Le dilemme innovation et fiabilité : analyse comparative des industries militaro-spatiale et de semi-conducteurs

Victor Dos Santos Paulino et Michel Callois

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/rei/3950>

DOI : 10.4000/rei.3950

ISSN : 1773-0198

Éditeur

De Boeck Supérieur

Édition imprimée

Date de publication : 15 mars 2009

Pagination : 53-74

ISSN : 0154-3229

Référence électronique

Victor Dos Santos Paulino et Michel Callois, « Le dilemme innovation et fiabilité : analyse comparative des industries militaro-spatiale et de semi-conducteurs », *Revue d'économie industrielle* [En ligne], 125 | 1er trimestre 2009, document 3, mis en ligne le 15 mars 2011, consulté le 05 juin 2022. URL : <http://journals.openedition.org/rei/3950> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/rei.3950>

LE DILEMME INNOVATION ET FIABILITÉ : ANALYSE COMPARATIVE DES INDUSTRIES MILITARO-SPATIALE ET DE SEMI-CONDUCTEURS

Mots-clés : Changement technique, concurrence, fiabilité, industries militaro-spatiale et de semi-conducteurs

Key words : Technical Change, Competition, Reliability, Military, Space and Semi-Conductors Industries

I. — INTRODUCTION

La constitution d'un avantage compétitif est une question ayant un intérêt non négligeable dans l'analyse économique. Aujourd'hui, l'innovation apparaît comme un moyen majeur dans cette quête.

Il est possible d'entrevoir deux volets, hautement complémentaires mais appréhendés de manière séquentielle dans la théorie de l'innovation : pourquoi les firmes innoveront et comment les firmes peuvent s'approprier les fruits de l'innovation ? À la première question, la réponse analytique s'incarne dans les gains espérés à la suite d'une innovation tout en tenant compte des pertes engendrées de tout ordre (remise en cause de l'existant, perspectives futures douteuses, etc.). À la deuxième question, l'appropriation vise à expliquer qu'il ne suffit pas simplement d'innover pour se constituer un avantage compétitif : il faut également être capable d'exploiter l'innovation, de pouvoir en récolter les fruits.

(*) Les auteurs tiennent à remercier les deux rapporteurs anonymes dont les commentaires ont contribué à améliorer la qualité de ce travail.

Cette voie ouverte par Teece (1986), visant à expliquer pourquoi des innovateurs peuvent échouer, suggère qu'il existe une multiplicité de facteurs pouvant entraver les gains espérés par l'innovation. Ces facteurs peuvent être organisationnels, institutionnels, culturels, réglementaires, techniques et également propres à une industrie particulière.

Adoptant une démarche industrielle, cet article propose de confronter l'industrie militaro-spatiale et l'industrie des semi-conducteurs aux théories de l'innovation. Les liens entre ces deux industries permettent en effet de réaliser une comparaison pertinente. Toutes les deux sont des industries innovantes, jeunes, affichant une concurrence féroce de nature oligopolistique. De plus, l'industrie militaro-spatiale est une grande consommatrice de semi-conducteurs. Cette imbrication suppose que les évolutions de l'une ont par le passé souvent eu des conséquences sur la nature de l'autre. Malgré ces points communs, elles présentent également des écarts considérables en matière de changement technique. L'industrie des semi-conducteurs est caractérisée par des dynamiques de changement technique rapides alors que l'industrie militaro-spatiale affiche des dynamiques bien plus lentes. Pourquoi des industries innovantes peuvent-elles avoir des dynamiques de changement technique si différentes ?

Les arguments et les outils usuels de l'économie industrielle ne permettent pas d'apporter de réponses satisfaisantes pour expliquer ce différentiel. Cet article propose l'introduction du concept de *concurrence par la fiabilité*, où l'avantage compétitif des firmes n'est pas exclusivement bâti sur la maîtrise d'une technologie supérieure mais plutôt sur la propension à être fiable. Cette fiabilité est d'autant plus importante que l'environnement dans lequel les techniques mobilisées présente des dangers et des risques imprévisibles.

Nous présenterons dans les sections II et III les similitudes et divergences (notamment en termes de changement technique) de ces deux industries, des années 1940 à nos jours. La section IV confrontera les arguments usuels pour expliquer ces divergences. La section V détaillera le concept de concurrence par la fiabilité et tentera d'en présenter les principales caractéristiques.

II. — LES INDUSTRIES DE SEMI-CONDUCTEURS ET MILITARO-SPATIALE

II.1. Similitudes entre les industries de semi-conducteurs et militaro-spatiale

Les industries de semi-conducteurs et militaro-spatiale ont été des sources importantes d'illustrations pour l'étude du changement en économie et pour la construction de la théorie évolutionniste. Depuis les travaux de Dosi (1984), beaucoup d'auteurs majeurs de cette théorie se sont intéressés à l'industrie des semi-conducteurs (Teece 1986, Tushman et Anderson 1986, Langlois 1990,

Malerba Nelson Orsenigo et Winter 1999). Cette industrie constitue un exemple très opportun pour illustrer le programme de recherche évolutionniste et a conduit Dosi (*op. cit.*, p. 299) à affirmer que : « *In many respects, semi-conductors are an “ideal type” of radically new industry [...] shaped by [...] “Schumpeterian” competition* ». Bien que moins populaire, l'industrie militaro-spatiale a aussi été une source d'illustrations pour des auteurs évolutionnistes significatifs comme Rosenberg (1982), Mowery et Rosenberg (1989) ou encore Cowan et Foray (1995).

Même si elles ne sont pas similaires en tout point, ces deux industries font partie du socle empirique d'industries innovantes servant souvent à illustrer les dynamiques de changement décrites par les théories de l'innovation et plus précisément par les auteurs évolutionnistes. Les progrès de l'informatique qui découlent notamment de la miniaturisation des semi-conducteurs ou bien l'envoi d'hommes sur la Lune grâce à la maîtrise de technologies militaires et spatiales sont d'ailleurs des réussites techniques qui tendent à valider les arguments évolutionnistes.

En plus d'illustrer efficacement le changement, il apparaît que les industries de semi-conducteurs et militaro-spatiale sont historiquement liées (Mowery et Rosenberg, *ibid.*). L'invention du transistor et le premier vol spatial datent des années 40 et ont fortement contribué au renouvellement des techniques militaires. La mise en œuvre industrielle de ces deux réussites techniques a ensuite été largement stimulée par la guerre froide. On constate par exemple qu'en 1965, le gouvernement américain représentait 72 % de la demande de circuits intégrés (Mowery et Rosenberg, *ibid.*, p. 147) ou encore que les importantes dépenses militaires ont contribué au renouvellement des produits de l'industrie militaro-spatiale. On sait en effet que pendant la guerre froide les dépenses militaires des pays membres de l'OTAN étaient supérieures à leurs dépenses actuelles (Sparaco, 1996).

Grâce à leur capacité à alimenter la course technologique qui prévalait entre les deux blocs lors de la guerre froide, les industries de semi-conducteurs et militaro-spatiale ont eu tendance à présenter un rythme de changement technique corrélé. Les avancées faites grâce à la demande publique dans les semi-conducteurs a aidé l'industrie militaro-spatiale à atteindre des objectifs politico-technologiques comme la conquête de la Lune. En retour, l'atteinte de ces objectifs a démontré la pertinence de l'utilisation des semi-conducteurs, ce qui a stimulé leur développement.

