

L'ARMEMENT

Revue de la Délégation Générale pour l'Armement

Recherche civile

Recherche de défense

DISTRIBUTION STATEMENT A:
Approved for Public Release
Distribution Unlimited

~~NOT FOR PUBLICATION~~ COPY

20041112 040

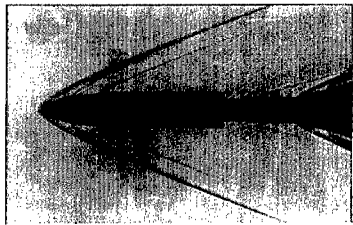
Revue trimestrielle - Décembre 2001



RSTD
REVUE
SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE
DE LA DÉFENSE

La recherche au LRT

NUMÉRO 39 1998 - 1



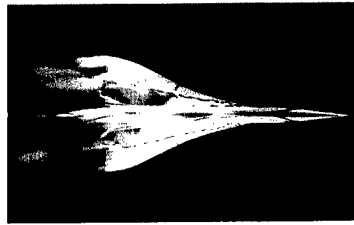
DGA



RSTD
REVUE
SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE
DE LA DÉFENSE

La recherche aéronautique
et
les progrès de l'aviation

NUMÉRO 40 1998 - 2



DGA



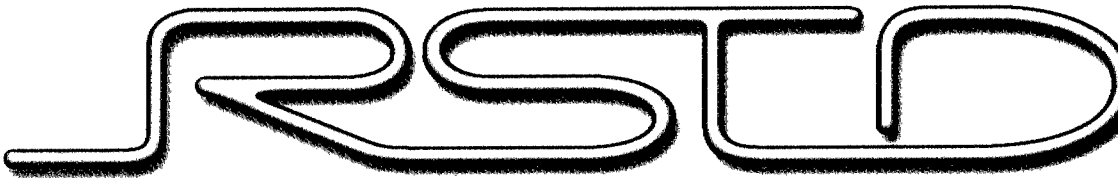
RSTD
REVUE
SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE
DE LA DÉFENSE

La recherche
et l'armement

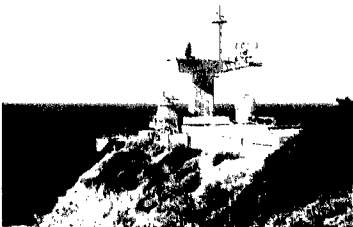
NUMÉRO 41 1998 - 3



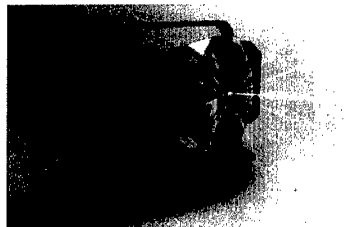
DGA



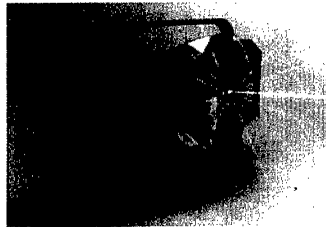
Revue Scientifique et Technique de la Défense



DGA



DGA



DGA

RSTD
REVUE
SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE
DE LA DÉFENSE

La robotique mobile

Seconde partie

NUMÉRO 48 2000 - 2



RSTD
REVUE
SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE
DE LA DÉFENSE

La robotique mobile

Première partie

NUMÉRO 49 2000 - 3



RSTD
REVUE
SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE
DE LA DÉFENSE

La robotique mobile

Seconde partie

NUMÉRO 50 2000 - 4



RSTD - Publication de l'Armement - CHEAr/DPA
26 boulevard Victor - 00457 Armées
tel : 01 45 52 72 28 - e-mail : maquette_pubarm@cedocar.fr

- La revue *L'ARMEMENT* publie :
- des études à caractère technique, industriel, économique, stratégique,
 - des réflexions sur les problèmes européens, internationaux,
 - des informations sur les activités de la Délégation générale pour l'Armement et des industries d'armement.

Adresse

CHEAr / DPAr

5 bis, Avenue de la Porte de Sèvres - 75015 Paris

☎ : 01.45.52.72.22 - Fax : 01.45.52.72.35

Adresse postale : 26, Boulevard Victor - 00457 Armées

e-mail : pubarm@cedocar.fr

ABONNEMENT : 4 numéros par an

France : 39 € TTC (255,82 F) - Etranger : 44 € TTC (288,62 F)

Le numéro : 11 € (72,16 F)

Règlement par chèque à l'ordre du :

"Régisseur d'avances et de recettes de la DICOD"

Adresser à : ECPA D

Département gestion des Productions

2 à 8 route du Fort

94205 Ivry-sur-Seine Cedex

Tél. : 01 49 60 52 44 - Fax : 01 49 60 58 92

DISTRIBUTION STATEMENT A
Approved for Public Release
Distribution Unlimited

BEST AVAILABLE COPY

L'ARMEMENT

Recherche civile
Recherche de défense

REDACTION

CHEAr / DPAr - 5 bis, Avenue de la Porte de Sèvres
75015 Paris - 01.45.52.72.22 - Fax : 01.45.52.72.35
Adresse postale : 26, Boulevard Victor - 00457 Armées

COMITÉ DE RÉDACTION

Président : ICA Michel BOUTHER
Rédacteur en chef : IGA (2^{es}) Patrice DESVERGNES

Membres de droit :

ICA Christophe DUMAS
Monsieur Bruno ROY (DGA/COMM)

Membres désignés :

ICA Jean-Claude BOUSSIRON
OPCTAA Jean BURNICHON
APAC Luc CAMBONNET
ICA Jean-Marc CHIMOT
Colonel Patrick COLAS DES FRANCS
IA Thomas COURBE
IPA François DECOURT
ICA Xavier FAIRBANK
Madame Catherine FARGEON
IETA Stéphane HAUTIER
Madame Nicole LACUBE
Mademoiselle Claire LEMERCIER
Madame Andrée MARTIN-PANNETIER
IPA Laurent MOLARD
Colonel Bertrand RACT-MADOUX

