)
<i>Inflated equation</i>				
<i>Kbc_{f,t}</i>	0.0159 (0.0215)	0.01461 (2.8223)	0.0329 (0.0227)	0.0212 (0.0236)
<i>lnSpan_{f,t}</i>	-0.5038*** (0.135)	-0.4619** (0.0213)	-0.4883*** (0.1349)	-0.4685 (0.1583)
<i>lnEmp_{f,t}</i>	0.7501** (0.2654)	0.6221* (0.1445)	0.7373** (0.2648)	0.6247** (0.3139)
<i>varRD_{f,t/t-1}</i>	0.1432 ⁺ (0.1823)	-0.4354 (0.2992)	0.1634 (0.1837)	-1.1415* (1.0301)
<i>varCape_{f,t/t-1}</i>	0.0159 (0.0308)	0.0093 (0.4043)	0.0195 (0.0294)	0.0227 (0.0991)
Intercept	-3.4464 (2.5168)	-2.0711 (0.0212)	-3.6511 (2.5415)	-2.1016 (2.9521)
Industry Vuong	yes NB<ZINB	yes NB<ZINB	yes NB<ZINB	yes NB<ZINB
AIC	1176.162	-589.8474	-583.5503	-589.5393
log likelihood	-557.0812	1221.695	1209.101	1221.079
N	4486	4486	4486	4486

with +, *, **, *** respectively denoting a p-value below 10%, 5%, 1%, and 0.1%
S1 and S1bis are replication of M1 with respectively dependent variable Defence2 and Defence3
S2 and S2bis are replication of M2 with respectively dependent variable Defence2 and Defence3

3. KNOWLEDGE BASE OF FIRMS AND WEAPONS PRODUCTION : AN EMPIRICAL INVESTIGATION

TABLE 3.9 – Sensitivity : Dilemma Exploration-Exploitation

dependant variable : Defencei	S3	S3bis	S4	S4bis
<i>Outcome equation</i>	Global Coherence	Industrial Coherence	Global Coherence	Industrial Coherence
<i>Explor_{f,t}</i>	0.0552 *** (0.0097)	0.0574 *** (0.0095)	0.0491 *** (0.0092)	0.0531 *** (0.0082)
<i>Exploit_{f,t}</i>	0.0067 (0.0183)	-0.0067 (0.0183)	0.0168 (0.0192)	0.0116 *** (0.0185)
<i>lnSpan_{f,t}</i>	-0.9925*** (0.1038)	-1.0181*** (0.1052)	-0.9259*** (0.0961)	-0.9423*** (0.0742)
<i>lnEmp_{f,t}</i>	1.4654 *** (0.1239)	1.3903 *** (0.1273)	1.4872 *** (0.1203)	1.3415 *** (0.1304)
<i>varRD_{f,t/t-1}</i>	0.1307 (0.2095)	-0.5202** (0.2015)	0.1449 (0.2159)	-0.2638 (0.1882)
<i>varCape_{f,t/t-1}</i>	0.0195 (0.0139)	0.0197 (0.0164)	0.0205 (0.0137)	0.0124 * (0.0166)
Intercept	-13.91 *** (1.1884)	-12.81 *** (1.2198)	-14.37 *** (1.1517)	-10.98 *** (0.4359)
<i>Inflated equation</i>				
<i>Explor_{f,t}</i>	0.0633 ** (0.0213)	0.0736 ** (0.0231)	0.0518 * (0.0203)	0.0675 ** (0.0211)
<i>Exploit_{f,t}</i>	-0.0392 (0.0285)	-0.0584 ⁺ (0.0299)	-0.0197 (0.0316)	0.0131 (0.0307)
<i>lnSpan_{f,t}</i>	-1.1146*** (0.2628)	-1.2379*** (0.3131)	-1.0171*** (0.2495)	-1.3484*** (0.2571)
<i>lnEmp_{f,t}</i>	0.7497 ** (0.2772)	0.7012 * (0.3232)	0.8161 ** (0.2695)	0.8001 *** (0.1443)
<i>varRD_{f,t/t-1}</i>	0.2099 (0.1843)	-1.4851* (0.6223)	0.2126 (0.1971)	-1.0019 (0.6961)
<i>varCape_{f,t/t-1}</i>	0.0051 (0.0174)	0.0114 (0.0401)	0.0064 (0.0181)	0.0107 (0.0291)
Intercept	-1.9931 (2.5856)	-0.7872 (2.8633)	-2.9752 (2.5332)	-0.6966 (0.8511)
Industry	yes	yes	yes	yes
Vuong	NB<ZINB	NB<ZINB	NB<ZINB	NB<ZINB
AIC	1188.658	1197.975	1190.572	1178.705
log likelihood	-571.3289	-575.9874	-572.2862	-566.3523
N	4486	4486	4486	4486

with +, *, **, *** respectively denoting a p-value below 10%, 5%, 1%, and 0.1%

S3 and S3bis are replication of M3 with respectively dependent variable Defence2 and Defence3

S4 and S4bis are replication of M4 with respectively dependent variable Defence2 and Defence3

8. APPENDICES

TABLE 3.10 – Sensitivity : Dilemma Differentiation-Distinction

dependant variable : Defencei	S5		S6	
	Global Coherence	S5bis Industrial Coherence	Global Coherence	S6bis Industrial Coherence
<i>Outcome equation</i>				
<i>Exploit_{f,t}</i>	0.0033 (0.0179)	-0.0026 (0.0181)	0.0191 (0.0204)	0.0191 (0.0204)
<i>Diff_{f,t}</i>	0.0589 *** (0.0099)	0.0574 *** (0.0098)	0.0505 *** (0.0098)	0.0505 *** (0.0098)
<i>Dist_{f,t}</i>	0.0466 (0.0416)	0.0131 (0.0421)	0.0299 (0.0436)	0.0299 (0.0436)
<i>lnSpan_{f,t}</i>	-1.0537*** (0.1095)	-0.9858*** (0.0931)	-0.9376*** (0.1009)	-0.9376*** (0.1009)
<i>lnEmp_{f,t}</i>	1.5041 *** (0.1216)	1.3765 *** (0.0436)	1.4938 *** (0.1246)	1.4938 *** (0.1246)
<i>varRD_{f,t/t-1}</i>	-0.4503* (0.1854)	0.0819 (0.1911)	0.1529 (0.2321)	0.1529 (0.2321)
<i>varCape_{f,t/t-1}</i>	0.0293 † (0.0151)	-0.0067 (0.0091)	0.0201 (0.0139)	0.0201 (0.0139)
Intercept	-14.06 *** (1.1461)	-12.84 *** (0.4778)	-14.43 *** (1.185)	-14.43 *** (1.1851)
<i>Inflated equation</i>				
<i>Exploit_{f,t}</i>	-0.0499 (0.0309)	-0.0514 ⁺ (0.0288)	-0.0208 (0.0345)	-0.0208 (0.0345)
<i>Diff_{f,t}</i>	0.0789 ** (0.0243)	0.0653 ** (0.0219)	0.0566 ** (0.0218)	0.0566 ** (0.0218)
<i>Dist_{f,t}</i>	0.0366 (0.0853)	-0.0079 (0.0806)	-0.0251 (0.0857)	-0.0251 (0.0857)
<i>lnSpan_{f,t}</i>	-1.3503*** (0.3221)	-1.0557*** (0.2502)	-1.0463*** (0.2583)	-1.0463*** (0.2583)
<i>lnEmp_{f,t}</i>	0.9101 ** (0.3217)	0.5976 ** (0.1981)	0.8231 ** (0.2801)	0.8231 ** (0.2801)
<i>varRD_{f,t/t-1}</i>	-1.4632* (0.6699)	0.1983 (0.1695)	0.2241 (0.2182)	0.2241 (0.2182)
<i>varCape_{f,t/t-1}</i>	0.0169 (0.0943)	-0.0521 (0.0557)	0.0061 (0.0175)	0.0061 (0.0175)
Intercept	-2.7783 (2.8554)	-0.3834 (1.8593)	-2.9719 (2.6358)	-2.9719 (2.6358)
Industry	yes	yes	yes	yes
Vuong	NB<ZINB	NB<ZINB	NB<ZINB	NB<ZINB
AIC	1191.198	1204.473	1193.566	1193.566
log likelihood	-570.5989	-577.2364	-571.7831	-571.7831
N	4486	4486	4486	4486

with +, *, **, *** respectively denoting a p-value below 10%, 5%, 1%, and 0.1%

S5 and S5bis are replication of M5 with respectively dependent variable Defence2 and Defence3
S6 and S6bis are replication of M6 with respectively dependent variable Defence2 and Defence3

4

**Diversification de la base de
connaissances et performance
du processus d'innovation
technologique : la spécificité des
entreprises de défense**

Ce chapitre est co-écrit avec François-Xavier Meunier (UEA ENSTA Paris)

Résumé

Ce chapitre a pour objet d'étudier la contribution de la diversification de la base de connaissances des plus grandes entreprises innovantes mondiales sur la performance de leur processus d'innovation technologique. Plus particulièrement, nous nous demandons comment les briques de connaissances diverses et leur organisation influencent la quantité et la qualité des innovations technologiques des firmes. De plus, sachant que les bases de connaissances des entreprises de défense sont particulières, nous nous demandons comment cet engagement dans la production de biens militaires influence la performance du processus d'innovation des entreprises. Cette étude s'ancre dans le cadre conceptuel de la base de connaissances des firmes qui distingue entre briques de connaissances et l'architecture des connaissances [Henderson & Clark, 1990]. Pour réaliser cette étude, nous analysons les brevets des 2000 plus grandes firmes au monde en termes de R&D entre 2010 et 2014 [JRC/OECD, 2015, 2017] et mobilisons les indicateurs issus de la littérature sur la cohérence des firmes [Nesta & Saviotti, 2005, 2006]. Nos résultats montrent l'importance de la nature ambidextre de la base de connaissances des entreprises. L'activité de défense combinée à une base de connaissances orientée vers l'exploitation favorise la qualité des innovations.

JEL Codes : L25 – O33

Mots clés : Originalité des brevets, Cohérence technologique, Innovation

1 Introduction

Les chapitres précédents se sont concentrés sur les spécificités de la base de connaissances des entreprises de défense. Nos résultats mettent en évidence deux grandes particularités de la base de connaissances de ces entreprises. Le processus d'innovation des entreprises de défense, d'une part, mobilise de façon importante des connaissances scientifiques, et d'autre part, combine des connaissances technologiques originales, *i.e.* de manière exploratrice. En complément, il est nécessaire de se demander comment ces caractéristiques de la base de connaissances des entreprises influence la performance du processus d'innovation technologique. Plus précisément, nous questionnons l'influence de la structure de la base de connaissances des entreprises combinée à leur engagement dans la production militaire sur leur capacité d'innovation. En effet, ce type de production pose de nombreuses contraintes aux entreprises. Elle influence la structure de leur base de connaissances mais aussi d'autres éléments, tels que les routines organisationnelles, le type de personnels mobilisés, *etc.* Nous nous demandons si en plus de cette structure particulière, la dépendance économique de l'entreprise aux ventes d'armes entraîne une variation de la performance de son processus d'innovation. Ainsi, ce chapitre traite de cette question à la fois en terme de diversification de la base de connaissances des entreprises et en terme d'engagement dans la production de défense.

Cette question de la diversification de la base de connaissances des entreprises est particulièrement intéressante au regard de l'évolution récente de la production technologique. Durant les dernières décennies, la complexification des produits [Breschi *et al.*, 2003, Frigant, 2005, Rosenberg, 1976] a engendré une diversification technologique des firmes se traduisant par une variété de systèmes de connaissances et des principes généraux qu'elles manipulent afin de mettre au point ces produits. La diversification technologique des firmes ne repose pas nécessairement sur leur diversification en termes de produits mais peut être le simple fruit de la complexification technologique des produits qu'elles développent [Quintana-García & Benavides-Velasco, 2008]. Dans ce contexte, une approche économique fondée sur la connaissance (*knowledge-based economy*, KBE), met en avant que non seulement les connaissances, mais aussi la manière dont les entreprises les mobilisent ont un impact crucial sur la performance de leur processus d'innovation.

Dans ce cadre, deux types de connaissances se distinguent, celles liées aux composants du système et celles liées à son architecture [Henderson & Clark, 1990]. D'une part, la brique de connaissances (*component knowledge*) correspond à l'unité de connaissance. D'autre part, l'architecture de connaissances (*architectural knowledge*) révèle les relations qui existent entre les briques de connaissances. Cette typologie

1. INTRODUCTION

permet d'étudier l'agencement des connaissances au sein d'une organisation. Elle souligne que pour qu'une entreprise produise une innovation à partir d'une brique de connaissances, il faut non seulement qu'elle la maîtrise, mais aussi qu'elle soit capable de l'articuler avec les autres connaissances dont elle dispose. C'est en distinguant brique de connaissances et architecture de connaissances que nous proposons des indicateurs capables de rendre compte de la structuration de la base de connaissances au sein des firmes. L'objectif est d'analyser ces bases de connaissances afin de comprendre comment, dans un contexte de complexification technologique, la diversification des connaissances au sein des firmes influence la performance de leur processus d'innovation. Nous avons vu dans les chapitres précédents que cette diversification des connaissances est particulière pour les entreprises de défense. Nous nous demandons à quel point cette spécificité influence la performance du processus d'innovation technologique. Ce chapitre vise à comprendre comment la production de biens militaires explique la performance du processus d'innovation des entreprises, à diversification des connaissances données.

À l'échelle de la firme, de nombreux auteurs tels que [Cockburn & Henderson \[1998\]](#), [Henderson & Clark \[1990\]](#) ou encore [Teece & Pisano \[1994\]](#) se sont questionnés sur comment les firmes acquièrent, utilisent, organisent ces connaissances tandis que d'autres ont étudié le lien entre cette organisation de la base de connaissances des firmes et leurs performances innovatives [[Nesta & Saviotti, 2005](#)]. La valeur ajoutée de ce chapitre est triple. Premièrement, il étend à l'ensemble des domaines technologiques l'analyse du lien entre structure de la base de cohérence des firmes et performance du processus d'innovation tel que l'abordent [Nesta & Saviotti \[2005\]](#). Deuxièmement, ce chapitre propose de nouveaux indicateurs dans le prolongement des travaux de [Teece et al. \[1994\]](#) sur la cohérence permettant de rendre compte plus précisément de l'organisation des connaissances au sein de la firme. Troisièmement, en étudiant plus précisément l'intensité de l'activité de défense, nous montrons que la structure de la base de connaissances n'est pas l'unique spécificité de la défense qui influence la performance du processus d'innovation des entreprises. *In fine*, cette recherche étudie l'influence des briques de connaissances et de leur organisation sur l'originalité des innovations technologiques des firmes. Cette étude repose sur l'analyse des portefeuilles de brevets des plus grandes firmes au monde en termes de R&D entre 2010 et 2014 [[JRC/OECD, 2015, 2017](#)].

Dans une première partie, nous présentons une revue de la littérature traitant des déterminants de la performance du processus d'innovation. Nous portons une attention particulière à la question du lien entre la base de connaissances de firmes et leur performance du processus d'innovation. Dans une deuxième et troisième section, nous présentons notre stratégie empirique et les données mobilisées dans cette

étude. La quatrième et cinquième section regroupent les résultats économétriques ainsi qu'une discussion de ceux-ci. Enfin, dans la dernière section, nous concluons.

2 Revue de littérature

En 1996, l'OECD [1996, p.3] déclare que les économies développées “*s'appuient de plus en plus sur le savoir et l'information. Le savoir est désormais reconnu comme moteur de la productivité et de la croissance économique, ce qui éclaire sous un nouveau jour le rôle que jouent l'information, les technologies et l'apprentissage dans les performances économiques*”. Les connaissances prennent une place croissante dans l'économie, principalement *via* leur contribution à l'innovation. L'objet de la KBE appliquée à l'échelle de l'entreprise est de saisir comment une organisation acquiert, accumule, mobilise et diffuse des connaissances pour stimuler son innovation [Cowan & Foray, 1997]. De façon concomitante, ces dernières décennies ont été marquées par une croissance de la complexité des productions [Breschi *et al.*, 2003, Rosenberg, 1976]. Cette complexité semble imposer une diversité technologique aux entreprises, conduisant les firmes à manipuler une plus grande variété de connaissances. Autrement dit, pour produire de l'innovation technologique aujourd'hui, les entreprises doivent utiliser diverses sources de connaissances, scientifiques et technologiques, présentant des caractéristiques différentes et visant différents segments de marché [Dosi, 1988].

Quintana-García & Benavides-Velasco [2008] montrent qu'une base technologique diversifiée a une incidence positive sur la capacité d'innovation des firmes. Leurs résultats donnent à penser que la diversité technologique peut atténuer les rigidités fondamentales et les dépendances de sentier technologique en améliorant les solutions novatrices qui accélèrent le rythme des inventions, surtout celles qui s'écartent des activités passées de l'entreprise. De même, la littérature sur la théorie évolutionniste de la firme et des trajectoires technologiques suggèrent qu'il est essentiel de maintenir des positions dans diverses technologies [Dosi, 1982, Nelson & Winter, 1982, Rosenberg, 1969]. Les études empiriques de l'industrie de la robotique mettent en évidence une relation linéaire et positive entre la portée de la recherche et l'innovation des produits [Katila & Ahuja, 2002]. Ahuja & Lampert [2001] démontrent, pour l'industrie chimique, que l'expérimentation avec des technologies nouvelles, émergentes et pionnières est associée positivement au nombre de nouvelles inventions. De même, Garcia-Vega [2006] inciste sur l'influence positive de la diversité technologique sur l'innovation au sein des entreprises grâce à une étude empirique de 544 firmes européennes où la diversité technologique est capturée par un indicateur de concentration de connaissances technologiques. Cependant, de nombreuses études montrent aussi l'importance de considérer, non pas uniquement la diversité technologique des

2. REVUE DE LITTÉRATURE

entreprises mais plus largement la diversité des connaissances permettant, notamment, d'intégrer le rôle des recherches scientifiques dans le processus d'innovation. Certains travaux suggèrent que le potentiel d'innovation peut être renforcé par la sélection d'un large éventail de spécialités scientifiques [Cardinal, 2001, Dewar & Dutton, 1986, Ettl et al. , 1984]. La disponibilité de multiples disciplines scientifiques aide les professionnels de la R&D à acquérir de nouvelles connaissances et à élargir les bases de connaissances existantes [Cardinal, 2001].

Cette diversification ne se fait pas pour autant pas de façon aléatoire mais de façon cohérente [Piscitello, 2000, 2004]. Elle se construit par un processus d'apprentissage au cours duquel une firme acquiert de nouvelles compétences étroitement liées à celles dont elle disposait déjà. Dans cette perspective, la diversification n'est pas qu'une somme de compétences venant s'ajouter les unes aux autres mais aussi une mise en relation - une articulation - de l'ensemble des compétences au sein de la firme. Si on s'attarde plus particulièrement sur les enjeux technologique de la diversification et donc sur les connaissances qu'une entreprise manipule, cette double approche conduit à appréhender, non seulement la masse des connaissances, mais aussi les liens, le réseau qui les articulent. Cet enjeu est crucial pour l'innovation des entreprises et est explicité par Henderson & Clark [1990]. Ils montrent le rôle joué par les connaissances dans l'innovation en distinguant les "briques de connaissance" (*component knowledge*) de l'"architecture de connaissances" (*architectural knowledge*). La brique est la plus petite unité de connaissance produite/mobilisée alors que l'architecture de connaissances rend compte des liens entre ces briques. Ainsi, la diversité technologique est importante mais ne peut être considérée seule. Elle doit être complétée par une étude de sa structure. Celle-ci peut se définir, selon Penrose, comme une "structure d'opportunité" pour la société [Penrose, 1959]. Cette structure d'opportunité détermine le potentiel d'innovation des entreprises et peut être étudiée, à travers des indicateurs de cohérence. Ceux-ci trouvent leur origine avec le concept de *relatedness* [Ansoff, 1957, 1965]. Il permet d'analyser comment les entreprises choisissent leur diversification en fonction de la nature complémentaire ou substituable des compétences qu'elles acquièrent dans ce processus. C'est à partir de ces liens entre les compétences qu'il est possible d'étudier la cohérence des portefeuilles d'activités des entreprises, notamment technologiques. Cette approche est testée empiriquement par Nesta & Saviotti [2005, 2006]. Selon eux les caractéristiques à la fois au niveau des nœuds et des liens entre les briques de connaissances déterminent la performance d'innovation. Nesta & Saviotti [2005] expliquent cette performance des entreprises américaines de l'industrie pharmaceutique entre 1990 et 1998 par la cohérence de leurs bases de connaissances ainsi que par la diversité des connaissances technologiques intégrées. Ils mobilisent des données de brevets afin de construire leur mesure de la force des liens entre les technologies au sein des

4. DIVERSIFICATION DE LA BASE DE CONNAISSANCES ET PERFORMANCE DU PROCESSUS D'INNOVATION TECHNOLOGIQUE : LA SPÉCIFICITÉ DES ENTREPRISES DE DÉFENSE

firmes, *i.e.* la cohérence. Leurs résultats mettent en évidence l'importance des briques de connaissances et leurs liens, ainsi que leur interaction pour l'innovation technologique des firmes étudiées.