II.2. Dynamiques de changement technique rapide dans l'industrie des semi-conducteurs

Depuis l'invention du transistor jusqu'à aujourd'hui, l'industrie des semi-conducteurs a présenté des dynamiques de changement technique très rapides. On peut considérer que ces dynamiques ont été théorisées en 1965 sous la forme de la loi de Moore (Moore, 1965 ; Jovanic *et al.*, 2002). La formulation

actuelle de cette loi est : *le nombre de transistors existant sur un microprocesseur en silicium double tous les deux ans*. Celui qui proposa cette loi n'est autre que le co-fondateur de la firme Intel, Gordon Moore (1).

Cette firme est depuis 1993 le premier fabricant mondial de semi-conducteurs et présentait en 2005 un chiffre d'affaires deux fois supérieur à celui de son premier concurrent (2). Cette domination est encore plus forte dans les microprocesseurs montés sur les ordinateurs de bureau où sa part de marché dépasse 70 % depuis 1993 (3).

Le respect de la loi de Moore constitue l'une des caractéristiques fondamentales de l'industrie des semi-conducteurs. C'est notamment le cas pour les firmes regroupées dans le consortium international SEMATECH (4) qui proposent de nouvelles gammes de semi-conducteurs tous les 24 mois (5). En 2006, les firmes de ce consortium avaient un poids considérable dans l'industrie des semi-conducteurs. Elles possédaient 50 % des parts du marché mondial (6) et 13 d'entre elles faisaient partie des 21 plus grands producteurs de semi-conducteurs.

Le doublement tous les deux ans des capacités de calcul et de stockage des semi-conducteurs est une caractéristique qui a eu un impact important sur l'économie dans son ensemble, tout comme sur la validation des théories économiques du changement. Pour illustrer la validité de la loi de Moore, on peut observer le schéma 1 ci-contre qui présente en pointillés la loi de Moore et en trait plein l'évolution de la puissance des processus de la firme Intel.

On constate que la firme Intel a réussi à suivre la loi de Moore depuis 1971 et le lancement de son processeur « 4004 ».

Les firmes produisant des semi-conducteurs font face à des dynamiques de changement technique si rapides qu'il en devient difficile de caractériser les contours de l'industrie où elles évoluent (Cohen, 1992, p. 37). Ce constat s'observe par exemple lorsqu'on cherche à caractériser la nature des produits fabriqués par ces firmes. Nous avons décidé de parler de semi-conducteurs, mais les termes *électronique*, *micro-électronique* ou *circuits intégrés* sont également

(1) Voir articles de Wikipedia concernant la loi de Moore.

(2) En 2005, Intel avait un chiffre d'affaires de 35 466 millions de dollars contre 17 210 millions de dollars pour Samsung Semiconductors (*Source* : iSuppli)

(3) *The New York Times*, 1994 February 21, « Intel Market Share Rises ». *The Inquirer*, mercredi 31 janvier 2007, « AMD dépasse 25 % de parts de marché ».

(4) SEMATECH: Semiconductor MANufacturing TECHnology.

(5) C'est le *National Technology Roadmap for Semiconductors* publié par SEMATECH qui précise que les firmes membres doivent suivre la loi de Moore.

(6) Voir (www.sematech.org).

SCHÉMA 1 : Loi de Moore et complexité des processeurs Intel

Source : adapté de (<http://www.intel.com/technology/mooreslaw/index.htm>) et Ruttan (2007, p. 102).

fréquents dans la littérature (Cohen, *ibid.*; Foray, 1990). L'importance des dynamiques de changement technique conduit aussi à modifier rapidement les débouchés des firmes. Au départ largement dépendantes des commandes militaires, elles sont aujourd'hui principalement tournées vers le civil qui représente environ 90 % des commandes (Foray, 1990, p. 107). Il apparaît ainsi que l'industrie militaire, y compris américaine, est désormais dépendante de technologies civiles qui continuent de changer très rapidement (Cohen, *ibid.*, p. 43). L'avènement des technologies de l'information et de la communication en est une preuve remarquable.

II.3. Les dynamiques de changement technique dans l'industrie militaro-spatiale

Lorsqu'on s'intéresse aux dynamiques de changement technique exhibées par l'industrie militaro-spatiale, on constate que la fin de la guerre froide conduit à l'identification de deux phases historiques distinctes.

Des années 40 jusqu'à la fin de la guerre froide, l'industrie militaro-spatiale a présenté des dynamiques de changement technique par certains aspects comparables à celles de l'industrie des semi-conducteurs. Durant cette phase, les nombreuses innovations faites par les organisations (7) militaires et spatiales

(7) Lorsqu'il est nécessaire de faire référence à l'ensemble des acteurs participant à la mise au point de nouvelles technologies, nous préférons utiliser le terme « organisations » plutôt que « firmes » afin d'inclure les agences de R&D, comme les agences spatiales.

ont fourni aux auteurs évolutionnistes des illustrations pertinentes pour valider l'importance du changement technique et pour caractériser certaines propriétés du phénomène d'innovation (Rosenberg *ibid.*, Mowery et Rosenberg, *ibid.*, Cowan et Foray, *ibid.*). Ainsi, tous les pays qui avaient des budgets militaires et spatiaux significatifs ont financé la réalisation de nombreuses innovations (États-Unis, URSS, France, Angleterre). Les organisations militaro-spatiales ont durant cette phase perfectionné des technologies existantes tout comme elles ont mis au point quelques-unes des innovations majeures du 20^{ème} siècle. On peut citer par exemple, le moteur à réaction, la propulsion nucléaire, le radar et le GPS (8). Il apparaît ainsi que les courses à l'armement et à l'espace que se sont livrés les deux blocs pendant cette phase ont pris la forme d'une course technologique qui a stimulé l'innovation.

Avec la fin de la guerre froide, s'ouvre une nouvelle phase caractérisée par un ralentissement des dynamiques de changement technique de l'industrie militaro-spatiale. En choisissant de toucher ce qu'on a appelé « les dividendes de la paix » les puissances militaires ont toutes réduit leurs budgets de défense (Sparaco, 1996). Lors des vingt dernières années de la guerre froide, les dépenses militaires des pays membres de l'OTAN représentaient en moyenne 4,89 % de leur PIB alors qu'elles se sont stabilisées actuellement à un peu moins de 3 % (OTAN, 2003). Cette baisse de près de 40 % des budgets militaires concorde avec un ralentissement des dynamiques de changement technique existant dans l'industrie spatiale. Un aspect de ce phénomène se retrouve dans la littérature évoquant la diminution des spin-offs militaro-spatiaux depuis la fin de la guerre froide (Cowan et Foray, *ibid.*). Il est aujourd'hui admis que l'industrie militaro-spatiale réalise moins d'innovations suffisamment attractives pour qu'elles soient diffusées vers d'autres industries.

La diminution des budgets coïncide également avec des modifications dans la nature de la demande et de l'offre de produits militaires et spatiaux. Du point de vue de la demande, les États qui avaient une tradition de budgets militaires et spatiaux significatifs ont cherché à rapprocher leurs politiques industrielles respectives. Il y a eu un développement des programmes internationaux en Europe mais aussi entre l'Europe et les États-Unis. Sans participer à tous ces programmes, il convient de noter que le poids des États-Unis est déterminant pour fixer les directions du changement technique. En effet, ils représentent 45 % des dépenses militaires mondiales en 2007 et la NASA est de loin la plus importante agence spatiale en termes de budget (SIPRI, 2008). Du point de vue de l'offre, les changements observés concernent la recherche de nouveaux débouchés. Les firmes militaires ont favorisé les stratégies *duales* en développant des technologies qui peuvent être proposées à des clients militaires comme à des clients civils. Les firmes spatiales se sont davantage tournées vers ce qu'on a appelé les *clients commerciaux* (opérateurs de satellites de télécommunication).