DIRECTION-REDACTION

Rédacteur en chef : IGA Patrice DESVERGNES
Secrétaire général : Arlette JOUVE
Rédacteur en chef-adjoint : Claude ESMEIN
Rédacteurs : Ilie CONSTANTIN - Aurélie OUTRABADY
Conception - Réalisation : Fabien DULAC
Renseignements, Secrétariat : Anne-Marie MANTA - Tél. 01.45.52.72.22

Les auteurs et abonnés peuvent correspondre directement
avec le Président du Comité de rédaction.
Copyright - La reproduction même partielle des articles et illustrations est
strictement interdite sauf accord préalable de la Rédaction.
Les articles signés n'engagent que la responsabilité des auteurs.

EDITION

DICOD

(Délégation à l'Information et à la Communication de la Défense)
BP 33 - 00450 ARMÉES

Directeur de la publication :
IGA Claude LIEVENS (Directeur du CHEAr)

Abonnements et Publicité:

Catherine Leblanc-Regnier
ECPA D
Tél. 01 49 60 58 56
Fax : 01 49 60 52 40

Photogravure-Impression : Imprimerie Service (S.A.)
2, rue Monge - BP 224
15002 Aurillac Cedex

Commission Paritaire : en cours

ISSN : 0243-6019

Dépôt légal : A parution

N° 76 Décembre 2001

RECHERCHE CIVILE - RECHERCHE DE DEFENSE

4) Editorial - Foreword

par Y. Gleizes, délégué général pour l'armement

8) Recherche en amont : des développements dans le secteur de la défense et de l'aéronautique

par M. Lignières-Cassou, députée des Pyrénées-Atlantiques

19) Une dualité nécessaire

par F. Gutmann

27) La politique de soutien à l'innovation du ministère de la Recherche

par A. Costes

28) Recherches publiques civile et de défense

par le professeur J.-J. Gagnepain

39) L'effort du ministère de la Défense en matière de recherche et de technologie

par l'IGA J.-Y. Leloup

39) Les capacités technologiques

par l'IGA L. Gouédard

42) La dualité : ses fluctuations et son nouveau souffle

par l'IGA A. Quenzer

Applications

48) Les matériaux structuraux : un enjeu scientifique et technologique majeur

par A. Percheron-Guégan, J.-F. Baumard, M. Mussino, Th. Puig et J.-P. Grellier

54) La modélisation numérique dans la définition de nouvelles protections individuelles antibalistiques

- enjeux, intérêts et limites -

par le médecin en chef J.-C. Sarron

SOMMAIRE

RECHERCHE CIVILE – RECHERCHE DE DEFENSE

RECHERCHE CIVILE – RECHERCHE DE DEFENSE

62) Recherche et développement en météorologie à finalité militaire

par N. Beriot et A. de la Lance

69) Technologies de l'information : quelle stratégie pour la défense ?

par l'IPA A. de Maricourt et D. Lenoble

75) Le Centre technique d'Arcueil et la recherche de défense

par l'ICA D. Luzeaux et Th. Thomas

83) Similitudes et particularités de la recherche civile et de défense dans le domaine des communications acoustiques sous-marines

par l'IETA G. Lapierre

93) CHEFREN : un outil de réduction des risques pour les missiles de demain

par l'IA D. Colliquet

Environnement

100) Les PME : un vivier pour la DGA

par l'ICA P. Cunin

109) La préparation du 6^e programme-cadre de recherche et développement de l'Union européenne

par M. Le Vaillant

113) Dualité de la recherche aéronautique : mythe ou réalité ?

par H. Moraillon

119) L'ONERA : un acteur et un intégrateur de la recherche duale

par l'ICA A. Lafon

PMI de haute technologie, un débat prématurément clos

par F. Contegreil

Managing synergy between civil and defence research in the United Kingdom La gestion de la synergie entre recherche civile et de défense au Royaume-Uni

par David Roberts

Technologies duales et défense, entre politique et management

par J.-F. Daguzan

Humeurs

149) Le sens des mots

par Doubinine

Histoire de l'armement

150) L'honneur perdu d'Eugène Turpin

par G. Galvez-Behar

155) De la DRME à la DRET

par l'IGA (2S) J. Carpentier

161) Bibliographie

Couverture F. DULAC

AQ F05-01-0057

Editorial

par Yves Gleizes - Délégué général pour l'armement

Les travaux de recherche jouent un rôle essentiel dans la préparation de notre futur système de défense. Ils doivent en effet permettre d'opérer des choix pertinents, notamment en matière d'équipements et de technologies, pour préserver sur le long terme l'efficacité de nos systèmes d'armes, et plus globalement la cohérence de notre système de défense. Ils doivent également mettre l'industrie en position de pouvoir développer les équipements de défense performants et compétitifs qui s'avèrent nécessaires, grâce à la maîtrise des technologies qui en sont à la base.

La recherche à des fins de défense a longtemps constitué un moteur des avancées scientifiques et techniques. Elle a accéléré le développement de pans entiers de technologies, dans les domaines de l'aéronautique, de l'espace, de l'électronique, de l'informatique et des télécommunications.

