

LE RÔLE D'ARCHITECTE DES CONNAISSANCES DES GRANDES ENTREPRISES DE DÉFENSE

Cécile FAUCONNET

Chercheuse Armement et économie de défense à l'IRSEM

RÉSUMÉ

Cette note de recherche analyse le processus d'innovation au sein des entreprises de défense sous l'angle original des combinaisons de connaissances. Elle vise à comprendre la manière dont les spécificités liées à la production militaire influencent l'architecture des connaissances au sein des entreprises. À l'aide d'une étude statistique préliminaire des données de brevets, nous mettons en avant une différence entre les pratiques des entreprises civiles et des entreprises de défense. Plus précisément, les entreprises de défense sont en moyenne plus exploratrices de combinaisons technologiques originales et plus exploitantes de liaisons usuelles que les entreprises civiles.

SOMMAIRE

Introduction	2
Architecture de connaissances et innovations de défense.....	3
Méthode d'analyse	6
Les entreprises de défense : des architectures de connaissances originales	10
Conclusion	12

INTRODUCTION

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. Comme le prône la Loi de programmation militaire 2019-2025 française, l'innovation militaire est une de ses quatre priorités. Le ministère des Armées français met l'innovation technologique au centre de sa politique : « 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 futures¹. »

Les analyses de l'innovation font souvent la distinction entre innovation civile et militaire. Certaines technologies telles que les bombes nucléaires ou la furtivité des véhicules sont, sinon spécifiques à la défense, du moins très largement dominées par ce champ d'application. Néanmoins, ces technologies représentent une petite partie des innovations de défense et une large part des spécificités technologiques de défense repose davantage sur des exigences de performances spécifiques et une architecture originale des systèmes. Selon la typologie proposée par Henderson et Clark², les systèmes d'armes se distingueraient plus par leurs combinaisons des connaissances³, i.e. une architecture adaptée à la spécificité militaire, que par la mobilisation de connaissances spécifiques au monde de la défense⁴. Cette approche de l'innovation permet de considérer les proximités entre les entreprises sous l'angle original des connaissances plutôt que sous celui du secteur industriel, trop restrictif pour étudier la défense. En effet, la production d'armement est diverse, allant des navires et sous-marins aux missiles en passant par les satellites. Cette note explore ainsi la manière dont les entreprises de défense combinent des connaissances en vue d'innover.

Afin de traiter de ce sujet, la première section revient sur les caractéristiques des innovations militaires pouvant affecter l'architecture des connaissances au sein des entreprises de défense. Dans la deuxième section, nous développons notre approche empirique réalisée à l'aide de données de brevets. La troisième section présente et discute nos résultats. Enfin, nous concluons.

1. LPM 2019-2025, p. 2.

2. Rebecca M. Henderson et Kim B. Clark, « Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms », *Administrative Science Quarterly*, 35 (1), 1990, p. 9-30.

3. La connaissance correspond à toute idée, mécanisme cognitif qui nous permet de s'approcher d'une vérité. Cet article s'intéresse plus particulièrement à la connaissance codifiée au sein des brevets. 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. La codification de la connaissance 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.

4. Nathalie Lazaric, Valérie Mérindol et Sylvie Rochhia, « Changes in the French Defence Innovation System: New Roles and Capabilities for the Government Agency for Defence », *Industry and Innovation*, 18 (5), 2011, p. 509-530.

ARCHITECTURE DE CONNAISSANCES ET INNOVATIONS DE DÉFENSE

La relation entre connaissances et innovation exploite une idée clé de Schumpeter selon laquelle les innovations résultent de combinaisons nouvelles et non éprouvées d'éléments existants⁵. En principe, les activités de recherche peuvent être effectuées dans tous les domaines de la connaissance. Cependant, l'ensemble des connaissances que possèdent les agents (entreprises, organismes, individus, etc.) et leur environnement social et technologique sont susceptibles de limiter leurs activités de combinaison à des domaines donnés de l'espace du savoir. Le processus de recherche identifie des connaissances pouvant être liées pour générer de nouvelles connaissances⁶. Cette aptitude est approchée dans la littérature économique par le concept d'architecture des connaissances⁷. Cette notion permet de distinguer au sein du processus d'innovation les briques de connaissances et l'architecture des connaissances. Alors que la brique de connaissances correspond à la plus petite unité de connaissance, l'architecture des connaissances révèle les relations qui existent entre les briques de connaissances. Cette typologie 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. Cette étude se concentre sur la capacité d'architecte des entreprises. Plus précisément, nous nous demandons si les entreprises de défense, étant donné les exigences de l'innovation militaire, développent une architecture singulière en comparaison des pratiques du civil.