(8) GPS : Global Positioning System.

III. — APPROFONDISSEMENT DES DYNAMIQUES DE CHANGEMENT TECHNIQUE : DÉPÔT DE BREVETS ET RYTHME D'ADOPTION

Au regard des dynamiques de changement technique existant dans l'industrie des semi-conducteurs et dans l'industrie militaro-spatiale deux constats principaux nous semblent émerger. Tout d'abord, les organisations de ces deux industries sont indéniablement engagées dans une démarche de changement technique, ensuite il apparaît que les organisations de l'industrie militaro-spatiale présentent des dynamiques de changement technique plus faibles, notamment depuis la fin de la guerre froide.

Le premier constat étant assez trivial, l'objectif de cette section est d'approfondir le deuxième. Nous avons décidé de détailler les dynamiques de changement technique de l'industrie militaro-spatiale en gardant comme point de repère l'industrie des semi-conducteurs. Nous allons ainsi nous intéresser au nombre de brevets déposés de même qu'à la tendance de l'industrie militaro-spatiale à adopter les technologies provenant d'ailleurs. En travaillant sur ces deux aspects du changement technique, nous cherchons respectivement à capturer la capacité des organisations militaro-spatiales à produire et adopter de la nouveauté technique. En d'autres termes, nous retenons une définition du changement technique qui inclut deux des aspects majeurs du phénomène d'innovation.

III.1. Différences dans le nombre de brevets déposés

Nous allons chercher à estimer la capacité des organisations militaires et spatiales à générer de la nouveauté en exploitant l'idée que l'activité de dépôt de brevets résulte d'un comportement délibéré visant à créer de la nouveauté technique (9) (Griliches *et al.*, 1984; Gomes-Casseres *et al.*, 2006; Pénin, 2003). En comparant ensuite le nombre de brevets déposés par ces organisations aux brevets déposés par les firmes de l'industrie des semi-conducteurs, nous pourrions savoir où se situe l'industrie militaro-spatiale par rapport à une industrie reconnue comme présentant un important rythme de changement technique.

III.1.1. Présentations des données

La période qui nous a jusqu'à présent intéressé va des années 40 jusqu'à nos jours, toutefois il est impossible de disposer de statistiques sur les brevets pour

(9) Suivant les travaux fondateurs de Griliches (1990), nous pouvons considérer que le portefeuille de brevets est un indicateur imparfait des connaissances produites par la firme mais qu'il est dans bon nombre de cas, une approximation acceptable.

TABLEAU 1 : Correspondance entre la Classification Internationale des Brevets et les domaines d'activités

SEMI-CONDUCTEURS		SPATIAL-ARMEMENT	
CLASSE	DESSCRIPTIF	CLASSE	DESSCRIPTIF
H 01L	Dispositifs à semi-conducteurs ; dispositifs électriques à l'état solide non prévus ailleurs	B 63G	Installations offensives ou défensives sur les navires ; mouillage des mines ; dragage des mines ; sous-marins ; porte-avions
B 81B	Dispositifs ou systèmes à microstructure, par exemple dispositifs micromécaniques	B 64G	Astronautique ; véhicules ou équipements à cet effet.
B 81C	Procédés ou appareils spécialement adaptés à la fabrication ou au traitement de dispositifs ou de systèmes à microstructures	C 06	Explosifs ; allumettes
		F 41	Armes
		F 42	Munitions, sautage

Source : INPI (2004) et CIB

cette période car les données ne sont pas exploitables avant 1980 (10). Face à cette contrainte, nous avons retenu la période allant de 1980 à 2004.

Pour extraire le nombre de brevets déposés chaque année par les organisations de l'industrie militaro-spatiale et celles des semi-conducteurs, nous avons exploité la méthode proposée par l'INPI. Selon un rapport daté de mai 2005, il est possible d'effectuer une correspondance entre les classes technologiques attribuées aux brevets et les industries. Ce lien permet en outre d'opérer une distinction sectorielle basée sur les connaissances produites et non pas sur les intervenants ou sur la nature des produits vendus (11). Le tableau 1 montre cette correspondance.

L'industrie des semi-conducteurs est représentée principalement par trois classes. L'industrie militaro-spatiale est quant à elle beaucoup plus disparate en termes de spectre technologique. En effet, la classe C 06 est composée de quatre sous-classes, F 41 de sept sous-classes et F 42 de trois sous-classes. Ce

- (10) Ce n'est qu'à partir de 1976 et la convention de Munich que les procédures de dépôt de brevets se sont harmonisées en Europe. Auparavant, il fallait s'adresser à chaque office national pour obtenir une protection dans les pays désirés. De plus, il est admis qu'il a fallu quelques années pour que les déposants fassent réellement usage de ce nouveau système harmonisé.
- (11) Il est possible de distinguer les industries par la nature des produits vendus (par exemple l'industrie automobile ou pharmaceutique). Le problème se pose lorsqu'une industrie est caractérisée par une multitude de produits (cas du militaire). Le critère de distinction que nous retenons est un critère cognitif : une firme appartient à une industrie si elle détient les compétences associées à cette industrie.

SCHÉMA 2 : Nombre de brevets déposés chaque année par les industries de semi-conducteurs et militaro-spatiale

qui fait un total de 16 sous-classes pour le militaro-spatial tandis que l'industrie des semi-conducteurs n'en compte que trois. Le schéma 2 présente l'évolution du nombre de brevets déposés chaque année pour ces industries entre 1980 et 2004. L'extraction des brevets a été effectuée à partir de la base fournie par l'Office Européen des Brevets (OEB). Cette base regroupe les brevets déposés auprès d'offices européens mais également ceux ayant fait l'objet d'une demande *via* la procédure dite PCT (*Patent Cooperation Treaty*) datant de 1978. Cette dernière vise à simplifier la demande pour le déposant en s'adressant uniquement à un office : un brevet PCT est valable dans l'ensemble des pays signataires du traité (120 à l'heure actuelle) (12). Nous avons décidé d'extraire les brevets ayant été déposés par la procédure PCT du fait du rayonnement international (13).

(12) Pour une explication des différentes procédures, voir Observatoire des Sciences et des Techniques (2006), annexe B, pp. 457-458.

(13) Les résultats, en considérant les brevets déposés uniquement auprès des offices nationaux (brevet OEB hors PCT), peuvent être demandés auprès des auteurs. Selon l'Observatoire des Sciences et des Techniques, 40 % de la demande de brevets effectués auprès de l'OEB proviennent de pays européens et 30 % des États-Unis pour l'année 2004 (OST, 2006 p. 204).

III.1.2. Analyse des données

Lorsqu'on observe le schéma ci-dessus, les deux constats que nous avons faits précédemment sont à nouveau vérifiés. Tout d'abord, les organisations de l'industrie militaro-spatiale comme celles des semi-conducteurs déposent une quantité significative de brevets chaque année, d'autre part les organisations militaro-spatiales déposent bien moins de brevets que leurs homologues. Dans chaque domaine, il a été en moyenne enregistré respectivement 457 et 2462 brevets sur la période, il y a donc un écart moyen annuel de 2005 brevets en défaveur du domaine militaro-spatial. Les organisations de l'industrie militaro-spatiale semblent moins engagées dans les processus visant à créer de la nouveauté technique.