Cette approche par la cohérence des liens peut être affinée afin de mieux comprendre les stratégies de structuration des bases de connaissances des entreprises. Il semble en effet que les entreprises doivent résoudre le dilemme entre l'exploration de nouveaux liens et l'exploitation de liens communément réalisés [March, 1991]. La nature et la diversité de la base technologique d'une entreprise est structurée par ce choix d'orientation. D'une part, elle peut choisir l'exploitation des synergies déjà connues entre les ressources des entreprises afin d'accroître les "liens" entre elles [Montgomery, 1979, Rumelt, 1974]. D'autre part, elle peut explorer de nouveaux liens entre les ressources de l'entreprise dont le potentiel synergique n'est pas encore identifié et qui pourrait conduire à l'ajout de nouvelles activités [Nesta & Saviotti, 2005] bien qu'elle puisse aussi générer des coûts organisationnels prohibitifs [Reed, 1991]. L'exploitation repose sur une recherche intensive, *i.e.* l'expérimentation le long d'un sentier de connaissances existantes alors que l'exploration est concentrée sur une recherche approfondie visant à acquérir de nouvelles connaissances potentielles [March, 1991]. L'exploitation améliore les méthodes ou les matériaux utilisés pour atteindre les objectifs de rentabilité de l'entreprise et satisfaire les besoins des clients. À l'inverse, l'exploration fait appel à des méthodes ou à des matériaux nouveaux qui découlent soit d'une base de connaissances complètement différente, soit d'une recombinaison de la base de connaissances grâce à un nouveau flux de connaissances au sein des entreprises [Freeman & Soete, 1997]. L'exploration semble la stratégie la plus propice à une innovation originale. Cet impact positif est confirmé par les travaux de Yalcinkaya *et al.* [2007] qui montrent, à l'aide d'une étude de 111 entreprises américaines que l'exploration influence positivement l'innovation alors que l'exploitation tend à la desservir. Molina-Castillo *et al.* [2011] s'intéressent aux produits de 197 entreprises manufacturières et montrent que l'exploitation favorise de produits de meilleure qualité alors que l'exploration joue sur la nature innovante des productions. Un raffinement de cette nature exploratrice des bases de connaissances de firmes est celui proposé par Lebert *et al.* [2015]. Ils distinguent, au sein de l'exploration, deux dynamiques opposées. La première, appelée différenciation, correspond à la mise en œuvre, au sein de l'entreprise, d'une association de savoirs inhabituels, tandis que la seconde, appelée distinction, consiste à abandonner, au sein de l'entreprise, des associations de connaissances qui apparaissent pourtant très cohérentes au regard de l'activité des autres entreprises [Lebert *et al.* , 2015].

Ce dilemme exploration-exploitation peut être soit résolu avec le temps, *i.e.* les entreprises commencent par explorer les opportunités avant d'exploiter les plus ren-

2. REVUE DE LITTÉRATURE

tables [Fauchart & Keilbach, 2009], soit par une double maîtrise de ces compétences, *i.e.* l'ambidextrie. Celle-ci est la capacité de l'entreprise à explorer et exploiter en même temps l'architecture des connaissances. La capacité d'innovation des entreprises ne repose alors pas sur un compromis entre l'exploration et l'exploitation qui se résout avec le temps, mais sur la capacité des entreprises à mener les deux activités en même temps. Simultanément, une entreprise est à la recherche d'une innovation de rupture sans abandonner ses activités traditionnelles, faisant de l'innovation incrémentale [Benner & Tushman, 2003, O'Reilly & Tushman, 2004]. Une entreprise ambidextre opère à la fois des associations de savoirs très cohérentes et des associations qui sont, au contraire, peu cohérentes. L'effet de cette ambidextrie sur la performance du processus d'innovation est notamment traitée par Russo & Vurro [2010] qui s'intéressent à la fois à l'ambidextrie intra-organisationnelle et inter-organisationnelle. Ils montrent, à partir d'une analyse des brevets de 153 entreprises du secteur de la pile à combustion entre 1999 et 2006, que des stratégies complémentaires d'ambidextrie intra- et inter-organisationnelle améliorent la performance d'innovation des firmes.

Dans ce chapitre, nous nous questionnons l'influence de la diversité de la base de connaissances des entreprises sous ces multiples facettes, *i.e.* cumulative, exploitante, exploratrice ou encore ambidextre sur l'innovation technologique. En effet, la richesse de littérature sur cette question apporte une multitude d'angle de vue particulier de la diversité technologique. Cependant, peu d'attention a été portée à l'influence de la combinaison de ces éléments sur la performance du processus d'innovation des entreprises. En effet, certaines études portent sur la diversité de la base de connaissances en termes de briques de connaissances, et de concentration de celles-ci [Garcia-Vega, 2006] et d'autres se concentrent sur l'architecture de cette base, aussi bien sous l'angle de la cohérence de la diversification [Nesta & Saviotti, 2005] que du dilemme exploitation-exploration [Yalcinkaya *et al.*, 2007] ou encore de l'ambidextrie [O'Reilly & Tushman, 2004].

Cette diversité de la base de connaissances est particulière pour les entreprises de défense comme nous avons montré dans le Chapitre 2, ces entreprises mobilisent significativement plus de connaissances scientifiques que les entreprises civiles. Concernant, la structure de la base de connaissances, le Chapitre 3 met en évidence la nature exploratrice de combinaisons de connaissances technologiques réalisées par les firmes de défense. Nous nous demandons dans ce chapitre en quoi ces caractéristiques de la base de connaissances influencent la performance du processus d'innovation des entreprises. En effet, la structure de la base de connaissances traduit certaines des spécificités de l'activité de défense mais n'est évidemment pas exclusive. Comme le montre Lazaric *et al.* [2009], les spécificités des entreprises de défense se

4. DIVERSIFICATION DE LA BASE DE CONNAISSANCES ET PERFORMANCE DU PROCESSUS D'INNOVATION TECHNOLOGIQUE : LA SPÉCIFICITÉ DES ENTREPRISES DE DÉFENSE

trouvent dans leur complexité technologique mais aussi dans l'environnement institutionnel dans lequel elles exercent. Ces facteurs ont un impact sur la diversité de la base de connaissances mais aussi sur les routines organisationnelles et sur les compétences nécessaires aux agents pour produire les systèmes d'armes. Nous questionnons ainsi l'influence de l'activité de défense combinée aux caractéristiques des bases de connaissances sur la performance d'innovation. La base de connaissances est importante pour toutes les entreprises innovantes, cependant elle semble jouer un rôle particulier pour les entreprises de défense. La question est de savoir si le fait que l'entreprise soit plus ou moins dépendante de ses ventes d'armement agit sur sa capacité à l'innovation technologique.

Prendre en compte cette dépendance aux ventes d'armes revient à considérer l'environnement de sélection au sein duquel l'entreprise évolue [Nelson & Winter, 1975]. Cet environnement est de deux natures. Premièrement, l'environnement de sélection marchand influence les choix technologiques de la firme et ses orientations de l'innovation en fonction de ses perspectives de profit. En la matière, le rôle de la demande publique militaire (unique débouché pour la production d'armement) contraint l'environnement pour les entreprises de défense. L'influence de ce paramètre est d'autant plus importante que ce débouché est essentiel pour l'entreprise. Deuxièmement, l'environnement de sélection non marchand met en avant les procédures de contrôle politique, réglementaire ou professionnelle dans le processus de sélection de l'activité des entreprises. Ici aussi, la particularité de l'activité de défense est évidente et engendre un environnement de sélection différent pour les entreprises de défense. Si une entreprise est peu dépendante à l'activité de défense, alors sa production civile est centrale et ses perspectives de profits et son cadre réglementaire sera plus influencée par ce type de marché. À l'inverse, une entreprise fortement dépendante à la défense placerait au cœur de son organisation les contraintes imposées par la production d'armes. Ce chapitre questionne ainsi si cette intensité, et donc l'intégration plus ou moins importantes des spécificités de défense dans l'organisation de la production d'innovation, influence la performance du processus d'innovation technologique.

3 Stratégie empirique

Nous nous inscrivons dans la continuité des travaux Nesta & Saviotti [2005]. Ils expliquent la performance d'innovation technologique des firmes pharmaceutiques américaines par la quantité de connaissances technologiques ainsi que les liens entre ces connaissances à travers un indicateur de cohérence. Nous enrichissons cette approche à la fois par l'ajout des connaissances scientifiques aux briques de connaissances technologiques et par une diversification des approches de la cohérence de la

3. STRATÉGIE EMPIRIQUE

firme. Premièrement, l'intégration de la mobilisation de connaissances scientifiques dans notre analyse se justifie par l'importance accrue des connaissances fondamentales pour l'innovation de haute technologie [Liefner, 2017]. De nombreux auteurs tels que Leydesdorff [1995] ou Narin *et al.* [1987], mettent en évidence l'importance des relations entre les mondes industriels et scientifiques afin de produire de l'innovation technologique. Deuxièmement, comme nous l'avons montré dans la partie précédente, l'analyse de la cohérence de la base de connaissances de firme, initialement concentrée sur la *relatedness*, c'est largement étendue pour intégrer de multiples raffinements. Ainsi, nous intégrons dans cette étude des indicateurs sur la cohérence globale de la base de connaissances de la firme [Teece & Pisano, 1994] mais aussi sur sa nature exploratrice ou exploitatrice [March, 1991, Quintana-García & Benavides-Velasco, 2008], sur son orientation en termes de différenciation ou de distinction [Lebert *et al.*, 2015] et enfin son ambidextrie [Benner & Tushman, 2003, O'Reilly & Tushman, 2004].

Afin de traiter cette question de l'influence de la base de connaissances des firmes sur leur capacité à innover de façon originale, nous utilisons un modèle de panel qui peut s'exprimer comme suit :

$$Y_{f,t} = \eta_0 + \eta_1 W'_{f,t-1} + \eta_2 X'_{f,t-1} + \eta_3 Y'_{f,t-1} + \epsilon_{f,t}$$

Où $Y_{f,t}$ est la variable dépendante dans notre modèle et représente la qualité et la quantité des brevets de la firme f l'année t . $X'_{f,t-1}$ est le vecteur contenant les variables associées à la diversification de la base de connaissances de la firme. $W'_{f,t-1}$ est composé de variables de contrôle communément associées à l'étude des firmes. $Y'_{f,t-1}$ traduit la part de la défense dans le chiffre d'affaires des entreprises. Finalement, $\epsilon_{f,t}$ représente le terme d'erreur. Pour tester cette relation, nous utilisons des données consolidées sur la période 2010-2014. Afin d'éviter tout problème d'endogénéité, nous considérons toutes nos variables dépendantes avec un retard d'une année. Ce panel est asymétrique du fait de données manquantes dont nous discutons dans la partie suivante. L'annexe A contient les statistiques descriptives de notre échantillon. L'annexe B présente la table de corrélation de l'ensemble des variables mobilisées. Pour mener cette étude de la relation entre la base de connaissances des firmes et la performance de leur innovation, nous construisons trois types d'indicateurs : i) les indicateurs de performance du processus d'innovation ; ii) les indicateurs captant les spécificités des firmes en termes de briques de connaissances ; iii) les indicateurs approchant l'architecture de la base de connaissances des entreprises.

La performance du processus d'innovation

La KBE peut s'interpréter comme une relation positive entre la collaboration accrue entre les différents acteurs producteurs de connaissances et le processus d'innovation. Nous nous demandons comment les briques de connaissances et le type d'architecture qui leur sont associés ont une influence sur la performance du processus d'innovation. Nous utilisons les brevets comme indicateur de l'innovation technologique. Il englobe à la fois les innovations de procédés et de produit qui respectent les conditions de brevetage présentées dans le [Chapitre préliminaire](#). Un premier indicateur de celle-ci est la quantité de brevets déposés par l'entreprise. À la manière de [Nesta & Saviotti \[2005\]](#), nous utilisons le nombre de brevets déposés par une entreprise f , l'année t , noté $Span_{f,t}$. Il traduit l'intensité des inventions au sein d'une organisation. Cependant cet indicateur est imparfait car fortement variable selon l'entreprise, l'industrie, *etc.* et ne traduit pas la qualité de l'invention. Ainsi, nous complétons cette étude en ajoutant des indicateurs de qualité des brevets. Nous utilisons l'indice d'originalité communément utilisé dans la littérature [[Squicciarini et al. , 2013](#)]. L'originalité d'un brevet se concentre sur les brevets cités par l'invention (*backward citation*). Ainsi, plus un brevet cite un nombre important de technologies différentes, plus l'invention qu'il contient est considérée comme originale. L'argument développé par [Trajtenberg et al. \[1997\]](#) pour justifier cet indicateur est celui de la diversification des connaissances et son importance pour l'innovation : une invention reliée à un large nombre de technologies est supposée amener à un résultat original. Cet indicateur est mobilisé dans divers études : sur la création de start-up soutenue par du capital-risque [[Gompers et al. , 2005](#)], sur la durée et le résultat des procédures d'examen des brevets pour l'office européen des brevets (EPO) [[Harhoff & Wagner, 2009](#)] ou encore des questionnements concernant la production d'innovation technologique des universités [[Guerzoni et al. , 2014](#)]. L'originalité d'un brevet i à l'année t , noté $Orig_{i,t}$, peut être exprimé comme suit :

$$Orig_{i,t} = 1 - \sum_j^{n_i} s_{ij}^2$$

où s_{ij} est le pourcentage de citations faite par un brevet i qui appartient à la classe technologique j . Afin de caractériser cette qualité à l'échelle de la firme, nous utilisons, l'originalité moyenne par année t et par entreprise f et peut être exprimé comme suit :

$$Orig_{f,t} = \left(\frac{\sum Orig_{i,t}}{Span_{f,t}} \right)$$

Cet indicateur de qualité des brevets est un des deux principaux indicateurs de qualité des brevets [[Squicciarini et al. , 2013](#)]. L'autre indice de qualité est la généra-

3. STRATÉGIE EMPIRIQUE

lité des brevets, et se base sur les *forward citation*. L'idée sous-jacente est que plus le brevet considéré est cité par des technologies diverses plus cette invention est dite "générale", *i.e.* plus elle touche des domaines technologiques distincts, et donc des industries diverses [Bresnahan & Trajtenberg, 1995]. Cet indicateur permet de comprendre comment une invention a influencé les générations suivantes en évaluant la gamme des domaines technologiques citant. Il est construit avec un recul de quatre années, c'est-à-dire que nous prenons en compte les citations reçues par les brevets de nos entreprises sur une période correspondant à $t + 4$. Noté $Generalite_{f,t}$, il peut s'exprimer de la façon suivante :

$$Generalite_{f,t} = \left(\frac{1 - \sum_j^{n_i} S_{ij}^2}{Span_{f,t}} \right)$$

où S_{ij} est le pourcentage de citations reçues sur $t + 4$ années par un brevet i qui appartient à la classe technologique j . La moyenne du score de l'entreprise f est ensuite calculé en fonction du nombre de brevet $Span_{f,t}$.

Les briques de connaissances

Afin de capturer les briques de connaissances associées à la facette quantitative de la diversification de bases de connaissances des entreprises nous utilisons deux variables. Premièrement, la concentration technologique au sein de l'entreprise f , l'année t , noté $HHI_{f,t}$. Celle-ci est construite grâce à la classification international des brevets de l'OMPI¹ et à l'échelle 4-digit. Cette variable est construite comme suit :

$$HHI_{f,t} = 1 - \sum_i^{n_i} c_i^2$$

Où, c_i^2 est la part de la technologie de classe i dans le portefeuille de brevet de la firme f , l'année t . Cette variable permet de comptabiliser la diversité technologique des connaissances mobilisées par la firme et est similaire à celle construite par Garcia-Vega [2006]. Selon la littérature de la KBE, les entreprises profitant de l'émergence des technologies de l'information et de la communication devraient se concentrer sur un petit nombre de connaissances technologiques en lien avec ses activités cœur. Ainsi, nous nous attendons à un effet négatif sur la qualité des brevets des firmes. Nous mobilisons aussi une variable permettant de prendre en compte la contribution des connaissances scientifiques associées aux innovations des entreprises. Celle-ci est construite dans la lignée des travaux menés par Narin *et al.* [1987]. Notre indicateur de contribution des connaissances scientifiques à l'innovation technologique des firmes, noté $NPL_{f,t}$, est la quantité moyenne de citations de

1. <https://www.wipo.int/classifications/ipc/fr/>

littérature scientifique dans les familles de brevets de l'entreprise f à la date t . Avec l'intensification des innovations fondées sur des collaborations entre la recherche technologique et scientifique, nous nous attendons à ce que ces variables aient un effet sur la performance du processus d'innovation des firmes.

L'architecture des connaissances

Enfin, pour capter l'architecture des connaissances associée à l'orientation de la diversification technologique, nous utilisons les indicateurs issus de la littérature sur la cohérence de la base de connaissances de la firme [Nesta & Saviotti, 2005] en mobilisant des données de brevets. L'analyse de cohérence émerge dans la littérature sur la diversification des entreprises. Celle-ci s'intéresse aux choix de diversification des entreprises en fonction de la nature complémentaire ou substituable des compétences qu'elles acquièrent dans ce processus. C'est à partir de ces liens entre les compétences qu'il est possible d'analyser la cohérence des portefeuilles d'activités des entreprises, notamment technologiques. L'étude de ces liens se réalise sous deux angles complémentaires : i) une approche par les relations fonctionnelles [Fan & Lang, 2000, Rondi & Vannoni, 2005]; ii) une approche par les ressources humaines [Farjoun, 1994] ou technologiques [Robins & Wiersema, 1995]. Ce sont ces liens technologiques qui nous intéressent dans cette étude. En effet, l'architecture des connaissances, *i.e.* la capacité des firmes à intégrer, produire, mobiliser et maintenir les connaissances nécessaires à l'innovation, peut-être capturée par la cohérence technologique des firmes [Teece *et al.*, 1994]. Plus une entreprise combine des briques de connaissances communément associées les unes aux autres par toutes les autres entreprises, plus elle est cohérente. Cela nous permet de mesurer, si pour réaliser une innovation, l'entreprise doit faire des associations de connaissances communément utilisées et donc à accroître sa cohérence ou si elle a intérêt à utiliser des associations technologiques inhabituelles qui génèrent de faibles scores de cohérence. Dans cette étude nous mobilisons les différentes approches de la base de connaissances des firmes en termes de cohérence technologique présentées dans la partie précédente, *i.e.* la cohérence globale, le dilemme exploration/exploitation avec un raffinement sur la différenciation et la distinction et enfin l'ambidextrie.

Ces indicateurs sont construits en deux étapes. Tout d'abord, la mesure du lien technologique. Un nombre "attendu" de co-occurrences entre technologies est calculé à l'aide d'une loi hypergéométrique. Le lien $\tau_{i,j}$ entre les technologies i et j dépend de la différence entre le nombre de co-occurrences observées et le nombre attendu. Si $\tau_{i,j}$ est élevé, *i.e.* si le nombre de liens $J_{i,j}$ observé entre les technologies i et j est supérieur au nombre de liens $\mu_{i,j}$ attendu, les deux technologies sont liées. Plus la différence est grande et positive, plus la relation entre eux est forte [Teece *et al.*,

3. STRATÉGIE EMPIRIQUE

1994]. Notons :

$$\mu_{i,j} = E(X_{i,j} = x) = \frac{O_i O_j}{B}$$

Où B est toutes les familles de brevets accordées ; $p_{bi} = 1$ si la famille de brevets se réfère à la technologie i , sinon 0 ; $O_i = \sum p_{bi}$ le nombre total de fois où la technologie i est référencée parmi toutes les familles de brevets. Enfin, X_{ij} est une variable aléatoire hypergéométrique du nombre de familles de brevets associées aux technologies i et j (avec une population B , un nombre de réalisation O_i et un échantillon O_j) dont la variance est égale à σ_{ij}^2 .

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

Ainsi, le lien technologique est noté :

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

Où J_{ij} est le nombre d'occurrences de l'association des technologies i et j est donc $J_{ij} = \sum_b p_{bi} p_{bj}$. Tous les liens entre les technologies sont regroupés dans une matrice de liens technologiques.

Ensuite, en considérant la base de connaissances de la société f représentée par un ensemble de familles de brevets, $p_{fi} = 1$ si la famille de brevets déposée par la société f fait référence à la technologie i , 0 sinon. Avec P_f le nombre de classes technologiques dans lesquelles l'entreprise f est active. Un ensemble d'indicateurs est construit selon la même formule où la matrice adjacente $M_{ij}^{Indic_f}$ est utilisée pour spécifier les relations technologiques retenues pour chacune d'elles.

$$Indic_f = \frac{1}{P_f} \sum_i C_{fi} \left(\frac{\sum_{j \neq i} \tau_{ij} M_{ij}^{Indic_f} P_{fj}}{\sum_{j \neq i} M_{ij}^k P_{fj}} \right)$$

Ensuite, $Indic_f \in]0, +\infty[$ fait référence aux indicateurs relatifs à la société f . Où, i est la classe technologique comparée à toutes les autres technologies produites par cette société, τ_{ij} est l'indice de lien technologique entre i et j , C_{fi} le vecteur des classes technologiques dans lesquelles la société est active et $P_{fj} = \sum_j p_{fj}$ correspond au nombre de familles de brevets relatives à la classe technologique j appartenant à la société f .

En utilisant $M_{ij}^{kIndic_f}$, nous mobilisons quatre indicateurs issus des travaux de [Lebert *et al.*, 2015].

- War_f : où $M_{ij}^{Indic_f}$ prend en compte tous les liens possibles entre les technologies manipulées.

4. DIVERSIFICATION DE LA BASE DE CONNAISSANCES ET PERFORMANCE DU PROCESSUS D'INNOVATION TECHNOLOGIQUE : LA SPÉCIFICITÉ DES ENTREPRISES DE DÉFENSE

- $Warn_f$: où $M_{ij}^{Indic_f}$ ne prend en compte que les liens les plus forts de la base de connaissances (arbre de recouvrement maximum pondéré)
- KBC_f : où $M_{ij}^{Indic_f}$ ne prend en compte que les liens effectivement observés dans un brevet.
- $EKBC_f$: où $M_{ij}^{Indic_f}$ ajoute les liens forts (*i.e.* liens issus de l'arbre de recouvrement maximum pondéré) à la cohérence observées KBC_f .