Au début des années 1990, la fin de la guerre froide a conduit la France comme les autres pays occidentaux à réduire fortement son budget de défense afin de tirer les dividendes de la paix. La tentation était forte de faire porter l'effort de réduction budgétaire sur la recherche et la technologie, afin de préserver les grands programmes d'armement. Dans le même temps, il était de bon ton de considérer, compte tenu de l'étroitesse du marché et de la durée de vie des équipements militaires, que la défense n'était plus à même de jouer un rôle majeur d'impulsion pour le développement – qui s'accélérait – des technologies électroniques, désormais devenue la principale source de croissance économique. Le modèle à l'américaine d'un financement massif de la recherche et technologie à des fins de défense pour irriguer par la suite les secteurs civils apparaissait désormais moins performant pour un pays comme le nôtre que la démarche suivie par des pays comme l'Allemagne et le Japon, alors au faite de leur réussite économique et industrielle. Ces pays finançaient en effet en priorité la recherche et technologie à des fins civiles, laissant le ministère de la Défense exploiter les avancées technologiques ainsi réalisées. Le Livre Blanc de 1994 a entériné l'adoption de cette nouvelle stratégie, qu'illustre en particulier l'instauration d'une contribution du ministère de la Défense au budget civil de recherche et développement (BCRD).

Dans ce nouveau contexte, le ministère de la Défense a profondément réformé sa politique de recherche, caractérisée jusque-là par un fort soutien financier à la recherche de base sur un spectre très large.

Tout d'abord, en vue d'optimiser l'emploi de crédits plus limités, les travaux de recherche ont été résolument recentrés sur la satisfaction de besoins militaires, qu'ils soient liés à un programme ou à la maîtrise d'une technologie clé. Le ministère a mis en place pour ce faire le plan prospectif à trente ans, fruit du travail collégial des architectes de systèmes de force de la DGA et des officiers de cohérence opérationnelle de l'Etat-major des Armées et des Etats-majors d'armée. A partir d'analyses prospectives sur l'évolution de la menace, des formes de combat et des technologies, il identifie, pour chaque système de forces et pour les trente années à venir, les besoins futurs d'équipements et les technologies qu'il faudra maîtriser pour être en mesure de les développer. La DGA établit sur cette base un modèle technologique qui vient compléter le modèle d'armée en recensant les capacités technolo-

giques dont la France et l'Europe devront disposer en 2015. L'évaluation des coûts d'acquisition des capacités technologiques de ce modèle a permis d'éclairer les choix budgétaires et a conduit à inscrire dans le projet de loi de programmation militaire 2003-2008 une augmentation de 10 % en moyenne du budget consacré aux études amont. Ce modèle est également indispensable pour développer la concertation avec nos partenaires européens en vue de renforcer la coopération en matière de recherche et technologie. Une coopération d'autant plus nécessaire qu'elle prépare les futurs programmes d'acquisition communs et qu'elle permet de coordonner le soutien financier des Etats aux sociétés transnationales de défense, aux activités d'ailleurs largement duales, issues de la consolidation industrielle européenne.

La DGA veille parallèlement à maintenir un effort de recherche de base, garant d'une bonne réactivité face à l'évolution accélérée des technologies. Cet effort représente le quart environ du budget des études amonts. Par ailleurs, la DGA finance directement des organismes de recherche effectuant des recherches de base, au CEA pour des travaux de recherche fondamentale et de nouveaux moyens d'expérimentation dans le domaine nucléaire, dans les organismes sous tutelle comme l'ONERA, l'Institut franco-allemand de Saint-Louis et le CNES, et enfin dans les laboratoires universitaires et les écoles d'ingénieurs relevant de sa tutelle. La DGA développe également des relations directes avec les laboratoires de recherche universitaire, en finançant notamment plus de 250 thèses en partenariat avec le CNRS.

Au-delà, et pour tirer le meilleur parti des progrès scientifiques et techniques, il convient de mieux faire jouer les synergies entre recherche civile et recherche à des fins de défense.

La DGA rétablit des liens plus étroits avec le ministère de la Recherche. Afin de structurer leur coopération, une convention a été signée le 29 janvier 2001. Elle vise à une meilleure harmonisation des programmes de recherche eux-mêmes, en termes de contenu, de résultats et d'évaluation. Elle définit également une structure d'échange permanente entre les responsables de domaines technologiques. A ce titre, des experts scientifiques de la DGA participeront aux réseaux de recherche et d'innovation technologique mis en place par le ministère de la Recherche afin de fédérer les équipes du secteur public, des PME-PMI et des grands industriels dans la préparation du moyen et long terme.

Il faut également mieux exploiter le réservoir d'innovation technologique et la source de réactivité que constituent les PME-PMI. Le plan d'actions en faveur des PME-PMI que la DGA vient de proposer au ministre de la Défense prévoit de renforcer le dispositif existant de soutien des projets technologiques innovants issus de PME-PMI et susceptibles d'intéresser la défense.

Enfin, la recherche des synergies entre recherche de défense et recherche civile doit s'envisager également au niveau européen. La préparation du 6^{ème} PCRD est l'occasion de faire prendre en compte les priorités de la défense en matière de technologies duales dans la définition des axes de recherche du programme-cadre. La DGA compte également, sur la base de son modèle de capacités technologiques, venir alimenter la conférence que la France souhaite voir organiser au plus haut niveau sur les problématiques de recherche et technologie dans les domaines stratégiques essentiels à l'Union européenne.

Ainsi, les acteurs civils et militaires de la recherche, en combinant leurs efforts, peuvent nourrir l'ambition – si les budgets sont au rendez-vous – de faire de l'Europe le continent de l'innovation technologique.

Foreword

by Yves Gleizes - Délégué général pour l'armement

Research plays an essential role in the preparation of our future defence system. It must give us viable options, especially concerning equipment and technologies, to ensure that our weapon systems retain their effectiveness over the long term, and more generally that our defence System remains coherent. It must also place industry in a position to be able to develop the advanced and competitive defence equipment that is required, by mastering the technologies on which they are based.

Research for defence purposes has long been a driving force for scientific and technical progress. It has accelerated the development of entire technology fields in aeronautics, space, electronics, IT and telecommunications.