Afin de comprendre comment les spécificités associées à l'innovation militaire affectent l'architecture des connaissances, nous nous référons aux travaux de Davies et Hobday⁸. Ils introduisent trois capacités influençant l'architecture des connaissances au sein des entreprises :

- la capacité stratégique,
- la capacité fonctionnelle,
- la capacité de gestion de projet.

La capacité stratégique est 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 est structurée autour des aspects technologiques comprenant le design, l'ingénierie et l'interaction entre les différentes connaissances. La capacité de gestion de projet est le management des relations avec les partenaires dans le design et la mise en œuvre de projets innovants. Ces capacités liées à l'architecture des connaissances au sein des entreprises se développent particulièrement pour des productions de

5. Joseph A. Schumpeter, *Capitalism, Socialism and Democracy*, Routledge, 1942.

6. Olav Sorenson, Jan W. Rivkin et Lee Fleming, « Complexity, networks and knowledge flow », *Research Policy*, 35 (7) 2006, p. 994-1017.

7. Rebecca M. Henderson et Kim B. Clark, « Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms », *op. cit.*

8. Andrew Davies et Michael Hobday, *The Business of Projects: Managing Innovation in Complex Products and Systems*, Cambridge University Press, 2005.

type bien-système, réseaux, infrastructures ou encore pour l'ingénierie complexe. Cette partie s'attache à présenter comment les spécificités associées à l'activité de défense affecte les capacités stratégiques, fonctionnelles et de gestion de projet des entreprises.

Premièrement, la capacité stratégique des entreprises de défense est favorisée par la longueur des cycles de vie et de développement des produits et par la nécessité de maintenir de compétences orphelines et/ou obsolètes nécessaires aux missions militaires.

L'innovation de défense est dite de long terme pour deux raisons : d'une part, du fait du temps de développement du produit ; d'autre part, du fait de la durée de vie attendue des systèmes. La production des systèmes d'armement se fait selon le paradigme de « générations successives » où chaque génération a un cycle de vie défini⁹. 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. Ce constat est renforcé par Mowery¹⁰ qui met en évidence la différence entre la R&D orientée vers des missions de défense et la R&D dans les autres secteurs. Il montre que la R&D orientée vers des missions de défense cherche à développer des solutions techniques à des problèmes complexes, et qui requièrent souvent des années, voire des décennies pour produire *in fine* un matériel militaire.

De plus, les entreprises de défense mobilisent cette capacité stratégique en maintenant 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 compétences de ce type. S'agissant de la construction des sous-marins, il définit trente compétences rares, dont douze orphelines (navigation inertielle, sûreté nucléaire des armes, sûretés réciproques des armes, pyrotechnie, furtivité par l'invulnérabilité, transmission de l'acte de commandement, etc.)¹¹. À ces connaissances orphelines, s'ajoutent des connaissances obsolètes. Les nouveaux systèmes d'armes doivent s'intégrer dans une architecture de systèmes qui ne fonctionnent pas forcément selon les dernières technologies, en particulier en termes de communication. Maier¹² démontre ce phénomène à l'aide d'une étude des systèmes militaires modernes et de leur composition éclectique en termes de technologie de communication. Du fait de la longue durée de vie des systèmes militaires, les anciens systèmes de communication doivent être maintenus longtemps après que la technologie est devenue obsolète.

Deuxièmement, la capacité fonctionnelle structurée autour des aspects technologiques de la production est particulière pour les entreprises de défense. Afin de créer un produit personnalisé et de très haute technologie¹³, les entreprises doivent posséder une base évolu-

9. Renaud Bellais et Josselin Droff, « Innovation et technologie dans l'armement : un modèle en nécessaire transformation », *Annuaire français de relations internationales*, 18 juillet 2017.

10. David C. Mowery, « Defense-related R&D as a model for "Grand Challenges" technology policies », *Research Policy*, The need for a new generation of policy instruments to respond to the Grand Challenges, 41 (10), 2012, p. 1703-1715.

11. Jean-Jacques Bridey, Jacques Lamblin et commission de la défense nationale et des forces armées, *Rapport d'information sur les enjeux industriels et technologiques du renouvellement des deux composantes de la dissuasion*, Assemblée nationale, 2016.