Enfin, nous construisons des indicateurs pour étudier la base de connaissances des entreprises en fonction de la nature exploratrice et exploitante de la base de connaissances des entreprises.

- L'exploitation correspond à l'intégration de liens technologiques évidents au sein de l'entreprise.

$$Exploit_f = KBC_f - Warn_f$$

- L'exploration correspond aux liens que la firme fait et que les autres firmes étudiées ne font pas, ou les liens qui échouent pour la firme alors que les autres les mobilisent de façon abondante.

$$Explor_f = Warn_f - KBC_f$$

- La différenciation correspond à l'intégration par la firme de liens technologiques originaux.

$$Diff_f = Warn_f - EKBC_f$$

- La distinction est la non-intégration de liens technologiques évidents dans la firme.

$$Dist_f = EKBC_f - KBC_f$$

L'ensemble de ces indicateurs permettent d'approcher une multitude de facettes de la diversification de la base de connaissances des firmes, à la fois en termes quantitatif mais aussi comme étant le fruit d'une stratégie de connexions de connaissances et de comprendre comment ils influencent la performance du processus d'innovation des entreprises.

4 Données

Pour cette étude, nous mobilisons deux bases de données complémentaires : d'une part les données de brevets, nous permettant de capturer en partie la capacité d'inno-

4. DONNÉES

vation des firmes et leur mobilisation de connaissances et d'autre part, les données de firmes. Ces deux bases sont complémentaires du fait de la collaboration entre l'European Commission's Joint Center (JRC) et l'OCDE. La première construit et consolide le panel des 2000 plus grands groupes mondiaux et leurs 500 000 filiales en termes d'investissement en R&D (*IPTS scoreboard*) et la seconde répertorie le portefeuille brevets de ces groupes [JRC/OECD, 2015, 2017]. Nous mobilisons les variables économiques des entreprises présentées dans le [Chapitre préliminaire](#), *i.e* la variation des dépenses en R&D et en capital, le nombre d'employés ainsi que les ventes nettes de l'entreprise.

Nous utilisons les données de brevets pour saisir l'innovation technologique des entreprises. Plus précisément, nous sélectionnons les brevets par trois filtres. La première est qu'elle soit déposée par l'une des 2000 firmes membres de notre panel. La seconde consiste à ne conserver que les brevets déposés et délivrés, ce qui reflète le caractère effectivement novateur de la technologie en question. Enfin, le dernier filtre est la date. Nous utilisons la première date de dépôt afin d'être aussi proche que possible de la date de l'invention. Ainsi, nous constatons que parmi les entreprises de la base de données, 1 482 ont déposé 1 481 091 familles de brevets qui ont été délivrées entre 2010 et 2014. Toutes les entreprises considérées dans le tableau de bord de l'IPTS ne déposent pas de brevets, ce qui s'explique par deux facteurs : d'une part, le choix du secret industriel comme protection de la propriété intellectuelle et, d'autre part, le fait que le domaine d'activité des entreprises ne fait pas partie des domaines couverts par les brevets, tels que, par exemple, les logiciels.

Cette base de données, *i.e.* la fusion entre les données de brevets, les données de défense et les données des entreprises, est malheureusement déséquilibrée. En effet, nous avons perdu des informations à trois niveaux différents. Tout d'abord, les indicateurs de brevets ne sont pas disponibles pour 1 488 entreprises sur 2000 et sur ces 1 488 entreprises, nous maintenons 44 entreprises de défense sur les 60 identifiées précédemment. Ces valeurs manquantes sont dues à trois raisons principales. Certaines entreprises ont une stratégie de protection de la propriété intellectuelle différente de celle des brevets. Ils peuvent également opérer dans des industries où le brevetage n'est pas un moyen adéquat de protéger la propriété intellectuelle. Par exemple, les innovations liées aux logiciels sont rarement protégées par des brevets, bien que cela reste possible dans certains pays. Enfin, une petite partie des sociétés délivrent des brevets avec une seule seule classe technologique à 4-digit par famille de brevets. Ils sont considérés comme une valeur manquante car il est impossible de calculer un indicateur de cohérence pour eux. La deuxième source de valeurs manquantes provient de la base de données de l'IRI sur les variables de contrôle des entreprises. En effet, lorsqu'on considère les entreprises disposant de données observables sur la R&D et

l'emploi sur 2010-2014, il reste 1 223 entreprises avec le même nombre qu'auparavant d'entreprises de défense (*i.e.* 44 entreprises). La troisième source de perte de données est due à la nécessaire utilisation d'un retard temporel entre la variable expliquée et les variables explicatives. En effet, nous nous possédons les données de brevets que pour la période 2010-2014, ainsi, nous ne pouvons considérés dans notre empirie que la période 2011-2014 pour la variable expliquée et 2010-2013 pour les variables explicatives.

Enfin, ce travail de thèse se concentrant sur la défense, nous nous demandons à quel point les facteurs traduisant de la particularité de défense influence la performance du processus d'innovation technologique. Afin de capturer l'environnement de sélection marchand dans lequel les entreprises de défense évolue, nous utilisons la part de la vente d'armes dans l'ensemble des ventes de l'entreprise. Cette variable est notée $Defense_{f,t-1}$ et extraite de la base de données "Arms Industry" du SIPRI, présentée dans le [Chapitre préliminaire](#).

5 Résultats et discussion

Résultats

Notre étude empirique questionne l'influence de la diversification de la base de connaissances des entreprises sur la performance de leur processus d'innovation technologique ainsi que la spécificité de l'activité de défense. Les tables de résultats transcrivent une analyse de panel à effets fixes sur les entreprises, f et les années t où la contribution de la diversité des connaissances scientifiques et technologiques ($NPL_{f,t-1}$ et $HHI_{f,t-1}$), et la cohérence de la base technologique ($Kbc_{f,t-1}$, $Explor_{f,t-1}$, $Exploit_{f,t-1}$, $Diff_{f,t-1}$ et $Dist_{f,t-1}$) explique la quantité et la qualité des innovations technologiques.

Les modèles M1 à M8 présente les résultats de nos estimations lorsque l'on considère la quantité de brevets déposés. Les modèles M1' à M8' ont pour variable dépendante l'originalité des brevets et enfin, les modèles M1" à M8" s'intéressent à la généralité des brevets. Les modèles M1 et M5 présentent l'influence de la diversité des briques de connaissances et la cohérence globale sur la performance du processus d'innovation technologique alors que les modèles M2 et M6 traitent du dilemme entre l'exploration et l'exploitation. Ces modèles s'intéressent à l'orientation de la base de connaissances en terme d'exploration de nouvelles connexions technologiques et/ou d'exploitation de liens bien connus. Les modèles M3 et M7 présentent les résultats lorsque l'exploration est décomposée entre différenciation et distinction. Enfin, les modèles M4 et M8 traite de l'ambidextrie des entreprises, c'est-à-dire de leur capa-

5. RÉSULTATS ET DISCUSSION

cité    réaliser simultanément des liaisons originales et d'exploitations les connexions bien connues.

TABLE 4.1 – Diversité de la base de connaissances et performance du processus d'innovation

	Variable dépendante : $\ln Span_{f,t}$			Variable dépendante : $Originalite_{f,t}$			Variable dépendante : $Generalite_{f,t}$		
	M1	M2	M3	M1'	M2'	M3'	M1''	M2''	M3''
$Defense_{f,t-1}$	.0264 (.0273)	.0376 (.0269)	.0375 (.0269)	.0042 (.0026)	.0043* (.0026)	.0043* (.0026)	.0062* (.0037)	.0064* (.0037)	.0064* (.0037)
$NPL_{f,t-1}$	.0011 (.0028)	.0004 (.0027)	.0004 (.0027)	-.0004* (.0002)	-.0004* (.0002)	-.0004* (.0002)	-.0006* (.0003)	-.0006* (.0003)	-.0006* (.0003)
$HHI_{f,t-1}$	-.6310** (.2969)	-.6943** (.2911)	-.7014** (.2915)	-.0259 (.0290)	-.0238 (.0290)	-.0222 (.0291)	-.0909* (.0475)	-.0871* (.0475)	-.0851* (.0475)
$Kbc_{f,t-1}$	.0096*** (.0022)			.0006*** (.0002)			.0010*** (.0003)		
$Explor_{f,t-1}$		.0195*** (.0023)			.0003* (.0002)			.0007** (.0003)	
$Exploit_{f,t-1}$		.0209*** (.0046)	.0198*** (.0051)		.0011** (.0004)	.0013*** (.0005)		.0015** (.0007)	.0019** (.0007)
$Diff_{f,t-1}$			.0198*** (.0024)			.0003 (.0002)			.0006* (.00036)
$Dist_{f,t-1}$			.0122 (.0134)			.0021 (.0013)			.0035* (.0021)
$\ln Emp_{f,t-1}$	-.4027*** (.1328)	-.4253*** (.1303)	-.4275*** (.1304)	.0031 (.0129)	.0023 (.0130)	.0028 (.0130)	-.0141 (.0201)	-.0143 (.0202)	-.0133 (.0202)
$\text{var}RD_{f,t-1/t-2}$	.0047*** (.0011)	.0044*** (.0011)	.0044*** (.0011)	-.0000 (.0001)	-.0000 (.0001)	-.0000 (.0001)	.0003* (.0001)	.0003* (.0001)	.0003* (.0001)
$\text{var}Capex_{f,t-1}$	.0005** (.0002)	.0005** (.0002)	.0005** (.0002)	.0000 (.0000)	.0000 (.0000)	.0000 (.0000)	.0000 (.0000)	.0000 (.0000)	.0000 (.0000)
Intercept	7.3242*** (1.2457)	6.9107*** (1.2237)	6.9402*** (1.2251)	.4293*** (.1218)	.4254*** (.1220)	.4186*** (.1221)	.4149** (.1902)	.3975** (.1907)	.3844** (.1909)
Hausman Test	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE
N	3254	3254	3254	3254	3357	3254	3254	3254	3254

avec *, **, *** notant respectivement une p-value sous le seuil de 10%, 5%, and 1%.

Tous ces modèles sont contrôlés par des effets fixes firmes et année.

5. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Tout d’abord, l’effet des variables de contrôle des firmes sur la quantité et la qualité de leurs brevets est stable dans l’ensemble de nos estimations. Nous constatons un effet différencié de la taille de l’entreprise ($\ln Emp_{f,t-1}$) sur nos trois indicateurs de performance du processus d’innovation. Le nombre de brevets est influencé négativement et significativement par la taille de l’entreprise alors qu’elle n’a pas d’un impact sur les différentes qualités d’innovation. Ainsi, la taille de l’entreprise tend à défavoriser la quantité d’innovation alors qu’elle n’a pas d’influence sur la qualité des brevets. Une des explications possibles est l’existence de stratégies de dépôts de brevets plus restreints quand les entreprises augmentent de taille. La variation des dépenses de R&D et d’investissement en capital n’ont pas d’effet ni sur l’originalité ni sur la généralité des brevets des firmes. Nous pouvons expliquer ce résultat par le fait que la recherche de connaissances diverses n’est pas dépendante de l’investissement en R&D ni en capital. À l’inverse, nous trouvons un effet positif des variations en R&D et en capital sur la quantité d’innovation. Ce résultat s’explique par un effet taille liant le financement de l’innovation et le dépôt de brevet. Cependant, l’absence d’effet de ces variables sur la qualité des innovations, nous conforte dans l’idée que la performance du processus d’innovation technologique est dépendante d’autres facteurs que ceux purement financiers.

Dans nos modèles, les briques de connaissances se distinguent en deux composantes, d’une part les connaissances scientifiques capturées par $NPL_{f,t-1}$ et d’autre part, la diversification des connaissances technologiques capturées par $HHI_{f,t-1}$. Celles-ci ont un effet différent sur la performance du processus d’innovation. La quantité moyenne de connaissances scientifiques mobilisées par la firme dans ses brevets a une influence négative faiblement significative (10%) sur les qualités de l’innovation dans l’ensemble de nos estimations et pas d’effet sur la quantité d’innovations. La capacité passée à mobiliser des connaissances scientifiques dans ses innovations semble conditionner négativement la performance du processus d’innovation actuelle des entreprises. Ce résultat est en contradiction avec la littérature sur la question du lien entre science et technologique. Cependant, cette variable n’est qu’un compte de citations de littérature scientifique moyen par brevet, par entreprise. Il est probable qu’il soit nécessaire de distinguer la contribution de la science dans les différents domaines technologiques. De nombreuses études montrent l’importance des connaissances scientifiques pour certaines avancées technologiques, telles que les bio-technologies [Branstetter & Ogura, 2005], la pharmacie [Brusoni *et al.*, 2001] ou encore le semi-conducteur [Malva & Hussinger, 2012]. De plus, de nombreux experts montrent la limite de la *non-patent literature*, notamment, par le manque de consolidation de cette information par les offices de brevets. De nombreux travaux sont en cours en Europe, afin de mieux structurer cette donnée et de pouvoir la mobiliser de manière plus efficace dans des recherches sur le lien entre science et technologie.

4. DIVERSIFICATION DE LA BASE DE CONNAISSANCES ET PERFORMANCE DU PROCESSUS D'INNOVATION TECHNOLOGIQUE : LA SPÉCIFICITÉ DES ENTREPRISES DE DÉFENSE

Ainsi, dans de futurs développements de cette recherche, il sera intéressant de remplacer cette variable discutable par des informations plus robustes sur la mobilisation de connaissances scientifiques pour la production d'innovation technologique. L'effet des briques technologiques, captées par la variable $HHI_{f,t-1}$ est plus ambigu. Alors qu'elle n'a aucun impact sur la quantité de brevets, elle influence négativement et significativement la qualité des innovations. Ainsi, plus le nombre de connaissances est concentré, *i.e.* l'indicateur de Herfindhal-Hirschmann est grand, moins la qualité de l'innovation sera importante. Entre d'autres mots, la diversification de la base de connaissances des entreprises contribue à la qualité de leurs innovations technologiques.

La deuxième caractéristique associée à la diversité de la base de connaissances des firmes est l'architecture des connaissances. Celle-ci est définie comme la capacité de combiner et d'intégrer une très grande variété de connaissances dans un système complexe. Nous l'approchons par des indicateurs de cohérence. Le premier mobilisé est l'indicateur $Kbc_{f,t-1}$ (M1, M1' et M1"). Pour rappel, cet indicateur permet de calculer la cohérence de l'entreprise en considérant la co-occurrence technologique effectivement observée au niveau des brevets de la firme. Le nombre de ces co-occurrences observées est comparé au nombre de co-occurrences qui résulterait d'une distribution suivant une loi hypergéométrique. Nous trouvons que cet indicateur a un impact positif et significatif sur la performance du processus d'innovation, que ce soit sur la quantité ou sur la qualité. Ces résultats montrent l'importance de l'architecture de la base de connaissances des entreprises pour leur innovation. Plus précisément, les modèles M2 distinguent entre la capacité d'exploration et d'exploitation de la firme et met en lumière une forte influence positive et significative de l'exploration de nouveaux liens technologiques sur l'ensemble des indicateurs de performance du processus d'innovation. De plus, l'exploitation des liens connus par l'ensemble des acteurs, joue un rôle positif et significatif pour l'ensemble de nos indicateurs de performance du processus d'innovation. Pour approfondir ces résultats, nous distinguons, au sein de l'exploration, deux éléments différents : d'une part, la distinction, *i.e.* la non-intégration de liens technologiques évidents dans la firme; et d'autre part, la différenciation, *i.e.* l'intégration par la firme de liens technologiques non-usuels. Ce découpage permet de mettre en avant l'importance de la différenciation pour la quantité de l'innovation technologique des entreprises mais une importance faiblement significative pour la qualité des brevets (M3). Ainsi, si l'on se place dans le cadre du dilemme entre exploration de nouvelles connexions de connaissances, risquées, coûteuses mais à fort potentiel, et l'exploitation de connexions usuelles, peu coûteuses et moins risquées, nos résultats montrent l'importance de ces deux composantes et ne permet pas de trancher ce dilemme. Ce résultat peut être expliqué par deux éléments. D'une part, les entreprises sont ambidextres et maîtrisent à la fois l'exploration et l'exploitation de

5. RÉSULTATS ET DISCUSSION

leur base de connaissances, d'autre part, ces deux caractéristiques favorisent la performance du processus d'innovation technologique de façon différenciée, en fonction de la technologie concernée. En effet, il est probable que la qualité d'une innovation ne soit pas déterminée par les mêmes éléments en fonction du domaine d'activité. Par exemple, les innovations dans le semi-conducteur ne sont pas influencées de la même manière par la base de connaissances des entreprises que les innovations pharmaceutiques.

TABLE 4.2 – Ambidextrie et performance du processus d'innovation

	$\ln Span_{f,t}$ M4	$Originalite_{f,t}$ M4'	$Generalite_{f,t}$ M4''
$Defense_{f,t-1}$	.0350 (.0268)	.0043* (.0026)	.0061* (.0037)
$NPL_{f,t-1}$	.0006 (.0027)	-.0004* (.0002)	-.0006 (.0003)
$HHI_{f,t-1}$	-.6835** (.2901)	-.0236 (.0290)	-.0842* (.0474)
$Explor_{f,t-1}$	.0126*** (.0030)	.0002 (.0003)	-.0000 (.0004)
$Exploit_{f,t-1}$	.0079 (.0058)	.0007 (.0005)	-.0002 (.0009)
$Explor_{f,t-1} * Exploit_{f,t-1}$	.0006*** (.0001)	.0000 (.0000)	.0000*** (.0000)
$\ln Emp_{f,t-1}$	-.4259*** (.1299)	.0023 (.0130)	-.0148 (.0201)
$\text{var}RD_{f,t-1/t-2}$	.00427*** (.0011)	-.0000 (.0001)	.0002 (.0001)
$\text{var}Capex_{f,t-1}$	.0006*** (.0002)	.0000 (.0000)	.0000* (.0000)
Intercept	7.0622*** (1.2206)	.4285*** (.1221)	.4204** (.1904)
Haussman Test	FE > RE	FE > RE	FE > RE
N	3254	3254	3254

avec *, **, *** notant respectivement une p-value sous le seuil de 10%, 5%, and 1%. Tous ces modèles sont contrôlés par des effets fixes firmes et année.

Afin de tester la première hypothèse, nous proposons dans la [table 4.2](#) une variable d'interaction entre l'exploration de nouvelles combinaisons de connaissances et l'exploitation de combinaisons usuelles. Cette variable traduit l'ambidextrie d'une organisation. Nous trouvons un effet positif et significatif de celle-ci sur la généralité et la quantité des innovations technologique. Cependant, elle n'influence pas l'originalité de manière significative. Ces résultats apporte des éléments de discussion à la littérature sur le dilemme entre exploitation et exploration. En effet, la stratégie des entreprises en termes de structuration des connaissances configurent leur

4. DIVERSIFICATION DE LA BASE DE CONNAISSANCES ET PERFORMANCE DU PROCESSUS D'INNOVATION TECHNOLOGIQUE : LA SPÉCIFICITÉ DES ENTREPRISES DE DÉFENSE

performance du processus d'innovation. Alors que l'originalité repose principalement sur l'exploration de nouvelles connexions technologiques, la portée générale des innovations ainsi que leur quantité repose principalement sur l'ambidextrie. Ce résultat ne tranche pas le dilemme exploration-exploitation mais ouvre une piste de réflexion sur le sentier de dépendance technologique des entreprises et à plus grande échelle des industries. Il serait pour cela nécessaire d'étendre cette recherche sur une période plus longue afin d'identifier les variations dans les stratégies de R&D des entreprises.

Enfin, nous nous intéressons à l'effet de la particularité des entreprises produisant des biens militaires sur leur performance du processus d'innovation technologique. Plus précisément, nous questionnons l'influence de la dépendance des entreprises à leurs ventes de défense sur leur innovation. Notre argument est que la dépendance de l'entreprise à la demande de biens de défense influence son organisation et donc la performance de son processus d'innovation. Nous trouvons que la part du chiffre d'affaires défense des entreprises a un effet positif et significatif à 10% sur la généralité et l'originalité des innovations technologiques alors qu'il n'a pas d'effet sur la quantité d'innovations. Ce résultat semble traduire un double impact de la structure de la base de connaissances et l'intensité de l'engagement dans les activités de défense sur la performance d'innovation. Cependant, comme nous l'avons montré précédemment dans ce travail de thèse, la production de défense influence la structuration des bases de connaissances des entreprises. Ainsi, il nous paraît important de se questionner sur l'influence de cette base sur la performance du processus d'innovation sachant que l'entreprise produit des biens militaires. Pour cela, nous proposons de mettre en interaction la variable de l'activité de défense des entreprises avec les variables capturant les caractéristiques de la base de connaissances dans les tables [table 4.3](#) et [table 4.4](#).

