



MESURER L'INNOVATION TECHNOLOGIQUE DUALE PAR LES BREVETS : APPLICATION AUX DRONES

M. François-Xavier Meunier est lauréat du prix d'économie de la défense 2018 pour sa thèse d'économie intitulée « innovation technologique duale : une analyse en termes d'influence et de cohérence ».

Depuis la fin de la guerre froide, la disparition de « l'ennemi » clairement désigné rend moins évidente la justification stratégique de la dépense militaire. Aujourd'hui, de manière encore plus prégnante, en raison des fortes contraintes budgétaires qui pèsent sur les pays développés, se pose la question de l'impact de la défense sur les performances économiques globales du pays. Le rôle moteur de l'innovation technologique de défense au sein des systèmes nationaux d'innovation semble constituer un argument pour le maintien de cette dépense. Or, depuis la fin des années 1980, l'initiative technologique attribuée à l'industrie de défense est remise en cause ; c'est la fin du paradigme des retombées (Alic 1992). Une nouvelle manière de percevoir la relation entre le domaine militaire et le civil émerge. Elle propose une vision qui s'inscrit dans la durée entre retombées technologiques du militaire vers le civil « *spin-off* » et absorptions technologiques « *spin-in* » du civil vers le militaire qui s'alternent (Dombrowski, Gholz, et Ross 2002). La question de la dualité émerge et rencontre un large écho dans la communauté scientifique. La définition la plus simple est certainement celle mise en avant par le Ministère des Armées: « dont les résultats doivent permettre des applications militaires et civiles ». La question de la mise en œuvre de ce concept large reste néanmoins difficile.

La dualisation des industries de défense peut être abordée comme un rapprochement des appareils productifs civils et militaires (Guichard et Heisbourg 2004a; Guichard 2004b; Guichard et Heisbourg 2004; Bellais et Guichard 2006; Serfati 2005). En 1995, The *U.S. Congressional Office for Technological Assessment* désigne la dualité comme le processus de fusion entre la Base Industrielle et Technologique de Défense (BITD) et la plus vaste Base Industrielle et Technologique Marchande (BITM) dans une seule Base Industrielle et Technologique Nationale (BITN) (OTA, 1995). Dans son acceptation la plus intégrée, la dualité est alors définie comme une organisation visant la co-production technologique et industrielle entre la sphère de défense et la sphère civile.

Dans cette dernière approche, l'usage de matériel civil dans un cadre militaire, comme lors d'un achat sur étagère du Ministère des Armées ou, inversement, quand une industrie s'approprie une technologie initialement destinée à la défense, ne constitue plus alors un déterminant du niveau de dualité. Celle-ci ne se définit plus qu'en termes de communalité et de cohérence technologique entre les systèmes et les « méso-secteurs » technologiques, à l'image de l'approche proposée par R. Guichard (2004a, 2004b). L'enjeu devient alors de classer les technologies en fonction de leur potentiel dual, c'est-à-dire en fonction des collaborations potentielles qui pourront s'établir entre la sphère civile et la sphère défense au cours du processus d'innovation. Comment évaluer ce potentiel dual ? Nous proposons ici une approche par les brevets pour repérer et qualifier le potentiel dual des technologies afin de faciliter la mise en œuvre de politiques publiques ou de stratégies duales d'innovation.



François-Xavier MEUNIER

Post-doctorant à l'Unité d'Economie Appliquée (UEA) de l'ENSTA ParisTech, Institut Polytechnique de Paris.

L'Observatoire Économique de la Défense diffuse EcoDef par messagerie électronique (format pdf).