12. Mark W. Maier, « Architecting Principles for Systems-of-Systems », *Systems Engineering*, 1 (4), 1998, p. 267-284.

13. Koen Dittrich, Ferdinand Jaspers, Wendy van der Valk et Finn Wynstra, « Dealing with dualities », *Industrial Marketing Management*, IMP 2005: Dealing with Dualities, 35 (7), 2006, p. 792-796. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2006.07.001>.

tive de connaissances et de compétences scientifiques et technologiques. Intensifs en ingénierie, ces produits intègrent un grand nombre de technologies et nécessitent un ensemble de compétences complémentaires¹⁴. À titre d'illustration, alors qu'une automobile contient environ 4 000 références de composants, un système de guidage pour un missile intercontinental en contient plus de 19 000¹⁵. Cette diversité technologique au sein des innovations de défense va de pair avec la question de la dualité technologique. Celle-ci implique pour les entreprises de défense de diffuser dans la sphère civile des connaissances spécifiquement militaires et d'intégrer des connaissances issues de la R&D civile dans leurs productions militaires. Cette dualité est un enjeu à la fois pour la performance des biens militaires et pour la survie économique des entreprises de défense, dont la majorité opère sur le marché civil et militaire. En effet, en complément à la dualité technologique, les entreprises de défense doivent aussi adopter des stratégies de dualité de marché. Cette diversification entre marché civil et de défense peut se réaliser selon deux stratégies différentes. Premièrement, elle peut être une diversification de marché sans diversification des compétences, i.e. valorisation de ses compétences en s'adaptant à de nouveaux clients. Deuxièmement, elle 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 faire¹⁶. Ce double enjeu de la dualité technologique et de la dualité de marché amène les entreprises de défense à maîtriser une diversité importante de connaissances et leur apporte un potentiel de combinaisons se distinguant des pratiques civiles.

Troisièmement, la capacité de gestion de projet peut être approchée par ce que l'on appelle l'organisation fondée sur des projets¹⁷. L'organisation de la production autour de projets permet i) de créer et recréer de nouvelles structures d'organisation pour chaque produit livré et chaque client ; ii) d'être flexible face aux variations des demandes du client ; et iii) d'intégrer différents types de connaissances et compétences. Dans le cas des entreprises de défense, les compétences liées à l'organisation en projet sont fortement influencées par la relation particulière qu'entretiennent les entreprises avec l'État-client. En effet, la production militaire s'organise autour de deux grands acteurs : la firme, intégrateur de systèmes et maître d'œuvre, et l'État, maître d'ouvrage et client¹⁸. Les entreprises de défense fournissent l'État-client et construisent les nouveaux systèmes d'armes en étroite relation avec lui. Hobday insiste sur la notion de personnalisation des projets en fonction du client¹⁹. Cette relation forte entre offre et demande se retrouve dans la définition même de l'innovation militaire que Sempere définit comme l'action ou le processus d'introduire

14. Sylvain Moura, « L'innovation de Défense aux États-Unis : une approche politico-culturelle à partir de Fligstein », *Innovations*, 28, 2008, p. 105-125.

15. Maryellen R. Kelley et Todd A. Watkins, « In from the Cold: Prospects for Conversion of the Defense Industrial Base », *Science*, 268 (5210), 1995, p. 525-532.

16. François-Xavier Meunier, « Innovation technologique duale : une analyse en termes d'influence et de cohérence », *Économies et finances*, Paris 1 - Panthéon-Sorbonne, 2017.

17. Mike Hobday, « The project-based organisation: an ideal form for managing complex products and systems? », *Research Policy*, 29 (7), 2000, p. 871-893.

18. Nathalie Lazaric, Valérie Mérindol et Sylvie Rochhia, « La nouvelle architecture de l'industrie de la Défense en France. Évolution du rôle du maître d'ouvrage », *Économie et institutions*, 12-13, octobre 2009, p. 31-60.

19. Mike Hobday, « The project-based organisation: an ideal form for managing complex products and systems? », *op. cit.*

de nouvelles idées essentielles à l'accomplissement des missions de défense, directement définie par l'État²⁰.

Cette capacité de gestion de projet des entreprises de défense est renforcée par le nombre important d'acteurs participant à l'innovation militaire. En effet, cette activité n'est pas seulement caractérisée par la relation entre l'État-client et le maître d'œuvre mais aussi par la longue ligne de sous-traitance ainsi que par les relations avec la recherche académique. Belin et Guille ont mis en évidence l'importance de la chaîne de sous-traitance pour la R&D militaire²¹. Ce constat est renforcé par l'étude de Frigant et Moura illustrant l'importance des stratégies de sous-traitance de la part des PME contribuant à la production militaire²². De plus, les entreprises de défense collaborent avec des acteurs de la recherche académique. Les relations entre science et militaire sont largement documentées et ont contribué à des avancées technologiques critiques pour la défense²³.