TABLE 4.3 – Activité de défense et diversité de la base de connaissances

	$\ln Span_{f,t}$			$Originalite_{f,t}$			$Generalite_{f,t}$		
	M5	M6	M7	M5'	M6'	M7'	M5''	M5''	M6''
$Defense_{f,t-1}$	.0378 (.0279)	.0406 (.0269)	.0414 (.0270)	.0051* (.0027)	.0045* (.0026)	.0046* (.0026)	.0060* (.0039)	.0061* (.0038)	.0059* (.0038)
$NPL_{f,t-1}$	.0011 (.0028)	.0003 (.0027)	.0003 (.0027)	-.0004* (.0002)	-.0004* (.0002)	-.0004* (.0002)	-.0006* (.0003)	-.0006* (.0003)	-.0006* (.0003)
$HHI_{f,t-1}$	-.6225* (.2995)	-.6953** (.2938)	-.7040** (.2943)	-.0344 (.0292)	-.0328 (.0292)	-.0312 (.0293)	-.0848* (.0481)	-.0802* (.0481)	-.0774* (.0481)
$Kbc_{f,t-1}$	.0093*** (.0022)			.0005*** (.0002)			.0010*** (.0003)		
$Explor_{f,t-1}$		.0196*** (.0023)			.0003 (.0002)			.0007** (.0003)	
$Exploit_{f,t-1}$		.0199*** (.0046)	.0188*** (.0051)		.0009** (.0004)	.0011** (.0005)		.0016** (.0007)	.0020*** (.0008)
$Diff_{f,t-1}$			.0199*** (.0024)			.0002 (.0002)			.0006* (.0003)
$Dist_{f,t-1}$			.0128 (.0135)			.0019 (.0013)			.0035* (.0021)
$Defense_{f,t-1} * NPL_{f,t-1}$	-.0006 (.0019)	-.0010 (.0018)	-.0009 (.0019)	.0000 (.0001)	-.0000 (.0001)	-.0000 (.0001)	.0000 (.0003)	.0000 (.0003)	-.0000 (.0003)
$Defense_{f,t-1} * HHI_{f,t-1}$	-.0225 (.0378)	-.0026 (.0364)	.0010 (.0375)	.0061* (.0036)	.0074** (.0036)	.0074** (.0037)	-.0040 (.0054)	-.0045 (.0053)	-.0054 (.0055)
$Defense_{f,t-1} * Kbc_{f,t-1}$	.0008** (.0004)			.0000** (.0000)			-.0000 (.0000)		
$Defense_{f,t-1} * Explor_{f,t-1}$		-.0001 (.0002)			.0000 (.0000)			.0000 (.0000)	
$Defense_{f,t-1} * Diff_{f,t-1}$			-.0001 (.0003)			.0000 (.0000)			-.0000 (.0000)
$Defense_{f,t-1} * Dist_{f,t-1}$			-.0006 (.0014)			.0001 (.0001)			.0001 (.0002)
$Defense_{f,t-1} * Exploit_{f,t-1}$		.0012** (.0002)	.0011** (.0006)		.0001* (.0000)	.0001* (.0000)		-.0001* (.0000)	-.0001* (.0000)
Intercept	7.3415*** (1.2455)	6.9394*** (1.2236)	6.9659*** (1.225)	.4292*** (.1216)	.4264*** (.1218)	.4201*** (.1219)	.4157** (.1904)	.3951** (.1908)	.3825** (.1910)
Variables de contrôle	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Haussman Test	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE
N	3254	3254	3254	3254	3357	3254	3254	3254	3254

avec *, **, *** notant respectivement une p-value sous le seuil de 10%, 5%, and 1%.

Tous ces modèles sont contrôlés par des effets fixes firmes et année.

4. DIVERSIFICATION DE LA BASE DE CONNAISSANCES ET PERFORMANCE
DU PROCESSUS D'INNOVATION TECHNOLOGIQUE : LA SPÉCIFICITÉ DES
ENTREPRISES DE DÉFENSE

TABLE 4.4 – Activité de défense et ambidextrie

	$\ln Span_{f,t}$ M8	$Originalite_{f,t}$ M8'	$Generalite_{f,t}$ M8''
$Defense_{f,t-1}$	.0383 (.0270)	.0041* (.0027)	.0067* (.0038)
$NPL_{f,t-1}$	.0006 (.0027)	-.0004* (.0002)	-.0006* (.0003)
$HHI_{f,t-1}$	-.6861** (.2929)	-.0328 (.0292)	-.0766 (.0479)
$Explor_{f,t-1}$	.0127*** (.0030)	.0001 (.0003)	.0000 (.0004)
$Exploit_{f,t-1}$	.0067 (.0058)	.0006 (.0005)	.0000 (.0009)
$Ambidextrie_{f,t-1}$	.0006*** (.0001)	.0000 (.0000)	.0000*** (.0000)
$Defense_{f,t-1} * NPL_{f,t-1}$	-.0009 (.0019)	-.0000 (.0001)	-.0000 (.0003)
$Defense_{f,t-1} * HHI_{f,t-1}$	-.0012 (.0364)	.0070* (.0036)	-.0034 (.0053)
$Defense_{f,t-1} * Explor_{f,t-1}$	-.0001 (.0004)	.0000 (.0000)	-.0001 (.0000)
$Defense_{f,t-1} * Exploit_{f,t-1}$	.0011 (.0007)	.0001** (.0000)	-.0003*** (.0001)
$Defense_{f,t-1} * Ambidextrie_{f,t-1}$	.0000 (.0000)	-.0000 (.0001)	.0000** (.0000)
Intercept	7.0918*** (1.220)	.4296*** (.1218)	.4198** (.1903)
Variables de contrôle	Oui	Oui	Oui
Haussman Test	FE > RE	FE > RE	FE > RE
N	3254	3254	3254

avec *, **, *** notant respectivement une p-value sous le seuil de 10%, 5%, and 1%.
Tous ces modèles sont contrôlés par des effets fixes firmes et année.

Ces estimations ne montrent aucun effet de l'interaction entre la mobilisation de connaissances scientifiques et l'intensité de la dépendance à la défense². De même, la variable défense-exploration n'a pas d'effet ni sur la quantité, ni sur la qualité des innovations technologiques. À l'inverse, nous trouvons un impact positif et significatif de la variable défense-HHI sur l'originalité des innovations. Ainsi, afin de réaliser une innovation originale, une diversité des connaissances technologiques réduite pour les entreprises de défense est importante. Cependant, cette variable d'interaction n'a pas d'effet ni sur la quantité ni sur la généralité des innovations. Nous trouvons aussi un effet positif et significatif de la variable défense-Kbc sur la quantité et l'originalité des innovations (M5, M5' et M5''). Ce résultat est confirmé par l'impact positif et significatif de défense-Exploit (M6, M6'). À l'inverse, la généralité est

2. Dans la suite de notre discussion, et afin d'en alléger la lecture nous nommerons les variables en interaction de la manière suivante *défense-Nom de la variable en interaction*.

5. RÉSULTATS ET DISCUSSION

influencée négativement pour cette variable d'interaction (M6"). Ainsi, pour innover plus, les entreprises de défense ayant une base de connaissances favorisant exploitation est avantageux, de même que pour innover de manière originale alors que pour innover de manière générale, cette interaction agit négativement. Enfin la table 4 présente les résultats lorsque l'on interroge l'ambidextrie des entreprises de défense. Nos résultats montrent que défense-Ambidextrie n'a pas effet ni sur la quantité (M8) ni sur l'originalité (M8') de l'innovation. Cependant, nous observons une influence positive et significative sur la généralité des innovations (M8"). Ainsi, l'ambidextrie combinée à une forte dépendance à la défense favorise des innovations à portées générales.

Afin de consolider nos résultats, nous présentons en [Annexe C](#) des tests de robustesse. L'ensemble des estimations précédentes ont été reproduites en remplaçant la variable de taille de l'entreprise ($\ln Emp_{f,t-1}$) par le montant des ventes nettes, exprimé en milliers d'euros, et utilisé sous forme logarithmique ($\ln NS_{f,t-1}$). De plus, nous utilisons aussi dans ces tests de robustesse des variables de cohérence calculées sur un périmètre technologique alternatif. Au lieu de se baser sur l'ensemble du paysage, *i.e.* les connexions technologiques réalisées par toutes entreprises de l'échantillon, nous calculons les indicateurs sur la base du paysage technologique industriel (ICB, 2-digit) à laquelle la firme f appartient. L'ensemble de nos résultats sont confirmés par ces tests de robustesse. De plus, puisque l'activité de défense influence la structure de la base de connaissances des entreprises, nous suspectons un risque d'instabilité dans nos résultats du fait de l'excès de zéro dans la variable explicative $Defense_{f,t-1}$. Afin de contrôler de ce problème, nous réalisons un test de robustesse en [Annexe D](#) où nos régressions sont réalisées sans la variable $Defense_{f,t-1}$. Les résultats de ces estimations confirment les observations réalisées dans les estimations principales. Enfin, [Annexe E](#) nous présentons nos estimations sur l'échantillon réduits des entreprises civiles et confirment nos résultats précédents.

Discussion

Les entreprises de défense semblent avoir un processus d'innovation plus performant que les autres, en particulier lorsqu'elle exploite leur base de connaissances, *i.e.* qu'elle réalisent des combinaisons technologiques usuelles. Ce résultat est à mettre en perspective avec les résultats du [Chapitre 3](#) qui pointent l'importance de l'exploitation de liaisons technologiques originales pour la production et la vente d'armement. Nos résultats place la nature exploratrice de la base de connaissances au cœur de la performance du processus d'innovation de l'ensemble des entreprises mais non spécifiquement pour celles de défense. Ces résultats peuvent s'expliquer de deux manières. D'une part, le raisonnement le plus évident est une déconnexion entre la performance

4. DIVERSIFICATION DE LA BASE DE CONNAISSANCES ET PERFORMANCE DU PROCESSUS D'INNOVATION TECHNOLOGIQUE : LA SPÉCIFICITÉ DES ENTREPRISES DE DÉFENSE

du processus d'innovation telle qu'elle est considérée ici avec des indicateurs classiques et les standards et exigences d'innovation pour la défense. Ainsi, l'exploitation favorise les entreprises de défense alors que la production d'armement exige de l'exploration de la base de connaissances, selon les critères traditionnels. D'autre part, ces deux résultats se différencient aussi par leur approche de la production de défense. Alors que le [Chapitre 3](#) se concentre sur le volume des ventes d'armes, le [Chapitre 4](#) s'intéresse à la part du chiffre d'affaires de défense parmi le reste des activités de l'entreprise. Ainsi, nos résultats peuvent traduire une différence de stratégie de diversification technologique et d'activité. Il serait intéressant de creuser cette question dans de futures recherches et de les mettre en perspective avec la littérature existante. En effet, [Lebert et al. \[2015\]](#) montrent que les entreprises diversifiées ont une structure de leur base de connaissances orientée vers l'exploration. Dans ce cas, la différence de traitement de l'activité de défense entre le [Chapitre 3](#) et le [Chapitre 4](#), respectivement en volume de ventes et en part du chiffre d'affaires, pourrait expliquer nos différences de résultats. Alors que le [Chapitre 3](#) porte un intérêt plus important aux entreprises diversifiées, les résultats du [Chapitre 4](#) mettent en avant le processus d'innovation des entreprises fortement dépendantes à l'activité défense et traduisent le rôle crucial de l'exploitation lorsque la dépendance à la défense s'accroît.

Ce chapitre met aussi en évidence que pour améliorer leur performance d'innovation technologique, les entreprises doivent être capables de créer des connexions technologiques différentes de celles couramment réalisées, de manipuler les connexions usuellement connues mais aussi de maîtriser un panel diversifié de briques de connaissances. Dans le contexte de complexification technologique présenté en introduction, il apparaît donc que la firme, doit mobiliser et articuler une plus grande variété de technologies pour produire de l'innovation de qualité. Il semble donc, qu'au moins du point de vue des connaissances, les entreprises internalisent une partie de cette complexité. La modularité est un mode de gestion de cette complexité que [Simon \[1962\]](#) décrivait comme une combinaison entre un effet quantitatif lié au nombre de composants et un effet qualitatif lié à l'interaction entre ces composants ; deux éléments qui se retrouvent dans notre analyse. D'un point de vue organisationnel la manière dont cette modularité se gère au sein de l'entreprise n'est pas tranchée par notre étude. En effet, comme le rappelle [Frigant \[2005\]](#), deux choix organisationnels s'opposent. Le premier modèle dit de *vanishing hand* [[Langlois, 2003](#)] propose une désintégration verticale rendue possible par la spécialisation des acteurs avec une entreprise au contact du client final capable de mobiliser des fournisseurs spécialisés en fonction de la demande. La seconde repose sur le modèle du *system integrator* [[Hobday et al., 2005](#)] qui stipule que les possibilités et les difficultés associées au découpage technologique contraignent les intégrateurs de système à étendre leur base de connaissances afin de pouvoir se coordonner avec les fournisseurs. Cette analyse des portefeuilles de

6. CONCLUSION

brevets des grandes entreprises semble montrer que strictement du point de vue de l'innovation technologique le modèle de diversification technologique de l'intégrateur de système soit plus performant. Il faut néanmoins garder à l'esprit que notre base de données est composée de groupes comprenant les brevets des entreprises mères et de leurs filiales. Il est donc possible que la modularité soit en partie internalisée au sein de ces groupes avec une spécialisation de la maison mère et des spécialités par filiale. Ainsi, lorsque que l'on intéresse à l'architecture de la base de connaissances des entreprises, la cohérence de la base de connaissances, à la fois en terme d'exploration et d'exploitation, ainsi que la diversité des briques de connaissances, sont des facteurs déterminants de la performance du processus d'innovation technologique des entreprises.

6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous cherchons à connaître les effets des différentes facettes de la diversité de la base de connaissances de l'entreprise sur la performance de son processus d'innovation technologique. Pour analyser cette base de connaissances, nous mobilisons la typologie proposée par [Henderson & Clark \[1990\]](#), de briques de connaissances et de l'architecture des connaissances. Nous nous intéressons plus particulièrement à comment un environnement de sélection particulier, la défense, combiné à la diversité de la base de connaissances influence la performance du processus d'innovation. Nous construisons des indicateurs capturant les briques de connaissances scientifiques et technologiques et des indicateurs issus de la littérature sur la cohérence des firmes pour approcher l'architecture des connaissances. Ce chapitre questionne différentes configurations de l'architecture de la base de connaissances des entreprises telles que la cohérence globale, le dilemme entre exploration et exploitation ainsi que l'ambidextrie. Nous observons une influence positive et significative de la cohérence de la base de connaissance. La question de l'arbitrage entre l'exploration de connexions technologiques originales et l'exploration de liens technologiques originaux semble ici tranchée par l'importance de l'ambidextrie des entreprises. De plus, l'intensité de la dépendance à l'activité de défense favorise l'innovation technologique des firmes. Cette relation est d'autant plus importante que la base de connaissances repose sur l'exploitation de connexions technologiques usuelles. Ces résultats mettent en évidence l'importance de la diversification de la base de connaissances des entreprises dans leur processus d'innovation. Afin d'approfondir cette recherche, une attention particulière aux routines organisationnelles des entreprises permettrait de mieux comprendre le processus de création, de maintien et d'évolution la base de connaissances des entreprises.

4. DIVERSIFICATION DE LA BASE DE CONNAISSANCES ET PERFORMANCE
DU PROCESSUS D'INNOVATION TECHNOLOGIQUE : LA SPÉCIFICITÉ DES
ENTREPRISES DE DÉFENSE

7 Annexes

Annexe A : Statistiques descriptives

TABLE 4.5 – Statistiques descriptives

Variable	N	Mean	Std deviation	Min	Max	Median
$\ln Span_{f,t}$	6264	3.696	1.864	0	9.489	3.663
$Orig_{f,t}$	6264	.454	.134	0	.970	.458
$Generality_{f,t}$	6264	.336	.177	0	.901	.333
$Defense_{f,t-1}$	8000	1.1911	8.6879	0	100	0
$NPL_{f,t-1}$	5952	4.761	17.431	0	606	1.142
$HHI_{f,t-1}$	5952	.219	.132	0	.795	.214
$Kbc_{f,t-1}$	5952	21.769	28.103	-38.881	312.974	13.983
$Rexplor_{f,t-1}$	5723	.647	.339	-2.741	1.989	.767
$Rdiff_{f,t-1}$	5723	.619	.299	-.045	1.037	.715
$Explor_{f,t-1}$	5952	27.054	20.295	-46.531	95.973	27.584
$Exploit_{f,t-1}$	5952	8.933	9.991	-27.899	126.928	6.962
$Diff_{f,t-1}$	5952	26.186	19.739	-2.128	95.467	25.762
$Dist_{f,t-1}$	5952	.868	3.131	-46.531	33.022	.611
$Kbci_{f,t-1}$	5952	21.975	27.929	-38.881	312.974	14.155
$Rexplori_{f,t-1}$	5715	.655	.332	-2.741	1.989	.771
$Rdiffi_{f,t-1}$	5715	.627	.292	-.045	1.037	.719
$Explori_{f,t-1}$	5952	27.285	20.154	-46.531	95.973	27.826
$Exploiti_{f,t-1}$	5952	9.027	9.936	-27.899	126.928	7.082
$Diffi_{f,t-1}$	5952	26.407	19.603	-2.128	95.467	25.908
$Disti_{f,t-1}$	5952	.877	3.115	-46.531	33.022	.622
$\ln Emp_{f,t-1}$	7115	8.891	1.817	0	13.775	9.011
$\ln Ns_{f,t-1}$	7773	7.410	2.000	-5.586	12.866	7.486
$\ln Mcap_{f,t-1}$	6704	7.732	1.645	-2.197	13.152	7.621
$\text{var}RD_{f,t-1/t-2}$	5833	33.754	597.994	-95.575	35651.4	8.961
$\text{var}Cape_{f,t-1}$	5144	49.422	501.403	-99.950	24900.03	9.874

Annexe B : Table de corrélation

TABLE 4.6 – Table de corrélation

	$Orig_{f,t}$	$Generalite_{f,t}$	$Npl_{f,t-1}$	$HHI_{f,t-1}$	$Kbc_{f,t-1}$	$Explor_{f,t-1}$	$Exploit_{f,t-1}$
$\ln Span_{f,t}$	-0.0372	-0.1039	-0.1445	0.0264	-0.2546	0.5307	-0.0837
$Orig_{f,t}$		0.3272	0.0428	0.3543	0.1429	0.1246	0.0902
$Generalite_{f,t}$			0.0963	0.1612	0.1646	0.0259	0.0551
$Npl_{f,t-1}$				0.0700	0.1501	0.0529	-0.0365
$HHI_{f,t-1}$					0.1469	0.2626	0.1047
$Kbc_{f,t-1}$						-0.0310	0.4490
$Explor_{f,t-1}$							-0.0588
$Exploit_{f,t-1}$							
	$Diff_{f,t_1}$	$Dist_{f,t_1}$	$\ln Mcap_{f,t-1}$	$\ln Emp_{f,t-1}$	$\text{var}RD_{f,t-1/t-2}$	$\text{var}Cape_{f,t-1/t-2}$	
$\ln Span_{f,t}$	0.5404	0.5404	0.3387	0.4918	-0.0690	-0.0088	
$Orig_{f,t}$	0.1252	0.0048	-0.0381	-0.0755	-0.0236	0.0354	
$Generalite_{f,t}$	0.0284	-0.0143	-0.0213	-0.1079	0.0606	0.0545	
$Npl_{f,t-1}$	0.0578	-0.0283	0.0070	-0.2086	0.1552	0.0261	
$HHI_{f,t-1}$	0.2693	-0.0253	-0.0098	-0.0090	-0.0419	-0.0040	
$Kbc_{f,t-1}$	0.0266	-0.3734	-0.0574	-0.1725	0.0481	0.0182	
$Explor_{f,t-1}$	0.9882	0.1450	0.3012	0.3020	-0.0941	-0.0493	
$Exploit_{f,t-1}$	0.0131	-0.4683	-0.0040	0.0591	-0.0400	0.0292	
$Diff_{f,t-1}$		-0.0085	0.3083	0.3074	-0.0952	-0.0347	
$Dist_{f,t_1}$			-0.0251	-0.0137	0.0008	-0.0976	
$\ln Mcap_{f,t-1}$				0.6559	-0.0078	-0.0512	
$\ln Emp_{f,t-1}$					-0.1344	-0.1522	
$\text{var}RD_{f,t-1/t-2}$						0.1753	
$\text{var}Cape_{f,t-1/t-2}$							

Annexe C : Tests de robustesse

Afin de nous assurer que nos résultats sont robustes, nous remplaçons la variable de contrôle capturant la taille de l'entreprise, $\ln Emp_{f,t-1}$ par la quantité de vente nette, $\ln N_{sf,t-1}$. Cette variable permet de rendre compte de la taille de l'entreprise en termes de chiffre d'affaires. De plus, à partir des données brevets, nous construisons des variables de cohérence alternative. Afin de tenir compte des particularités industrielles, nous calculons pour chaque entreprise un score industriel de parenté *i.e.*, nous prenons en compte tous les brevets en tenant compte des secteurs industriels des entreprises. Nous calculons neuf scores de parenté spécifiques aux secteurs industriels en considérant les neuf industries identifiées avec le premier chiffre du classement ICB (Industry Classification Benchmark). Comme toutes les entreprises de la base de données *COR&DIP* sont classées selon la classification ICB, pour calculer les scores de parenté pour chaque secteur industriel, nous ne prenons en compte que les brevets des entreprises qui appartiennent à chacun de ces secteurs. Si deux ou plusieurs entreprises de la base de données ont déposé ensemble un brevet et que ces entreprises n'appartiennent pas à la même industrie, nous prenons en compte ce brevet pour calculer les scores de parenté pour chaque industrie à laquelle les différentes entreprises appartiennent. Ensuite, sur la base de ces deux scores de parenté, nous pouvons calculer deux indicateurs de cohérence pour chaque entreprise, un indicateur de cohérence globale et un indicateur de cohérence spécifique à l'industrie.