Si vous êtes intéressé par cette formule, veuillez adresser un courriel à :

daf.oed.fct@intradef.gouv.fr

Découvrez toutes les publications du secrétariat général pour l'administration sur :

Internet :
www.defense.gouv.fr/sga

Intranet :
www.sga.defense.gouv.fr



UNE APPROCHE PAR LES BREVETS

Les dispositifs d'appropriation de la propriété intellectuelle communément identifiés sont au nombre de six (Levin et al., 1985) : les brevets, le secret, les délais, les effets de la courbe d'apprentissage, le coût et le temps requis pour la duplication et les efforts de vente et de services de qualité supérieure. Concernant l'innovation technologique, le principal arbitrage s'effectue entre secret et brevet. Si la part de l'innovation liée au secret est difficilement appréhendable à grande échelle, l'analyse des brevets offre plusieurs avantages.

D'abord, il convient de rappeler rapidement quelques caractéristiques du brevet. Le dépôt de brevet est comparable à un article universitaire et contient à ce titre deux informations. D'une part, comme un universitaire doit citer les articles qui lui ont permis de développer son propos, un brevet doit citer les brevets sur lesquels il s'appuie afin de proposer son innovation. D'autre part, le brevet mentionne les classes technologiques auxquelles il appartient, autrement dit les connaissances qu'il mobilise. A ce titre, le brevet d'une classe technologique peut citer des brevets qui sont issus d'une autre classe technologique et ainsi mettre en relation des connaissances provenant de domaines divers. Dans ce cas, soit le déposant du brevet est capable d'assimiler ces connaissances diverses seul, soit il utilise son environnement, c'est ainsi le principe corrélationnel de l'innovation que l'on peut analyser à l'aide de la classification des brevets.

Ensuite, les brevets s'avèrent une source d'information utile car ils complètent une somme d'informations stable dans le temps. La classification des technologies (*International Patent Classification - IPC*) aujourd'hui appliquée aux brevets n'est certes pas la même que celle qui existait il y a un siècle et s'est adaptée aux évolutions technologiques. Néanmoins, il existe une rétrocompatibilité de cette classification. Il est donc possible, pour les brevets des principaux offices de protection de la propriété intellectuelle, d'étudier l'ensemble des brevets qu'ils ont enregistrés avec la classification d'aujourd'hui. Ce qui permet de réaliser des études sur de longues périodes.

Enfin, le brevet connaît une diffusion mondiale. C'est l'outil de formalisation de la connaissance le plus largement diffusé. De plus, l'OMPI (Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle) montre, au travers de sa base de données (Fink, Hamdan-Livramento, et Raffo 2015) que son utilisation a plutôt tendance à s'intensifier depuis les années 1990. Il existe en particulier un rattrapage des pays en développement, la Chine étant même devenue le premier déposant de brevets au monde. Par ailleurs, le dépôt de brevets a tendance à s'unifier puisqu'une part croissante des dépôts de brevets se fait dans plusieurs offices à la fois, ceci notamment grâce au Traité de Coopération en matière de Brevets (TCB) qui simplifie le système de demande dans plusieurs pays simultanément. Si de nombreuses réserves subsistent sur le sérieux de certains offices et demandent certaines précautions, la source de données est donc colossale.

Ainsi, une littérature économique abondante explore la diffusion des connaissances par le biais des brevets (Jaffe et Trajtenberg 2002; Verspagen 2004; Leydesdorff et al. 2015). L'analyse de la diffusion technologique entre la sphère de la défense et la sphère civile fait en revanche peu appel aux données de brevets.

Lorsqu'elles sont mobilisées par les économistes de la défense, les données de brevets sont principalement utilisées pour décrire la situation au sein du domaine en lui-même (Gallié et Mérindol 2015). Il convient néanmoins de citer les travaux de (Chinworth 2000) sur la dualité au Japon, ceux de Acosta et al. (Acosta et al. 2013; Acosta, Coronado, et Marín 2011; Acosta et al. 2017) qui traitent de classes technologiques spécifiques pour en évaluer le niveau de dualité ou encore des travaux menés par l'Unité d'économie Appliquée de l'ENSTA ParisTech (Fauconnet et al. 2018; Meunier et Bellais 2018).