At the beginning of the 1990s, the end of the cold war led France and other western nations to make drastic reductions in defence budgets with a view to benefiting from the "peace dividend". There was a great temptation to impose the greater burden of these budgetary reductions on research and technology, to preserve the major defence programmes. At the same time it was widely held that, as it was a narrow market and defence equipment had a long life-cycle, defence would no longer play a leading role in the accelerating development of electronic technologies, which were becoming the principal source of economic growth. The US-style model of massive defence-related research and technology funding, with later spin-off into the civilian sector, now seemed less advantageous for a nation such as ours than the approach adopted by countries such as Germany and Japan, which were then at the peak of their economic and industrial success. These nations were giving funding priority to research and technology for civil purposes, leaving the ministry of defence to exploit the advanced technologies thus produced. The 1994 White Paper ratified the adoption of this new strategy, an example of which was the inauguration of a ministry of defence contribution to the civil research and development budget ("BCRD").

In this new context, the ministry of defence made major changes to its research policy, which up to then had been characterised by high levels of financial support for basic research across a broad spectrum.

Initially, with a view to optimising the use of more limited funds, research was firmly targeted at meeting defence requirements, whether linked to a programme or to the mastery of a key technology. To achieve this the ministry introduced a thirty-year trend analysis plan, the fruit of combined study by force system architects in the DGA and the operational consistency officers within the Service or Joint Staffs. Using analyses of possible trends in the threat, this identifies (for each force system over the next thirty years) future equipment requirements and the technologies that will be required if they are to be developed. On this basis the DGA prepared a technology model, which complements the armed forces model by listing the technological capabilities that France and Europe should possess by the year 2015. An assessment of the costs of achieving the technological capabilities in this model clarified the budgetary options and resulted in the inclusion of an average rise of 10% in the advanced

research budget in the 2003-2008 defence programming law. This model is also vital for developing the dialogue with our European partners with a view to increasing research and technology cooperation. Such cooperation is all the more important as it paves the way for future joint defence procurement programmes; it also facilitates coordination of the financial support given by States to the trans-national defence companies that have emerged from the consolidation of European industry, whose activities are for the most part dual in nature.

In parallel, the DGA ensures that basic research receives continued funding so that we can react appropriately to the ever-increasing pace of technological advance. This investment represents about one quarter of the advanced research budget. The DGA also directly funds research organisations involved in basic research, at the CEA for primary research and new experimental means in the nuclear field, within organisations under its control such as ONERA, the St Louis Franco-German Institute and the CNES, and finally within university laboratories and the engineer colleges for which it has responsibility. The DGA is also developing relations with university research laboratories, mainly through the direct funding of more than 250 theses in partnership with the CNRS.

Beyond this, if we are to make the most of scientific and technological progress, better use must be made of the synergies between research in the civil field and that aimed at meeting defence requirements.

The DGA is building closer links with the Ministry for Research. A convention was signed on 29 January 2001 with a view to giving structure to this cooperation. This aims to improve harmonisation between research programmes themselves, in terms of content, results and evaluation. It also introduces a formal exchange framework between technology field managers. Under this, the DGA's scientific specialists will participate in research and technical innovation networks set up by the Ministry for Research to bring together public sector teams, SME/SMI and major companies in making preparations for the medium and long term.

We must also make better use of the reservoir of technological innovation and ability to react quickly that SME/SMI offer. The action plan for the benefit of SME/SMI that the DGA has recently proposed to the Minister of Defence makes provision for a reinforcement of current arrangements for the support of innovative technological projects emerging from SME/SMI that are likely to be of interest for defence purposes.

Finally, the search for synergies between defence and civilian research must also be viewed from a European perspective. Preparation for the 6th PCRD is an opportunity to ensure that defence priorities for dual technologies are taken into account when defining research priorities for the framework programme. On the basis of its technological capabilities model, the DGA also aims to feed the work of the conference where France wishes to see the problems of research and technology addressed at the highest level in those strategic fields that are essential to the European Union.

By combining their efforts, those involved in both the civil and defence research fields will thus be able to nurture the ambition of making Europe the continent of technical innovation, provided the necessary funding is made available.

Recherche en amont : des développements dans le secteur de la défense et de l'aéronautique

par Martine LIGNIÈRES-CASSOU, Députée des Pyrénées-Atlantiques
Secrétaire de la Commission de la défense et des forces armées de l'Assemblée nationale

On 25 January 2001 the defence committee of the National Assembly tasked Madame Lignières-Cassou with writing a report on advanced research in the defence and aerospace sectors. On the one hand one notes a significant reduction in public financial support while the sharing out of State funding between the groups and SME/SMI is unbalanced, and penalises small companies. Funding for advanced research has reduced by 50% over ten years, with 30% occurring in the last five budgetary exercises. It is vital to increase exchanges between civil and military research, to organise joint funding and to operate joint programmes.

La Commission de la défense de l'Assemblée nationale a décidé, l'an dernier, de me confier un rapport* d'information sur la recherche en amont dans le secteur de la défense et de l'aéronautique. D'une part, on constate une érosion très forte des dotations publiques, d'autre part, la répartition des crédits de l'Etat entre les groupes et les PME-PMI est déséquilibrée et pénalise les petites entreprises. Les crédits concernant les études amont ont diminué de 50 % sur dix ans, dont 30 % pour les seuls cinq derniers exercices budgétaires. Il est essentiel de renforcer les échanges entre la recherche civile ou militaire, d'organiser des cofinancements et de mener des programmes communs.

Des constats débouchant sur des questions

Les études amont ont pour objet de permettre des choix pertinents en matière d'équi-

pements et de technologies dans la préparation du système de défense de l'avenir, pour préserver l'efficacité des systèmes d'armes, et plus globalement la cohérence du système de défense. Elles visent également à donner à l'industrie les moyens d'acquérir les technologies indispensables aux programmes futurs. J'ai été amenée à m'interroger sur plusieurs questions et à partir de plusieurs constats.

