



imri

Institut pour le Management de la Recherche et de l'Innovation

**Working Paper IMRI
2003/01**

hal-00292974, version 1 - 3 Jul 2008

Working Paper IMRI – WP 2003/01

**« Éléments pour un repositionnement de l'innovation
de défense au sein du système d'innovation français »**

Renelle Guichard

Janvier 2003

Éléments pour un repositionnement de l'innovation de défense au sein du système d'innovation français

Renelle Guichard

Article basé sur la thèse de doctorat en économie de : « Une analyse de la coordination entre recherche militaire et recherche civile : éléments pour un repositionnement de l'innovation de défense au sein du système d'innovation français », sous la direction de Dominique Foray, Université Paris IX Dauphine, novembre 2002, 338 p.

L'auteur tient à remercier tout particulièrement Dominique Foray pour avoir accepté de diriger cette recherche, ainsi que les ingénieurs du Département Composants du Service des Stratégies, Techniques et Technologies Communes de la DGA, qui ont fourni la matière première de ces travaux et sans lesquels cette recherche n'aurait pu être menée. Je tiens également à exprimer ma gratitude à Jean-françois Daguzan, Directeur de recherche à la Fondation pour la Recherche Stratégique et aux professeurs Edward Steinmueller et Jordi Molas-Gallart, professeurs au *Science Policy Research Unit* de l'Université du Sussex à Brighton, pour m'avoir largement aidé dans mes recherches et m'avoir encouragé dans la poursuite de mes travaux. Je voudrais enfin témoigner ma gratitude à toute l'équipe de l'IMRI pour m'avoir accueillie chaleureusement.

Sommaire

Résumé de l'article	1
Introduction	2
1. La diversité institutionnelle contestée.....	4
1.1. Analyse comparée des systèmes américain et français	5
1.2. Les trois scénarios de réorientation du modèle français	6
2. Les facteurs favorables à l'intégration	7
2.1. Présentation du modèle de Metcalfe et Saviotti (1984)	8
2.2. Application du modèle à la dualité	9
2.3. Les principes d'action des politiques duales	11
3. Quels instruments de gestion pour la recherche de défense en France ?.....	12
Conclusion	13
Bibliographie.....	14
Annexe	15

Résumé de l'article

ELEMENTS POUR UN REPOSITIONNEMENT DE L'INNOVATION DE DEFENSE AU SEIN DU SYSTEME D'INNOVATION FRANÇAIS

L'importance des financements de recherche militaire au sein des budgets nationaux exprime les choix en faveur de la sécurité ; mais au-delà, ils ont des conséquences pour les politiques nationales de la science et de la technologie. Se pose en effet la question de la contribution de la R&D militaire non seulement aux objectifs de sécurité mais aussi aux performances économiques globales. En d'autres termes on peut se demander si les pays ont raison d'encourager l'évolution technologique par l'intermédiaire de la R&D militaire ? Et le cas échéant quels sont les types d'organisation et d'institutions les plus appropriées à une relation fructueuse entre R&D militaire et développement technologique général ?

Il nous semble que l'avenir soit à l'intégration des structures d'innovation civile et militaire, autour du concept-clé de dualité. La mise en oeuvre de cette solution faussement simple requiert l'élaboration d'outils organisationnels.

L'objet de cet article est de proposer des outils et principes organisationnels sur lesquels pourra s'appuyer la politique duale française. Nous nous appuyons pour cela sur un modèle analytique du changement technique (Metcalfé et Saviotti, 1984), qui constitue notre cadre d'analyse des décloisonnements entre les « produits technologiques » militaires et civils. Nous en déduisons les trois principaux principes d'action qui guident les politiques duales et les conditions de leur applicabilité en France.

ELEMENTS FOR A REPOSITIONING OF DEFENSE INNOVATION WITHIN THE FRENCH SYSTEM OF INNOVATION

The magnitude of military R&D credits within national budgets expresses options in favour of security; beyond that point, it is also of consequence on national S&T policies. Indeed, we can wonder about the contribution of military R&D not only to security goals, but also to the overall economic performances. In other words, the question is whether some countries are right to support technological evolution through military R&D? And if the answer is positive, which are the most suited institutions and organisation patterns for a fruitful relationship between military R&D and the overall economic performances.

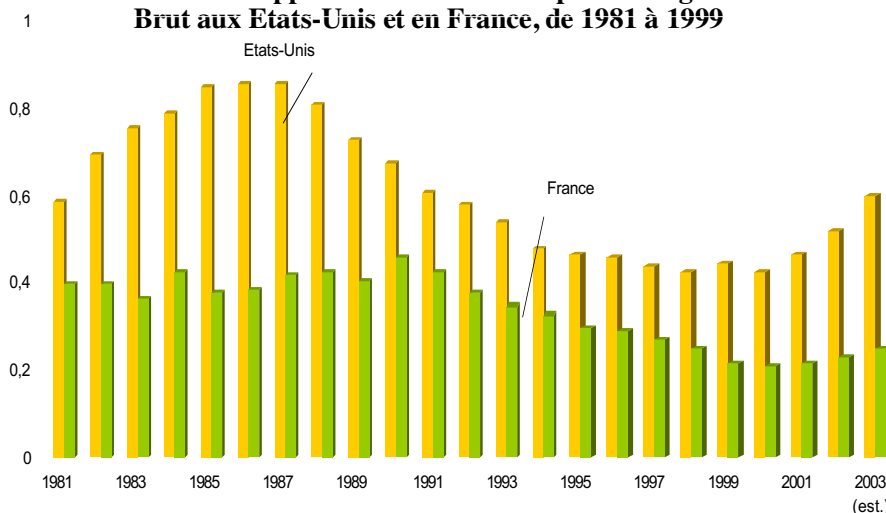
It seems to us that the answer lies in integrating civilian and military innovation structures appealing on the concept of dual-use. The implementation of this falsely simple solution requires the working out of organisational tools.

The purpose of this article is to introduce organisational tools and patterns on which to build a French dual-use policy. We will proceed in two parts: first we will present an analytical model of technological change (Metcalfé and Saviotti, 1984), which constitutes our framework for the analysis of the "de-compartmentalisation" of civilian and military technologies. We will then present the main three action principles guiding dual-use policies and the conditions of their applicability in France.

Introduction

Le budget du ministère de la Défense représente un des premiers postes budgétaires de l'Etat. Au sein de ce budget, les crédits de Recherche Développement (R&D) se montent à 10 voire 20 % selon les années. Comme l'illustre le graphique suivant, la R&D militaire a accaparé jusqu'à plus de 0,8 points du Produit National Brut (PNB) américain et presque 0,5 points du PNB français au cours des 15 dernières années.