Grâce au schéma (page précédente), on peut identifier d'autres propriétés des dynamiques de changement technique de l'industrie militaro-spatiale et notamment l'existence de deux phases séparées par la guerre froide. Entre 1980 et 1990, le nombre de brevets enregistrés par les organisations militaro-spatiales a augmenté de manière soutenue et assez régulière. Le taux de croissance moyen des brevets enregistrés est 12 % sur la période, ce qui a permis de multiplier par trois le nombre de brevets enregistrés. Après cette première phase de croissance soutenue s'ouvre une deuxième phase dans laquelle on observe à la fois des dynamiques plus lentes et plus chaotiques. Entre 1991 et 2004, le taux de croissance moyen du nombre de brevets enregistrés baisse de plus de 8 points pour se situer à 3,9 %. La baisse de ce taux est le résultat de l'apparition de fluctuations marquées. La fin de la guerre froide coïncide avec une période de baisse du nombre de brevets enregistrés qui durera jusqu'en 1996. À partir de cette date, les organisations militaro-spatiales dépassent le maximum de 471 brevets atteint en 1990, cependant dès 2001 la croissance du nombre de brevets enregistrés s'arrête de nouveau pour se stabiliser autour de 665 brevets enregistrés annuellement.

Les évolutions survenues depuis 1980 permettent l'observation de deux phases séparées par la fin de la guerre froide. La première est marquée par une croissance soutenue et régulière du nombre de brevets déposés alors que la deuxième est marquée par une croissance plus faible et chaotique. Au final, lorsqu'on s'intéresse à la capacité des organisations militaro-spatiales à créer de la nouveauté, nous avons d'une part validé le deuxième constat et d'autre part nous l'avons précisé. Pendant la guerre froide, ces organisations créaient déjà moins de nouveautés techniques que celles produisant des semi-conducteurs, de plus la fin de la guerre froide coïncide avec un ralentissement de leurs dynamiques de changement.

III.2. Adoption des semi-conducteurs par l'industrie militaro-spatiale

Nous allons maintenant étudier les dynamiques de changement technique de l'industrie militaro-spatiale au regard de sa capacité à adopter les nouveautés techniques provenant d'ailleurs. Plus précisément, nous cherchons à analyser avec quelle rapidité l'industrie militaro-spatiale (firmes et agences gouverne-

mentales) adopte les produits d'une industrie en situation de concurrence schumpétérienne, c'est-à-dire les semi-conducteurs.

Ce type de comparaison est une opportunité car elle offre un degré de précision élevé. En effet, grâce à la littérature nous disposons d'une vision précise des dynamiques de changement technique du référent. Elle est ensuite pertinente d'une part car ces deux industries présentent un certain nombre de similitudes, et d'autre part car les produits militaires et spatiaux sont des grands utilisateurs de semi-conducteurs.

Pour notre analyse, nous devons avoir à l'esprit deux propriétés essentielles de l'industrie militaro-spatiale. D'abord, cette industrie a pour particularité de réaliser des produits qui seront consommés dans des environnements opérationnels hostiles tels que le théâtre des opérations, l'espace, ou de nouveaux astres. Ensuite, il existe des liens étroits entre les dynamiques d'adoption des pays présentant des budgets militaires et spatiaux significatifs. Plus précisément, nous exploitons le fait que les États-Unis impactent fortement sur la politique d'adoption des semi-conducteurs qui est mise en œuvre par toutes les organisations militaro-spatiales. Avec 45 % des dépenses militaires mondiales en 2007 et le leadership de la NASA (14), le poids des États-Unis est considérable.

III.2.1. Trois phases dans les dynamiques d'adoption

En nous appuyant sur les travaux de Mowery et Rosenberg (1989, pp. 123-160) et de Cowan et Foray (1995), on peut distinguer trois phases dans l'adoption des nouveaux semi-conducteurs par l'industrie militaro-spatiale.

La première phase va de l'invention du transistor en 1947 (15) à la première formulation de la loi de Moore en 1965. Elle se caractérise par une large domination des clients gouvernementaux dans la demande de semi-conducteurs. En 1965, le gouvernement américain représentait 72 % de la demande de circuits intégrés contre 100 % de la demande en 1962 (16) (Mowery et Rosenberg, 1989, p. 147). Cette demande était largement dominée par le ministère de la Défense et la NASA puisque ces deux institutions ont drainé plus de 80 % des fonds gouvernementaux de R&D entre 1953 et 1965 (Mowery et Rosenberg, *ibid.*). Pendant cette première phase, la demande militaro-spatiale de semi-conducteurs était suffisante pour que les producteurs répondent à ses exigences en termes de fiabilité et de robustesse. Ainsi, même si selon Mowery et Rosenberg (*ibid.*), le militaire et le spatial n'ont pas eux-

(14) National Aeronautics and Space Administration.

(15) Nous avons décidé de fixer la découverte du transistor à la date de la découverte de l'effet transistor par la firme Bell.

(16) Nous n'avons pas de données avant 1962, mais il est raisonnable de penser que la demande gouvernementale représentait également une part très importante de la demande totale.

mêmes développé ces techniques, ils ont bénéficié de ce qui se faisait de mieux grâce à leur poids considérable dans la demande totale de semi-conducteurs.

La seconde phase va de 1965 à 1994, et se caractérise par la baisse relative de la demande militaire et spatiale de semi-conducteurs. Dès 1968, la demande militaire ne représente plus que 37 % de la demande totale, et à partir des années 90 elle se stabilise autour des 10 % (Foray, 1990, p. 107; Alic *et al.*, 1992, p. 260). Avec le développement de l'utilisation des semi-conducteurs dans d'autres industries (électronique, informatique, automobile, etc.), il est devenu difficile d'exiger que l'ensemble des semi-conducteurs produits soit conforme à des exigences restrictives en termes de fiabilité. Ce changement a induit l'apparition de deux grandes catégories de semi-conducteurs. Les semi-conducteurs utilisés sans distinction par toutes les industries, dits « *composants commerciaux* » et les semi-conducteurs utilisés par l'industrie militaro-spatiale, dits « *composants haute fiabilité* ».

Comme seuls les composants commerciaux suivaient la loi de Moore, l'industrie militaro-spatiale a demandé l'adaptation de ces composants à des environnements hostiles afin qu'ils deviennent des composants haute fiabilité. Une *course-poursuite* a été engagée où l'objectif était de pouvoir disposer de semi-conducteurs aussi puissants et miniaturisés que les composants commerciaux mais avec des niveaux de fiabilité plus importants. Durant ces années, les normes MIL et HIREL (17), qui caractérisent les composants haute fiabilité, ont cherché à atteindre cet objectif ambitieux. Ces normes garantissent en effet des niveaux de résistance supérieurs dans des environnements hostiles. Par exemple, les composants haute fiabilité basés sur les normes MIL et HIREL restent opérationnels lorsqu'ils sont soumis à des températures élevées ou de fortes radiations, ce qui n'est pas le cas pour les composants commerciaux (18). Cette stratégie ne s'est toutefois pas révélée totalement efficace. Les composants haute fiabilité n'étaient pas en mesure de suivre les dynamiques de changement technique à l'œuvre dans les composants commerciaux où prévalait la loi de Moore. En 1994, cette situation conduit le secrétaire à la Défense américain, William Perry, à considérer qu'il fallait abandonner cette logique de rattrapage (Chinworth, 2001).

La directive Perry initia la troisième phase qui prévaut encore de nos jours. Désormais, les organisations militaires et spatiales ne devaient plus chercher à modifier techniquement les composants commerciaux afin qu'ils répondent aux

(17) MIL (Military) HIREL (HIGH RELiability): normes militaires et spatiales développées entre autres pour les semi-conducteurs.