Ainsi, les programmes militaires ont une nature multifonctionnelle et pluridisciplinaire. Ils nécessitent, pour les entreprises, 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, ressources humaines, management) et de disciplines techniques (électronique et électrique, mécanique, logiciel, intégration de système). L'activité de défense se caractérise par des biens de haute technologie, de systèmes complexes et le rôle d'intégrateur de systèmes des firmes. Ces spécificités prises individuellement ne sont pas l'apanage exclusif de la sphère défense cependant leur combinaison au sein d'une même production en font un sujet d'étude particulièrement pertinent pour l'économie de l'innovation. Ces caractéristiques affectent la manière dont les connaissances sont combinées en vue de produire de l'innovation et cela justifie notre intérêt pour l'analyse des différences d'architecture des connaissances entre entreprises civiles et défense.

MÉTHODE D'ANALYSE

Afin de quantifier la capacité d'architecte des connaissances des entreprises de défense, nous utilisons une source de données particulière, que sont les données de brevets. Les informations contenues dans ces documents générés par des offices indépendants permettent de quantifier l'activité d'innovation technologique des entreprises²⁴.

Cependant, utiliser les données de brevets comme approximation de l'innovation implique de nombreux biais sur notre perception de l'innovation technologique. En effet, toute organisation qui parvient à se saisir d'opportunités technologiques se trouve

20. Carlos Martí Sempere, « A survey of performance issues in defence innovation », *Defence and Peace Economics*, 28 (3), p. 2015, 319-343.

21. Jean Belin, Marianne Guille, Nathalie Lazaric et Valérie Mérindol, « Defense Firms Adapting to Major Changes in the French R&D Funding System », *Defence and Peace Economics*, 30 (2), 2019, p. 142-158.

22. Vincent Frigant et Sylvain Moura, « Les déterminants des stratégies réactives des sous-traitants de la défense », *Revue internationale PME*, 17 (3/4), 2004, p. 121-145.

23. Peter D. Feaver, « Civil-military relations », *Annual Review of Political Science*, 2 (1), 1999, p. 211-241.

24. Zvi Griliches, « Patent Statistics as Economic Indicators: A Survey », Cambridge, MA, National Bureau of Economic Research, 1990.

confrontée à la question de la protection de son avance. Pour cela, les entreprises ont deux modalités de protection de leur propriété intellectuelle industrielle : d'une part, la protection juridique à travers le dépôt d'un brevet, d'autre part, le secret. La stratégie du secret reste malheureusement une limite infranchissable à l'analyse empirique de l'innovation. Par définition, le secret ne se partage pas et il est donc difficilement observable.

Dans le cas spécifique d'innovation de défense, l'État peut contraindre une organisation à tenir le secret alors que celle-ci aurait pourtant préféré publier un brevet. 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. Cette incitation au secret dans l'activité de défense pourrait amener à la conclusion que ce secteur dépose moins de brevets que les autres. Cependant, cette limite spécifique à la défense est à nuancer. En effet, des études montrent une propension plus forte au dépôt de brevets dans les entreprises ayant une activité de défense²⁵.

D'autres limites liées à l'harmonisation des documents de brevets entre les différents offices régionaux et nationaux sont résolues par une restriction de l'analyse aux seuls offices de brevets américain, japonais, de l'UE15 ainsi qu'auprès de l'Office européen des brevets (EPO) et l'Organisation mondiale de la propriété intellectuelle (OMPI)²⁶. De même, la difficulté de reconstitution des portefeuilles de brevets des entreprises est levée par l'utilisation d'une base de données consolidée par l'OCDE et la Commission européenne. Enfin, le biais des stratégies de dépôt de la part des entreprises est limité par le regroupement des brevets en familles selon la définition INPADOC²⁷.

Si le brevet est un indicateur imparfait de l'innovation, cela ne signifie pas que 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 font 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 macroéconomique²⁸, à l'échelle géographique²⁹, à l'échelle des industries³⁰ ou encore à l'échelle microéconomique³¹.

25. Jean Belin, Marianne Guille, Nathalie Lazaric et Valérie Mérindol, « Defense Firms Adapting to Major Changes in the French R&D Funding System », *op. cit.*

26. Les brevets peuvent être déposés auprès des offices nationaux, des offices régionaux ou directement auprès de l'office mondial (OMPI).

27. 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 [https://www.epo.org/searching-for-patents/helpful-resources/first-time-here/patent-families/inpadoc_fr.html].

28. Sumiko Niwa, « Patent claims and economic growth », *Economic Modelling*, 54, avril 2016, p. 377-381.

29. Sandro Montresor et Francesco Quatraro, « Regional Branching and Key Enabling Technologies: Evidence from European Patent Data », *Economic Geography*, 93 (4), 2017, p. 367-396.

30. Yongtae Park, Sungjoo Lee et Sora Lee, « Patent Analysis for Promoting Technology Transfer in Multi-Technology Industries: The Korean Aerospace Industry Case », *The Journal of Technology Transfer*, 37 (3), 2012, p. 355-374.