Figure 1. La Recherche Développement de Défense en pourcentage du Produit National Brut aux Etats-Unis et en France, de 1981 à 1999



Source : OCDE, *Main Science and Technology Indicators*, 2001

L'importance de ces financements illustre les choix nationaux concernant la sécurité et les alliances. Ils ont également des conséquences pour les politiques nationales de la science et de la technologie. Se pose en effet la question de la contribution de la R&D militaire non seulement aux objectifs de sécurité mais aussi aux performances économiques globales. En d'autres termes, on peut se demander si les pays ont raison d'encourager l'évolution technologique par l'intermédiaire de la R&D militaire ? et le cas échéant, quels sont les types d'organisations et d'institutions les plus appropriés à une relation fructueuse entre R&D militaire et développement technologique général ?

De nombreuses études économétriques ont tenté d'établir ou de réfuter la preuve que la R&D de Défense a des répercussions sur la croissance de l'économie. On observera tout d'abord que la R&D militaire a pour principal objectif de mettre au point des armes plus performantes, et les programmes doivent donc être jugés en fonction de leur succès ou de leur échec sur ce plan. Étant donné l'ampleur des ressources mises en jeu, il est cependant impossible de faire abstraction des considérations économiques plus générales.

Les conclusions empiriques montrent que l'effet des dépenses militaires n'est pas uniforme : il diffère entre les nations et au cours du temps ; aucun schéma clair n'émerge (Hartley et Singelton, 1990, p. 155). La récente étude du CEPREMAP et de EUREQua (OED, 2000) établit par exemple que la recherche militaire a un impact positif sur la croissance aux Etats-Unis, négatif au Royaume-Uni et pas d'impact significatif en France. Pour ajouter à la difficulté dans l'interprétation de ces résultats, nous pouvons souligner que l'analyse du rôle des financements

militaires sur l'économie est troublée par le manque de données fiables et systématiques (homogènes, cohérentes, longues) (Molas-Gallart, 1999).

Sur le modèle développé par le BETA (Bach *et al.*, 1991) dans le cadre des programmes spatiaux, on peut ensuite analyser les retombées dans une approche évolutionniste, en caractérisant la portée des effets économiques engendrés. Deux catégories apparaissent alors : effets directs et indirects. Les premiers sont ceux qui proviennent de la réalisation des contrats passés dans le cadre des objectifs du programme (stimulation de l'activité économique, amélioration des technologies directement concernées par les contrats); les effets indirects, en revanche, sortent du cadre des contrats permettant la réalisation de programme et se diffusent dans le reste de l'économie (effets commerciaux, effets sur l'organisation et les méthodes, effets chez les fournisseurs). Les résultats obtenus par l'étude du BETA (étude initiale en 1988, complétée en 1991), ciblée sur les effets indirects, tendent à démontrer de façon significative l'existence de phénomènes d'entraînement du programme spatial européen sur l'activité industrielle¹.

Cependant les études plus récentes montrent l'affaiblissement des retombées de la recherche militaire sur l'économie civile. Elles signent la fin de ce qu'on a appelé le « paradigme des retombées » (Alic *et al.*, 1992). En conséquence, l'organisation de la production des innovations militaires sous la forme de la structure de programme est remise en cause aujourd'hui dans beaucoup de pays occidentaux (Ergas, 1992 ; OCDE, 1999). Cette forme d'organisation, particulièrement bien adaptée aux objectifs de la recherche militaire, est associée à l'engagement de la puissance publique, par l'action d'agences nationales ou au travers de contrats, dans l'accomplissement d'une mission spécifique (principalement des projets de grande envergure). Les critiques énoncent que si les grands programmes permettent certes de progresser dans les technologies avancées, leur structure verticale et cloisonnée empêche la diffusion des innovations et de la connaissance produites ; ils introduisent également des « défaillances gouvernementales » dans la sélection des participants aux programmes et engendrent ainsi des distorsions dans la compétitivité des économies.

L'objet de cet article est l'analyse de l'organisation de la recherche militaire, en France, dans la période actuelle. Cette recherche développe une problématique du repositionnement des politiques scientifique et technologique de Défense au sein du Système National d'Innovation (SNI). *In fine*, nous proposons des méthodes et outils permettant de faire face aux nouvelles contraintes auxquelles est confrontée la recherche de Défense, à savoir des problèmes liés aux choix et au taux de couverture des domaines techniques, au niveau des dépenses et à la temporalité des actions.

Ce travail aborde des questions à la fois théoriques et empiriques ayant trait à l'économie de la connaissance et à l'organisation des activités de R&D. Il s'appuie sur des études de cas et une comparaison France – Etats-Unis². Ces deux pays ont en effet eu à répondre à des défis similaires concernant leurs politiques scientifique et technologique de Défense dans le contexte *post* guerre-froide. Les solutions mises en place reflètent les différences institutionnelles et culturelles entre ces deux pays : les Américains privilégient l'intégration de la recherche de

¹ Des effets indirects ont en effet été identifiés au plan technologique, commercial, à celui des méthodes et de l'organisation industrielle, et enfin à celui du fonds de connaissance et de savoir-faire qui détermine le patrimoine économique des entreprises et, par conséquent, leur dynamique d'innovation à moyen et long terme.

² Le matériel qualitatif sur lequel reposent nos résultats ressort de cas d'études technique (cas de la technologie Silicium sur Isolant) et organisationnel (cas de l'outil de gestion Programme d'Etude Amont) ainsi que sur de nombreux entretiens au sein de la Délégation Générale pour l'Armement et auprès de nombreux acteurs du système de recherche français, civils comme militaires. Nous avons également procédé à une dizaine d'entretiens aux Etats-Unis, dans le cadre d'une comparaison du système français avec le système américain au regard de leurs transformations récentes.

Défense au sein de leur SNI et utilisent fortement les programmes militaires comme levier de l'innovation au sein du secteur civil. Ce système semble reposer sur des structures décloisonnées et faire preuve de flexibilité, ce qui lui prodigue force et équilibre. À ce titre, son étude est d'une grande utilité pour saisir la complexité des problèmes posés. Le système français semble, lui, plus rigide et cloisonné, notamment en ce qui concerne l'ancrage « vertical » de son organisation de la production des innovations de Défense.

Cet article s'articule en trois parties. Après avoir établi trois scénarios de réorientation du modèle français, la première partie est consacrée à l'affirmation du scénario de l'intégration des structures d'innovation civiles et militaires. Il apparaît urgent d'affirmer cette politique de manière claire, autour du concept de dualité. L'analyse normative des politiques duales, qui s'appuient sur quatre piliers, constitue la deuxième partie de cet article. La dernière partie définit les modalités permettant à la DGA d'assurer un rôle central dans ce nouveau cadre, à savoir l'ajustement du pilotage des innovations tout au long de leur cycle de vie et la préservation de la capacité d'innovation amont.