TABLE 4.7 – Robustesse : diversité de la base de connaissances et performance du processus d'innovation

	$\ln Span_{f,t}$			$Originalite_{f,t}$			$Generalite_{f,t}$		
	R1	R2	R3	R1'	R2'	R3'	R1''	R2''	M3''
$Defense_{f,t-1}$	.0364 (.0270)	.0361 (.0262)	.0370 (.0263)	.0050* (.0027)	.0043* (.0026)	.0043* (.0026)	.0058 (.0038)	.0060* (.0037)	.0058 (.0037)
$NPL_{f,t-1}$	.0006 (.0027)	.0001 (.0026)	.0000 (.0026)	-.0005* (.0002)	-.0005* (.0002)	-.0005* (.0002)	-.0007* (.0003)	-.0007* (.0003)	-.0007* (.0003)
$HHI_{f,t-1}$	-.6436** (.2785)	-.6560** (.2747)	-.6655** (.2753)	-.0478* (.0278)	-.0456* (.0278)	-.0446 (.0279)	-.1112** (.0458)	-.1076** (.0457)	-.1031** (.0457)
$Kbci_{f,t-1}$	.0100*** (.0020)			.0004** (.0002)			.0009*** (.0003)		
$Explori_{f,t-1}$		.0177*** (.0022)			.0002 (.0002)			.0010*** (.0003)	
$Exploiti_{f,t-1}$		.0173*** (.0044)	.0164*** (.0048)		.0008* (.0004)	.0009** (.0004)		.0018** (.0007)	.0025*** (.0007)
$Diffi_{f,t-1}$			.0180*** (.0023)			.0001 (.0002)			.0008** (.0003)
$Disti_{f,t-1}$			.0121 (.0124)			.0009 (.0012)			.0057*** (.0020)
$Defense_{f,t-1} * NPL_{f,t-1}$	-.0004 (.0018)	-.0003 (.0017)	-.0002 (.0018)	.0000 (.0001)	.0000 (.0001)	.0000 (.0001)	.0000 (.0003)	.0000 (.0002)	-.0000 (.0003)
$Defense_{f,t-1} * HHI_{f,t-1}$	-.0215 (.0365)	-.0042 (.0353)	-.0004 (.0364)	.0062* (.0036)	.0074** (.0035)	.0073** (.0036)	-.0036 (.0053)	-.0040 (.0052)	-.0048 (.0054)
$Defense_{f,t-1} * Kbci_{f,t-1}$	.0008** (.0004)			.0000** (.0000)			-.0000 (.0000)		
$Defense_{f,t-1} * Explori_{f,t-1}$		-.0001 (.0002)			.0000 (.0000)			-.0000 (.0000)	
$Defense_{f,t-1} * Diffi_{f,t-1}$			-.0000 (.0003)			.0000 (.0000)			-.0000 (.0000)
$Defense_{f,t-1} * Disti_{f,t-1}$			-.0006 (.0013)			.0000 (.0001)			.0000 (.0002)
$Defense_{f,t-1} * Exploiti_{f,t-1}$		.0010** (.0005)	.0009* (.0005)		.0000 (.0000)	.0000 (.0000)		-.0001** (.0000)	-.0001* (.0000)
$\ln NS_{f,t-1}$	-1.3605*** (.1643)	-1.1789*** (.1633)	-1.1787*** (.1634)	-.0642*** (.0164)	-.0602*** (.0165)	-.0603*** (.0165)	-.1244*** (.0280)	-.1194*** (.0280)	-.1187*** (.0280)
Intercept	14.3805*** (1.3147)	12.4075*** (1.3203)	12.4119*** (1.3209)	.9735*** (.1315)	.9350*** (.1339)	.9348*** (.1340)	1.2881*** (.2258)	1.2163*** (.2270)	1.2054*** (.2267)
Variables de contrôle	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Haussman Test	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE
N	3396	3396	3396	3396	3396	3396	3396	3396	3396

avec *, **, *** notant respectivement une p-value sous le seuil de 10%, 5%, and 1%.

Tous ces modèles sont contrôlés par des effets fixes firmes et année.

4. DIVERSIFICATION DE LA BASE DE CONNAISSANCES ET PERFORMANCE
DU PROCESSUS D'INNOVATION TECHNOLOGIQUE : LA SPÉCIFICITÉ DES
ENTREPRISES DE DÉFENSE

TABLE 4.8 – Robustesse : ambidextrie et performance du processus d'innovation

	$\ln Span_{f,t}$ R4	$Originalite_{f,t}$ R4'	$Generalite_{f,t}$ R4''
$Defense_{f,t-1}$	.0338 (.02635)	.0038 (.0026)	.0065* (.0037)
$NPL_{f,t-1}$	.0003 (.0026)	-.0004* (.0002)	-.0007* (.0003)
$HHI_{f,t-1}$	-.6349** (.2738)	-.0450* (.0278)	-.1044** (.0456)
$Explori_{f,t-1}$	.0107*** (.0029)	-.0000 (.0002)	.0001 (.0004)
$Exploiti_{f,t-1}$	.0037 (.0056)	.0003 (.0005)	-.0001 (.0009)
$Explori_{f,t-1} * Exploiti_{f,t-1}$	.0006*** (.0001)	.0000 (.0000)	.0000*** (.0000)
$Defense_{f,t-1} * NPL_{f,t-1}$	-.0003 (.0017)	.0000 (.0001)	-.0000 (.0002)
$Defense_{f,t-1} * HHI_{f,t-1}$	-.0028 (.0354)	.0070** (.0036)	-.0028 (.0052)
$Defense_{f,t-1} * Explori_{f,t-1}$	-.0001 (.0004)	.0000 (.0000)	-.0001 (.0000)
$Defense_{f,t-1} * Exploiti_{f,t-1}$	.0010 (.0007)	.0001* (.0001)	-.0003*** (.0001)
$Defense_{f,t-1} * Ambidextrie_{f,t-1}$	.0000 (.0000)	-.0000 (.0002)	.0000** (.0000)
$\ln NS_{f,t-1}$	-1.1844*** (.16282)	-.0606*** (.0165)	-.1204*** (.0279)
Intercept	12.6051*** (1.3169)	.9442*** (.1340)	1.2498*** (.2266)
Variables de contrôle	Oui	Oui	Oui
Haussman Test	FE > RE	FE > RE	FE > RE
N	3254	3254	3254

avec *, **, *** notant respectivement une p-value sous le seuil de 10%, 5%, and 1%.
Tous ces modèles sont contrôlés par des effets fixes firmes et année.

Annexe D : Sensibilité à la variable de l'activité de défense

TABLE 4.9 – Sensibilité à la défense (1)

	<i>lnSpan_{f,t}</i>			<i>Originalite_{f,t}</i>			<i>Generalite_{f,t}</i>		
	S1	S2	S3	S1'	S2'	S3'	S1''	S2''	S3''
<i>NPL_{f,t-1}</i>	.0011 (.0028)	.0004 (.0027)	.0003 (.0027)	-.0004* (.0002)	-.0004* (.0002)	-.0004* (.0002)	-.0006* (.0003)	-.0006* (.0003)	-.0006* (.0003)
<i>HHI_{f,t-1}</i>	-.6338** (.2968)	-.6977** (.2912)	-.7049*** (.2916)	-.0263 (.0290)	-.0242 (.0290)	-.0226 (.0290)	-.0916** (.0475)	-.0877* (.0475)	-.0857* (.0475)
<i>Kbc_{f,t-1}</i>	.0095*** (.0022)			.0006*** (.0002)			.0010*** (.0003)		
<i>Explor_{f,t-1}</i>		.0193*** (.0023)			.0003 (.0002)			.0007** (.0003)	
<i>Exploit_{f,t-1}</i>		.0207*** (.0046)	.0195*** (.0051)		.0010** (.0004)	.0013* (.0005)		.0014** (.0007)	.0018** (.0007)
<i>Diff_{f,t-1}</i>			.0197*** (.0024)			.0002 (.0002)			.0006* (.0003)
<i>Dist_{f,t-1}</i>			.0120 (.0134)			.0020 (.0013)			.0034* (.0021)
<i>lnEmp_{f,t-1}</i>	-.4040*** (.1328)	-.4269** (.1304)	-.4291*** (.1304)	.0028 (.0129)	.0021 (.0130)	.0026 (.0130)	-.0145 (.0201)	-.0147 (.0202)	-.0137 (.0202)
<i>varRD_{f,t-1/t-2}</i>	.0047*** (.0011)	.0044*** (.0011)	.0044*** (.0011)	-.0000 (.0001)	-.0000 (.0001)	-.0000 (.0001)	.0003* (.0001)	.0003* (.0001)	.0003* (.0001)
<i>varCape_{f,t-1}</i>	.0005** (.0002)	.0005*** (.0002)	.0005*** (.0002)	.0000 (.0000)	.0000 (.0000)	.0000 (.0000)	.0000 (.0000)	.0000 (.0000)	.0000 (.0000)
Intercept	7.3788*** (1.2444)	6.9917*** (1.2227)	7.0213*** (1.2241)	.4379*** (.1217)	.4348*** (.1219)	.4281*** (.1220)	.4286** (.1901)	.4129** (.1906)	.3998** (.1908)
Hausman Test	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE
N	3254	3254	3254	3254	3357	3254	3254	3254	3254

avec *, **, *** notant respectivement une p-value sous le seuil de 10%, 5%, and 1%.

Tous ces modèles sont contrôlés par des effets fixes firmes et année.

4. DIVERSIFICATION DE LA BASE DE CONNAISSANCES ET PERFORMANCE
DU PROCESSUS D'INNOVATION TECHNOLOGIQUE : LA SPÉCIFICITÉ DES
ENTREPRISES DE DÉFENSE

TABLE 4.10 – Sensibilité à la défense (2)

	$\ln Span_{f,t}$ S4	$Originalite_{f,t}$ S4'	$Generalite_{f,t}$ S4''
$NPL_{f,t-1}$	.0006 (.0027)	-.0004* (.0002)	-.0006 (.0003)
$HHI_{f,t-1}$	-.6866** (.2902)	-.0240 (.0290)	-.0847* (.0474)
$Explor_{f,t-1}$	.0124*** (.0030)	.0002 (.0003)	-.0000 (.0004)
$Exploit_{f,t-1}$	.0075 (.0058)	.0007 (.0005)	-.0003 (.0009)
$Explor_{f,t-1} * Exploit_{f,t-1}$	.0006*** (.0001)	.0000 (.0000)	.0001*** (.0000)
$\ln Emp_{f,t-1}$	-.4274*** (.1299)	.0021 (.0130)	-.0151 (.0201)
$varRD_{f,t-1/t-2}$	.0042*** (.0011)	-.0000 (.0001)	.0002 (.0001)
$varCapex_{f,t-1}$	.0006*** (.0002)	.0000 (.0000)	.0001* (.0000)
Intercept	7.1391*** (1.2189)	.4380*** (.1220)	.4354** (.1903)
Haussman Test	FE > RE	FE > RE	FE > RE
N	3254	3254	3254

avec *, **, *** notant respectivement une p-value sous le seuil de 10%, 5%, and 1%.
Tous ces modèles sont contrôlés par des effets fixes firmes et année.

Annexe E : Estimation sur l'échantillon réduit des entreprises civiles

TABLE 4.11 – Sensibilité aux observations des entreprises de défense (1)

	$\ln Span_{f,t}$			$Originalite_{f,t}$			$Generalite_{f,t}$		
	C1	C2	C3	C1'	C2'	C3'	C1''	C2''	C3''
$NPL_{f,t-1}$	.0011 (.0028)	.0003 (.0027)	.0003 (.0027)	-.0004* (.0002)	-.0004* (.0002)	-.0004* (.0002)	-.0006* (.0003)	-.0006* (.0003)	-.0006* (.0003)
$HHI_{f,t-1}$	-.6168** (.3023)	-.6870** (.2967)	-.6959** (.2971)	-.0339 (.0295)	-.0321 (.0295)	-.0307 (.0296)	-.0813* (.0485)	-.0787* (.0485)	-.0768* (.0485)
$Kbc_{f,t-1}$	.0092*** (.0022)			.0005** (.0002)			.0010*** (.0003)		
$Explor_{f,t-1}$		.01932*** (.0023)			.0003 (.0002)			.0008** (.0003)	
$Exploit_{f,t-1}$		.0195*** (.0046)	.0181*** (.0051)		.0009** (.0004)	.0011** (.0005)		.0016** (.0007)	.0021** (.0008)
$Diff_{f,t-1}$			.0197*** (.0024)			.0002 (.0002)			.0007* (.0003)
$Dist_{f,t-1}$			.0104 (.0136)			.0017 (.0013)			.0035* (.0021)
$\ln Emp_{f,t-1}$	-.4119*** (.1339)	-.4322** (.1315)	-.4348*** (.1316)	.0035 (.0130)	.0029 (.0131)	.0033 (.0131)	-.0133 (.0203)	-.0134 (.0203)	-.0124 (.0203)
$\text{var}RD_{f,t-1/t-2}$	.0048*** (.0012)	.0045*** (.0011)	.0045*** (.0011)	-.0000 (.0001)	-.0000 (.0001)	-.0000 (.0001)	.0003* (.0001)	.0002* (.0001)	.0002* (.0001)
$\text{var}Cape_{f,t-1}$	.0005** (.0002)	.0005** (.0002)	.0005** (.0002)	.0000 (.0000)	.0000 (.0000)	.0000 (.0000)	.0000 (.0000)	.0000 (.0000)	.0000 (.0000)
Intercept	7.3982*** (1.2480)	6.9967*** (1.2266)	7.0322*** (1.2281)	.4341*** (.1220)	.4309*** (.1222)	.4253*** (.1223)	.4136** (.1903)	.3928** (.1908)	.3799** (.1910)
Hausman Test	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE	FE > RE
N	3079	3079	3079	3079	3079	3079	3079	3079	3079

avec *, **, *** notant respectivement une p-value sous le seuil de 10%, 5%, and 1%.

Tous ces modèles sont contrôlés par des effets fixes firmes et année.

4. DIVERSIFICATION DE LA BASE DE CONNAISSANCES ET PERFORMANCE
DU PROCESSUS D'INNOVATION TECHNOLOGIQUE : LA SPÉCIFICITÉ DES
ENTREPRISES DE DÉFENSE

TABLE 4.12 – Sensibilité aux observations des entreprises de défense (2)

	$\ln Span_{f,t}$ C4	$Originalite_{f,t}$ C4'	$Generalite_{f,t}$ C4''
$NPL_{f,t-1}$	.0006 (.0027)	-.0004* (.0002)	-.0006 (.0003)
$HHI_{f,t-1}$	-.6794** (.2956)	-.0319 (.0295)	-.0763 (.0484)
$Explor_{f,t-1}$	.0123*** (.0030)	.0001 (.0003)	.0000 (.0004)
$Exploit_{f,t-1}$	.0064 (.0059)	.0005 (.0005)	.0000 (.0009)
$Explor_{f,t-1} * Exploit_{f,t-1}$	.0006*** (.0001)	.0000 (.0000)	.0000*** (.0000)
$\ln Emp_{f,t-1}$	-.4329*** (.1310)	.0029 (.0131)	-.0138 (.0203)
$\text{var}RD_{f,t-1/t-2}$	.0043*** (.0011)	-.0000 (.0001)	.0002 (.0001)
$\text{var}Capex_{f,t-1}$	.0006*** (.0002)	.0000 (.0000)	.0000* (.0000)
Intercept	7.1480*** (1.2229)	.4348*** (.1223)	.4140** (.1906)
Hausman Test	FE > RE	FE > RE	FE > RE
N	3079	3079	3079

avec *, **, *** notant respectivement une p-value sous le seuil de 10%, 5%, and 1%.
Tous ces modèles sont contrôlés par des effets fixes firmes et année.

Conclusion générale

Ce travail de thèse s'intéresse aux déterminants de l'innovation internes aux entreprises de défense. Plus précisément, nous avons étudié la manière dont les caractéristiques des entreprises de défense en termes de gestion des connaissances influencent leurs innovations technologiques. Le cadre théorique de la KBE a permis de traiter cette question de recherche. Cette thèse se concentre sur l'analyse de la base de connaissances des entreprises en prenant en compte à la fois les briques et l'architecture des connaissances. Pour cela, nous utilisons le brevet et la publication scientifique comme support codifié de la connaissance produite.

Les [Chapitres 1](#) et [2](#) traitent des briques de connaissances scientifiques nécessaires aux entreprises de défense pour d'innovation technologique. Ces deux chapitres se distinguent principalement par leur angle d'approche. Le [Chapitre 1](#) aborde l'innovation de défense par une entrée technologique tandis que le [Chapitre 2](#) utilise une entrée par les entreprises productrices d'armes. Cette double approche permet de mettre en avant l'importance de la contribution des connaissances scientifiques à l'innovation de défense. En effet, l'étude des technologies dites "de défense" sur longue période (1945-2015) et montre l'importance croissante des connaissances scientifiques pour la qualité de l'innovation technologique de défense. Cette analyse illustre la co-évolution des citations de brevets et de NPL dans le domaine "spatial et armement", ainsi que la particularité des technologies liées aux équipements offensifs et défensifs des navires, les sous-marins et les porte-avions. L'étude des entreprises de défense, sur une période plus réduite (2010-2014) menée dans le deuxième chapitre est complémentaire et met en évidence les différences d'intégration de connaissances scientifiques entre les entreprises de défense et civiles. Grâce à un test d'égalité des distributions, nous avons montré que pour la majorité des domaines technologiques (18 sur 30), les firmes de défense mobilisent significativement plus de NPL que les firmes civiles. Ce résultat s'explique par le rôle de maître d'œuvre, d'intégrateur de systèmes et la longue histoire de collaborations des entreprises de défense avec des acteurs extérieurs, notamment scientifiques. Ainsi, les firmes de défense ont conservé et consolidé une particularité vis-à-vis des firmes civiles en termes de connaissances architecturales liées à l'incorporation de connais-

sances scientifiques dans leurs bases de connaissances. Cette étude montre aussi l'importance d'étudier l'innovation en prenant en compte les spécificités de chaque domaine technologique. En effet, cette mobilisation accrue des connaissances scientifiques par les entreprises de défense ne se retrouve que dans les domaines technologiques les plus intenses en connaissances scientifiques, correspondant au "bio-nexus" identifié par [Branstetter & Ogura \[2005\]](#).

Dans le [Chapitre 3](#), nous nous sommes concentrés sur les déterminants de la production d'armement et plus précisément sur l'influence de l'architecture de connaissances. Grâce à une méthode empirique originale, ce chapitre propose une identification endogène des entreprises de défense à partir de leur innovation technologique, à travers des indicateurs de cohérence technologique. Plus spécifiquement, nous avons examiné les effets de l'innovation technologique sur les ventes d'armes et nos résultats montrent que ces innovations ont un rôle ambivalent. D'une part, les entreprises de défense mobilisent une architecture de connaissances spécifique traduisant par une plus grande exploration technologique. D'autre part, les architectures de connaissances des entreprises de défense sont intersectorielles, c'est-à-dire qu'elles explorent des solutions technologiques provenant de multiples secteurs industriels. Nous trouvons également que si les entreprises de défense n'adoptent pas un comportement sectoriel dominant sur l'ensemble de leur base de connaissances, elles adoptent néanmoins un paradigme dominant lorsqu'il s'agit de mobiliser la connaissance de leur noyau technologique. Ce résultat reflète le contexte de l'industrie de la défense où les entreprises intègrent de plus en plus de technologies du domaine civil, notamment dans les télécommunications et l'informatique.

Enfin, le [Chapitre 4](#) traite des déterminants de la performance du processus d'innovation technologique des entreprises. De façon consécutive aux précédents chapitres, nous cherchons à connaître les effets des différentes facettes de la diversité de la base de connaissances de l'entreprise sur la performance de son processus d'innovation technologique, à la fois en termes de briques et d'architecture des connaissances. Les précédents chapitres ont abordé la manière dont les bases de connaissances des entreprises de défense diffèrent de celles des entreprises civiles. Pour sa part, ce chapitre interroge la performance du processus d'innovation et plus précisément l'effet combinée de l'activité productive de défense et de la diversité de la base de connaissances sur celle-ci. Nos résultats révèlent une influence positive et significative de la cohérence de la base de connaissances. La question de l'arbitrage entre l'exploration de connexions technologiques originales et l'exploration de liens technologiques originaux est centrale dans ce chapitre. Nos résultats mettent en avant que ce dilemme semble tranché par l'importance de l'ambidextrie, *i.e.* l'aptitude des entreprises à explorer des liaisons technologiques originales tout en assurant une innovation in-

crémentale à l'aide de connexions usuelles. De plus, l'intensité de la dépendance à l'activité de défense favorise l'innovation technologique des firmes. Cette relation est d'autant plus importante que la base de connaissances exploite des connexions technologiques usuelles. Ces résultats illustrent l'importance de la diversification de la base de connaissances des entreprises pour comprendre leur processus d'innovation technologique.

L'ensemble des résultats de ces chapitres atteste de la spécificité du processus d'innovation des entreprises de défense à travers la caractéristiques particulières de leur base de connaissances. Deux éléments explicatifs peuvent apporter un éclairage sur ces résultats. D'une part, les contraintes exogènes posées aux entreprises pour la production d'armement. Elles sont de natures diverses et concernent la structure de marché, l'environnement de collaboration, la finalité des produits et l'organisation de la production. Un monopsonne national contraint la structure de marché. L'environnement de collaboration est conditionné par les exigences de l'Etat-client. Enfin, la production de systèmes complexes implique un grand nombre d'acteurs qui se réunissent autour des figures du maître d'ouvrage (l'Etat) et le maître d'œuvre (l'entreprise). D'autre part, cette spécificité est aussi encouragée par les choix stratégiques des entreprises en termes de diversification ou de concentration de leur activité d'innovation. En effet, la diversification des connaissances est considérée comme un enjeu stratégique pour les entreprises de défense. Pour elles, cultiver la spécificité que leur impose la production de défense leur permet de se différencier des entreprises civiles.