(18) Selon un document du Centre National d'Études Spatiales (2003, p. 5), les meilleurs composants électroniques MIL résistent aux radiations et à des températures comprises dans l'intervalle [-55 °C; +125 °C]. En revanche, les composants civils les moins résistants ne supportent pas les radiations et acceptent des températures appartenant à la plage [0 °C; + 70 °C].

exigences des normes MIL et HIREL. Ces organisations devaient plutôt tenter d'utiliser les composants commerciaux en l'état (Chinworth, *ibid.*). L'intérêt de cette démarche était de pouvoir gagner sur les domaines des prix et des performances techniques en acceptant une baisse négligeable de la fiabilité.

Selon un document du CNES (19), il existe en effet d'importantes différences lorsqu'on compare les prix de plusieurs gammes de composants haute fiabilité avec leurs équivalents commerciaux. Par exemple, les composants de la gamme MIL-STD-883 sont en moyenne trois fois plus coûteux que leurs homologues commerciaux, alors que ceux de la gamme SCC-B sont jusqu'à 615 fois plus chers (CNES, 2003, pp. 4-5 ; Dos Santos Paulino, 2007, p. 273). La directive Perry a d'abord été perçue comme une initiative porteuse de nombreux avantages. Elle devait notamment être un moyen efficace pour suivre les dynamiques de changement technique qui existaient dans les composants commerciaux et qui étaient résumées par la loi de Moore. Lors de son application, elle rencontra néanmoins une limite.

Les composants commerciaux étant désormais consommés dans des environnements hostiles, ils devaient présenter d'importants niveaux de fiabilité. Dans le domaine spatial, la panne de plusieurs satellites a conduit à tempérer l'utilisation des composants commerciaux. Dans les programmes civils et militaires financés par le CNES, l'utilisation de ces composants ne dépasse pas 20 %, le reste étant des composants haute fiabilité basés sur les normes MIL et HIREL (Dos Santos Paulino, *ibid.*, p. 276). De manière générale, l'usage des composants commerciaux est aujourd'hui cantonné à des missions spatiales de taille réduite ou des démonstrateurs (20) (Jiang *et al.*, 2006).

III.2.2. Interprétation

Les trois phases d'adoption que nous avons distinguées apportent de nouvelles informations au sujet des dynamiques de changement technique de l'industrie militaro-spatiale. Les dynamiques d'adoption de nouveautés apparaissent comme plus simples que celles de création de nouveautés. Il semble qu'il y a eu un tassement progressif des capacités d'adoption des nouveaux semi-conducteurs au fur et à mesure que le poids de la demande militaro-spatiale a diminué. L'impossibilité pour l'industrie militaro-spatiale de construire une stratégie de rattrapage efficace lors de la deuxième phase témoigne ensuite de la validité du deuxième constat fait dans cet article. L'industrie militaro-spatiale présente des dynamiques de changement technique plus faibles que celles de l'industrie des semi-conducteurs. Autrement dit, bien que l'industrie militaro-spatiale soit une industrie innovante et qu'elle fasse un usage important

(19) Centre National d'Études Spatiales.

(20) Un démonstrateur sert à valider de nouvelles solutions techniques dans l'environnement spatial.

de semi-conducteurs, elle ne suit pas le rythme de changement technique d'une industrie en situation de concurrence schumpétérienne.

IV. — ARGUMENTS EXISTANTS POUR EXPLIQUER CES DIVERGENCES

Nous avons constaté des différences importantes dans les dynamiques de changement des deux industries innovantes qui nous intéressent. Lorsque nous avons analysé leur capacité à créer de la nouveauté, nous avons observé que l'industrie militaro-spatiale dépose bien moins de brevets que l'industrie des semi-conducteurs (respectivement 2462 et 457 en moyenne sur la période). Nous avons également constaté un ralentissement du taux de croissance moyen des brevets enregistrés après la guerre froide qui est passé de 12 % par an à 3,9 %. En ce qui concerne la capacité de l'industrie militaro-spatiale à adopter de la nouveauté, nous avons pu faire des observations comparables. Cette industrie adopte avec une certaine inertie les nouveaux produits proposés par l'industrie des semi-conducteurs dont on sait qu'elle est en situation de concurrence schumpétérienne. De plus, cette inertie s'est progressivement installée, puisque l'industrie militaro-spatiale avait au départ le privilège d'utiliser les derniers composants électroniques disponibles.

Sur la base de ces observations, deux questions nous semblent pertinentes. Tout d'abord, *pourquoi l'industrie militaro-spatiale innove-t-elle moins alors qu'elle est une industrie innovante ?* Ensuite, *pourquoi cette industrie semble-t-elle avoir connu un ralentissement de ses dynamiques de changement technique ?*

IV.1. Le rôle du secret

Le premier argument que l'on peut évoquer pour répondre à ces deux questions est celui du secret qui entoure les activités militaro-spatiales. Il est vraisemblable que dans ces activités une portion des avancées techniques ne fasse pas l'objet d'un dépôt de brevet pour des raisons de sécurité nationale. En d'autres termes, l'indicateur « nombre de brevets déposés » sous-estimerait la capacité de l'industrie militaro-spatiale à créer de la nouveauté. Cet argument relève d'une certaine pertinence car il offre un contexte plus précis à nos observations, toutefois il n'est pas suffisant pour les expliquer.

L'argument du secret peut apparaître comme réaliste pour justifier le refus d'enregistrer un certain nombre d'avancées techniques, cependant il est difficile de penser qu'il permet d'expliquer l'important écart constaté. Entre 1980 et 2004, les organisations militaires et spatiales ont en moyenne enregistré 457 nouveaux brevets par an contre 2462 pour celles des semi-conducteurs. Il est difficile d'admettre que le secret permet à lui seul d'expliquer cet écart de plus de 2000 brevets. De plus, le fait que l'industrie des semi-conducteurs soit l'une des plus utilisées pour illustrer les théories de l'innovation, nous confor-

te dans l'idée que l'industrie militaro-spatiale présente des dynamiques de changement technique plus lentes.

L'argument du secret nous apparaît comme insatisfaisant pour répondre à la première question, il semble ensuite inexploitable pour comprendre pourquoi les dynamiques ont eu tendance à ralentir dans l'industrie militaro-spatiale. En effet, il est raisonnable de supposer que le secret soit une contrainte constante ; par conséquent le ralentissement de la croissance du nombre de brevets enregistrés après la fin de guerre froide dans les domaines militaire et spatial ne peut être vu comme le résultat de la contrainte du secret. De plus, nous avons également remarqué un ralentissement des dynamiques de changement technique à la fois dans l'adoption de nouveautés. Il est donc vraisemblable d'admettre que le secret ne permet pas d'expliquer le ralentissement.

IV.2. La situation de monopsonne

Un autre argument qu'on peut avancer pour expliquer pourquoi les dynamiques de changement techniques de l'industrie militaro-spatiale sont plus lentes que celles de l'industrie des semi-conducteurs et pourquoi elles se sont affaiblies est celui de la structure de marché.

Les marchés militaires sont en situation de monopsonne (Versailles, 2005, p. 84), tout comme le marché spatial. Or, la théorie économique considère qu'un marché en concurrence imparfaite comme le monopole ou son corollaire le monopsonne réduit les incitations à innover (Tidd *et al.*, 2006). On pourrait donc chercher dans la structure de marché des explications aux deux questions qui nous intéressent.