1. La diversité institutionnelle contestée

Le débat sur la gestion et l'organisation des programmes militaires porte plus particulièrement sur leurs retombées vers le patrimoine civil, selon plusieurs aspects : le détournement des ressources (le coût d'opportunité des programmes militaires) ; l'évaluation des contributions respectives de la R&D civile et de la R&D militaire aux performances économiques globales ; les facteurs de l'affaiblissement de l'influence de la R&D militaire sur l'augmentation de la productivité industrielle (fin de la « similarité générique ») ; les transformations organisationnelles que cette évolution rend nécessaire (Foray, 1990 ; Cowan et Foray, 1995). Le bilan de cette analyse est double :

Dans un premier temps, les phénomènes de disparition de la « similarité générique » entre les technologies civiles et militaires et de différenciation des modes de gestion du changement technique ont provoqué l'affaiblissement des effets directs, de second ordre et organisationnels de la R&D militaire sur l'économie civile. Ces effets avaient été constatés depuis les années 1950, quand la recherche de défense dans les cabines et les moteurs de Jet, les semi-conducteurs et les ordinateurs avaient donné lieu à beaucoup d'applications civiles. De nombreuses technologies avaient pu être appliquées directement aux besoins civils, ce qui avait donné lieu à des retombées directes (transfert de technologies). Un autre effet positif pendant cette période résidait dans la relative similarité des pratiques de gestion de l'innovation (en particulier dans l'arbitrage coût – performance). L'exploitation des économies d'échelle était alors facilitée dans les entreprises qui servaient à la fois les besoins civils et militaires. En outre, comme les technologies militaires étaient plus avancées que les technologies commerciales, la R&D de défense était très utile à l'industrie commerciale et contribuait à des avancées majeures pour les performances industrielles.

Au cours du temps, la taille et même la direction de ces effets a changé. La similarité générique des technologies civiles et militaires a décliné, par exemple dans l'aéronautique. Comme l'expliquent Mowery et Rosenberg (1989) : « Tandis que les avions de combat militaires entraient dans la sphère de la vitesse supersonique, ils atteignaient des caractéristiques de performance et de coûts qui s'éloignaient de plus en plus des considérations de coûts du monde des voyages commerciaux. » Cette divergence s'applique aussi à la robotique et aux satellites de communication. Cela a pour conséquence une diminution significative des transferts directs ou indirects de produits et de technologies du militaire vers le civil.

L'évolution de la structure de la demande modifie en outre les influences respectives des acteurs, en inversant le flux des retombées. La demande civile devient tellement dominante que

l'industrie ignore de plus en plus la demande militaire. L'exemple de la micro-électronique illustre ainsi que ce n'est pas seulement l'ampleur des retombées mais aussi leur direction qui s'est modifiée : dans la période d'après-guerre, il s'y opère en effet un véritable renversement de la relation entre les deux sphères de R&D, la R&D militaire devenant de plus en plus dépendante des progrès techniques résultant de la R&D civile, en même temps que la part de marché militaire passe de 100 % de la demande en 1960 pour ne plus représenter que 1 % du marché en 2002.

1.1. Analyse comparée des systèmes américain et français

Au regard de ces considérations, le système américain a montré une grande capacité d'évolution en vue de maintenir la R&D de Défense au centre de son SNI. A la suite de la disparition du bloc soviétique, le plan « *Technology for Economic Growth* » du vice-président Al Gore a cherché à favoriser le décloisonnement civil-militaire, afin de tirer meilleur parti des ressources et des programmes existants sur l'ensemble des ministères. La réalisation de ce plan est à la fois marquée par une forte volonté d'accroître la coopération à tous niveaux entre le gouvernement, l'industrie et les universités, et par celle d'assurer systématiquement une bonne diffusion des innovations technologiques de et vers le domaine de la défense. L'administration Clinton a ainsi réaffecté les dépenses fédérales de R&D des programmes de Défense vers les programmes civils afin d'obtenir une réduction des coûts des nouvelles technologies clés (rééquilibrage civil militaire 56% - 44%). Elle a également favorisé l'utilisation des technologies civiles dans les applications militaires (utilisation des technologies de pointe, pallier l'obsolescence des matériels ou systèmes...) et mis l'accent sur le développement des partenariats civil-militaire en matière de technologies. Ces initiatives sont précisées dans le « *Defense Conversion Reinvestment Act* » de 1992. La politique du Pentagone s'inscrit désormais pleinement dans une politique globale de la recherche et de l'innovation énoncée par la Maison-Blanche, qui génère une stratégie de sécurité nationale et plus seulement de Défense. La stratégie déployée dans le processus d'acquisition de la S&T relève du principe de convergence d'intérêts entre les besoins militaires et sociétaux (donc économiques) sur lequel se basent toutes les décisions tant politiques qu'industrielles.

L'institution militaire a ainsi pu évoluer en parallèle des autres institutions, illustrant l'évolution du rôle du gouvernement : de client à partenaire. Néanmoins, alors que le gouvernement fédéral est moins directement impliqué dans la stratégie des entreprises, ceci n'empêche pas le département de la Défense d'apporter un soutien important aux industries. Feldman (1999) illustre par exemple cet aspect dans un rapport sur le rôle du Pentagone dans l'émergence des biotechnologies aux Etats-Unis : Le département a versé environ 280 milliards de dollars d'aides aux jeunes entreprises entre 1983 et 1997 (par le biais des *DOD SBIR Awards*), dont la plupart développaient des applications non spécifiquement militaires (voire parfois purement commerciales).

Le dynamisme du système américain tient ainsi principalement à sa capacité à transférer aisément la connaissance et les innovations d'une de ses composantes à une autre (Mowery et Rosenberg, 1989 ; Nelson, 1993 ; Guichard, 2000). Cette fluidité se retrouve également dans les modes de financements, avec une complémentarité (et parfois une substitution) des crédits civils et militaires³, comme dans l'exemple des biotechnologies. C'est un aspect majeur de la capacité d'innovation et de la compétitivité économique des Etats-Unis, qui ont assigné une place de choix aux programmes militaires dans la nouvelle économie.

³ Les *Federal Cooperative Technology Programs* ont permis au gouvernement fédéral de redéfinir son rôle, au-delà du financement traditionnel de la R&D. Au titre de ces programmes, citons Sematech, le *Technology Reinvestment Program*, la *Small Business Innovative Research Initiative* et l'*Advanced Technology Program*. Pour plus de détails se reporter à Guichard (2000).

En contraste, le système français nous semble déséquilibré. L'Etat français assume un rôle majeur dans le financement et l'exécution de la recherche. La recherche de Défense reste l'instrument privilégié de cette relation, dont la coordination est assurée par la Délégation Générale pour l'Armement. Les évolutions du système au cours des années 1970 à 2000 n'affectent en rien ce fonctionnement et laissent les recherches de Défense en dehors de toute politique de transfert volontaire : la logique qui prévaut depuis des décennies évolue difficilement en profondeur (Salomon, 1991 ; Foray, 2000).

En atteste le document de l'OCDE consacré à la politique structurelle de R&D de la France (OCDE, 1999), qui propose une vision de l'architecture du système français d'innovation selon le financement et l'exécution de la R&D (chiffres 1997). A la lecture de ce document, on constate que le déséquilibre entre les mesures incitatives et les financements des grands programmes persiste de façon significative (respectivement 4 % du Budget Civil de R&D contre 37 %). Les politiques gouvernementales visent toujours directement au développement et à l'amélioration des performances industrielles dans des industries de pointe sélectionnées, principalement le spatial et l'aéronautique. Les programmes R&D de Défense gardent un caractère dominant sur le développement des technologies avancées.