Tout d'abord, la caractéristique majeure des équipements modernes à finalité militaire réside dans le fait qu'il s'agit d'équipements de compétition conçus pour leurs performances et intégrant les technologies les plus récentes. La mise au point de ces nouveaux matériels requiert à la fois de longs délais et d'importants investissements financiers. La recherche de défense suppose donc non seulement des moyens puissants, mais aussi la pérennité des installations et surtout des équipes.

L'une des principales raisons des efforts de recherche repose sur un souci d'indépendance nationale. A l'heure où se développe

*Rapport parlementaire n° 2793 "La recherche et technologie de défense : une stratégie à redéfinir".

la coopération entre pays européens en matière de défense et où l'incorporation de technologies sophistiquées renchérit le coût des programmes de recherche, il est tentant de poser la double question de la place de la recherche de défense en France par rapport aux autres pays européens, à son internationalisation et donc aux choix stratégiques qui en découlent sur les compétences à conserver ou à partager.

Par ailleurs, la recherche de défense est concentrée dans un petit nombre de pays dans le monde, la restructuration des industries de défense concerne bien évidemment le secteur de la recherche dont les crédits et les effectifs ont été affectés par des diminutions rapides. La question principale est alors de savoir quelle est la politique de recherche de défense de la France. La baisse des crédits de recherche de défense est une préoccupation fondamentale de l'ensemble des partenaires. Cette inquiétude est vivement ressentie par le secteur industriel. Mais elle ne semble pas prise en compte par les états-majors en raison de la nature différente de leurs préoccupations.

Enfin, les réflexions préparatoires à la prochaine loi de programmation militaire pour les années 2003-2008 ne peuvent faire abstraction du thème technologique. Il paraît donc intéressant de vérifier l'articulation entre la révision du plan prospectif à 30 ans de la DGA en matière de recherche et l'effort annoncé pour la recherche de défense dans la programmation.

Erosion des dotations publiques, déséquilibre des crédits de l'Etat entre les groupes et les PME-PMI, faibles crédits consacrés à la R&T

Il existe tout d'abord un problème de définition de la partie dite "amont" de la recherche de défense. La définition actuelle est imprécise et peu cohérente, car elle n'est pas

partagée par l'ensemble des acteurs (DGA, industriels, états-majors, autres bailleurs civils de fonds...). Ces différences d'approche empêchent toute analyse du niveau et de l'évolution de l'effort de recherche dans le temps et ne permettent pas de comparaisons internationales pertinentes.

L'existence d'autres sources de financement civiles pour la recherche de défense pose également la question de la notion de dualité ou de concepts dits de *spin-in* ou de *spin-off*. L'échec de la procédure commune entre les ministères de la Défense et de la Recherche illustre d'ailleurs ce que j'appellerai la régression du principe de dualité dans les faits. *"Tout le monde l'évoque mais personne ne veut la financer"*.

La deuxième grande conclusion à laquelle je suis arrivée concerne l'inadaptation de l'effort actuel de recherche de défense. D'une part, on constate une érosion très forte des dotations publiques, d'autre part, l'allocation des ressources entre groupes et PME-PMI est inadéquate car elle pénalise les petites entreprises. Enfin, les domaines d'allocation des crédits de recherche ne sont pas tous pertinents.

En ce qui concerne le premier point, les diminutions du niveau des études amont en matière de défense ont été particulièrement sensibles au long des années 90. Dans le meilleur des cas, on peut parler, pour l'agrégat le plus étroit des études amont, d'une diminution de 50 % sur dix ans ou de 30 % pour les seuls cinq derniers exercices budgétaires.

Or, d'un montant somme toute peu élevé dans le budget de la défense (3,68 milliards de francs en LFI 2000), les études amont (qui correspondent à la recherche et technologie) ont un impact déterminant sur la maîtrise des coûts des équipements militaires, la limitation des risques technologiques dans la durée de vie d'un programme d'armement et la cohérence des systèmes de forces.

Les raisons objectives ne manquent pas pour justifier une telle évolution : réduction du

format des armées pris en compte par la loi de programmation militaire 1997-2002 et par la revue des programmes de 1997 ; appel à des technologies civiles ou à des technologies duales ; resserrement des secteurs technologiques considérés comme utiles pour notre pays, constitution de groupes industriels européens qui évite les duplications...

Or, on constate qu'aucune de ces raisons ne résiste à une analyse poussée, que j'ai effectuée dans mon rapport écrit. A titre d'exemple, parallèlement à la diminution des crédits militaires, on assiste à un tassement des dotations civiles et à la réduction de l'autofinancement de la R&D chez les industriels.

De même, l'effet attendu des restructurations industrielles ne doit avoir aucune conséquence sur les engagements en matière de recherche, sous peine de ne pas donner toute leur chance à ces nouvelles entités face à leurs concurrents nord-américains. C'est un leurre de croire que le développement des coopérations en matière de recherche permettra de se décharger de l'effort financier de recherche sur ses partenaires. La multiplicité des instruments européens, dans le cadre de l'Union européenne ou en dehors, est un élément également trompeur : loin d'être efficace, il donne souvent l'impression que d'autres structures prennent le relais des politiques nationales alors que le financement de la recherche reste, avant tout, originaire de chaque Etat.

En ce qui concerne le second point, relatif à l'insuffisance de l'orientation des crédits vers les PME, l'évolution de la politique de la DGA est sans doute positive et les nouvelles procédures liées aux appels à projet ou aux propositions non sollicitées sont de nature à remédier aux inconvénients de la situation actuelle. Mais force est de constater que l'objectif consistant à consacrer au moins 10 % des crédits d'études amont aux PME est loin d'être atteint.