La situation de monopsonne a sans doute un effet sur les dynamiques de changement technique, toutefois la nature de son influence semble être atténuée par d'autres phénomènes. L'existence d'un monopsonne n'a par exemple pas empêché les organisations militaro-spatiales de s'engager dans une course à l'innovation qui a permis l'apparition de plusieurs innovations de rupture dont la littérature sur les *spin-offs* fait état. Mais surtout, on constate que l'affaiblissement des situations de monopsonne suite à la fin de la guerre froide n'a pas induit les effets normalement associés à un renforcement de la concurrence. Nous avons en effet constaté un ralentissement des dynamiques de changement technique (création et adoption) au même moment où se développaient de grands programmes internationaux en Europe mais aussi entre les États-Unis et d'autres pays comme le Royaume-Uni. L'affaiblissement d'une demande unique pour différents offreurs domestiques désormais en concurrence n'a pas accéléré les dynamiques de changement. La situation de monopsonne reste une explication inconsistante bien qu'elle apporte un éclairage intéressant pour comprendre pourquoi l'industrie militaro-spatiale serait en retrait par rapport à celle des semi-conducteurs.

IV.3. La baisse des budgets militaires et spatiaux

Le dernier argument qu'on peut évoquer est celui de la baisse des budgets militaires et spatiaux qui a eu lieu à la fin de la guerre froide. Bien qu'inutile pour répondre à la première question, cet argument apparaît comme solide pour fournir une explication au ralentissement des dynamiques. Toutes choses égales par ailleurs, la baisse des fonds investis pour concurrencer le bloc ennemi dans les domaines militaire et spatial a induit un ralentissement des dynamiques de changement technique. Cet argument est solide ; toutefois en l'état actuel il apparaît comme une boîte noire qu'il convient d'ouvrir pour comprendre comment les dynamiques de changement technique peuvent être ralenties par une baisse des budgets.

V. — PROCESSUS D'ESSAI ERREUR ET CONCURRENCE PAR LA FIABILITÉ

V.1. Cadre théorique

Les arguments que nous avons exploités jusqu'à présent nous apparaissent comme insatisfaisants pour expliquer *pourquoi l'industrie militaro-spatiale innove moins alors qu'elle est une industrie innovante et ensuite pourquoi cette industrie semble avoir connu un ralentissement de ses dynamiques de changement technique*. Afin de proposer une explication plus satisfaisante à ces deux questions, nous considérons qu'il faut exploiter le cadre proposé par les théories de l'innovation car elles nous semblent le mieux placées pour comprendre les industries innovantes. Retenant ensuite une approche fondée sur l'adaptation, nous supposons comme Dosi (1984) que la nature de la concurrence et les dynamiques de changement technique sont liées.

Tout processus de changement qui s'accompagne de nouveautés fait face à une contrainte essentielle et structurante qui est l'incertitude. Par essence, réaliser ce type de changement suppose qu'il est impossible de garantir qu'il n'y aura pas d'erreur. Pour entreprendre un changement, les organisations n'ont dès lors d'autre choix que de mettre en œuvre des stratégies fondées sur un processus d'essai erreur. On constate ainsi que seulement 38 % des innovations produites sont des réussites et que parmi ces innovations réussies beaucoup souffrent de problèmes de jeunesse lors de leur lancement comme les dépassements de budgets, les retards de livraison ou le manque de fiabilité (Tidd *et al.*, 2006).

Le processus d'essai erreur est donc à la base des dynamiques de changement technique et c'est le niveau d'incertitude associé au changement qui en détermine l'issue négative ou positive. Si l'incertitude est très élevée, les organisations se tromperont souvent, ce qui induira que le changement technique ne sera pas source d'avantage concurrentiel. En revanche, si l'incertitude est

plus faible, les organisations se tromperont moins souvent, ce qui entraînera que le changement technique procurera un avantage concurrentiel.

V.2. Pourquoi les organisations militaro-spatiales ont-elles des dynamiques de changement plus faibles ?

Grâce à un environnement faiblement incertain qui limite les erreurs, les organisations produisant des semi-conducteurs ont la possibilité de construire un avantage concurrentiel fondé sur le changement technique. Les trajectoires technologiques dont elles bénéficient limitent de manière significative l'incertitude associée au changement technique. La validité de la loi de Moore depuis bientôt 40 ans en est par exemple une manifestation. Le fait que l'industrie des semi-conducteurs soit une source majeure d'illustrations pour les théories de l'innovation, ou encore qu'elle soit considérée comme l'idéal type de la concurrence schumpétérienne témoigne à nouveau d'un faible niveau d'incertitude qui limite les erreurs.

À l'inverse, les hauts niveaux de fiabilité qui ont toujours caractérisé l'industrie militaro-spatiale soulignent l'existence d'un environnement très incertain. Nous avons déjà indiqué que cette industrie a pour particularité de réaliser des produits qui seront consommés dans des environnements opérationnels hostiles tels que le théâtre des opérations, l'espace, ou de nouveaux astres. Ainsi, le succès industriel de produits militaires et spatiaux est souvent le fait de leur fiabilité comme par exemple pour la Kalachnikov AK-47 et la fusée Ariane 4. La Kalachnikov AK-47, inventée en 1947, est le fusil d'assaut le plus répandu dans le monde du fait de son faible prix mais aussi à cause de sa robustesse, sa fiabilité et sa facilité d'entretien. En situation de vie ou de mort, le caractère opérationnel du fusil est primordial. Dans le domaine spatial, c'est grâce à un taux de lancement réussi supérieur à tous ses concurrents (98,5 %) qu'Ariane 4 a dominé le marché des lancements commerciaux dans les années 90 (Brunier, 2006). Ce succès est compréhensible lorsqu'on sait d'une part que le coût du kilogramme placé en orbite varie entre 10 000 et 20 000 dollars pour des satellites pesant souvent plusieurs tonnes, et d'autre part que les satellites coûtent systématiquement plusieurs millions de dollars. Au final, la recherche de fiabilité dans les domaines militaire et spatial témoigne selon nous d'une volonté forte des organisations d'éviter les erreurs et ainsi de s'adapter à un environnement opérationnel très incertain.

Dans cet environnement très incertain, la possibilité de se tromper apparaît comme très élevée. Le changement technique est donc menacé par un taux d'erreur très important qui empêcherait les organisations de tirer avantage des nouveaux produits proposés. Face à ces conditions plus difficiles, les organisations militaro-spatiales ont développé des moyens pour limiter les erreurs. En d'autres termes, les processus d'essai erreur indispensables au changement technique restent possibles, toutefois ils sont désormais contraints par des exigences de fiabilité. Ces exigences sont utilisées par les organisations comme un outil rigoureux de sélection des changements tech-

niques envisagés et cela se traduit par l'acceptation d'un nombre plus limité de changements. La mise en œuvre de ce type de stratégie par toutes les organisations militaro-spatiales permet d'expliquer pourquoi dans cette industrie les dynamiques de changement technique sont plus faibles que dans celle des semi-conducteurs.

L'importante incertitude qui caractérise l'environnement des organisations militaro-spatiales a conduit au fait que la fiabilité est devenue une source majeure d'avantage concurrentiel. Afin de s'adapter à cet environnement, les organisations ont utilisé la fiabilité comme un critère rigoureux de sélection des changements techniques ce qui a conduit à ralentir le changement. En utilisant ce raisonnement, mais aussi l'important écart constaté entre le nombre de brevets déposés dans le domaine des semi-conducteurs et celui militaire et spatial, il nous semble possible de dire que l'industrie militaro-spatiale n'est pas en situation de concurrence schumpétérienne. L'utilisation du critère de fiabilité pour faire face à l'incertitude nous incite plutôt à considérer que les organisations militaro-spatiales font face à une *concurrence par la fiabilité*. En reconnaissant que le comportement des organisations militaro-spatiales est le résultat d'une concurrence particulière, nous introduisons un nouvel outil pour comprendre les industries innovantes qui présentent des dynamiques de changement technique plus lentes que « l'idéal type » constitué par l'industrie des semi-conducteurs.