Le bilan demeure donc une certaine inadéquation et un fort déséquilibre entre les politiques de diffusion et celles d'orientation. La complémentarité observée dans le système américain entre les connaissances, innovations et modes de financements civils et militaires est absente du système français. La place de la R&D de Défense reste « à part » et on constate donc une certaine forme de dualisme en lieu et place de la politique duale.

L'analyse comparée de ces deux systèmes fait donc apparaître que le problème en matière de recherche et développement militaire est celui du dosage entre le poids des orientations publiques et l'environnement à créer pour favoriser le décroisement des deux secteurs. Quelles sont alors les voies à privilégier pour l'évolution du système français ? Trois scénarios se dégagent clairement.

1.2. Les trois scénarios de réorientation du modèle français

Le premier est celui qui correspond à une tentation évidente : le retour au schéma de fonctionnement de l'« âge d'or » des années 1960. Cette époque était caractérisée par une forte logique de programme avec un Etat-client puissant, ainsi qu'une dynamique d'entraînement de ces programmes sur une partie de l'économie nationale (notamment un ensemble de grandes firmes technologiques). Mais les grandes masses financières en jeu à l'époque de l'« âge d'or » de ce mode de fonctionnement ne sont plus envisageables aujourd'hui et l'effet d'entraînement est fortement remis en cause (du fait de l'avance prise par le secteur civil). Les arguments opposés à ce modèle dans le contexte d'aujourd'hui sont ceux qui ont été évoqués précédemment, à savoir la fin du paradigme des retombées, un effet d'éviction des dépenses de recherche militaire sur les dépenses civiles, une distorsion des marchés sous l'effet de la sélection publique, une divergence dans les orientations et les pratiques de la recherche.

La deuxième orientation possible correspond à l'isolement de la recherche de Défense, jumelée à une politique d'acquisition « sur étagère » ou du moins à la seule responsabilité du maître d'œuvre industriel. Dans cette logique, les recherches sont menées après identification de besoins militaires ciblés tandis que la plupart des autres composants sont acquis « sur étagère ». C'est, dans les grandes lignes, la logique qui prévaut à la DGA depuis 1997. Cette administration est ainsi passée du statut d'« agence de programmes » à celui d'« agence d'acquisition » (de recherche ou de composants civils). En première approche, ce schéma d'organisation semble permettre d'atteindre une certaine efficacité économique, car le coût d'achat des équipements se trouve réduit en global. Mais pour que les avantages économiques

soient perceptibles⁴ et pérennes, l'administration doit avoir développé en interne des compétences d'acheteur intelligent (MOD, 1999, p 12) : qui sait mener des négociations (compétences commerciales), tout en connaissant le terrain technique. Cet art est difficile et requiert une motivation robuste, face à des firmes qui évoluent sur des marchés compétitifs, sur lesquels la Défense voit son poids diminuer fortement. On comprend donc que cette stratégie revient à créer une dépendance forte du militaire envers le civil, ce qui conduit à transformer les agences publiques militaires au mieux en acheteur intelligent. Dans un tel scénario, le secteur militaire ne participe plus à la dynamique scientifique et technologique du pays.

Le troisième et dernier scénario est celui de l'innovation en réseau, que nous défendons vivement. Il nous apparaît urgent d'affirmer cette politique de manière claire, de mettre rapidement en place des mesures assurant un décloisonnement du système et assurant sa fluidité. C'est sur la base d'un contact poussé (une intégration) entre les mondes de la recherche civile et militaire que la recherche de Défense pourra s'assurer toutes les économies de son recentrage et évoluer sans risque de perte de compétences, ni d'asymétries d'information importantes. Une telle ouverture est également une source d'efficacité pour le Système National d'Innovation dans son ensemble, au travers d'économies d'échelle, d'économies de variété et d'effets externes positifs.

2. Les facteurs favorables à l'intégration

L'examen des conditions et des difficultés de réalisation du scénario d'intégration de l'innovation militaire au système d'innovation civil nécessite au préalable de clarifier le terme-clé de dualité, sur lequel repose ce scénario. L'usage d'un tel terme présente l'avantage de préciser clairement le champ d'étude, c'est-à-dire les coïncidences qui peuvent exister entre deux activités humaines distinctes (voire antagonistes) que sont la préparation pour la guerre et la création de richesses (Molas-Gallart et Sinclair, 1999).

Nous définissons la dualité comme un mode de gestion de la recherche, de l'innovation et de la production des systèmes de défense, qui cherche à engendrer des économies d'échelle, de variété et des externalités avec le secteur civil. Nous proposons de caractériser la dualité en trois points :

- L'espace pertinent des politiques duales est vaste, puisqu'il occupe un très grand territoire entre d'une part ce qui est totalement spécifique (et donc intrinsèquement « non intégrable ») et d'autre part ce qui est totalement commun (générique) ;

- La dualité doit être analysée comme une propriété des Systèmes Nationaux d'Innovation (SNI) et de la compétitivité nationale. Nous adoptons délibérément ce point de vue alors que la dualité est souvent perçue en France comme un mécanisme qui fausse et biaise les décisions budgétaires (on dit parfois que « la dualité sert à faire payer l'autre »). Seule l'analyse de la dualité comme élément central de la capacité d'innovation d'un pays permet d'en faire ressortir les vertus ;

- Le dernier point de caractérisation est relatif au fait que la dualité n'est pas un problème intrinsèquement technologique, même si la technologie permet de créer des passerelles entre civils et militaires. Fondamentalement, exploiter la dualité relève de problèmes d'organisation, i.e. de coordination, d'action collective, d'incitation. Nous défendons ici la prépondérance des

⁴ Nous ne rentrerons pas ici dans le détail des coûts engendrés par les achats sur étagère. Nous garderons toutefois en mémoire que ces pratiques engendrent des surcoûts significatifs, qui, sans les remettre systématiquement en cause, réduisent significativement les avantages économiques avancés.

organisations et des réseaux sociaux sur l'aspect technique, quant à la construction d'espace de dualité.

Dans le cadre du scénario d'intégration des structures d'innovation civiles et militaires, il y a donc un grand nombre d'opportunités économiques pour la politique duale ; cela non seulement dans le domaine de la recherche mais à tous les stades de l'innovation. Reste encore à réfléchir à ses principales formes : comment créer de l'ordre, définir des structures relativement invariantes, souples, qui soient valables aussi bien pour un projet de recherche que pour un objet technique ? Nous proposons en réponse un cadre d'analyse inspiré d'un modèle descriptif simple de décomposition des technologies (Metcalfé et Saviotti, 1984). Ce modèle analytique descriptif se prête à l'analyse de la diffusion et de la trajectoire des « produits technologiques⁵ » et à l'étude des substitutions qui peuvent alors s'opérer. Il nous apparaît donc approprié à l'étude théorique de la dualité, que l'on peut schématiquement résumer par la pratique des décloisonnements technologiques.