31. Dinusha Mendis, J. Nielsen, D. Nicol et P. Li, « Publications » in Roger Brownsword, E. Scotford, et K. Yeung (eds), *Oxford Handbook of Law, Regulation and Technology*, Oxford, Bournemouth University, Fern Barrow, Poole, Dorset, BH12 5BB, UK, 2017, p. 451-476.

À partir de ces données de brevets, sont construits les indicateurs de cohérence technologique développés par des auteurs du courant évolutionniste, notamment Teece *et al.* ou Nesta et Saviotti³². 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'architecture des connaissances, i.e. la capacité des firmes à mobiliser, combiner et maintenir les connaissances nécessaires à l'innovation, peut être ainsi approchée par les indicateurs de cohérence technologique des entreprises³³. Cette notion de cohérence de la base de connaissances de l'entreprise renvoie à l'idée selon laquelle la combinaison de connaissances connexes permet l'innovation. Ainsi, le portefeuille de brevets d'une entreprise est dit cohérent si les combinaisons technologiques qu'il contient sont similaires aux combinaisons technologiques présentes dans le reste des brevets.

Ces combinaisons sont construites à partir des références à des classes technologiques au sein des brevets. Ces classes indiquent l'ensemble des technologies dont se réclame l'invention selon la classification internationale des brevets (CIB) de l'OMPI³⁴. Traditionnellement, les économistes identifient les technologies au niveau des « sous-classes technologiques », c'est-à-dire au niveau du 4^e digit de la nomenclature OMPI³⁵. Cette nomenclature peut s'appliquer à l'ensemble des brevets dans le monde, qu'importe le pays, la taille de l'entreprise ou encore de l'organisation déposant le brevet.

Ces indicateurs sont réalisés en deux étapes. Tout d'abord, la mesure du lien technologique, entre chaque classe technologique contenue dans les brevets. Un nombre « attendu » de co-occurrences entre technologies est calculé à l'aide d'une loi hypergéométrique. Le lien entre deux classes technologiques différentes dépend de la différence entre le nombre de co-occurrences observées et le nombre attendu. Si cette différence est élevée, i.e. si le nombre de liens observés entre ces deux technologies est supérieur au nombre de liens « attendu », les deux technologies sont liées. Plus la différence est grande et positive, plus la relation entre elles est forte³⁶. Cette matrice de co-occurrence technologique nous permet ensuite de construire un ensemble d'indicateurs selon la même formule, avec des variations des liens technologiques considérés dans le calcul. Cette étape de calcul a comme fondement la comparaison entre les liens technologiques réalisés par l'entreprise et ceux réalisés dans l'ensemble du paysage technologique, i.e. l'ensemble

32. David J. Teece, Richard Rumelt, Giovanni Dosi et Sidney Winter, « Understanding corporate coherence: Theory and evidence », *Journal of Economic Behavior & Organization*, 23 (1), 1994, p. 1-30 ; Lionel Nesta et Pier Paolo Saviotti, « 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), 2005, p. 123-142.

33. David J. Teece *et al.*, « Understanding corporate coherence: Theory and evidence », *op. cit.*

34. <https://www.wipo.int/classifications/ipc/ipcpub/?notion=scheme&version=20200101&symbol=none&menulang=fr&>

35. Jackie Krafft, Francesco Quatraro et Pier Paolo Saviotti, « The knowledge-base evolution in biotechnology: a social network analysis », *Economics of Innovation and New Technology*, 20 (5), 2011, p. 445-475.

36. David J. Teece *et al.*, « Understanding corporate coherence: Theory and evidence », *op. cit.*

des liaisons technologiques au sein de tous les brevets étudiés. De cette manière, nous construisons deux indicateurs³⁷ :

- **Exploitation.** L'indicateur d'exploitation est construit à partir des liens technologiques observés et potentiels au sein de l'entreprise et dans le reste du paysage technologique, i.e. des liens cohérents. Plus l'indicateur d'exploitation est élevé, plus l'entreprise réalise des combinaisons technologiques similaires aux combinaisons technologiques dans l'ensemble du paysage technologique. À l'inverse, un indicateur d'exploitation faible signifie que l'entreprise ne réalise pas des combinaisons de liaisons de connaissances évidentes et usuellement réalisées dans le paysage technologique.

- **Exploration.** L'indicateur d'exploration est construit à partir des liens observés et se distinguant de liens se réalisant dans le reste du paysage technologique. Cet indicateur traduit une capacité de l'entreprise à se différencier des pratiques des autres, soit en réalisant des connexions que les autres ne font pas, soit en ne réalisant pas des liens que les autres mobilisent de façon abondante. Plus cet indicateur est élevé, plus l'entreprise réalise des connexions originales. À l'inverse, un indicateur faible traduit un faible nombre de combinaisons inhabituelles.