V.3. Pourquoi observe-t-on un ralentissement des dynamiques de changement ?

Grâce à la représentation du changement technique proposée, nous sommes également en mesure de comprendre de manière plus détaillée pourquoi la fin de la guerre froide coïncide avec un ralentissement des dynamiques de changement technique dans les domaines militaire et spatial.

Le ralentissement que nous avons observé dans la capacité des organisations militaro-spatiales à créer et adopter de la nouveauté est en premier lieu lié à la volonté des États de toucher *les dividendes de la paix*. La baisse des budgets militaires et leur impact sur le ralentissement des dynamiques de changement sont un fait avéré par les études sur la réduction des spin-offs d'origine militaire (Mowery et Rosenberg, 1989). Cette réduction des budgets militaires a eu des répercussions sur les budgets spatiaux puisque les armées ont également fait moins appel à l'industrie spatiale.

Dans le domaine spatial comme dans le domaine militaire, la baisse des commandes publiques a induit une innovation en termes de débouchés. Les firmes militaires se sont adaptées en favorisant les stratégies *duales* et les firmes spatiales se sont d'avantage tournées vers ce qu'on a appelé les *clients commerciaux* (opérateurs de satellites de télécommunication).

Le cadre théorique que nous avons proposé peut être utilisé pour réinterpréter ces faits. Tout d'abord, la fin de la guerre froide a induit une diminution de la taille et du nombre des programmes militaires et spatiaux financés par les États. Cette diminution a eu un impact direct sur les dynamiques de changement technique. Les programmes dont les financements ont été réduits, voire annulés, sont autant de possibilités de conduire des processus d'essais erreurs qui disparaissent. Comme le critère de fiabilité et les niveaux d'incertitude sont restés inchangés, on en déduit que le nombre de changements techniques qui sont finalement acceptés est désormais plus faible. En effet, le nombre de changements techniques candidats à la sélection a diminué du fait de la baisse des budgets.

En plus d'avoir un effet direct sur le ralentissement des dynamiques de changement technique, la baisse des budgets a également eu un effet indirect. La nouvelle période qui s'est ouverte avec la fin de la guerre froide a contraint les firmes militaro-spatiales à faire une innovation de débouchés. Il était en effet difficile d'adopter une posture attentiste et espérer que tout aller redevenir comme avant. Dans le domaine militaire, les firmes ont cherché de nouveaux clients dans le domaine civil tout en continuant à répondre aux besoins des armées. Ce changement conduit à l'apparition de ce qu'on appelle désormais les *stratégies duales*. Dans le domaine spatial, comme les firmes réalisaient déjà des produits pour des clients institutionnels militaires et civils, la stratégie duale a consisté à fournir des produits à des clients commerciaux (opérateurs de satellites de télécommunication). Ces deux types de stratégies duales sont une innovation de débouché réussie, toutefois elles ont eu pour conséquence de ralentir les dynamiques de changement technique.

Les nouveaux clients de l'industrie militaro-spatiale ne sont plus des clients institutionnels mais des entreprises, souvent privées, qui ont des contraintes de rentabilité. Ces entreprises sont intéressées par les technologies innovantes développées par les firmes militaires et spatiales, en revanche elles sont moins conciliantes que les clients institutionnels en ce qui concerne les dépassements de budget, les retards de livraison et les pannes. En d'autres termes, les nouveaux clients tolèrent moins les erreurs associées au processus d'essai erreur indispensable au changement technique. Pour répondre à cette exigence, les firmes militaro-spatiales ont dû durcir le critère de fiabilité permettant de sélectionner les changements techniques. La sélection étant désormais plus rigoureuse, il y a eu en contrepartie une réduction du nombre de changements techniques mis en œuvre. Les firmes militaro-spatiales qui ont fait le choix de la dualité ont alors freiné les dynamiques d'adoption et de création de nouveautés, ce que nous avons observé dans l'usage des composants électroniques et l'enregistrement de brevets.

Le concept de concurrence par la fiabilité nous permet de résumer ce deuxième argument. Le ralentissement des dynamiques de changement technique est ainsi le résultat d'un renforcement de la concurrence par la fiabilité suite au développement de stratégies duales.

V.4. Quelques caractéristiques de concurrence par la fiabilité

En cherchant à expliquer pourquoi deux industries innovantes présentent des dynamiques de changement si différentes nous avons mis en avant l'argument de la concurrence par la fiabilité. Cette concurrence apparaît comme un outil pour comprendre les dynamiques de changement technique plus lentes qui caractérisent les industries qui n'évoluent pas dans une concurrence schumpétérienne mais qui sont tout de même des industries innovantes. En utilisant le cas de l'industrie militaro-spatiale, nous avons montré que l'avantage concurrentiel se fonde ici par la capacité de répondre au besoin de fiabilité exprimé par les clients. En exploitant certaines des propriétés de cette industrie nous pouvons détailler les caractéristiques de la concurrence par la fiabilité.

Cette concurrence existe dans des marchés en situation de monopsonne et oligopsonne dans lesquels les produits échangés s'apparentent à des biens capitaux. Plus précisément, ils ont un prix élevé, une longue durée de vie ; de plus ils sont complexes et fabriqués en petites séries comparativement aux produits issus des industries de consommation de masse. Nous considérons que les produits réalisés dans le cadre de la concurrence par la fiabilité sont très proches de ce que Hobday (1998) a nommé les *Complex Products and Systems* (CoPS). Cette catégorie de produits inclut par exemple les infrastructures de télécommunication, les ponts, les barrages, les réseaux de distribution électrique, les installations nucléaires, les navires militaires, les sous-marins, les simulateurs de vol, les hélicoptères, les avions civils et militaires, les fusées et les satellites. En d'autres termes, le concept de concurrence par la fiabilité présente des liens étroits avec le programme de recherche développé dans les travaux sur les CoPS (Hobday, 1998 ; Gann et Salter, 2000 ; Nightingale, 2000 ; Acha *et al.*, 2004).

VI. — CONCLUSION

Grâce à l'étude d'une part de statistiques sur les brevets et d'autre part des dynamiques d'adoption de l'industrie militaro-spatiale, nous avons caractérisé une situation particulière qui nous a conduits à nous interroger sur la pertinence des dynamiques de changement technique axées sur la rapidité et la nouveauté.

Les arguments couramment employés (secret, monopsonne, évolutions des budgets militaires) n'ont pas été satisfaisants pour expliquer pourquoi l'industrie militaro-spatiale innove moins que celle des semi-conducteurs et pourquoi ses dynamiques d'innovation semblent avoir ralenti.

L'incertitude qui caractérise les environnements dans lesquels sont utilisés les produits de l'industrie militaro-spatiale nous a permis de souligner la difficulté à mettre en œuvre les processus d'essai erreur qui sont indispensables à toute innovation.

La conduite des affaires dans le milieu militaire et spatial met au premier plan l'idée que la nouveauté peut être utilisée à condition qu'elle s'accompagne d'une fiabilité suffisante pour garantir le succès des différentes missions. Cette fiabilité est d'autant plus importante que cette industrie est essentiellement productrice de bien complexes, souvent en petites séries, avec un haut degré de spécialisation en rapport avec les besoins des clients.