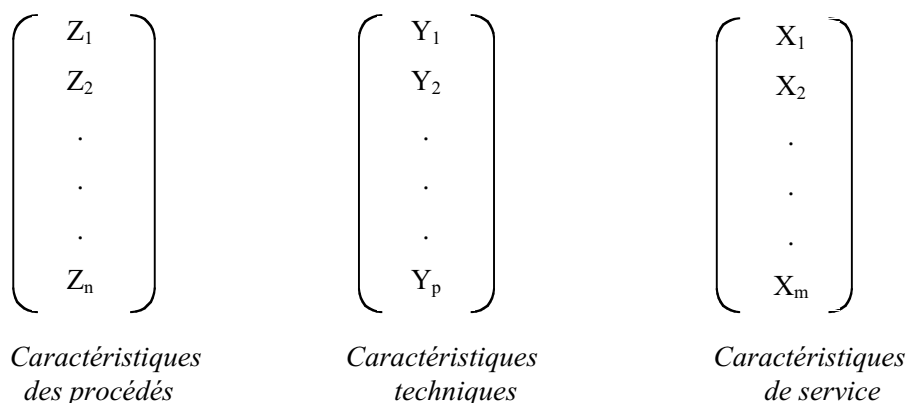
2.1. Présentation du modèle de Metcalfé et Saviotti (1984)

Le point de départ de l'analyse de Metcalfé et Saviotti est la description des vecteurs de caractéristiques. Chacun des « produits » recouvre en réalité trois dimensions :

- Le service qu'il apporte (performance) ;
- La technologie qui permet d'atteindre le niveau de service ou de performance ;
- Les procédés permettant d'atteindre le niveau technique – ce qui concerne les études de R&D, les matériels de production, les programmes de formation.

Chaque dimension peut ensuite se décomposer en un certain nombre d'alinéas : elle prend alors la forme d'une famille de caractéristiques (un vecteur) sur le modèle de la figure 2 :

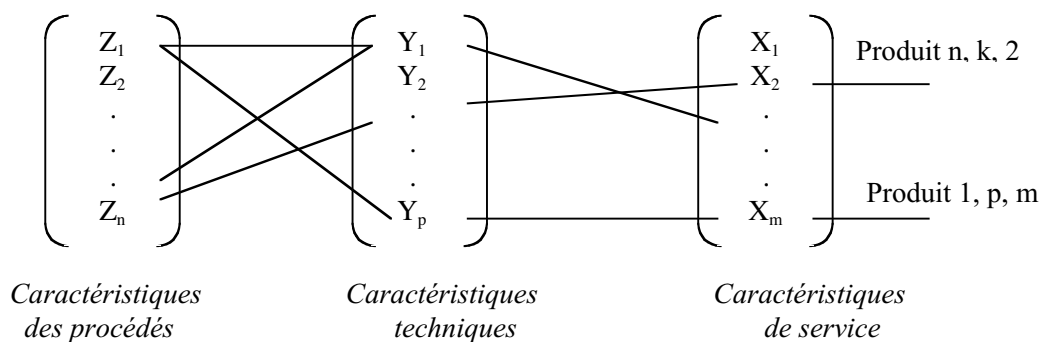
Figure 2. Décomposition d'un « produit technologique » en trois vecteurs de caractéristiques



L'organisation qui produit le « produit technologique » est concernée par ces trois composantes et elle les relie les unes aux autres selon des « chemins d'action ». Ces chemins déterminent l'efficacité relative de chaque composante de chaque vecteur sur le suivant :

⁵ Le cadre conceptuel décrit par Metcalfé et Saviotti est applicable à un grand nombre d'objets. Les auteurs définissent ainsi les « produits technologiques », qui regroupent un large éventail de biens s'étendant du programme de recherche au produit de haute technologie (ils considèrent donc des biens en amont comme en aval du processus d'innovation).

Figure 3. Chemins d'action parmi les composantes des vecteurs



L'exemple de la décomposition de la technologie micro-électronique silicium est proposé en annexe.

Dans le cadre analytique formé par la décomposition en vecteurs, tout changement technique prendra forme sous des changements en valeur absolue dans les caractéristiques de procédés, techniques ou de performance ; des modifications dans les chemins d'action ; des modifications dans les coefficients de pondération attribués aux différentes caractéristiques. Ces modifications apparaissent par étapes durant l'évolution des « produits technologiques ». La substitution se caractérisera par exemple par l'apparition de nouvelles caractéristiques dans les procédés, qui permettront l'émergence de nouvelles capacités techniques, qui elles-mêmes répondent partiellement ou totalement à de nouvelles caractéristiques de service. On pourra alors observer des phénomènes de substitution pure ou partielle. Un « produit technologique » nouveau sera représenté par l'apparition simultanée de nouvelles caractéristiques de procédés, techniques, de service.

2.2. Application du modèle à la dualité

Le cadre théorique proposé par Metcalfe et Saviotti (1984) offre un modèle utile à notre réflexion. On peut en effet l'adapter au cas des technologies civiles et militaires pour chercher des « moments d'action » privilégiés pour l'intégration ou les transferts et ainsi mettre en évidence des principes de convergence qui ouvriraient la voie à plus de dualité. Pour créer une base commune à partir de deux « produits technologiques » civil et militaire (T_c et T_m) qui diffèrent sur les trois ensembles de caractéristiques, on peut :

- Soit jouer sur les $\{X_i\}$: c'est-à-dire réduire la divergence des caractéristiques de services ;
- Soit jouer sur les $\{Y_i\}$: c'est-à-dire transposer des modules de caractéristiques techniques pour élargir l'espace des caractéristiques communes, donc jouer sur les performances - cas de l'insertion de composants et sous-ensembles civils dans les systèmes d'armes ;
- Soit jouer sur les $\{Z_i\}$: c'est-à-dire créer des étapes communes en amont des spécifications, au cours des étapes de production.

Le cadre ainsi esquissé est intéressant car il peut s'appliquer soit à un objet technique (tel qu'un radar, un avion, un logiciel) soit à un instrument de recherche ou un outil de production (tel qu'un bassin d'essai, une technologie laser ou un atelier flexible). L'espace pertinent des politiques duales est alors très vaste : il occupe un très grand territoire entre ce qui est totalement spécifique (lorsque les $\{X_i\}$ sont inconciliables) et ce qui est totalement commun (où les $\{X_i\}$ se recouvrent exactement, comme dans l'exemple du mobilier de bureau). L'importance des cas de figure d'hyper-spécification dépend fortement du type de technologie.