Dans son ensemble, ce travail de thèse contribue à l'économie de défense ainsi qu'à la littérature sur la KBE. Premièrement à l'économie de défense, en proposant une analyse originale des entreprises productrices d'armement par la prise en compte de leurs bases de connaissances à la fois en termes technologiques et scientifiques. Cette approche vise à compléter les nombreuses études qualitatives portant sur le processus de production et d'innovation des entreprises de défense. En effet, [Lazarić et al. \[2009\]](#) et [Versailles \[2005\]](#) mettent évidence l'influence spécifique de la production militaire sur l'organisation au sein des entreprises de défense, notamment à travers le rôle du maître d'œuvre. À partir de données quantitatives, notre recherche met en lumière comment ces particularités du rôle de maître d'œuvre façonne la base de connaissances des entreprises et plus précisément leur architecture de connaissances. Certaines études se sont intéressées aux connaissances nécessaires à la production d'armement, tel que [Meunier \[2017\]](#) ou [Acosta et al. \[2011, 2018\]](#). Cependant, leurs approches se concentrent sur l'analyse de la dualité des connaissances au sein des systèmes d'armement plus que de l'organisation de celles-ci dans les entreprises. [Acosta et al. \[2011\]](#) tout comme [Meunier \[2017\]](#) montrent l'importance d'intégrer des

technologies issues de la sphère civiles afin d'innover en termes d'armement. [Acosta et al. \[2018\]](#) mettent en lumière une relation positive entre la capacité duale des entreprises et leurs ventes d'armes. Notre approche complète ces recherches en apportant un angle nouveau et en considérant la dualité des connaissances au sein des entreprises. Nous montrons que, s'il est important pour les entreprises de défense de maîtriser des technologies civiles, il est aussi crucial pour leur vente d'armement, qu'elles se différencient des entreprises civiles dans leur processus d'innovation. Cela se traduit notamment par une intégration accrue de connaissances scientifiques ainsi qu'une stratégie exploratoire en termes de combinaisons de connaissances technologiques.

De plus, cette recherche contribue à l'analyse des bases de connaissances des entreprises en général en ajoutant la dimension scientifique. Alors que le lien entre science et technologie pour l'analyse de l'innovation est souvent questionné, sa mise en perspective au sein de la base de connaissances de l'entreprise est peu traitée. Nos résultats confirment la littérature sur la spécificité des connaissances technologiques liées au "bio-nexus" [[Branstetter & Ogura, 2005](#)] ainsi que la nécessité de distinguer les différents domaines technologiques lorsqu'il s'agit d'étudier l'innovation en général, et la contribution de la science, en particulier. L'étude particulière des entreprises de défense met en perspective les résultats de l'analyse de la base de connaissances. En effet, alors que [Nesta & Saviotti \[2005, 2006\]](#) montrent la nécessité d'une base de connaissances cohérente pour innover et être performant économiquement, notre étude des entreprises de défense met en avant l'importance de l'exploration de combinaisons de connaissances originales et donc des associations incohérentes. L'analyse de la spécificité de défense illustre l'importance de l'environnement de sélection, au sens de [Nelson & Winter \[1975\]](#), pour expliquer la production d'innovation des entreprises.

Les perspectives de recherche consécutives à cette thèse sont multiples. Comme précédemment cité, les spécificités de l'activité de défense influencent à la fois le processus d'innovation et les routines organisationnelles. Ce travail de thèse s'est concentré sur le processus d'innovation sous l'angle des brevets. Cependant, il semble intéressant de compléter cette recherche par l'analyse du capital humain et des procédures organisationnelles internes à l'entreprise. En effet, le [Chapitre 4](#) met en lumière une spécificité des entreprises de défense en dehors des particularités de la structure de la base de connaissances. Nos travaux futurs chercheront notamment à comprendre cette activité particulière en abordant d'autres angles d'approches que la connaissance codifiée au sein des brevets.

L'étude des entreprises de défense montre aussi l'importance de ne pas considérer

que l'industrie principale dans laquelle l'entreprise évolue. Nous traitons en particulier de la diversification des connaissances au sein des entreprises en mettant en avant la cohérence de ce processus ([Chapitre 3](#) et [Chapitre 4](#)). Or, de nombreux auteurs s'intéressent à cette diversification avec un angle d'approche différent, celui de la complémentarité stratégique [[Gallini, 2014](#), [Vives, 2005](#)]. Ce cadre théorique traite de l'entreprise au sein de son environnement concurrentiel, et de questionne les stratégies des entreprises en fonction de celles des autres [[Cooper & John, 1988](#)]. La complémentarité stratégique traduit la manière dont la stratégie d'une entreprise qui accroît son gain est une fonction croissante de la stratégie d'une autre entreprise. [Gallini \[2014\]](#) s'interroge, par exemple, sur les stratégies de propriété intellectuelle induites par la concurrence et les nouveaux produits qui en découlent en utilisant l'outil de la théorie des jeux. Cet angle d'approche pourrait nous permettre de mieux comprendre les déterminants externes de la structuration de la base de connaissances des entreprises. Pour le cas spécifique des entreprises de défense, ce cadre conceptuel peut apporter une nouvelle perspective d'analyse du processus d'innovation des firmes et de leur stratégie de diversification. Plus précisément, l'intérêt de la gestion de la dualité pour les entreprises pourrait trouver des réponses grâce à ce cadre théorique. Comme le montre [Meunier \[2017\]](#), la dualité des technologies favorise autant les entreprises civiles, qui profitent des avancées technologiques militaires, que les entreprises de défense pour qui l'intégration de connaissances civiles est crucial. De même, cette approche pourrait mettre en lumière les raisons pour lesquelles certaines firmes choisissent des stratégies exploratrices qui permettent aux autres d'exploiter leurs découvertes et inversement, comment l'incrémentation de liaisons technologiques usuelles pour certaines favorise les stratégies d'exploration d'autres. Poursuivre notre recherche sous l'angle de la complémentarité stratégique apporterait une vision dynamique à notre analyse de la structuration des bases de connaissances des entreprises, pour l'instant essentiellement statique.

Notre intérêt pour le lien entre les connaissances et la défense à travers le processus d'innovation trouve sa source dans son importance pour les politiques publiques. Le lien spécifique entre les connaissances et l'activité de défense influence directement les politiques publiques sur l'organisation industrielle de la production militaire, la gestion des connaissances et leur flux sur le territoire et de la diffusion de l'innovation entre la sphère militaire et civile. Notre qualification de la spécificité de la base de connaissances peut amener de nouvelles perspectives en termes de politiques publiques. Notamment, à travers, la gestion et l'organisation des réseaux d'acteurs au sein du territoire afin de favoriser les collaborations complémentaires, notamment en considérant les différences de structures de base de connaissances des acteurs. Dans de recherches futures, il serait intéressant de se pencher plus précisément sur l'implication que nos résultats peuvent avoir pour l'action publique.

Bibliographie

- Abbas, Assad, Zhang, Limin, & Khan, Samee U. 2014. A literature review on the state-of-the-art in patent analysis. *World Patent Information*, **37**(June), 3–13.
- Acosta, Manuel, Coronado, Daniel, & Marin, Rosario. 2011. Potential Dual Use of Military Technology : Does Citing Patents Shed Light on This Process? *Defence and Peace Economics*, **22**(3), 335–349.
- Acosta, Manuel, Coronado, Daniel, Ferrandiz, Esther, Marin, M. Rosario, & Moreno, Pedro J. 2018. Patents and Dual-use Technology : An Empirical Study of the World's Largest Defence Companies. *Defence and Peace Economics*, **29**(7), 821–839.
- Adams, Walter. 1968. The Military-Industrial Complex and the New Industrial State. *The American Economic Review*, **58**(2), 652–665.
- Ahuja, Gautam, & Lampert, Curba Morris. 2001. Entrepreneurship in the large corporation : a longitudinal study of how established firms create breakthrough inventions. *Strategic Management Journal*, **22**(6-7), 521–543.
- Albert, M.B., Avery, D., Narin, F., & McAllister, P. 1991. Direct validation of citation counts as indicators of industrially important patents. *Research Policy*, **20**(3), 251–259.
- Alexander, Christopher. 1964. *Notes on the Synthesis of Form*. Harvard University Press.
- Alic, John A., Branscomb, Lewis M., Brooks, Harvey, Epstein, Gerald L., & Carter, Ashton B. 1992. *Beyond Spinoff : Military and Commercial Technologies in a Changing World*. Harvard Business Press.
- Almeida, Paul, & Kogut, Bruce. 1997. The Exploration of Technological Diversity and Geographic Localization in Innovation : Start-Up Firms in the Semiconductor Industry. *Small Business Economics*, **9**(1), 21–31.
- Amin, Ash, & Cohendet, Patrick. 2004. *Architectures of Knowledge : Firms, Capabilities, and Communities*. Oxford, New York : Oxford University Press.

BIBLIOGRAPHIE

- Ansoff, H. Igor. 1957. Strategies for diversification. *Harvard Business Review*, 113–124.
- Ansoff, H. Igor. 1965. *Corporate strategy : an analytic approach to business policy for growth and expansion*. McGraw-Hill.
- Archibugi, D., & Pianta, Mario. 1992. *The Technological Specialization of Advanced Countries : A Report to the EEC on International Science and Technology Activities*. Springer Science & Business Media.
- Archibugi, Daniele. 1992. Patenting as an indicator of technological innovation : a review. *Science and Public Policy*, **19**(6), 357–368.
- Arora, Ashish, & Gambardella, Alfonso. 1994. The changing technology of technological change : general and abstract knowledge and the division of innovative labour. *Research Policy*, **23**(5), 523–532.
- Arrow, Kenneth J. 1962. The Economic Implications of Learning by Doing. *The Review of Economic Studies*, **29**(3), 155.
- Avadikyan, Arman, & Cohendet, Patrick. 2005. L'émergence d'une économie de la défense fondée sur la connaissance : quelques leçons tirées des réformes au Royaume-uni. *Revue d'économie industrielle*, **112**(1), 65–82.
- Avadikyan, Arman, Cohendet, Patrick, & Dupouet, Olivier. 2005. A Study of Military Innovation Diffusion Based on Two Case Studies. *Pages 161–189 of : Llerena, Patrick, & Matt, Mireille (eds), Innovation Policy in a Knowledge-Based Economy : Theory and Practice*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg.
- Ayerbe, Cécile, Lazaric, Nathalie, Callois, Michel, & Mitkova, Liliana. 2012. Nouveaux enjeux d'organisation de la propriété intellectuelle dans les industries complexes. Une discussion à partir du cas Thales. *Revue d'économie industrielle*, Jan., 9–42.
- Badie, Bertrand, & Vidal, Dominique. 2016. *Nouvelles guerres : Comprendre les conflits du XXIe siècle*. La Découverte.
- Bagozzi, Benjamin E., Hill, Daniel W., Moore, Will H., & Mukherjee, Bumba. 2015. Modeling Two Types of Peace The Zero-inflated Ordered Probit (ZiOP) Model in Conflict Research. *Journal of Conflict Resolution*, **59**(4), 728–752.
- Becker, Markus C., & Zirpoli, Francesco. 2008. Applying organizational routines in analyzing the behavior of organizations. *Journal of Economic Behavior & Organization*, **66**(1), 128–148.

- Belin, Jean, & Guille, Marianne. 2008. R&D et innovation en France : quel financement pour les entreprises de la Défense? *Innovations*, 33–59.
- Belin, Jean, Guille, Marianne, Lazaric, Nathalie, & Mérindol, Valérie. 2019. Defense Firms Adapting to Major Changes in the French R&D Funding System. *Defence and Peace Economics*, **30**(2), 142–158.
- Bellais, Renaud. 2005. Recherche et défense, vers un nouveau partenariat?, Research and defence. Towards a new paternship? *Innovations*, **no 21**(1), 145–166.
- Bellais, Renaud, & Droff, Josselin. 2016. Innovation, Technology and Defense Procurement : Reform or Paradigmatic Shift? *Pages 205–222 of : Emerging Strategies in Defense Acquisitions and Military Procurement*, hershey edn. Pennsylvania : Kevin Burgess (Cranfield University, UK) and Peter Antill (Cranfield University, UK).
- Bellais, Renaud, & Droff, Josselin. 2017. Innovation et technologie dans l’armement : un modele en necessaire transformation. *Annuaire Francais de Relations Internationales*, **18**.
- Bellais, Renaud, & Guichard, Renelle. 2006. Defense Innovation, Technology Transfers and Public Policy. *Defence and Peace Economics*, **17**(3), 273–286.
- Bellais, Renaud, Foucault, Martial, & Oudot, Jean-Michel. 2014. *Economie de la défense*. La Découverte.
- Benkeltoum, Nordine. 2016. Adoption de l’open source pour la conception de systèmes d’information critiques : le cas Thales. *Systemes d’information management*, **Volume 21**(4), 71–98.
- Benner, Mary J., & Tushman, Michael L. 2003. Exploitation, Exploration, and Process Management : The Productivity Dilemma Revisited. *Academy of Management Review*, **28**(2), 238–256.
- Blom, Martin, Castellacci, Fulvio, & Fevolden, Arne Martin. 2013. The trade-off between innovation and defense industrial policy : A simulation model analysis of the Norwegian defense industry. *Technological Forecasting and Social Change*, **80**(8), 1579–1592.
- Boekema, Frans, Morgan, Kevin, Bakkers, Silvia, & Rutten, Roel. 2000. *Knowledge, Innovation and Economic Growth*. Books. Edward Elgar Publishing.
- Branstetter, Lee, & Ogura, Yoshiaki. 2005. *Is Academic Science Driving a Surge in Industrial Innovation? Evidence from Patent Citations*. Working Paper 11561. National Bureau of Economic Research.

BIBLIOGRAPHIE

- Brauer, Jurgen. 2007. Chapter 30 Arms Industries, Arms Trade, and Developing Countries*. *Pages 973–1015 of : Hartley, Todd Sandler and Keith (ed), Handbook of Defense Economics*. Handbook of Defense Economics Defense in a Globalized World, vol. 2. Elsevier.
- Braverman, Harry. 1974. *Labor and Monopoly Capital : the degradation of work in the twentieth century*. Monthly review press new york edn.
- Breschi, Stefano, Lissoni, Francesco, & Malerba, Franco. 2003. Knowledge-relatedness in firm technological diversification. *Research Policy*, **32**(1), 69–87.
- Bresnahan, Timothy F., & Trajtenberg, M. 1995. General purpose technologies ‘Engines of growth’? *Journal of Econometrics*, **65**(1), 83–108.
- Bret, Patrice. 2002. L’État, l’armée, la science. L’invention de la recherche publique en France (1763-1830). *Annales historiques de la Révolution française*, **328**(1), 278–278.
- Bridey, Jean-Jacques, Lamblin, Jacques, & armées, commission de la défense nationale et des forces. 2016. *Rapport d’information sur les enjeux industriels et technologiques du renouvellement des deux composantes de la dissuasion*. Assemblée nationale.
- Brusoni, Stefano, Prencipe, Andrea, & Pavitt, Keith. 2001. Knowledge Specialization, Organizational Coupling, and the Boundaries of the Firm : Why Do Firms Know More Than They Make? *Administrative Science Quarterly*, **46**(4), 597–621.
- Brusoni, Stefano, Criscuolo, Paola, & Geuna, Aldo. 2005. The knowledge bases of the world’s largest pharmaceutical groups : what do patent citations to non-patent literature reveal? *Economics of Innovation and New Technology*, **14**(5), 395–415.
- Callaert, Julie, Grouwels, Joris, & Van Looy, Bart. 2011. Delineating the scientific footprint in technology : Identifying scientific publications within non-patent references. *Scientometrics*, **91**(2), 383–398.
- Cao, Qing, Gedajlovic, Eric, & Zhang, Hongping. 2009. Unpacking Organizational Ambidexterity : Dimensions, Contingencies, and Synergistic Effects. *Organization Science*, **20**(4), 781–796.
- Cardinal, Laura B. 2001. Technological Innovation in the Pharmaceutical Industry : The Use of Organizational Control in Managing Research and Development. *Organization Science*, **12**(1), 19–36.
- Carlsson, B., & Stankiewicz, R. 1991. On the nature, function and composition of technological systems. *Journal of Evolutionary Economics*, **1**(2), 93–118.

- Carluer, Frédéric, & Le Goff, Richard. 2002. NTIC et apprentissage localisé : Vers la constitution d'un « espace serviciel ». *Economie Appliquée*, **3**(135-171), 28.
- Carpenter, Mark P., Narin, Francis, & Woolf, Patricia. 1981. Citation rates to technologically important patents. *World Patent Information*, **3**(4), 160–163.
- Chesbrough, Henry, Vanhaverbeke, Wim, & West, Joel. 2006. *Open Innovation : Researching a New Paradigm*. OUP Oxford.
- Chinworth, Michael W. 2000. Country Survey XIII : Japan's security posture and defense industry prospects. *Defence and Peace Economics*, **11**(2), 369–401.
- Cockburn, Iain M., & Henderson, Rebecca M. 1998. Absorptive Capacity, Coauthoring Behavior, and the Organization of Research in Drug Discovery. *The Journal of Industrial Economics*, **46**(2), 157–182.
- Cohen, Gérald. 1997 (Jan.). *Coherence technologique, aspects structurel et temporel : application au programme spatial européen*. thesis, Strasbourg 1.
- Cohen, Michael D., & Bacdayan, Paul. 1994. Organizational Routines Are Stored as Procedural Memory : Evidence from a Laboratory Study. *Organization Science*, **5**(4), 554–568.
- Cohen, Wesley M., & Levin, Richard C. 1989. Chapter 18 Empirical studies of innovation and market structure. *Pages 1059–1107 of : Handbook of Industrial Organization*, vol. 2. Elsevier.
- Cohen, Wesley M., & Levinthal, Daniel A. 1990. Absorptive Capacity : A New Perspective on Learning and Innovation. *Administrative Science Quarterly*, **35**(1), 128.
- Cohen, Wesley M, Goto, Akira, Nagata, Akiya, Nelson, Richard R, & Walsh, John P. 2002. R&D spillovers, patents and the incentives to innovate in Japan and the United States. *Research Policy*, **31**(8), 1349–1367.
- Cohendet, Patrick, & Gaffard, Jean-Luc. 2010. *Coordonner autant qu'inciter pour connaître*. Tech. rept. halshs-01300535. HAL.
- Colombelli, Alessandra, Krafft, Jackie, & Quatraro, Francesco. 2013. Properties of knowledge base and firm survival : Evidence from a sample of French manufacturing firms. *Technological Forecasting and Social Change*, **80**(8), 1469–1483.
- Coombs, Rod, & Hull, Richard. 1998. 'Knowledge management practices' and path-dependency in innovation. *Research Policy*, **27**(3), 237–253.
- Cooper, Russell, & John, Andrew. 1988. Coordinating Coordination Failures in Keynesian Models. *The Quarterly Journal of Economics*, **103**(3), 441–463.

BIBLIOGRAPHIE

- Coriat, B., & Dosi, Giovanni. 1999. Learning how to govern and learning how to solve problems : on the co-evolution of competences, conflicts and organizational routines. In : *The Dynamic Firm : The Role of Technology, Strategy, Organization and Regions*. OUP Oxford.
- Cowan, R., & Foray, D. 1995 (May). *The Changing Economics of Technological Learning*.
- Cowan, Robin, & Foray, Dominique. 1997. The Economics of Codification and the Diffusion of Knowledge. *Industrial and Corporate Change*, **6**(3), 595–622.
- Criscuolo, Paola, & Verspagen, Bart. 2008. Does it matter where patent citations come from? Inventor vs. examiner citations in European patents. *Research Policy*, **37**(10), 1892–1908.
- David, Paul A. 2004. Understanding the emergence of ‘open science’ institutions : functionalist economics in historical context. *Industrial and Corporate Change*, **13**(4), 571–589.
- Davies, Andrew, & Brady, Tim. 2000. Organisational capabilities and learning in complex product systems : towards repeatable solutions. *Research Policy*, **29**(7), 931–953.
- Davies, Andrew, & Hobday, Michael. 2005. *The Business of Projects : Managing Innovation in Complex Products and Systems*. Cambridge University Press.
- Dedehayir, Ozgur, Nokelainen, Tomi, & Mäkinen, Saku J. 2014. Disruptive innovations in complex product systems industries : A case study. *Journal of Engineering and Technology Management*, **33**(July), 174–192.
- Depeyre, Colette. 2013. Boeing Boeing : la dualité civil-militaire source d’un rebond stratégique dans l’ère post-guerre froide. *Entreprises et histoire*, n° **73**(4), 58–74.
- Dewar, Robert D., & Dutton, Jane E. 1986. The Adoption of Radical and Incremental Innovations : An Empirical Analysis. *Management Science*, **32**(11), 1422–1433.
- Dittrich, Koen, Jaspers, Ferdinand, van der Valk, Wendy, & Wynstra, Finn. 2006. Dealing with dualities. *Industrial Marketing Management*, **35**(7), 792–796.
- Dosi, Giovanni. 1982. Technological paradigms and technological trajectories : A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, **11**(3), 147–162.
- Dosi, Giovanni. 1988. Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation. *Journal of Economic Literature*, **26**(3), 1120–1171.