Or, comme le montre pour le cas français (Moura 2018), les entreprises de la BITD sont de grands déposants de brevets et leur arbitrage entre protection de l'innovation par le brevet et protection par le secret penche vers la première solution, confortant les résultats de Dos Santos Paulino et Callois (Dos Santos Paulino et Callois 2009). Les brevets sont particulièrement propices à l'analyse de la dualité car l'objectif d'une telle démarche est d'étudier les connaissances qui ont vocation à se diffuser entre domaine civil et domaine défense. Or, si pour des raisons de souveraineté une agence gouvernementale (p. ex. la Direction Générale de l'Armement en France) décide qu'une technologie doit être mise au secret, c'est pour qu'elle ne se diffuse pas et donc l'intégration de cette technologie à l'analyse de la dualité est de facto non pertinente. L'application des outils reposant sur les caractéristiques des brevets et largement diffusée en économie de l'innovation apparaît donc comme pertinente et devrait s'avérer largement instructive pour l'étude de la dualité.

Nous proposons une analyse qui repose sur la production technologique des entreprises. Elle s'appuie sur l'étude des cooccurrences technologiques au sein des brevets et permet de mesurer les similitudes entre la production technologique civile et la production technologique de défense. C'est sur la base de ces similitudes qu'il est possible de « construire un socle commun de connaissances entre les acteurs (civils et défense) » (Mérindol 2005) permettant de faciliter leur co-production technologique.

LES ARCHITECTURES DE CONNAISSANCES

Au sein du processus d'innovation technologique, deux types de connaissances se distinguent ; celles liées à l'architecture du système, appelées architectures de connaissances, et celles liées aux composants autrement appelées briques de connaissances (Henderson et Clark 1990). Cette distinction est cruciale dans le cadre de l'étude de la dualité (Mérindol 2010). En effet, afin de repérer si les bases de connaissances employées dans le domaine civil et dans le domaine de la défense sont similaires, il convient non seulement d'étudier les briques de connaissance, c'est-à-dire la plus petite unité de connaissance produite qui peut se repérer grâce aux classes technologiques des brevets, mais aussi les architectures de connaissances c'est-à-dire la manière dont les connaissances sont associées entre elles. Si les systèmes complexes sont apparus dans le domaine militaire, ils se sont ensuite répandus dans les secteurs civils, et dans de nombreuses industries, c'est dans cette capacité à agréger des connaissances diverses dans une architecture de connaissances cohérente que réside la capacité d'innover (Hobday, Davies, et Prencipe 2005).

Cette représentation de l'innovation technologique permet de distinguer si la dualité repose sur une des briques de connaissances commune au secteur civil et au secteur de la défense, ou à l'utilisation d'une même architecture de connaissances d'un domaine à l'autre. En la matière, la littérature contemporaine met en avant que la spécificité des connaissances dans le domaine de la défense se situe plus souvent au niveau de l'architecture des systèmes qu'au niveau des composants (Lazaric, Mérimol, et Rochhia 2011). Autrement dit, les systèmes de défense combinent des technologies qui, prises individuellement, sont communes à la défense et au civil.

Afin de représenter les architectures de connaissances, le concept de base de connaissances tel qu'il est défini par Nesta et Saviotti (Nesta et Saviotti 2005, 2006) ou Krafft et al. (Krafft, Quatraro, et Saviotti 2011) est utilisé. A chaque organisation ou système technique⁽¹⁾ correspond un réseau qui lie les classes technologiques des brevets qui lui appartiennent.

Alors, si on considère la base de connaissances sous la forme d'un réseau, suivant cette typologie, on peut étudier la dynamique de ses mouvements à deux niveaux :

- Au niveau des nœuds : ils représentent « les briques de connaissances ». L'apparition ou la disparition de certains d'entre eux révèle pour une entreprise la décision de développer ou, au contraire, de cesser de développer certaines briques de connaissance.
- Au niveau des liens : ils représentent « les architectures de connaissances ». Les recombinaisons technologiques représentent les modifications dans l'architecture de connaissances technologiques d'une entreprise.