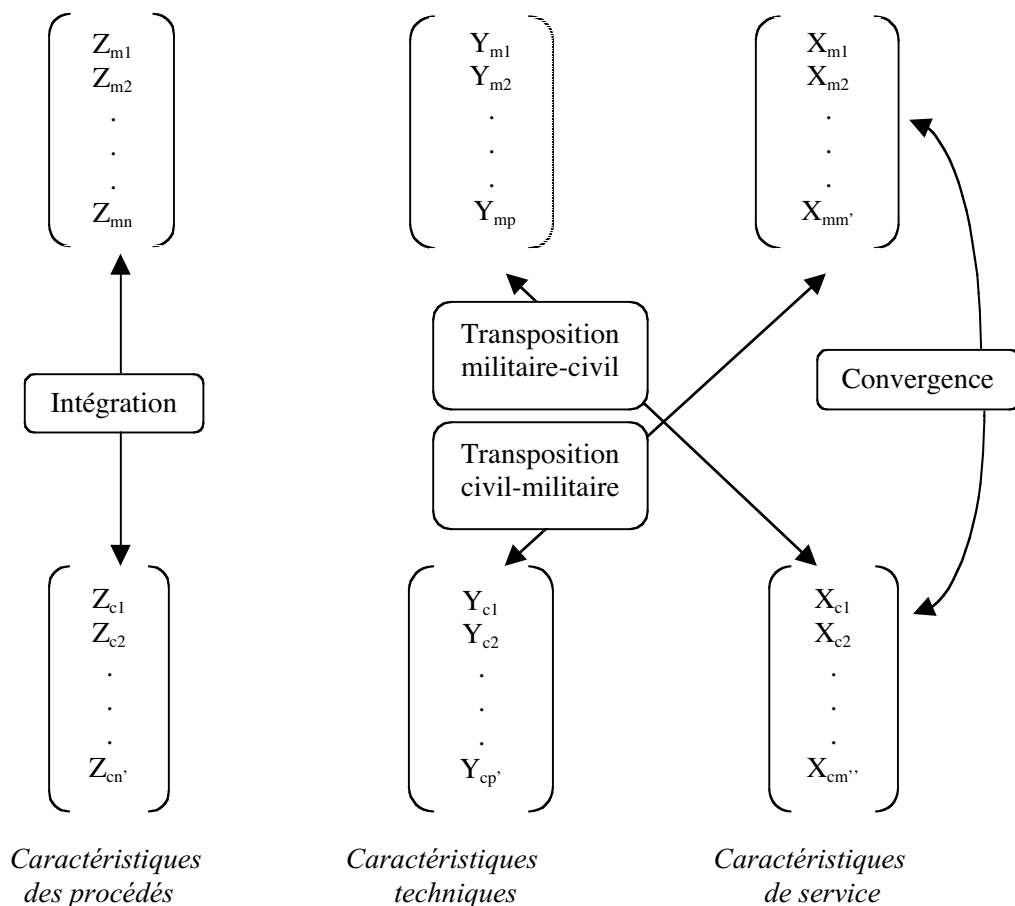
Dans le domaine des composants électroniques, le sous-domaine de l'infrarouge refroidi n'a que très peu d'applications potentielles civiles à ce jour. Ce qui veut dire que l'espace de dualité est réduit. Le domaine du génie électrique offre l'exemple opposé.

La politique duale diffère grandement selon la nature du secteur dominant. Dans le cas où la technologie militaire « tire » le marché (informatique ou aérospatial dans les années 1960), c'est le civil qui s'efforce d'adapter ses systèmes pour bénéficier des effets externes positifs engendrés par les demandes militaires. Dans le cas contraire (prédominant aujourd'hui), c'est le pilotage de la dualité et la mise en œuvre de procédures volontaristes (proactives) par les industriels et l'administration de Défense qui deviennent nécessaires pour "forcer les convergences".

En somme, piloter la dualité signifie : créer (forcer la création) des opportunités d'intégration ou de transfert et développer pour cela des procédures actives. On peut, dans cette perspective, identifier les grandes logiques d'action, qui renvoient essentiellement à une triple structure.

Figure 4. Les structures d'action de la politique duale

Soit une technologie militaire : $T_m = (Z_{m1} \dots Z_{mn}) + (Y_{m1} \dots Y_{mp}) + (X_{m1} \dots X_{mm'})$;
 et une technologie civile : $T_c = (Z_{c1} \dots Z_{cn'}) + (Y_{c1} \dots Y_{cp'}) + (X_{c1} \dots X_{cm'})$;



Les trois structures d'action de la politique duale sont donc l'intégration (en amont), la transposition et la convergence (en aval). Ces trois structures sont interdépendantes : la probabilité d'intégration (manufacturière ou R&D) sera d'autant plus forte qu'une action a été

menée sur les $\{X_i\}$. Il en est de même pour la probabilité de création de modules de caractéristiques communes.

2.3. Les principes d'action des politiques duales

Le modèle de Metcalfe et Saviotti nous a permis d'identifier les trois principales structures (relativement) invariantes d'intégration et de mise en réseau. Nous pouvons maintenant rentrer plus dans le détail de ces structures pour en déduire des principes d'action. En préliminaire, il faut préciser que les chances de succès de toute action duale sont renforcées en initiant de façon *ex ante* les processus de collaboration et de coordination, en les pensant « à l'avance », c'est-à-dire en envisageant la dualité dès les prémices du programme et la conception des technologies.

- Le premier pilier de politique duale concerne la convergence des caractéristiques de performance (à l'extrême : rendre communes certaines caractéristiques). Une telle action détermine des opportunités d'économies de variété, d'échelle et les externalités. Derrière cette idée, on retrouve celle d'aligner les normes, de rapprocher les processus de certification et de qualification ; nous envisageons la normalisation comme une véritable « force de dualisation » ;

- L'intégration, à l'autre extrême est envisagée lorsque les produits sont relativement disjoints. On peut alors toujours essayer d'avoir en commun les procédés techniques et la R&D (les économies de variété sont encore possibles). Les actions-clés vont se dérouler au sein des firmes et au sein du système de recherche :

Au niveau des firmes, il va s'agir de créer des étapes communes dans les processus de fabrication, ou de réduire les coûts de la variété (promouvoir des dispositifs de reconfiguration rapide des systèmes, développer les systèmes manufacturiers flexibles);

Au sein du système de recherche, cela va correspondre à développer des structures de collaboration dans la recherche de base et la R&D. Constatons à ce titre l'incompatibilité entre la logique d'innovation rigide et centralisée des militaires et l'évolution actuelle du SNI français vers une structure privilégiant le foisonnement des initiatives décentralisées au sein des réseaux d'innovation civils.

- Les deux dernières structures concernent la transposition. Cette action consiste à utiliser des modules technologiques d'un produit civil ou militaire vers une application de l'autre secteur. Là, les actions ne prennent pas la même forme selon qu'on s'adresse du civil au militaire ou l'inverse et cette structure recouvre en fait deux piliers de politique duale.

Du civil vers le militaire ressort l'importance de préparer les systèmes militaires à l'insertion de composants civils en tenant compte des risques associés, des contraintes d'insertion et donc des processus d'acquisition.

Dans le sens inverse apparaissent des problèmes d'accès au marché commercial, d'où des propositions de sociétés de portage de technologie.