L'analyse des procédures et des mécanismes encadrant l'accès et la régulation des études

amont révèle à la fois la complexité et la multiplicité des systèmes. La DGA a entrepris depuis 1997 une réforme des études amont qui a suivi la suppression de la DRET au ministère de la Défense. Elle s'appuie sur la circulaire du 4 juillet 1997 qui a donné un rôle fondamental au Service de la recherche et des études amont de la DGA, le SREA. Mais cette réforme n'a pas donné tous les résultats escomptés. Certes, des progrès ont été enregistrés à court terme pour une meilleure définition de la politique de recherche, un meilleur suivi des programmes et une évaluation plus précise. Mais la vision à long terme a disparu, la réforme reste mal perçue par le monde industriel et n'a pas permis de remettre en cause le défaut de synergie civilo-militaire. L'étude de deux organismes de recherche sous tutelle du ministère de la Défense, d'un côté l'ONERA, de l'autre l'Institut franco-allemand de recherches de Saint-Louis, a confirmé ce défaut de stratégie en matière de recherche.

S'il se maintenait, le trop faible niveau des crédits consacrés à la recherche et technologie ne permettrait plus à la France de détenir les capacités technologiques qu'elle estime indispensables à sa politique de défense dans le cadre d'une armée professionnelle pour laquelle les atouts technologiques sont prépondérants. Un raisonnement analogue au niveau européen explique que le fossé technologique entre Europe et Etats-Unis se creuse dans certains domaines, même s'il n'est pas général. Les secteurs où une rivalité est concevable entre l'Europe et les Etats-Unis restent fragiles et le décrochement de compétitivité peut être rapide, même là où des avancées étaient réelles.

Améliorer la situation de la recherche de défense

Plusieurs actions sont concevables pour améliorer la situation de la recherche de défense en général et des études amont en

particulier. Elles constituent autant de propositions.

L'amélioration du processus méthodologique devra permettre d'instituer un concept commun de RT&D qui distingue trois phases, les études ou recherches fondamentales R, les technologies T et les développements D et de traduire les nouveaux concepts en termes budgétaires. Il est ainsi nécessaire de présenter chaque année l'effort de recherche de défense en regroupant ce qui ressort des différents titres (III, V et VI), les subventions à des organismes publics et les transferts à d'autres structures à partir du budget du ministère de la Défense. Par ailleurs, il semble également nécessaire d'identifier dans les budgets des ministères civils (Industrie et Recherche) la part de recherche qui peut être considérée comme duale ou qui est affectée à des programmes développés en commun avec le ministère de la Défense. Cette première approche, qualitative, doit être complétée par des objectifs en termes quantitatifs.

La révision de l'effort de recherche et de technologie vise à accroître l'effort national de recherche amont de défense. Si les travaux préparatoires à la loi de programmation militaire, auxquels le Parlement n'est pas associé, semblent dégager un consensus en ce sens, le niveau d'augmentation fait encore l'objet de discussions. Il est vrai qu'un raisonnement identique ne peut pas être tenu pour l'ensemble des crédits affectés aux études amont et qu'il est nécessaire de différencier selon les destinataires de ces crédits. Si on fait référence au niveau de l'effort public en France, il y a encore dix ans, et à la situation des budgets de recherche de défense aux Etats-Unis et au Royaume-Uni, il est souhaitable que le volume des crédits de recherche amont (hors transferts et subventions) progresse d'au moins un tiers à court terme. Une telle progression de 33 % ne permettrait pas de rattraper le retard accumulé depuis cinq ans, mais autoriserait les études amont à retrouver le niveau atteint au milieu de la décennie 90.

Celle-ci pourrait être effective dès les premières annuités de la prochaine loi de programmation.

Ainsi, les dotations initiales pour les études amont au sens strict devraient croître de 3 à 4 milliards de francs dans les trois ou quatre prochaines années. L'ensemble des dotations en faveur de la R&T, y compris les subventions et les transferts (à leur niveau actuel) pourraient augmenter de près de 8 milliards de francs en 2000 à 10 milliards de francs au cours de la prochaine programmation.

En outre, l'inscription de crédits relevant du BCRD doit être réexaminée. Elle ne peut se justifier que si elle constitue un apport complémentaire du budget de la défense à la politique spatiale de la France et qu'elle ne conduit pas, par ailleurs, à une diminution du budget du CNES à due concurrence. Autrement dit, en l'absence de ces deux conditions, il faudrait renouveler l'interdiction de tels crédits, qui avait été prévue par la loi de programmation militaire 1997-2002, compte tenu certainement de la méfiance des parlementaires à l'égard de la politique du ministère de l'Economie et des Finances en la matière.

Pour faciliter l'accès à l'effort européen en matière de recherche, plusieurs actions en faveur des acteurs de la recherche et des bailleurs de fonds peuvent être menées. Il convient d'aider les entreprises françaises à obtenir des crédits européens selon les procédures en vigueur, de plaider pour que la part de crédits duaux soit au moins maintenue dans le prochain programme cadre PCRD à son niveau actuel (estimé à 25 %, soit environ 20 milliards de francs) et que l'axe en faveur de l'aéronautique et du spatial soit préservé, enfin convaincre les partenaires de la France de lancer des programmes ambitieux de R&T en s'affranchissant des règles qui bloquent les mécanismes (abandon du juste retour et non participation de tous les Etats).

La mise en œuvre d'une véritable politique de recherche amont doit remédier à la carence de l'analyse stratégique afin de replacer la recherche amont de défense dans une analyse sur le long terme. Plusieurs améliorations pourraient être apportées. Non seulement le ministère de la Défense doit revaloriser une démarche stratégique en la confiant à une (et une seule) de ses structures, mais une approche interministérielle qui dépasse les intérêts catégoriels des différentes structures publiques devra trouver sa place. Le Parlement doit également avoir une vision stratégique de ce qui se passe en France et en Europe : pour ces raisons, il serait souhaitable qu'il soit associé aux débats et aux réflexions en amont.