Pour construire ces indicateurs, nous mobilisons deux bases de données complémentaires sur la période 2010-2014. La première répertorie le portefeuille brevets des 2 000 plus grands groupes mondiaux en termes d'investissement en R&D³⁸. La seconde identifie les plus grandes entreprises de défense dans le monde³⁹. En recoupant les deux bases de données, nous trouvons que parmi les 2 000 firmes considérées, 60 ont une production de défense et déposent des brevets. Les données manquantes et l'absence de dépôts de brevets de certaines entreprises nous amènent à considérer un échantillon de 1 223 entreprises dont 60 entreprises de défense. Notre base de brevets regroupe 2 100 858 brevets accordés entre 2010 et 2014 et regroupés en 1 111 692 familles de brevets. Les entreprises de défense ont déposé 123 903 de ces familles. Cette sélection est donc limitée aux plus grandes entreprises de défense parmi les plus grandes entreprises dans le monde.

À l'aune de ces caractéristiques particulières des grandes entreprises de défense présentées précédemment, nous nous demandons s'il existe une distinction entre entreprises de défense et entreprises civiles en termes de base de connaissances. Plus précisément, nous nous intéressons aux différences d'architecture des connaissances en vue de produire des innovations technologiques entre civil et défense. Pour cela, la partie suivante propose une comparaison des caractéristiques en termes de cohérence des entreprises à l'aide de statistiques descriptives et d'un test non paramétrique (*Wilcoxon Rank Sum Test*⁴⁰) comparant la distribution des indicateurs entre entreprises de défense et civiles.

37. Pour plus de détails sur les calculs d'indicateurs, voir Hafida El Younsi, Didier Lebert, François-Xavier Meunier et Célia Zyla, « Exploration, exploitation et cohérence technologique », *Économie appliquée : archives de l'Institut de science économique appliquée*, 68 (3), 2015, p. 187204.

38. JRC/OECD, « 2015 COR&DIP v.1 DATABASE », 2015 ; JRC/OECD, « 2017 COR&DIP v.1 DATABASE », 2017.

39. SIPRI (Stockholm International Peace Research Institute), « Arms Industry Database », 2018.

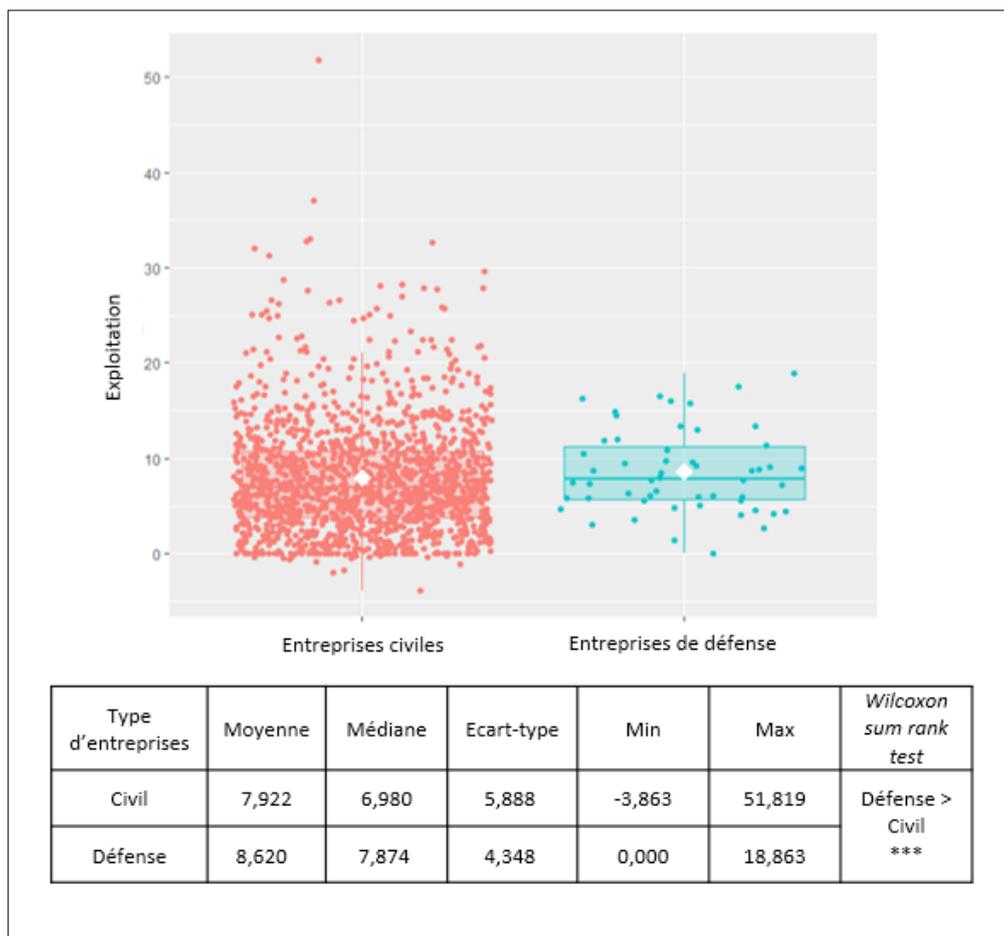
40. Wilcoxon Rank Sum Test : la logique qui sous-tend ce test est très simple : supposons que l'on mélange les deux ensembles d'observations (X et Y), et que l'on classe par ordre croissant les valeurs de l'échantillon ainsi créé alors, si H_0 est vraie, nous devrions observer une alternance régulière tout au long du support de l'échantillon joint des valeurs prises dans X d'une part et dans Y d'autre part. En revanche, l'apparition de zones de concentration d'observations issues de X ou de Y est défavorable à l'hypothèse nulle.