Force est de constater que les politiques américaines de l'administration Clinton (dites « politiques duales ») relèvent d'une forte cohérence sur les quatre structures d'actions que nous venons de définir. Elles ont conduit à la mise en œuvre deux types d'instruments : des réformes institutionnelles et réglementaires pour lever les obstacles à la rationalisation de la politique de recherche militaire et à sa coordination avec les politiques de soutien à la recherche civile ; des programmes d'incitations financières visant à encourager le développement de technologies répondant à la fois aux besoins de la Défense et à la demande du marché. Ces politiques ont ainsi permis aux Etats-Unis de tirer tous les fruits des politiques duales en termes de capacité d'innovation et de compétitivité.

3. Quels instruments de gestion pour la recherche de défense en France ?

Dans le cas français, il reste à structurer l'organisation d'une politique duale. En dernière analyse, nous définissons des modalités permettant d'affirmer le rôle d'acteur dual de la Délégation Générale pour l'Armement, au sens d'acteur central des réseaux de la dualité. Sa situation d'interface entre acteurs de la recherche et de l'innovation civile d'une part et Etats-Majors d'autre part la met en position naturelle d'animateur pour chacun des piliers de politique duale. Le succès de son repositionnement passe par son implication active dans chacun de ces piliers. Il apparaît que la transition induite par la réforme de 1997 et le recentrage sur les acquisitions facilite en partie cette évolution, tout en engendrant dans le même temps une carence fortement dommageable dans la recherche amont.

Depuis 1995, le contexte est en effet favorable au lancement d'initiatives dont certaines font écho aux piliers de politique duale que nous avons identifiés. À cet égard, la DGA est déjà engagée sur la « voie de la dualité ». Pour affirmer sa position d'acteur central, elle doit néanmoins compléter son action selon les axes de transposition du militaire vers le civil et développer les collaborations avec les acteurs de la recherche en France. Notons également que pour assurer le succès de cette entreprise, il est indispensable pour la DGA de procéder à un exercice de capitalisation des connaissances afin de renforcer ses compétences internes et de faciliter son insertion dans les réseaux de recherche et d'innovation civils. Cette étape s'entend au sens d'un bilan de la mémoire organisationnelle et de la mise en place d'une procédure de gestion dynamique de son capital de connaissance. La récente mise en place de systèmes d'informations fournit des supports types potentiellement aptes à soutenir l'infrastructure d'un tel projet.

Le succès de la DGA dans l'affirmation de son rôle d'acteur dual repose en outre sur le maintien et l'entretien de ses compétences scientifiques et techniques. Ces conditions sont fondamentales à deux titres : à la fois dans l'exercice de ses compétences d'acheteur intelligent (y compris les prestations de spécification des matériels) et dans celles relatives à l'activité de prospective. Il s'agit en effet de conserver une position forte dans la relation d'agence avec les partenaires exécutant les travaux de recherche, c'est-à-dire permettant à la fois de minimiser les asymétries d'informations (ce qui implique un entretien de la capacité d'absorption) et de garantir une marge de proposition interne (ne pas privilégier exclusivement l'exploitation à l'exploration, ce qui conduirait à une dépendance totale envers le secteur civil). Or, les nouvelles orientations impulsées à la Délégation ont eu pour conséquence une diminution de 50 % des investissements dans les études amont (dépenses d'investissement) entre 1990 et 2000. Ainsi, l'implication de la DGA dans les réseaux de la dualité passe nécessairement par une préservation de sa capacité d'innovation amont (par exemple permettre l'affirmation d'un positionnement dans la recherche amont sans pour autant que les études répondent à un besoin de Défense identifié). La réalisation d'un tel projet passe par la redéfinition des agrégats budgétaires et une redistribution des crédits en faveur de moins de Développement (« D ») et plus de Recherche (« R ») et de Technologie (« T »).

L'évaluation de la procédure de gestion des études amont à laquelle nous avons procédé (Foray et Guichard, 2001) confirme un renforcement de la formalisation et du contrôle des études, ce qui joue dans le sens d'une amélioration des compétences en matière d'achats, mais également que la procédure permet de dégager une vision prospective à l'échelle de la Délégation. Néanmoins, cette évaluation atteste du poids prédominant donné à l'aval, ce qui exhorte à l'impératif « retour de balancier » vers plus de recherche amont.

Conclusion

Cette recherche est une contribution à la conception de cadre d'analyse et d'outils permettant l'essor de la dualité au sein du système d'innovation français. Les instruments que nous développons, même s'ils ne sont utilisés que comme un cadre commode de discussion et de préparation éventuelle des décisions, concourent à affirmer à quel point une intégration proactive des réseaux d'innovation civils et militaires pourrait permettre de dégager de l'efficacité pour le système français dans son ensemble.

Ces questions prennent un sens d'autant plus fort dans le contexte actuel, puisque nous pouvons sans risque affirmer que les événements qui ont bouleversé l'environnement international l'année dernière ont profondément modifié les calculs relatifs à la sécurité aux Etats-Unis et en Europe. Deux conséquences majeures en découlent.

D'une part, la coordination entre les institutions des pays deviendra d'autant plus nécessaire que la sécurité n'est pas de la responsabilité d'une institution particulière mais qu'elle repose sur une cohérence globale de l'action publique (Mérindol et Bellais, 2002).

D'autre part, les événements du 11 septembre ont montré l'émergence de nouvelles menaces, motivant un regain des investissements des Etats-Unis dans leur Défense (hausse de 15 % des dépenses militaires en 2003, avec l'objectif d'atteindre un budget de plus de 400 milliards de dollars d'ici 2007⁶), y compris de manière significative dans leur R&D de Défense (elle représente 10 à 15 % de cette somme). Les autres grands pays ont amorcé une évolution similaire, mais elle ne se traduit pas encore par une augmentation aussi significative des budgets. En France, un effort financier accru est néanmoins consenti en matière de Recherche et Technologie (R&T) de Défense. On peut en effet lire dans le projet de loi de programmation militaire 2003-2008 que l'effort de R&T sera engagé en veillant à « l'accroissement de la coopération européenne en matière de préparation de l'avenir et de R&T et au développement d'une dualité mutuellement bénéfique avec le secteur civil ».

La question de l'Europe de la Défense comme de l'Europe de l'Armement reste néanmoins ouverte. Compte tenu de la définition de la dualité et des différents types d'actions que nous proposons, il est clair que l'espace européen est l'espace économique pertinent comme renforcement de la dualité ou bien comme substitut lorsque celle-ci n'est pas réalisée. Pour autant, l'action dans ce secteur s'est jusqu'à présent limitée aux restructurations industrielles sans intervention d'aucune interface gouvernementale européenne, contrairement aux Etats-Unis où J. Gansler avait pu initier le mouvement symétrique au cours du « last supper », dès 1993.

La volonté politique semble manquer au niveau européen. Plusieurs modèles d'organisation semblent pourtant pouvoir répondre à la problématique de la dualité en Europe. Certains industriels proposent en effet de constituer une agence européenne de R&D duale calquée sur le modèle de la DARPA américaine, qui regrouperait dans un premier temps les pays de la *Letter Of Intent*. On peut également, dans le contexte actuel, envisager qu'une telle structure soit en charge des affaires de « défense et sécurité », ce qui faciliterait encore l'ouverture vers des problématiques duales.