LA COHÉRENCE TECHNOLOGIQUE

Le concept théorique de la cohérence émerge dans les années 1990 au travers des travaux de D.J. Teece, R. Rumelt, G. Dosi et S. Winter (Teece et al. 1994) qui cherchent à comprendre la pertinence des stratégies de diversification des firmes en analysant la cohérence des associations de compétences que cela entraîne. Ces analyses de cohérence, qui portent à l'origine sur l'étude des compétences au sein des firmes, seront par la suite adaptées et enrichies dans le cadre de l'analyse des connaissances afin d'apprécier la cohérence technologique des firmes diversifiées (Piscitello 2000), des secteurs industriels (Krafft, Quatraro, et Saviotti 2011) ou encore de programmes technologiques (Cohen 1997). Ils permettent d'étudier la structure des réseaux non orientés et pondérés. Ainsi, les bases de connaissances de deux firmes (l'une civile et l'autre de défense) ou la base de connaissances d'un même système développé par deux firmes différentes (l'une civile et l'autre de défense) peuvent être comparées.

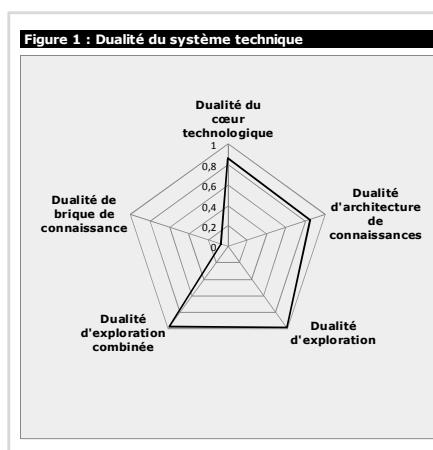
Appliqué au cas de la dualité technologique, nous proposons d'utiliser ces indicateurs pour mesurer la similitude de l'architecture de connaissances, d'un système technique d'un environnement technologique à un autre. Autrement dit, nous calculons cinq indicateurs de cohérence (cf. Meunier 2017 pour le descriptif des indicateurs) en prenant pour référentiel les entreprises de défense d'une part et l'ensemble des entreprises d'autre part, puis nous mesurons l'écart qu'il existe entre les deux résultats. Plus l'écart est faible, plus l'architecture de connaissances est similaire d'un environnement à l'autre.

(1) Un système technique défini à la manière de Carlsson et Stankiewicz (Carlsson et Stankiewicz 1991) comme un ensemble organisé de connaissances que l'on peut repérer par le biais des classes technologiques revendiquées dans les brevets.

Un système technique dont l'architecture de connaissances est stable entre les deux environnements est donc propice à la mise en œuvre de collaborations duales (entre acteurs civils et de défense) puisque les connaissances qu'ils mettent en œuvre sont les mêmes non seulement à l'échelle de la brique de connaissance mais aussi à l'échelle de l'architecture de connaissances (**Figure 1**).

APPLICATION AUX DRONES

Les résultats présentés pour le système technique drone montrent la pertinence de ces indicateurs pour étudier la dualité. Ils montrent des scores élevés sur chacun des indicateurs de dualité. Cela correspond à ce que l'on peut attendre du drone pour lequel les entreprises de défense participent largement au développement mais dont les technologies sont, aujourd'hui, aussi nécessaires à la production de biens civils. Il semble trivial de montrer le caractère dual de l'aéronautique tant cela semble évident (Moraillon, 2001), néanmoins au-delà de l'évidence, il est important de mesurer et de comprendre cette dualité. Il est intéressant de noter des scores de dualité d'exploration combinée élevés, en même temps que des scores de dualité du cœur technologique d'architecture de connaissances élevés. Ceci implique que, pour les drones, les entreprises du domaine de la défense et du domaine civil articulent aujourd'hui ces connaissances de manière coordonnée. Mais aussi qu'elles ont l'opportunité de collaborer dans le cadre de l'exploration technologique afin de proposer de nouvelles pistes de développement autour de ce système technique. Autrement dit, il existe une base de connaissances commune solide à partir de laquelle collaborer. De plus, dans les deux sphères, le verrouillage technologique n'a pas eu lieu et les entreprises explorent encore d'autres architectures possibles. Il apparaît donc réaliste que les entreprises du système drones coopèrent pour explorer plus de possibilités ou plus rapidement ensemble, selon un processus expliqué par Cowan et Foray (1995) Finalement, notre analyse confirme le potentiel dual (au sens de la production de l'innovation) du système drone.