Le manque d'importance accordée à ce type de biens et aux impératifs de fiabilité, nous a conduit à souligner que les outils traditionnels de l'économie industrielle ne permettent pas d'appréhender avec justesse le cas des environnements très incertains. La reconnaissance de la concurrence par la fiabilité permet dans ce sens d'élargir les explications possibles afin de mieux appréhender la diversité des dynamiques industrielles.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACHA V., DAVIES A., HOBDAY, M. et SALTER A. (2004), « Exploring the capital goods economy: complexe products and systems in the UK », *Industrial and Corporate Change*, vol. 13, n° 3, pp. 505-529.
- ALIC J., BRANSCOMB L., BROOKS H., CATER A. et EPSTEIN G. (1992), « Beyond Spinoff: Military and Commercial Technologies in a Changing World ». Boston, Harvard Business School Press, table 8.1, p. 260.
- BRUNIER S. (2006), « Impasse de l'espace: à quoi servent les astronautes? », Éditions du Seuil, Paris.
- COHEN S. (1992), « Géo-Économie: leçons de l'expérience américaine », *Revue d'Économie Industrielle*, vol. 62, n° 1, pp. 8-49.
- COHEN W.-M., NELSON R.-R., et WALSH J.-P. (2000) « Protecting Their Intellectual Assets: Appropriability Conditions and Why U.S. Manufacturing Firms Patent (or Not) », Working Paper n° W7552, « National Bureau of Economic Research ».
- CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES (2003), « Commercial components – General Handbook », RNC-CNES-Q-60-513.
- CHINWORTH M. (2001), « The RMA: a US Business Perspective », in MATTHEWS R. and Treddenick, J. (ed.), « Managing the Revolution in Military Affairs », Palgrave, London, pp. 133-156.
- COWAN R. et FORAY D. (1995), « Quandaries in the economics of dual technologies and spillovers from military to civilian research and development », *Research Policy*, vol. 24, n° 6, pp. 851-868.
- DOSI G. (1984), « Technical change and industrial transformation », Hong Kong, The Macmillan Press.
- DOS SANTOS PAULINO V. (2007), « Le changement technique et organisationnel en situation d'incertitude: une analyse des stratégies d'inertie dans l'industrie spatiale », thèse de doctorat, université de Nice-Sophia Antipolis, Nice.
- FORAY D. (1990), « Recherche et technologie militaires: la remise en cause d'un modèle? » *Revue d'Économie Industrielle*, vol. 53, n° 1, pp. 99-114.
- GANN D. et SALTER A. (2000), « Innovation in project-based, service-enhanced firms: the construction of complex products and systems », *Research Policy*, vol. 29, n° 7, pp. 955-972.
- GRILICHES Z. (1990), « Patent Statistics as Economic Indicators: A survey », *Journal of Economic Literature*, vol. 28, n° 4, pp. 1661-1707.
- GRILICHES Z., HALL B.-H. et HAUSMAN J. (1984), « Econometric models for count data with an application to the patents-R&D relationship », *Econometrica*, vol. 52, n° 4, pp. 909-938.

- GOMES-CASSERES B., HAGEDOORN J. et JAFFE A.-B. (2006), « Do alliance promote knowledge flows? », *Journal of Financial Economics*, vol. 80, n° 1, pp. 5-33.
- HALL B.-H. (2004), « Exploring the patent explosion », *Journal of Evolutionary Economics*, vol. 30, n° 1, pp. 35-48.
- HOBDAY M. (1998), « Product complexity, innovation and industrial organisation », *Research Policy*, vol. 26, n° 6, pp. 689-710.
- INPI-Observatoire de la propriété intellectuelle, « Chiffres clés 2004 - BREVETS », mai 2005, (http://www.inpi.fr/ressources/documents/ObsPI/2004/brevets_2004.pdf).
- INTERNATIONAL TECHNOLOGY ROADMAP FOR SEMICONDUCTORS (2006), Edition report (<http://www.itrs.net/Links/2006Update/2006UpdateFinal.html>).
- JAFFE A.-B. (2000), « The U.S patent system in transition: policy innovation and the innovation process », *Research Policy*, vol. 29, pp. 531-557.
- JOVANOVIĆ B. et P.-J. ROUSSEAU. 2002. « Moore's Law and Learning by Doing », Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, WP 8762, February.
- LANGLOIS R. (1990), « Creating External Capabilities: Innovation and Vertical Disintegration in the Microcomputer Industry », *Business and Economic History*, vol. 19, n° 2, pp. 93-102.
- LE BAS C. (2004), « Fonctionnement, transformation et tensions du système de brevet », *Revue d'Économie industrielle*, n° 99, « Les droits de la propriété intellectuelle: nouveaux domaines, nouveaux enjeux, DPI DPI et innovation: quelques enseignements empiriques », mis en ligne le 15 juin 2004, URL: (<http://rei.revues.org/document16.html>).
- MERGES R.-P. et NELSON R.-R. (1990) « On the Complex Economics of Patent Scope », *Columbia Law Review*, vol. 90, pp. 839-916.
- MALERBA F., NELSON R., ORSENIGO L. et WINTER S. (1999), « "History-friendly" models of industry evolution: the case of the computer industry », *Industrial and Corporate Change*, vol. 8, pp. 3-40.
- MOORE G. (1965), « Cramming More Components Onto Integrated Circuits », *Electronics Magazine*, vol. 38, n° 8, (http://www.intel.com/museum/archives/history_docs/mooreslaw.htm).
- MOWERY D. et ROSENBERG N. (1989), « Technology and the pursuit of economic growth », Cambridge, Cambridge University Press.
- NELSON R. et WINTER S. (1982), « An evolutionary theory of economic change », London, Harvard University Press.
- NELSON R. et NELSON K. (2002), « Technology, institutions, and innovation systems », *Research Policy*, vol. 31, pp. 265-272.
- NIGHTINGALE P. (2000), « The product-process-organisation relationship in complex development projects », *Research Policy*, vol. 29, n° 7-8, pp. 913-930.
- OBSERVATOIRE DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES (2006), « Indicateurs de sciences et de technologies », sous la direction de Ghislaine Filliatreau, Economica.
- OTAN (2003), « Dépenses de défense des pays de l'OTAN (1980-2003) », (<http://www.nato.int/docu/pr/2003/p03-146f.htm>), consultée le 9/12/08.
- PÉNIN J. (2003), « Endogénéisation des externalités de recherche: le rôle de la capacité d'émission des connaissances », *Revue d'Économie Industrielle*, vol. 102, pp. 7-28.
- PRAHALAD C.-K. et HAMEL G. (1990). « The Core Competence of the Corporation », *Harvard Business Review*.
- RUTTAN V. (2007), « Is war necessary for economic growth? Military procurement and technology development » (<http://www.apec.umn.edu/faculty/vruttan/book2.html>).
- SIPRI (2008), « The 15 major spender countries in 2007 », (http://www.sipri.org/contents/milap/milex/mex_major_spenders.pdf/download), consultée le 15/12/08.
- SPARACO P. (1996), « L'industrie aérospatiale française », Presses universitaires de France, Paris.
- TEECE D. (1986), « Profiting from technological innovation: Implications for integration, collaboration, licensing and public policy », *Research Policy*, vol. 15, n° 6, pp. 285-305.
- TEECE D. (1996), « Firm organization, industrial structure, and technological innovation », *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol. 31, n° 2, pp. 193-224.
- TIDD J., BESSANT J. et PAVITT K. (2006), « Management de l'innovation: Intégration du changement technologique, commercial et organisationnel », de Boeck, Bruxelles.
- TUSHMAN M.-L. et ANDERSON P. (1986), « Technological discontinuities and organizational environments », *Administrative Science Quarterly*, vol. 31, n° 2, pp. 439-465.