On comprend bien là que nous entrons dans une ère d'élargissement des problématiques de recherche et d'innovation de défense, à la fois thématique (dualité) et géographique (dimension européenne). Les évolutions des Systèmes Nationaux d'Innovation vers la dualité sont cruciales puisqu'elles conditionnent l'efficacité des dépenses de R&D de Défense. La mise en place de politiques duales, comme l'émergence d'une échelle européenne contribuent à déterminer en

⁶ *L'industrie de la défense dopée par Bush*, Le Figaro Economie, 19 juillet 2002.

effet l'évolution de l'écart technologique vis-à-vis des Etats-Unis et par voie de conséquence le niveau de dépendance des pays européens en termes d'innovation.

Bibliographie

ALIC, J., BRANSCOMB, L., BROOKS, H., CARTER, A. et EPSTEIN, G., *Beyond Spinoff: Military and Commercial Technologies in a Changing World*, Boston: Harvard Business School Press, 1992, 400 p.

BACH, L., COHENDET, P., LAMBERT, G., LEDOUX, M., *Problématique d'évaluation des effets induits d'un grand programme de R&D : Une application au programme spatial européen*, in De BANDT, J. et FORAY, D., 1991, pp 231-262.

COWAN, R. et FORAY, D., *Quandaries in the economics of dual technologies and spillovers from military to civilian research and development*, *Research Policy*, 1995, 24, pp 851-868.

DAVID, P., *Knowledge, property and the system dynamics of technological change*, *Proceedings of the World Bank Annual Conference on Development Economics 1992*, World Bank, Washington D. C., 1993, 34 p.

ERGAS, H., *A future mission for mission-oriented industrial policies ? A critical review of developments in Europe*, Paris: OCDE, 1992, 18 p.

FELDMAN, M., *the role of DOD in building biotech expertise*, Report to the National Academy of Sciences, 1999, 27 p.

FORAY, D., *Recherche et technologies militaires: la remise en cause d'un modèle ?*, *Revue d'Economie Industrielle*, 1990, N°53, pp 99-114.

FORAY, D., *On the French system of innovation: Between institutional inertia and rapid changes*, A paper prepared for 4S/EASST Conference 2000, 27-30 Septembre, Vienne, Autriche, 2000, 15 p.

FORAY, D., GUICHARD, R., *Le PEA : Nouvel outil de politique technologique et de gestion de l'innovation de défense dans un environnement turbulent*, Working Paper IMRI, WP 2001/04, Paris : Université Paris Dauphine, 2001, 41 p.

GUICHARD, R., *La gestion de la dualité sous l'administration Clinton*, Working Paper IMRI, WP 2000/06, Paris : Université Paris Dauphine, 2000, 46 p.

HARTLEY, K. et SINGELTON, J., *Defense R&D and crowding out*, *Science and Public Policy*, 1990, Vol. 17, n°3, pp 152-156.

MERINDOL, V. ET BELLAIS, R., *Défense et innovation, nouvelles formes de financement et d'organisation*, Actes des deuxièmes rencontres "Sciences sociales et défense", Les Champs de Mars, premier Semestre 2002, pp 243-257.

METCALFE, S. et SAVIOTTI, P., *A theoretical approach to the construction of technology output indicators*, *Research Policy*, 1984, Vol. 13, Issue 3, pp 141-151.

MOD, *The Acquisition Handbook, A Guide to Smart Procurement*, 2^{ème} Edition, Londres : Ministry of Defence, 1999, 41 p.

MOLAS-GALLART, J., Measuring defense R&D: a note on problems and shortcomings, *Scientometrics*, 1999, Vol. 45, No 1, pp 3-16.

MOLAS-GALLART, J., et SINCLAIR, T., From technology generation to technology transfer: The concept and reality of the "Dual -Use" Technology Centres, *Technovation*, 1999, 19, pp 661-671.

MOWERY, D. et ROSENBERG, N., *Technology and the pursuit of economic growth*, New York : Cambridge University Press, 1989, 330 p.

NELSON, R., *National innovation systems: a comparative analysis*, New York : Oxford University Press, 1993, 541 p.

OCDE, *Etudes économiques de l'OCDE 1998-1999 : France*, Paris: OCDE, 1999, 181 p.

OED, *Recherche, innovation et croissance : le cas de la R&D militaire*, Etude pour le compte de l'Observatoire Economique de la défense, 2000, 6 p.

SALOMON, J.-J., La capacité d'innovation, in LEVY-BOYER, M. et CASANOVA, J.-C., *Entre l'Etat et le marché: l'économie française des années 1880 à nos jours*, Paris: Gallimard, 1991, pp 15-58.

Annexe : Exemple de décomposition de technologie d'après le modèle de Metcalfe et Saviotti (1984)

Pour décrire le « produit technologique » que constitue la technologie micro-électronique silicium sous forme de vecteurs, nous pouvons proposer les caractéristiques suivantes :

Tableau 1. Quelques éléments de décomposition de la micro-électronique silicium

Caractéristiques de procédés	Caractéristiques techniques	Caractéristiques de service
Z ₁ . Lithographie	Y ₁ . Diamètre de la plaque	X ₁ . Encombrement
Z ₂ . R&D sur les composants chimiques	Y ₂ . Largeur de trait du transistor	X ₂ . Puissance de calcul
Z ₃ . Chaîne de production flexible	Y ₃ . Tension de seuil	X ₃ . Vitesse de calcul

Ce tableau se lit de la manière suivante : certaines applications de la microélectronique silicium nécessitent une puissance de calcul élevée. Cette performance peut être atteinte pour une forte densité de transistors. On peut donc influencer sur la largeur de trait des transistors, ce qui fait appel aux technologies de lithographie. On peut aussi jouer sur le diamètre du wafer, ce qui nécessite une maîtrise des composants chimiques de ce matériau.

Les auteurs proposent également un système de pondération des caractéristiques selon l'importance que l'organisation qui produit le bien leur attribue. Dans l'exemple du tableau 1, si le diamètre de la plaque est une donnée exogène, l'entreprise produisant les semi-conducteurs ne valorisera pas la recherche sur les composants chimiques (faible pondération). Par contre, on peut s'attendre à ce qu'elle soit fortement concernée par la largeur de trait des transistors et par voie de conséquence qu'elle s'intéresse aux procédés de lithographie (ces deux caractéristiques étant alors fortement pondérées).

Cet exemple nous permet de préciser un point majeur : ce modèle, malgré l'apparence linéaire qui peut s'en dégager, n'est pas associé au modèle linéaire de l'innovation. Le sens des flèches n'est figé de la gauche vers la droite que pour des raisons de lisibilité des figures. Des boucles de rétroaction sont ainsi envisageables (ici par exemple des caractéristiques techniques vers les caractéristiques de procédé) au même titre que certains chemins d'actions peuvent ne relier que deux vecteurs entre eux.