Indicateur	L'indicateur est élevé si ...
Dualité du cœur technologique	Les liens forts de l'architecture de connaissances sont les mêmes dans la défense et dans le civil
Dualité d'architecture de connaissance	Les architectures de connaissances civile et défense ont les mêmes scores de cohérence
Dualité d'exploration	Les entreprises de défense explorent des architectures de connaissances qui ne sont pas spécifiques à la défense
Dualité d'exploration combinée	Les entreprises civiles et les entreprises de défense explorent dans la même proportion des architectures de connaissances qui ne leurs sont pas spécifiques
Dualité de brique de connaissance	Les briques de connaissances sont intégrées selon des architectures de connaissances différentes entre le domaine civil et le domaine défense.

Références

- Acosta, Manuel, Daniel Coronado, Esther Ferrandiz, M. Rosario Marin, et Pedro J. Moreno. 2017. « Patents and Dual-Use Technology: An Empirical Study of the World's Largest Defence Companies ». *Defence and Peace Economics*, mars, 1-19.
- Acosta, Manuel, Daniel Coronado, et Rosario Marin. 2011. « Potential use of military technology : does citing patents shed light on this process ? » *Defence and Peace Economics* 22 (3): 335-49.
- Acosta, Manuel, Daniel Coronado, Rosario Marin, et Pedro Prats. 2013. « Factors Affecting the Diffusion of Patented Military Technology in the Field of Weapons and Ammunition ». *Scientometrics* 94 (1): 1-22.
- Alic, John A. 1992. *Beyond Spinoff: Military and Commercial Technologies in a Changing World*. Harvard Business Press.
- Bellais, Renaud, et Renelle Guichard. 2006. « Defense innovation, technology transfers and public policy ». *Defence and Peace Economics* 17 (3): 273-86.
- Carlsson, B., et R. Stankiewicz. 1991. « On the Nature, Function and Composition of Technological Systems ». *Journal of Evolutionary Economics* 1 (2): 93-118.
- Chinworth, Michael W. 2000. « Country Survey XIII: Japan's Security Posture and Defense Industry Prospects ». *Defence and Peace Economics* 11 (2): 369-401.
- Cohen, Gerald. 1997. *Coherence technologique, aspects structurel et temporel : application au programme spatial européen*. Strasbourg 1.
- Dombrowski, Peter J., Eugene Gholz, et Andrew L. Ross. 2002. *Military transformation and the defense industry after next: the defense industrial implications of Network-Centric Warfare*. Newport center of nala war college: Naval war college.
- Dos Santos Paulino, Victor, et Michel Callois. 2009. « Le dilemme innovation et fiabilité: analyse comparative des industries militaro-spatiale et de semi-conducteurs ». *Revue d'économie industrielle*, n° 125: 53-74.
- Fauconnet, Cécile, Didier Lebert, Célia Zyla, et Sylvain Moura. 2018. « Les entreprises aérospatiales de défense : quelles cohérences technologiques de leur R&D ? » *Technologie et innovation* 3 (3).
- Fink, Carsten, Intan Hamdan-Livramento, et Julio Raffo. 2015. « Rapport 2015 sur la propriété intellectuelle dans le monde ». Série Économie et statistiques. OMPI.
- Gallié, Emilie-Pauline, et Valérie Mérindol. 2015. « Quand la quantité de brevets ne va pas de pair avec la qualité: l'exemple du secteur de l'Aéronautique et de la Défense ». *Collection Résultats et recherches*, n° 3 (février).