- Dosi, Giovanni, Llerena, Patrick, & Labini, Mauro Sylos. 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*, **35**(10), 1450–1464.
- Driessnack, John D, & King, David R. 2004. An Initial Look at Technology and Institutions on Defense Industry Consolidation. 17.
- Droff, Josselin, & Malizard, Julien. 2014. Cohérence entre politique budgétaire et budget de défense en France. *Revue Défense Nationale*, 7.
- Dunne, J. Paul. 1995. Chapter 14 The defense industrial base. *Handbook of Defense Economics*, **1**(Jan.), 399–430.
- Dunne, J. Paul, Garcia-alonso, Maria, Smith, Ron, College, Birkbeck, & Levine, Paul. 2002. *Concentration in the International Arms Industry*.
- Dupuy, Romuald. 2013. L'industrie européenne de défense : changements institutionnels et stratégies de coopération des firmes. *Innovations*, **42**(3), 85.
- D'Adderio, Luciana. 2008. The performativity of routines : Theorising the influence of artefacts and distributed agencies on routines dynamics. *Research Policy*, **37**(5), 769–789.
- Egidi, Massimo, & Narduzzo, Alessandro. 1997. The emergence of path-dependent behaviors in cooperative contexts. *International Journal of Industrial Organization*, **15**(6), 677–709.
- EPO, European Patent Office. 2018. *Patstat database v2018*.
- Ettlie, John E., Bridges, William P., & O'Keefe, Robert D. 1984. Organization Strategy and Structural Differences for Radical Versus Incremental Innovation. *Management Science*, **30**(6), 682–695.
- Etzkowitz, Henry, & Leydesdorff, Loet. 2000. The dynamics of innovation : from National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of university–industry–government relations. *Research Policy*, **29**(2), 109–123.
- Fagerberg, Jan, Srholec, Martin, & Verspagen, Bart. 2010. Chapter 20 - Innovation and Economic Development. *Pages 833–872 of : Hall, Bronwyn H., & Rosenberg, Nathan (eds), Handbook of the Economics of Innovation*. Handbook of the Economics of Innovation, Volume 2, vol. 2. North-Holland.
- Fan, Joseph P. H., & Lang, Larry H. P. 2000. The Measurement of Relatedness : An Application to Corporate Diversification. *The Journal of Business*, **73**(4), 629–660.

BIBLIOGRAPHIE

- Farjoun, Moshe. 1994. Beyond Industry Boundaries : Human Expertise, Diversification and Resource-Related Industry Groups. *Organization Science*, **5**(2), 185–199.
- Fauchart, Emmanuelle, & Keilbach, Max. 2009. Testing a model of exploration and exploitation as innovation strategies. *Small Business Economics*, **33**(3), 257–272.
- Fauconnet, Cecile. 2018. L'innovation dans l'Aerospatial et la Defense : contribution scientifique et qualite des brevets. *Technologie et innovation*, **3**(3).
- Fauconnet, Cécile, & Malizard, Julien. 2016. Rétrospective des exportations d'armement en France (1958-2015). *Revue Défense Nationale*.
- Fauconnet, Cécile, Malizard, Julien, & Pietri, Antoine. 2018a. French Arms Exports and Intrastate Conflicts : An Empirical Investigation. *Defence and Peace Economics*, **0**(0), 1–21.
- Fauconnet, Cécile, Lebert, Didier, Zyla, Célia, & Moura, Sylvain. 2018b. Les entreprises aérospatiales de défense : quelles cohérences technologiques de leur R&D? *Technologie et innovation*, **3**(3).
- Fisch, Christian O., Hassel, Tobias M., Sandner, Philipp G., & Block, Joern H. 2015. University patenting : a comparison of 300 leading universities worldwide. *The Journal of Technology Transfer*, **40**(2), 318–345.
- Fischer, Manfred M., Scherngell, Thomas, & Jansenberger, Eva. 2009. Geographic localisation of knowledge spillovers : evidence from high-tech patent citations in Europe. *The Annals of Regional Science*, **43**(4), 839.
- Fleming, Lee. 2001. Recombinant Uncertainty in Technological Search. *Management Science*, **47**(1), 117–132.
- Fleming, Lee, & Sorenson, Olav. 2001. Technology as a complex adaptive system : evidence from patent data. *Research Policy*, **30**(7), 1019–1039.
- Foray, Dominique. 2004. *Economics of Knowledge*. MIT Press.
- Foray, Dominique, & Lundvall, Bengt-Ake. 1998. The knowledge-based economy : from economics of knowledge to the learning economy. In : *The Economic Impact of Knowledge*. Routledge.
- Forest, Joëlle. 2014 (Mar.). *Petite histoire des modèles d'innovation*. Tech. rept. hal-00972671. HAL.
- Foss, Nicolai J., & Christensen, Jens Frøslev. 2001. A market-process approach to corporate coherence. *Managerial and Decision Economics*, **22**(4-5), 213–226.

- Freeman, Christopher, & Soete, Luc. 1997. *The Economics of Industrial Innovation*. MIT Press.
- Frigant, Vincent. 2005. Vanishing hand versus Systems integrators - Une revue de la littérature sur l'impact organisationnel de la modularité. *Revue d'économie industrielle*, **109**(1), 29–52.
- Frigant, Vincent, & Moura, Sylvain. 2004. Les déterminants des stratégies réactives des sous-traitants de la défense. : Le cas des PME aquitaines, lombardes et du North-West dans la décennie 1990. *Revue internationale P.M.E. : Économie et gestion de la petite et moyenne entreprise*, **17**(3-4), 121–145.
- Galbraith, Craig S., DeNoble, Alex F., & Ehrlich, Sanford B. 2004. “Spin-In” Technology Transfer for Small R&D Bio-Technology Firms : The Case of Bio-Defense. *The Journal of Technology Transfer*, **29**(3), 377–382.
- Gallini, Nancy. 2014. Cooperating with competitors : Patent pooling and choice of a new standard. *International Journal of Industrial Organization*, **36**(Sept.), 4–21.
- Gann, David M, & Salter, Ammon J. 2000. Innovation in project-based, service-enhanced firms : the construction of complex products and systems. *Research Policy*, **29**(7), 955–972.
- Gansler, Jacques S. 1992. Restructuring the Defense Industrial Base. *Issues in Science and Technology*, **8**(3), 50–58.
- Garcia-Vega, Maria. 2006. Does technological diversification promote innovation? : An empirical analysis for European firms. *Research Policy*, **35**(2), 230–246.
- Garfield, E. 1979. Is citation analysis a legitimate evaluation tool? *Scientometrics*, **1**(4), 359–375.
- Gassmann, Oliver, & Keupp, Marcus Matthias. 2007. The competitive advantage of early and rapidly internationalising SMEs in the biotechnology industry : A knowledge-based view. *Journal of World Business*, **42**(3), 350–366.
- Gates, William. 1989. Department of Defense Procurement Policy Reform : An Evolutionary Perspective. *The Journal of Cost Analysis*, **8**(2), 1–32.
- Gibbons, Michael, Limoges, Camille, Nowotny, Helga, Schwartzman, Simon, Scott, Peter, & Trow, Martin. 1994. *The New Production of Knowledge*.
- Giroux, Henry A. 2015. *University in Chains : Confronting the Military-Industrial-Academic Complex*. Routledge.
- Gkotsis, Petros, & Hernández, Hector. 2017. *Estimating territorial business R&D expenditures using corporate R&D and patent data*. Tech. rept. European Union.

BIBLIOGRAPHIE

- Gompers, Paul, Lerner, Josh, & Scharfstein, David. 2005. Entrepreneurial Spawning : Public Corporations and the Genesis of New Ventures, 1986 to 1999. *The Journal of Finance*, **60**(2), 577–614.
- Grant, Robert M. 1996. Toward a knowledge-based theory of the firm. *Strategic Management Journal*, **17**(S2), 109–122.
- Griliches, Zvi. 1990 (Mar.). *Patent Statistics as Economic Indicators : A Survey*. Tech. rept. w3301. National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.
- Guellec, Dominique, Madiès, Thierry, & Prager, Jean-Claude (eds). 2010. *Les marchés de brevets dans l'économie de la connaissance : rapport*. Les rapports du Conseil d'analyse économique, no. 94. Paris : Documentation Française. OCLC : 837775310.
- Guerzoni, Marco, Taylor Aldridge, T., Audretsch, David B., & Desai, Sameeksha. 2014. A new industry creation and originality : Insight from the funding sources of university patents. *Research Policy*, **43**(10), 1697–1706.
- Guichard, Renelle. 2005. Suggested repositioning of defence R&D within the French system of innovation. *Technovation*, **25**(3), 195–201.
- Hackett, Edward J., Amsterdamska, Olga, Lynch, Michael, & Wajcman, Judy. 2008. *The handbook of science and technology studies*. Cambridge, USA : The MIT Press.
- Hall, Bronwyn H. 2004. Exploring the Patent Explosion. *The Journal of Technology Transfer*, **30**(1), 35–48.
- Hall, Bronwyn H., & Trajtenberg, Manuel. 2004 (Nov.). *Uncovering GPTS with Patent Data*. Working Paper 10901. National Bureau of Economic Research.
- Hall, Bronwyn H., & Ziedonis, Rosemarie Ham. 2001. The Patent Paradox Revisited : An Empirical Study of Patenting in the U.S. Semiconductor Industry, 1979-1995. *The RAND Journal of Economics*, **32**(1), 101–128.
- Hall, Bronwyn H., Jaffe, Adam, & Trajtenberg, Manuel. 2005. Market Value and Patent Citations. *The RAND Journal of Economics*, **36**(1), 16–38.
- Hardstone, G. A. P. 2004. Capabilities, Structures and Strategies Re-Examined : Incumbent Firms and the Emergence of Complex Product Systems (CoPS) in Mature Industries. *Technology Analysis & Strategic Management*, **16**(2), 173–196.
- Harhoff, Dietmar, & Wagner, Stefan. 2009. The Duration of Patent Examination at the European Patent Office. *Management Science*, **55**(12), 1969–1984.
- Harhoff, Dietmar, Scherer, Frederic M, & Vopel, Katrin. 2003. Citations, family size, opposition and the value of patent rights. *Research Policy*, **32**(8), 1343–1363.

- Hartley, Keith. 2007. The Economics of the UK Defence Industrial Strategy. *Security Challenges*, **3**(2), 19–30.
- Henderson, Rebecca, & Cockburn, Iain. 1993 (Sept.). *Scale, Scope and Spillovers : The Determinants of Research Productivity in the Pharmaceutical Industry*. Working Paper 4466. National Bureau of Economic Research.
- Henderson, Rebecca M., & Clark, Kim B. 1990. Architectural Innovation : The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms. *Administrative Science Quarterly*, **35**(1), 9–30.
- Hicks, Diana, Breitzman, Tony, Olivastro, Dominic, & Hamilton, Kimberly. 2001. The changing composition of innovative activity in the US — a portrait based on patent analysis. *Research Policy*, **30**(4), 681–703.
- Hobday, Michael, Davies, Andrew, & Prencipe, Andrea. 2005. Systems integration : a core capability of the modern corporation. *Industrial and Corporate Change*, **14**(6), 1109–1143.
- Hobday, Mike. 1998. Product complexity, innovation and industrial organisation. *Research Policy*, **26**(6), 689–710.
- Hobday, Mike. 2000a. Editorial. Innovation in complex products and systems. *Research Policy*, **29**, 793–804.
- Hobday, Mike. 2000b. The project-based organisation : an ideal form for managing complex products and systems? *Research Policy*, **29**(7), 871–893.
- Howard-Grenville, Jennifer A. 2005. The Persistence of Flexible Organizational Routines : The Role of Agency and Organizational Context. *Organization Science*, **16**(6), 618–636.
- Hérault, Paul. 2018 (Feb.). *L'internationalisation des chaînes de valeur dans l'industrie de défense : le cas du naval*. thesis, Paris Sciences et Lettres.
- IPTS. 2012. *IRI - The 2012 EU Industrial R&D Investment Scoreboard*.
- IRI. 2014. *The 2014 EU Industrial R&D Investment Scoreboard*.
- Iwaisako, Tatsuro, & Futagami, Koichi. 2013. Patent protection, capital accumulation, and economic growth. *Economic Theory*, **52**(2), 631–668.
- Jaffe, Adam B., Trajtenberg, Manuel, & Henderson, Rebecca. 1993. Geographic Localization of Knowledge Spillovers as Evidenced by Patent Citations. *The Quarterly Journal of Economics*, **108**(3), 577–598.

BIBLIOGRAPHIE

- Jaffe, Adam B., Fogarty, Michael S., & Banks, Bruce A. 1998. Evidence from Patents and Patent Citations on the Impact of NASA and Other Federal Labs on Commercial Innovation. *The Journal of Industrial Economics*, **46**(2), 183–205.
- James, Andrew D. 2009. Reevaluating the role of military research in innovation systems : introduction to the symposium. *Journal of technological transfert*, **34**(5), 449–454.
- JRC/OECD. 2015. *COR&DIP v.1 DATABASE*.
- JRC/OECD. 2017. *COR&DIP v.1 DATABASE*.
- Kancs, d'Artis, & Siliverstovs, Boriss. 2016. R&D and non-linear productivity growth. *Research Policy*, **45**(3), 634–646.
- Katila, Riitta, & Ahuja, Gautam. 2002. Something Old, Something New : A Longitudinal Study of Search Behavior and New Product Introduction. *Academy of Management Journal*, **45**(6), 1183–1194.
- Kaufer, Erich. 1989. *The Economics of the Patent System*. Harwood Academic Publishers.
- Kelley, Maryellen R., & Watkins, Todd A. 1995. In from the Cold : Prospects for Conversion of the Defense Industrial Base. *Science*, **268**(5210), 525–532.
- Kline, Stephen J., & Rosenberg, Nathan. 1986. An overview of innovation. In : *The positive sum strategy : harnessing technology for economic growth*, national academy press, washington, d.c. edn.
- Klomp, Luuk, & Leeuwen, George Van. 2001. Linking Innovation and Firm Performance : A New Approach. *International Journal of the Economics of Business*, **8**(3), 343–364.
- Kortum, Samuel, & Lerner, Josh. 1999. What is behind the recent surge in patenting? The paper is a condensed version of 'Stronger Protection or Technological Revolution : What is Behind the Recent Surge in Patenting?' Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy, Vol. 48, 1998, 247–304.1. *Research Policy*, **28**(1), 1–22.
- Krafft, Jackie, Quatraro, Francesco, & Saviotti, Pier Paolo. 2011. The knowledge-base evolution in biotechnology : a social network analysis. *Economics of Innovation and New Technology*, **20**(5), 445–475.
- Krafft, Jackie, Quatraro, Francesco, & Saviotti, Pier Paolo. 2014. The Dynamics of Knowledge-intensive Sectors' Knowledge Base : Evidence from Biotechnology and Telecommunications. *Industry and Innovation*, **21**(3), 215–242.

- Lambert, Diane. 1992. Zero-Inflated Poisson Regression, With an Application to Defects in Manufacturing. *Technometrics*, **34**(1), 1–14.
- Langlois, Richard N. 2003. The vanishing hand : the changing dynamics of industrial capitalism. *Industrial and Corporate Change*, **12**(2), 351–385.
- Lanjouw, Jean O., Pakes, Ariel, & Putnam, Jonathan. 1998. How to Count Patents and Value Intellectual Property : The Uses of Patent Renewal and Application Data. *The Journal of Industrial Economics*, **46**(4), 405–432.
- Lazaric, Nathalie. 2010. *Les théories économiques évolutionnistes*. Repères edn. Paris : La Découverte.
- Lazaric, Nathalie, & Denis, Blandine. 2005. Routinization and memorization of tasks in a workshop : the case of the introduction of ISO norms. *Industrial and Corporate Change*, **14**(5), 873–896.
- Lazaric, Nathalie, Mangolte, Pierre-André, & Massué, Marie-Laure. 2002. Capitalisation des connaissances et transformation d'une routine organisationnelle : le cas Sagem. *Revue d'économie industrielle*, **4ème Trimestre 2002 - 0(101)**, 65–86.
- Lazaric, Nathalie, Mérindol, Valérie, & Rochhia, Sylvie. 2009. La nouvelle architecture de l'industrie de la Défense en France. Évolution du rôle du maître d'ouvrage. *Économie et institutions*, 31–60.
- Lazaric, Nathalie, Merindol, Valerie, & Rochhia, Sylvie. 2011. Changes in the French Defence Innovation System : New Roles and Capabilities for the Government Agency for Defence. *Industry and Innovation*, **18**(5), 509–530.
- Lebert, Didier, El Younsi, Hafida, Meunier, François-Xavier, & Zyla, Celia. 2015. Exploration, exploitation et coherence technologique. *economie appliquée : archives de l'Institut de science économique appliquée*, **68**(3), 187–204.
- Lee, Joosung J., & Yoon, Hyungseok. 2015. A comparative study of technological learning and organizational capability development in complex products systems : Distinctive paths of three latecomers in military aircraft industry. *Research Policy*, **44**(7), 1296–1313.
- Leibenstein, Harvey. 1979. A Branch of Economics is Missing : Micro-Micro Theory. *Journal of Economic Literature*, **17**(2), 477–502.
- Lenfle, Sylvain, & Midler, Christophe. 2002. Stratégie d'innovation et organisation de la conception dans les entreprises amont. *Revue Française de Gestion*, **28**(140), 89–105.

BIBLIOGRAPHIE

- Leonard-Barton, Dorothy. 1992. Core capabilities and core rigidities : A paradox in managing new product development. *Strategic Management Journal*, **13**(S1), 111–125.
- Lerner, Joshua. 1994. The Importance of Patent Scope : An Empirical Analysis. *The RAND Journal of Economics*, **25**(2), 319–333.
- Leten, Bart, Belderbos, Rene, & Van Looy, Bart. 2007. Technological Diversification, Coherence, and Performance of Firms. *Journal of Product Innovation Management*, **24**(6), 567–579.
- Leydesdorff, Loet. 1995. The Triple Helix—University-Industry-Government Relations : A Laboratory for Knowledge-Based Economic Development. *EASST Review*, 14–19.
- Li, Weilin, & Moon, Young B. 2012. Modeling and managing engineering changes in a complex product development process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **63**(9), 863–874.
- Libaers, Dirk. 2009. Industry relationships of DoD-funded academics and institutional changes in the US university system. *The Journal of Technology Transfer*, **34**(5), 474–489.
- Licoppe, Christian. 1996. Chapitre 5 - Les premières années des recherches sur les semi-conducteurs et les. *Réseaux. Communication - Technologie - Société*, **14**(1), 123–146.
- Liefner, Ingo. 2017. Knowledge-Based Economy. *Pages 1–3 of : International Encyclopedia of Geography*. American Cancer Society.
- Looy, Bart Van, Debackere, Koenraad, & Andries, Petra. 2003. Policies to stimulate regional innovation capabilities via university–industry collaboration : an analysis and an assessment. *R&D Management*, **33**(2), 209–229.
- Lubatkin, Michael H., Simsek, Zeki, Ling, Yan, & Veiga, John F. 2006. Ambidexterity and Performance in Small-to Medium-Sized Firms : The Pivotal Role of Top Management Team Behavioral Integration. *Journal of Management*, **32**(5), 646–672.
- Maier, Mark W. 1998. Architecting principles for systems-of-systems. *Systems Engineering*, **1**(4), 267–284.
- Malizard, Julien. 2014. Dépenses militaires et croissance économique dans un contexte non linéaire. *Revue économique*, **Vol. 65**(3), 601–618.

- Malva, Antonio Della, & Hussinger, Katrin. 2012. Corporate science in the patent system : An analysis of the semiconductor technology. *Journal of Economic Behavior & Organization*, **84**(1), 118–135.
- March, James G. 1991. Exploration and Exploitation in Organizational Learning. *Organization Science*, **2**(1), 71–87.
- Marples, D. L. 1961. THE DECISIONS OF ENGINEERING DESIGN. *IRE Transactions on Engineering Management*, **EM-8**(2), 55–71.
- Marshall, N., & Brady, T. 2001. Knowledge management and the politics of knowledge : illustrations from complex products and systems. *European Journal of Information Systems*, **10**(2), 99–112.
- Maskus, Keith E, & McDaniel, Christine. 1999. Impacts of the Japanese patent system on productivity growth. *Japan and the World Economy*, **11**(4), 557–574.
- McGuire, Martin C. 2007. Chapter 21 Economics of Defense in a Globalized World. *Pages 623–648 of : Hartley, Todd Sandler and Keith (ed), Handbook of Defense Economics*. Handbook of Defense Economics Defense in a Globalized World, vol. 2. Elsevier.
- Mendis, Dinusha, Nielsen, J., Nicol, D., & Li, P. 2017. Publications. *Pages 451–476 of : Brownsword, Roger, Scotford, E., & Yeung, K. (eds), Oxford Handbook of Law, Regulation and Technology*. Oxford : Bournemouth University, Fern Barrow, Poole, Dorset, BH12 5BB, UK.
- Merindol, Valerie, & Versailles, David. 2015. La dualite dans la strategie des entreprises. *EcoDef - Le bulletin de l'observatoire economique de la defense (SGA/DAF/OED)*.
- Merindol, Valerie, & Versailles, David W. 2010. Dual-use as Knowledge-Oriented Policy : France during the 1990-2000s. *International Journal of Technology Management*, **50**(1), 80.
- Merindol, Valérie, & Versailles, David W. 2018. Construire les interdépendances entre Business Models dans une stratégie de diversification reliée. *Finance Contrôle Stratégie*, May.
- Meunier, François-Xavier. 2017. *Innovation technologique duale : une analyse en termes d'influence et de cohérence*. Ph.D. thesis, Economies et finances. Paris 1 - Panthéon-Sorbonne.
- Meunier, François-Xavier. 2018. Identification des Systèmes de Connaissances Technologiques Défense au sein des industries A&D. *Technologie et Innovation*, **3**(Dynamiques d'innovation dans les industries aérospatiale et de défense).