La définition d'une stratégie en matière de recherche de défense précède la définition des objectifs et des moyens qui lui sont accordés. Afin de renforcer la clarté de la détermination publique et aider notre pays dans ses négociations au niveau européen, il convient de fixer des objectifs quantitatifs pour les dotations publiques. Cette fixation d'objectifs chiffrés ou de moyens est indissociable de la définition d'un calendrier réaliste et cohérent pour atteindre ces objectifs. L'approche interministérielle suppose d'identifier des projets de recherche duale, d'organiser des cofinancements et de mener des programmes communs y compris avec une expertise scientifique et technique.

Un organisme interministériel pour la recherche de défense

Par ailleurs, je propose la création d'un organisme interministériel pour la recherche de défense. Cette instance aurait pour but de favoriser la coopération interministérielle en développant l'information réciproque et l'articulation au niveau le plus amont ; suivre l'ensemble des crédits de RT&D en matière de défense et d'aéronautique, promouvoir la recherche duale en organisant le cofinancement

des projets communs ; assurer la tutelle conjointe des organismes publics de recherche comme le CNES, l'ONERA ou l'Institut franco-allemand de Saint-Louis.

Placer cet organisme auprès du Premier ministre, et, pourquoi pas sous la tutelle du Secrétariat général de la Défense nationale, constitue une solution qui n'est sans doute pas exclusive d'autres hypothèses. En particulier, le rôle pourrait être confié à une structure du ministère de la Défense, comme le Conseil économique de la défense ou l'Observatoire économique de la défense afin d'utiliser les compétences de ces organismes et bénéficier d'utiles synergies.

En matière de contribution à une politique européenne de la recherche, le rôle du gouvernement français paraît déterminant pour engager un dialogue entre partenaires de l'Union européenne sur les technologies que l'Europe souhaite conserver, pour obtenir des pays de l'Union européenne, notamment de ceux qui ne sont pas des acteurs majeurs dans l'industrie de défense, qu'il est d'un intérêt commun que le secteur de la défense, en particulier celui de la recherche, ait accès aux crédits européens, enfin pour s'assurer de la cohérence des politiques de R&T chez les principaux acteurs européens et vérifier la cohérence des politiques de recherche avec le mouvement des restructurations industrielles. A cet égard, les progrès dans la mise en œuvre des décisions de la LoI sont essentiels.

L'OCCAR pourrait se voir confier ce rôle, à condition que soient maintenus ses principes fondateurs de flexibilité. Les organismes existants seraient alors susceptibles de s'y agréger.

Réformer les procédures et les structures

La réforme des procédures et des structures mériterait à elle seule une étude à part entière. Dans le cadre de ce rapport, il ne semble possible que de suggérer certaines pistes

comme la simplification des procédures nationales, le raccourcissement des délais et l'accélération des programmes d'études, voire l'aménagement des règles de la comptabilité publique en relation avec la spécificité du secteur ou des intervenants. Le recours aux technologies modernes d'information et de communication devrait être intégré dans les procédures. L'ouverture d'un portail DGA pourrait permettre d'informer les laboratoires et les entreprises des projets de recherche du ministère de la Défense, de récupérer leurs propositions (et à terme leurs résultats) et de faciliter l'ensemble des étapes administratives.

Dans le secteur de la recherche de défense, la place particulière qu'occupent les PMI-PME mérite qu'une attention particulière leur soit apportée, afin de renforcer le potentiel d'innovation de ces entreprises et éviter que des difficultés conjoncturelles ne conduisent à la raréfaction du tissu qu'elles constituent. Les mesures actuelles doivent être mainte-

nues et prolongées. En particulier, il est indispensable de prolonger les dispositifs mis en place par la DGA pour repérer les innovations technologiques (appels à projets et guichet des propositions non sollicitées), et de consacrer un minimum de crédits de recherche amont et de contrats aux PMI-PME indépendantes pour favoriser l'apparition d'innovations en dehors des groupes industriels.

Au niveau européen, un effort d'harmonisation s'impose. Il concerne la rationalisation des procédures actuelles et l'ouverture des crédits européens à la recherche duale et de défense. On pourrait recommander l'existence de deux structures, l'une dans le cadre des procédures de l'Union européenne, l'autre en dehors comme l'OCCAR avec une modularité plus importante. 

Une dualité nécessaire

par Francis GUTMANN, Ambassadeur de France - Président du Conseil scientifique de la Défense

One might suppose that research and development was no longer a major feature of defence policy, in the light of budgetary constraints and the increasing part played by the civil sector in R & D in some key fields (new IT systems, telecommunications, etc.). Nothing could be further from the truth. Of course it is not a question of doing whatever one likes, nor of yielding to a sort of technological overindulgence. But a nation's standing and its ability to be independent or autonomous across a wide range of fields, especially military, are increasingly linked to its technological capabilities. Defence will inevitably have a decisive role to play in safeguarding or achieving these capabilities. Not across the board, but at least in key sectors. Not using any available means, but as instigator, perhaps as the driving force, or again and increasingly in association with the civil sector.

Les contraintes budgétaires, mais aussi la part croissante prise en matière de recherche et développement par le secteur civil dans un certain nombre de domaines clés (NTIC, télécommunications, etc.) ont pu donner à penser un moment que la R&D n'était plus un aspect majeur de la politique de défense. Or, il en va tout autrement. Il ne s'agit pas, bien évidemment, de faire n'importe quoi ni de céder à quelque ivresse technologique. Mais la place d'un pays, son aptitude à être indépendant ou autonome dans toute une série de domaines et, en particulier, dans le domaine militaire, seront de plus en plus fonction de ses capacités technologiques. La défense aura nécessairement un rôle décisif à jouer dans la sauvegarde ou l'obtention de ces capacités. Pas partout, mais au moins dans des secteurs clés. Pas n'importe comment, mais comme initiateur, éventuellement comme moteur, ou encore et de plus en plus en association avec le secteur civil.