- Guichard, Renelle. 2004. « Éléments pour un repositionnement de la R&D de défense au sein du système d'innovation français ». *Revue d'économie industrielle* 108 (1): 7-20.
- Guichard, Renelle, et François Heisbourg. 2004. *Recherche militaire : vers un nouveau modèle de gestion ?* Paris: Economica.
- Henderson, Rebecca M., et Kim B. Clark. 1990. « Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms ». *Administrative Science Quarterly* 35 (1): 9.
- Hobday, Michael, Andrew Davies, et Andrea Prencipe. 2005. « Systems Integration: A Core Capability of the Modern Corporation ». *Industrial and Corporate Change* 14 (6): 1109-43.
- Jaffe, Adam B., et Manuel Trajtenberg. 2002. *Patents, Citations, and Innovations: A Window on the Knowledge Economy*. MIT Press.
- Krafft, Jackie, Francesco Quatraro, et Pier-Paolo Saviotti. 2011. « The Knowledge Base Evolution in Biotechnology: A Social Network Analysis. », 2011.
- Lazaric, Nathalie, Valérie Mérindol, et Sylvie Rochhia. 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.
- Leydesdorff, Loet, Floortje Alkemade, Gaston Heimeriks, et Rinke Hoekstra. 2015. « Patents as Instruments for Exploring Innovation Dynamics: Geographic and Technological Perspectives on "Photovoltaic Cells" ». *Scientometrics* 102 (1): 629-51.
- Mérindol, Valérie. 2005. « La défense dans les réseaux d'innovation : une analyse en termes de compétences ». *Revue d'économie industrielle* 112 (1): 45-64.
- Mérindol, Valérie. 2010. « New Approaches for Military Innovation in Knowledge-Based Economics: An Inquiry into the New Role of Defence in Innovation Processes ».
- Meunier, François-Xavier. 2017. « Innovation technologique duale : une analyse en termes d'influence et de cohérence ». thèse de Doctorat, Paris 1 - Panthéon-Sorbonne.
- Meunier, François-Xavier, et Renaud Bellais. 2018. « Technical systems and cross-sector knowledge diffusion: an illustration with drones ». *Technology Analysis & Strategic Management*, septembre, 1-14.
- Moura, Sylvain. 2018. « Les entreprises d'armement brevètent-elles ? » *EcoDef Études*, n° 105.
- Nesta, Lionel, et Pier Paolo Saviotti. 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): 123-42.
- Nesta, Lionel, et Pier-Paolo Saviotti. 2006. « Firm Knowledge and Market Value in Biotechnology ». *Industrial and Corporate Change* 15 (4): 625-52.
- 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.
- Serfati, Claude. 2005. « Défense et politique technologique: Quelques questions en débat ». *Innovations* 21 (1): 21.
- Teece, David J., Rumelt Richard, Giovanni Dosi, et Sidney Winter. 1994. « Understanding corporate coherence ». *Journal of Economic Behavior and Organization* 23: 1-30.
- Verspagen, Bart. 2004. « Structural Change and Technology: A Long View ». *Revue économique* 55 (6): 1099.

A PARAÎTRE Prochaine publication

Les effectifs civils et militaires du ministère des armées en 2017, EcoDef Statistiques

Observatoire Économique de la Défense (SGA/DAF/OED)

Balard parcelle Ouest
60 Boulevard du Général Martial Valin • CS 21623 • 75509 Paris CEDEX 15
Directeur de la publication : Christophe Mauriet
Rédacteur en chef : Christian Calzada
Pour vous abonner > Mél : daf.oed.fct@intradef.gouv.fr

Impression > SGA/SPAC/PGP
IISN 1293-4348