LES ENTREPRISES DE DÉFENSE : DES ARCHITECTURES DE CONNAISSANCES ORIGINALES

Les résultats présentés dans le graphique 1 et le graphique 2 regroupent une représentation graphique de la distribution des indicateurs de cohérence, respectivement l'exploitation et l'exploration, ainsi qu'un tableau contenant statistiques descriptives et résultats du *Wilcoxon Rank Sum Test* permettant la comparaison entre entreprises civiles et de défense. Chaque variable de cohérence est moyennée par entreprise sur la période 2010-2014.

Graphique 1

Exploitation - Distinction civil/défense



Lecture : Le graphique est une boîte à moustache se lisant de la manière suivante : le rectangle regroupe les deuxième et troisième quartiles, la ligne est la valeur médiane, le losange correspond à la moyenne, les segments représentent les premier et neuvième déciles. Le tableau présente les statistiques descriptives associées aux indicateurs de cohérences par groupe d'entreprises (civil/défense). La dernière colonne présente le résultat du *Wilcoxon sum rank test*, avec les *** traduisant une p-value inférieure à 1 %, i.e. la probabilité de rejeter l'hypothèse nulle à tort.

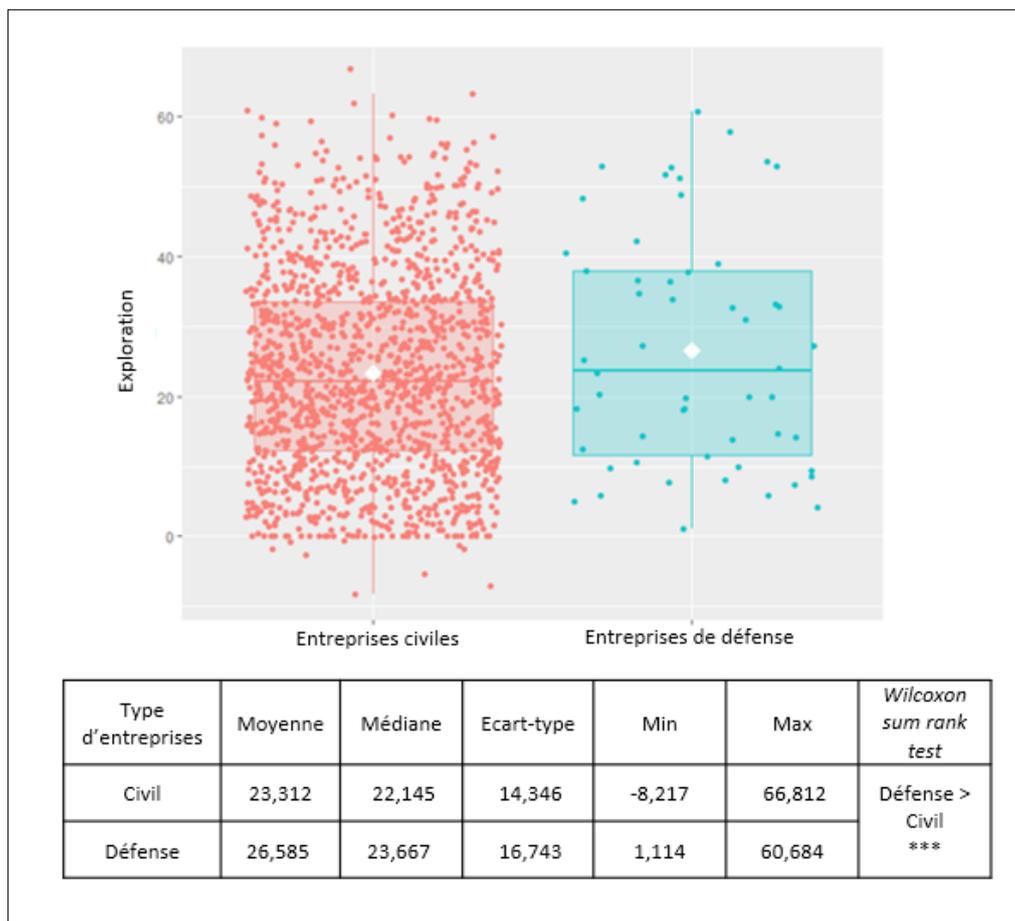
Le graphique 1 présente la distribution et les statistiques descriptives de l'indicateur d'exploitation par entreprise, i.e. la réalisation de combinaisons de connaissances usuelles. Nous distinguons les entreprises de défense, selon le Top 100 du SIPRI, des autres entreprises, civiles. Évidemment, le nombre d'observations est bien plus important dans le