BIBLIOGRAPHIE

- Meunier, François-Xavier. 2019. Construction of an operational concept of military/civil technological duality : the dual innovation system. *Journal of Innovation Economics & Management*.
- Meunier, François-Xavier, & Bellais, Renaud. 2018. Technical systems and cross-sector knowledge diffusion : an illustration with drones. *Technology Analysis & Strategic Management*, **31**(4), 433–446.
- Meunier, François-Xavier, & Zyla, Célia. 2016. Firm growth and knowledge flows : comparative analysis between defence and civil areas. *Journal of Innovation Economics & Management*, 89–108.
- Minami, M., Lennert-Cody, C. E., Gao, W., & Roman-Verdesoto, M. 2007. Modeling shark bycatch : The zero-inflated negative binomial regression model with smoothing. *Fisheries Research*, **84**(2), 210–221.
- Mingers, John, & Leydesdorff, Loet. 2015. A review of theory and practice in scientometrics. *European Journal of Operational Research*, **246**(1), 1–19.
- Molas-Gallart, Jordi. 1997. Which way to go? Defence technology and the diversity of 'dual-use' technology transfer. *Research Policy*, **26**(3), 367–385.
- Molina-Castillo, Francisco-Jose, Jimenez-Jimenez, Daniel, & Munuera-Aleman, Jose-Luis. 2011. Product competence exploitation and exploration strategies : The impact on new product performance through quality and innovativeness. *Industrial Marketing Management*, **40**(7), 1172–1182.
- Moncada-Paternò-Castello, Pietro, Ciupagea, Constantin, Smith, Keith, Tübke, Alexander, & Tubbs, Mike. 2010. Does Europe perform too little corporate R&D? A comparison of EU and non-EU corporate R&D performance. *Research Policy*, **39**(4), 523–536.
- Montgomery, Cynthia A. 1979. *Diversification, market structure, and firm performance : an extension of Rumelt's model*. Purdue University.
- Montgomery, Cynthia A. 1982. The Measurement of Firm Diversification : Some New Empirical Evidence. *Academy of Management Journal*, **25**(2), 299–307.
- Montgomery, Cynthia A. 1994. Corporate Diversification. *Journal of Economic Perspectives*, **8**(3), 163–178.
- Montgomery, Cynthia A, & Hariharan, S. 1991. Diversified expansion by large established firms. *Journal of Economic Behavior & Organization*, **15**(1), 71–89.

- Montresor, Sandro, & Quatraro, Francesco. 2017. Regional Branching and Key Enabling Technologies : Evidence from European Patent Data. *Economic Geography*, **93**(4), 367–396.
- Moura, Sylvain. 2008. L'innovation de Défense aux États-Unis : une approche politico-culturelle à partir de Fligstein. *Innovations*, 105–125.
- Moura, Sylvain. 2012. La base industrielle et technologique de défense. *EcoDef - Le bulletin de l'observatoire économique de la défense (SGA/DAF/OED)*, 1–8.
- Mowery, David C. 2012. Defense-related R&D as a model for “Grand Challenges” technology policies. *Research Policy*, **41**(10), 1703–1715.
- Mowery, David C, Nelson, Richard R, Sampat, Bhaven N, & Ziedonis, Arvids 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*, **30**(1), 99–119.
- Mérindol, Valérie. 2005. La défense dans les réseaux d'innovation : une analyse en termes de compétences. *Revue d'économie industrielle*, **112**(1), 45–64.
- Nagaoka, Sadao. 2007. Assessing the R&D Management of a Firm in Terms of Speed and Science Linkage : Evidence from the US Patents. *Journal of Economics & Management Strategy*, **16**(1), 129–156.
- Nagaoka, Sadao, Motohashi, Kazuyuki, & Goto, Akira. 2010. Chapter 25 - Patent Statistics as an Innovation Indicator. *Pages 1083–1127 of : Hall, Bronwyn H., & Rosenberg, Nathan (eds), Handbook of the Economics of Innovation. Handbook of the Economics of Innovation, Volume 2, vol. 2. North-Holland.*
- Narin, F., & Noma, E. 1985. Is technology becoming science? *Scientometrics*, **7**(3), 369–381.
- Narin, Francis, Noma, Elliot, & Perry, Ross. 1987. Patents as indicators of corporate technological strength. *Research Policy*, **16**(2), 143–155.
- Narin, Francis, Hamilton, Kimberly S., & Olivastro, Dominic. 1997. The increasing linkage between U.S. technology and public science. *Research Policy*, **26**(3), 317–330.
- Nelson, Richard R., & Winter, Sidney G. 1975. Growth Theory from an Evolutionary Perspective : The Differential Productivity Puzzle. *The American Economic Review*, **65**(2), 338–344.
- Nelson, Rr, & Winter, Sidney G. 1982. *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Reprint edn. Cambridge, Mass. : Harvard University Press.

BIBLIOGRAPHIE

- Nesta, Lionel, & Saviotti, Pier Paolo. 2005. Coherence of the Knowledge Base and the Firm's Innovative Performance : Evidence from the U.s. Pharmaceutical Industry*. *The Journal of Industrial Economics*, **53**(1), 123–142.
- Nesta, Lionel, & Saviotti, Pier-Paolo. 2006. Firm knowledge and market value in biotechnology. *Industrial and Corporate Change*, **15**(4), 625–652.
- Niwa, Sumiko. 2016. Patent claims and economic growth. *Economic Modelling*, **54**(Apr.), 377–381.
- Noble, David F. 1979. *America by Design : Science, Technology, and the Rise of Corporate Capitalism*. Oxford University Press.
- OCDE. 2005. *Manuel d'Oslo : Principes directeurs pour le recueil et l'interprétation des données sur l'innovation, 3e édition*.
- OECD. 1996. *The Knowledge-based Economy - OECD*.
- O'Reilly, Charles A., & Tushman, Michael L. 2004. The ambidextrous organization. *Harvard Business Review*, **82**(4), 74–81, 140.
- Paoli, Massimo, & Prencipe, Andrea. 1990. The Role of Knowledge Bases in Complex Product Systems : Some Empirical Evidence from the Aero Engine Industry. *Journal of Management and Governance*, **3**(2), 137–160.
- Park, Yongtae, Lee, Sungjoo, & Lee, Sora. 2012. Patent analysis for promoting technology transfer in multi-technology industries : the Korean aerospace industry case. *The Journal of Technology Transfer*, **37**(3), 355–374.
- Penner-Hahn, Joan, & Shaver, J. Myles. 2005. Does international research and development increase patent output? An analysis of Japanese pharmaceutical firms. *Strategic Management Journal*, **26**(2), 121–140.
- Penrose, Edith. 1959. *The Theory of the Growth of the Firm*. OUP Oxford.
- Perlo-Freeman, Sam, & Wezeman, Pieter D. 2012. V. The SIPRI Top 100 arms-producing and military services companies, 2012. 15.
- Piscitello, Lucia. 2000. Relatedness and coherence in technological and product diversification of the world's largest firms. *Structural Change and Economic Dynamics*, **11**(3), 295–315.
- Piscitello, Lucia. 2004. Corporate diversification, coherence and economic performance. *Industrial and Corporate Change*, **13**(5), 757–787.
- Polanyi, Michael. 1966. *The Tacit Dimension*. University of Chicago Press.

-
- Postrel, Steven, & Rumelt, Richard P. 1996. Incentives, Routines and Self-Command. *Pages 72–102 of* : Dosi, Giovanni, & Malerba, Franco (eds), *Organization and Strategy in the Evolution of the Enterprise*. London : Palgrave Macmillan UK.
- Prencipe, Andrea. 1997. Technological competencies and product's evolutionary dynamics a case study from the aero-engine industry. *Research Policy*, **25**(8), 1261–1276.
- Prencipe, Andrea. 2000. Breadth and depth of technological capabilities in CoPS : the case of the aircraft engine control system. *Research Policy*, **29**(7), 895–911.
- Quintana-García, Cristina, & Benavides-Velasco, Carlos A. 2008. Innovative competence, exploration and exploitation : The influence of technological diversification. *Research Policy*, **37**(3), 492–507.
- Rafols, Ismael, & Meyer, Martin. 2009. Diversity and network coherence as indicators of interdisciplinarity : case studies in bionanoscience. *Scientometrics*, **82**(2), 263–287.
- Ramanujam, Vasudevan, & Varadarajan, P. 1989. Research on corporate diversification : A synthesis. *Strategic Management Journal*, **10**(6), 523–551.
- Reed, M. 1991. Organizations and Rationality : the Odd Couple? *Journal of Management Studies*, **28**(5), 559–567.
- Robins, James, & Wiersema, Margarethe F. 1995. A resource-based approach to the multibusiness firm : Empirical analysis of portfolio interrelationships and corporate financial performance. *Strategic Management Journal*, **16**(4), 277–299.
- Rondi, Laura, & Vannoni, Davide. 2005. Are EU Leading Firms Returning to Core Business? Evidence on Refocusing and Relatedness in a Period of Market Integration. *Review of Industrial Organization*, **27**(2), 125–145.
- Rosenberg, Nathan. 1969. The Direction of Technological Change : Inducement Mechanisms and Focusing Devices. *Economic Development and Cultural Change*, **18**(1, Part 1), 1–24.
- Rosenberg, Nathan. 1976. *Perspectives on Technology*. CUP Archive.
- Rumelt, Richard P. 1974. *Strategy, structure, and economic performance*. Division of Research, Graduate School of Business Administration, Harvard University.
- Russo, Angeloantonio, & Vurro, Clodia. 2010. Cross-boundary ambidexterity : Balancing exploration and exploitation in the fuel cell industry. *European Management Review*, **7**(1), 30–45.

BIBLIOGRAPHIE

- Ruttan, Vernon W. 2000. *Technology, Growth, and Development : An Induced Innovation Perspective*. Oxford University Press.
- Ruttan, Vernon W. 2005. *Military Procurement and Technology Development*.
- Salter, Ammon J., & Martin, Ben R. 2001. The economic benefits of publicly funded basic research : a critical review. *Research Policy*, **30**(3), 509–532.
- Sampat, Bhaven N., Mowery, David C., & Ziedonis, Arvids A. 2003. Changes in university patent quality after the Bayh–Dole act : a re-examination. *International Journal of Industrial Organization*, **21**(9), 1371–1390.
- Saviotti, Paolo, Looze, Marie-Angèle de, & Maupertuis, M. A. 2005. Knowledge dynamics, firm strategy, mergers and acquisitions in the biotechnology based sectors. *Economics of Innovation and New Technology*, **14**(1-2), 103–124.
- Scherer, F. M, & Harhoff, Dietmar. 2000. Technology policy for a world of skew-distributed outcomes. *Research Policy*, **29**(4), 559–566.
- Schmoch, Ulrich. 2008. Concept of a Technology Classification for Country Comparisons. 15.
- Schumpeter, Joseph A. 1912. *The Theory of Economic Development : An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle*. Transaction Publishers.
- Schumpeter, Joseph A. 1942. *Capitalism, Socialism and Democracy*. Routledge.
- Scott, Susanne G., & Bruce, Reginald A. 1994. Determinants of Innovative Behavior : A Path Model of Individual Innovation in the Workplace. *Academy of Management Journal*, **37**(3), 580–607.
- Sempere, Carlos Martí. 2015. A survey of performance issues in defence innovation. *Defence and Peace Economics*, **28**(3), 319–343.
- Serfati, Claude. 2005. Défense et politique technologique. *Innovations*, **no 21**(1), 21–42.
- Serfati, Claude. 2008. Le rôle de l'innovation de Défense dans le système national d'innovation de la France. *Innovations*, **n° 28**(2), 61–83.
- Simon, Herbert A. 1962. The Architecture of Complexity. *Proceedings of the American Philosophical Society*, **106**(6), 467–482.
- SIPRI, (Stockholm International Peace Research Institute). 2019. *Arms Industry Database*.

- Sorenson, Olav, & Fleming, Lee. 2004. Science and the diffusion of knowledge. *Research Policy*, **33**(10), 1615–1634.
- Sorenson, Olav, Rivkin, Jan W., & Fleming, Lee. 2006. Complexity, networks and knowledge flow. *Research Policy*, **35**(7), 994–1017.
- Squicciarini, Mariagrazia, Dernis, Hélène, & Criscuolo, Chiara. 2013. Evaluer la qualité des brevets : Des indicateurs de valeur technologique et économique. June. Publisher : OCDE.
- Suzuki, Jun, & Kodama, Fumio. 2004. Technological diversity of persistent innovators in Japan : Two case studies of large Japanese firms. *Research Policy*, **33**(3), 531–549.
- Tagliapietra, Simone, & Zachmann, Georg. 2018. *Addressing Europe’s failure to clean up the transport sector. Bruegel Policy Brief ISSUE 2 | APRIL 2018.*
- Teece, David, & Pisano, Gary. 1994. The Dynamic Capabilities of Firms : an Introduction. *Industrial and Corporate Change*, **3**(3), 537–556.
- Teece, David, & Pisano, Gary. 2003. The Dynamic Capabilities of Firms. *Pages 195–213 of : Holsapple, Clyde W. (ed), Handbook on Knowledge Management : Knowledge Directions.* International Handbooks on Information Systems. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg.
- Teece, David J. 1988. Capturing Value from Technological Innovation : Integration, Strategic Partnering, and Licensing Decisions. *Interfaces*, **18**(3), 46–61.
- Teece, David J. 1996. Firm organization, industrial structure, and technological innovation. *Journal of Economic Behavior & Organization*, **31**(2), 193–224.
- Teece, David J., Rumelt, Richard, Dosi, Giovanni, & Winter, Sidney. 1994. Understanding corporate coherence : Theory and evidence. *Journal of Economic Behavior & Organization*, **23**(1), 1–30.
- Thompson, Peter, & Fox-Kean, Melanie. 2005. Patent Citations and the Geography of Knowledge Spillovers : A Reassessment. *American Economic Review*, **95**(1), 450–460.
- Tijssen, Robert J. W. 2004. Measuring and Evaluating Science—Technology Connections and Interactions. *Pages 695–715 of : Moed, Henk F., Gl anzel, Wolfgang, & Schmoch, Ulrich (eds), Handbook of Quantitative Science and Technology Research.* Springer Netherlands.
- Trajtenberg, Manuel. 1990. A Penny for Your Quotes : Patent Citations and the Value of Innovations. *The RAND Journal of Economics*, **21**(1), 172–187.

BIBLIOGRAPHIE

- Trajtenberg, Manuel, Henderson, Rebecca, & Jaffe, Adam. 1997. University Versus Corporate Patents : A Window On The Basicness Of Invention. *Economics of Innovation and New Technology*, **5**(1), 19–50.
- Töldtling, Franz, Lehner, Patrick, & Kaufmann, Alexander. 2009. Do different types of innovation rely on specific kinds of knowledge interactions? *Technovation*, **29**(1), 59–71.
- Usher, Abbott Payson. 1954. *A History of Mechanical Inventions : Revised Edition*. Courier Corporation.
- Verbeek, Arnold, Debackere, Koenraad, Luwel, Marc, Andries, Petra, Zimmermann, Edwin, & Deleus, Filip. 2002. Linking science to technology : Using bibliographic references in patents to build linkage schemes. *Scientometrics*, **54**(3), 399–420.
- Versailles, David. 2005. Le maître d'œuvre dans les programmes d'armement. De l'émergence à la consolidation des réseaux de connaissances. *Revue d'économie industrielle*, **112**(1), 83–105.
- Verspagen, Bart. 2006. Innovation and Economic Growth. *The Oxford Handbook of Innovation*, Jan.
- Verspagen, Bart. 2007. Mapping technological trajectories as patent citation networks : a study on the history of fuel cell research. *Advances in Complex Systems*, **10**(01), 93–115.
- Vives, Xavier. 2005. Games with strategic complementarities : New applications to industrial organization. *International Journal of Industrial Organization*, **23**(7), 625–637.
- Vázquez, Rodolfo, Santos, Maria Leticia, & Álvarez, Luis Ignacio. 2001. Market orientation, innovation and competitive strategies in industrial firms. *Journal of Strategic Marketing*, **9**(1), 69–90.
- Watkins, Todd A., & Kelley, Maryellen R. 2001. Manufacturing scale, lot sizes and product complexity in defense and commercial manufacturing. *Defence and Peace Economics*, **12**(3), 229–247.
- Wei, Zelong, Yi, Yaqun, & Guo, Hai. 2014. Organizational Learning Ambidexterity, Strategic Flexibility, and New Product Development. *Journal of Product Innovation Management*, **31**(4), 832–847.
- Weitzman, Martin L. 1996. Hybridizing Growth Theory. *The American Economic Review*, **86**(2), 207–212.

- Weitzman, Martin L. 1998. Recombinant Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, **113**(2), 331–360.
- Welsh, A. H., Cunningham, R. B., Donnelly, C. F., & Lindenmayer, D. B. 1996. Modeling the abundance of rare species : statistical models for counts with extra zeros. *Ecological Modelling*, **88**(1), 297–308.
- Wilcoxon, Frank. 1945. Individual Comparisons by Ranking Methods. *Biometrics Bulletin*, **1**(6), 80–83.
- WIPO. 2016. *Statistiques de propriété intellectuelle*. Tech. rept.
- Wong, Poh Kam, Ho, Yuen Ping, & Autio, Erkko. 2005. Entrepreneurship, Innovation and Economic Growth : Evidence from GEM data. *Small Business Economics*, **24**(3), 335–350.
- Woodruff, Matthew J., Reed, Patrick M., & Simpson, Timothy W. 2013. Many objective visual analytics : rethinking the design of complex engineered systems. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, **48**(1), 201–219.
- Yalcinkaya, Goksel, Calantone, Roger J., & Griffith, David A. 2007. An Examination of Exploration and Exploitation Capabilities : Implications for Product Innovation and Market Performance. *Journal of International Marketing*, **15**(4), 63–93.
- Zanfei, Antonello, & Marin, Giovanni. 2018. *Does Host Market Regulation Induce Cross Border Environmental Innovation?* Tech. rept. 1803. University of Urbino Carlo Bo, Department of Economics, Society & Politics - Scientific Committee - L. Stefanini & G. Travaglini.

Table des figures

1.1	L'évolution des brevets et de la NPL du S&A entre 1945 et 2015	69
1.2	Répartition des brevets S&A par domaines technologiques entre 1945 et 2015	70
1.3	Evolution de la NPL en volume par domaine technologique d'S&A	70
1.4	Evolution de la NPL par domaine technologique d'S&A (base 100 : 1980)	71
1.5	Tables de corrélation entre contribution scientifique et qualité des brevets entre 1980 et 2015 par domaines technologiques	73
2.1	Analyse en Composantes Principales caractérisant les 2000 plus grandes firmes en termes de R&D (moyenne sur 2010-2014, avec la dummy défense)	103
3.1	Distribution of arms sales revenue for defence firms	127

Liste des tableaux

1.1	Les classes technologiques S&A à 4-digit (OST, 2010)	75
1.2	Distribution des familles de brevets par premier office de dépôt	76
2.1	Wilcoxon Rank Sum test	93
2.2	Statistiques descriptives	98
2.3	Wilcoxon Rank Sum test à 3-digit	100
2.4	Liste des classes technologiques 3-digit où les entreprises civiles et de défense mobilisent les connaissances scientifiques de la même façon	101
2.5	ACP	102
3.1	Main : Global coherence	121
3.2	Main : Dilemma Exploration-Exploitation	122
3.3	Descriptive statistiques	126
3.4	Distribution of arms sales revenue of defence firms	127
3.5	Correlation table	128
3.6	Robust : Global coherence	129
3.7	Robust : Dilemma Exploration-Exploitation	130
3.8	Sensitivity : Global coherence	131
3.9	Sensitivity : Dilemma Exploration-Exploitation	132
3.10	Sensitivity : Dilemma Differentiation-Distinction	133
4.1	Diversité de la base de connaissances et performance du processus d'innovation	152
4.2	Ambidextrie et performance du processus d'innovation	155
4.3	Activité de défense et diversité de la base de connaissances	157
4.4	Activité de défense et ambidextrie	158
4.5	Statistiques descriptives	162
4.6	Table de corrélation	163
4.7	Robustesse : diversité de la base de connaissances et performance du processus d'innovation	165
4.8	Robustesse : ambidextrie et performance du processus d'innovation	166
4.9	Sensibilité à la défense (1)	167

LISTE DES TABLEAUX

4.10 Sensibilité à la défense (2)	168
4.11 Sensibilité aux observations des entreprises de défense (1)	169
4.12 Sensibilité aux observations des entreprises de défense (2)	170

Résumé

Dans ce travail, nous défendons la thèse que les entreprises de défense, de par la nature de leur activité, ont un processus d'innovation singulier. Nous mobilisons la conception de la base de connaissances d'[Henderson & Clark \[1990\]](#). Notre travail empirique repose sur l'analyse du processus d'innovation technologique des entreprises ayant une activité de défense. Les deux premiers chapitres traitent de la contribution des connaissances scientifiques aux innovations technologiques de défense et mettent en avant l'importance des connaissances scientifiques pour l'innovation militaire. Le troisième chapitre s'intéresse à la structure de la base de connaissances des entreprises de défense à l'aide des indicateurs de cohérence technologique et montrent l'importance de la nature exploratrice de la base de connaissances, *i.e.* l'importance de réaliser des connexions technologiques originales. Enfin, le dernier chapitre questionne l'influence des caractéristiques des bases de connaissances des entreprises, et plus particulièrement des firmes de défense, sur la performance du processus d'innovation technologique. Nous montrons la spécificité des entreprises de défense à travers la nature exploitante de leur base de connaissances favorisant l'innovation technologique.

Mots clés : Économie appliquée, Innovation technologique, *Complex Product System*, Brevet, Économie fondée sur la connaissance.

Abstract

In this research, we defend the thesis that defense firms, by the nature of their activity, have a unique innovation process. We are mobilizing the design of the [Henderson & Clark \[1990\]](#) knowledge base. Our empirical work is based on the analysis of the technological innovation process of companies with a defense activity. The first two chapters deal with the contribution of scientific knowledge to defense technological innovations and highlight the importance of scientific knowledge for military innovation. The third chapter looks at the structure of the defense firm knowledge base using technological coherence indicators and shows the importance of the exploratory nature of the knowledge base, *i.e.* the importance of making original technological connections. Finally, the last chapter questions the influence of the characteristics of the knowledge bases of firms, and more particularly of defense firms, on the performance of the technological innovation process. We show the specificity of defense companies through the exploitative nature of their knowledge base promoting technological innovation.

Keywords : Applied economics, Technological innovation, Complex Product System, Patent, Knowledge-based economy.