groupe des entreprises civiles que dans celui des entreprises de défense. Un score d'exploitation haut traduit une capacité forte de l'entreprise à réaliser des combinaisons de connaissances fréquentes dans l'ensemble des brevets étudiés. La distribution de cet indicateur est concentrée, avec peu d'observations aberrantes et un faible écart-type. De plus, la moyenne et la médiane du score d'exploitation sont plus importantes au sein des entreprises de défense. Ce résultat est conforté par le test d'égalité des distributions qui valide la supériorité significative des entreprises de défense en termes d'exploitation de combinaisons de connaissances usuelles.

Cette première facette de la cohérence de la base de connaissances est complétée par le graphique 2, présentant l'indicateur d'exploration de combinaisons de connaissances originales au sein de l'entreprise. Nous constatons une distribution dispersée, avec un écart-type important dans les deux groupes. De plus, la moyenne et la médiane du score d'exploration sont plus importantes au sein des entreprises de défense, résultat confirmé par le test d'égalité des distributions. Ces deux tableaux mettent ainsi en évidence le fait que les spécificités de la production militaire affectent effectivement le processus d'innovation des entreprises de défense en affectant l'architecture des connaissances.

Graphique 2

Exploration - Distinction civil/défense



Les entreprises de défense semblent ainsi à la fois plus exploratrices de combinaisons technologiques originales et plus exploitantes de liaisons usuelles que les entreprises civiles. Cette étude statistique est très préliminaire et doit être complétée par des analyses plus poussées. À l'aide des indicateurs présentés précédemment et d'un modèle de régression adapté aux données de comptage, nous avons mis en avant la proximité entre les bases de connaissances des grandes entreprises de défense dans le monde⁴¹. Ces analyses quantitatives plus poussées montrent l'importance de l'exploration de liaisons technologiques originales pour la production et la vente d'armement. À l'inverse est aussi observée une absence d'effet de l'exploitation de liaisons technologiques évidentes sur ces mêmes ventes d'armement. Ainsi, bien que ces entreprises de défense aient des activités aussi diverses que l'automobile, la chimie ou l'aérospatial, leurs processus d'innovation comportent des caractéristiques communes.

CONCLUSION

Cette note de recherche étudie le processus d'innovation au sein des entreprises de défense sous l'angle original des combinaisons de connaissances. À l'aide d'une étude statistique préliminaire, nous mettons en avant une différence significative entre les pratiques des entreprises civiles et des entreprises de défense. Celles-ci ont une architecture de connaissances à la fois plus exploratrice et exploitante que les entreprises civiles, c'est-à-dire qu'elles réalisent à la fois plus de combinaisons originales mais aussi plus de liaisons usuelles. 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. D'autre part, cette spécificité est encouragée par les choix stratégiques des entreprises en termes de diversification de leur activité. Cela est autant un enjeu pour la composition technologique de leurs innovations militaires qu'un enjeu de soutenabilité économique. Pour elles, cultiver la spécificité que leur impose la production de défense leur permet de se différencier des entreprises civiles.

Docteur en économie de l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Cécile Fauconnet est chercheuse Armement et économie de défense à l'IRSEM. Sa thèse a été financée par la DGA et encadrée à l'ENSTA Paris (Institut Polytechnique de Paris). Elle a travaillé sur les questions d'innovation des entreprises de défense, et plus précisément sur le contenu et l'organisation des bases de connaissances de ces entreprises en vue de produire des innovations. Ses travaux empiriques sur les données de brevets ont notamment été publiés dans les revues *Defence and Peace Economics* et *Technology & Innovation*.

Contact : cecile.fauconnet@irsem.fr

41. Cécile Fauconnet, « La structuration des bases de connaissances des entreprises de défense », Paris, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne, 2019.