Une coopération nécessaire

La recherche et développement en général, et la recherche et développement pour la défense sont de plus en plus liés. Pendant longtemps, civil et militaire, sans s'ignorer, ne coopéraient guère, ou du moins le premier agissait surtout alors pour le service du second. Aujourd'hui, les évolutions technologiques et industrielles ont changé la situation, alors que les coûts à engager contraignent plus que jamais à éviter les doubles emplois.

C'est dans une coopération intelligemment conduite que chacun trouvera son avantage. Et s'il est une chose à craindre aujourd'hui, ce n'est pas que la recherche civile supplée la recherche de défense, à des fins exclusivement commerciales, mais bien plutôt que, cédant aux seuls impératifs d'une rentabilité à court terme, l'industrie par elle-même ne fasse plus suffisamment de recherche à long terme.

Coopération ne signifie pas fusion

Mais coopération ne signifie pas fusion. La défense conserve sa part spécifique. Il y a lieu d'abord pour elle d'identifier les capacités technologiques à conforter ou à acquérir pour que la France puisse continuer de

disposer des capacités opérationnelles qui lui seront nécessaires dans un contexte évolutif.

Toute procédure de préparation de l'avenir doit en effet, plus que jamais, être déterminée en priorité par le besoin à satisfaire. La prospective est donc appelée à occuper une place croissante. Il importe en particulier d'être continuellement attentif aux innovations scientifiques, susceptibles d'aboutir à terme à des ruptures technologiques pouvant constituer soit des opportunités soit des menaces. A noter que ces innovations peuvent non seulement concerner la mise au point de moyens de plus en plus sophistiqués, mais aussi conduire à l'accessibilité d'un plus grand nombre de pays à des équipements réservés jusqu'alors aux plus avancés. L'identification des capacités nécessaires passera de plus en plus par une combinaison du scientifique et du géopolitique. Prospective scientifique et prospective géopolitique seront à l'avenir toujours plus liées.

C'est notamment à partir de là que pourra être fait le choix des sujets à traiter et des axes à privilégier. Il n'est évidemment pas possible de tout rechercher. La multiplicité des risques, sans que l'on puisse prévoir à coup sûr lesquels se concrétiseront en menaces réelles, ajoute à la difficulté d'être sélectif. Le PP30 constitue pour cela un instrument essentiel.

Mais cette priorité à donner au besoin à satisfaire ne doit pas signifier la suppression de toute recherche amont au titre de la défense. Il peut y avoir des problèmes dont la solution n'intéressera que celle-ci, faute de perspectives de débouchés commerciaux suffisants. En outre, ici comme ailleurs, il serait vain d'opposer recherche fondamentale et recherche appliquée. Au reste, partout dans le monde, la recherche amont pour la défense est une contribution importante à la recherche en général.

Une défense davantage ouverte vers l'extérieur

Si des progrès ont été accomplis dans la période récente, d'autres demeurent à faire en matière d'ouverture vers l'extérieur. On mentionnera à cet égard un plus large recours aux milieux universitaires et à des laboratoires de recherche, une gestion des ressources humaines qui prépare davantage à des échanges entre secteur public et secteur privé, la possibilité de constituer des équipes mixtes travaillant sur des sujets choisis en commun, etc. C'est tout un état d'esprit nouveau qui doit s'instaurer.

Le civil aurait grand tort de négliger le militaire, ou de n'y voir qu'une source possible de financement à bon compte. Les exemples sont nombreux, on le sait, aux Etats-Unis notamment, où des développements considérables sont venus de recherches menées initialement pour la défense. Internet n'en est pas, et de loin, le seul exemple.

En même temps, seule une coopération accrue avec l'Université, certains laboratoires et l'industrie peut donner à la défense, dans la complexité accrue des choses, le savoir, le savoir-faire et plus généralement les moyens qui, s'ajoutant aux siens propres, lui permettront de faire face aux impératifs de la sécurité du pays et de son rôle international.

Abonder les moyens

L'ouverture vers l'extérieur ne saurait signifier que la défense ne nécessite pas de moyens, en particulier financiers, significatifs. C'est un défaut trop général dans notre pays de ne pas reconnaître à la recherche la place essentielle qui devrait être la sienne. C'est ainsi également que le budget de la recherche pour la défense est insuffisant. La prochaine Loi de programmation militaire risque de prévoir une augmentation qui, pour substantielle qu'elle soit, ne sera pas encore à la mesure de ce qu'il faudrait.

De toute façon, il faudrait aussi recourir à des formules de financement inédites en la matière. On rejoint là une forme supplémentaire de coopération nécessaire avec le secteur privé. Il faudra de plus en plus réfléchir à des formes nouvelles de financement : facilités fiscales, capital risque, fédération en réseau de sociétés à "amorçage", sociétés mixtes de projet (l'Etat assumant en outre les risques et dépenses strictement régaliens), etc. – comme l'Association des Anciens Auditeurs du CHEAr le rappelait encore récemment.

De manière générale, les entreprises sont incitées à innover compte tenu de l'évolution du marché, de la concurrence et de la pression sociale ; l'Etat, lui, doit le faire pour répondre aux besoins, changeants, de notre défense dans un monde en mouvement, aux impératifs d'opérations en coalition de plus en plus fréquentes, et aux exigences de notre indépendance. Les motivations peuvent donc être différentes. Les complémentarités n'en sont pas moins pour autant de plus en plus évidentes. ●

BILAN DE L'ACTIVITÉ DU CSD

Recréé le 18 juin 1998 avec un mandat élargi et une composition adaptée, le CSD a mené au cours de ces dernières années les études sur les thèmes suivants :

- opérations en coalition et interopérabilité ;
- recherche de défense ;
- maîtrise et utilisation de l'espace ;
- maîtrise de technologies de l'information et de la communication, et sécurité des systèmes d'information ;
- simulation au sein de la défense ;
- nouvelles technologies : nouvelles menaces et nouveaux moyens pour la défense ;
- méthodes et outils de prospective pour la défense ;
- nucléaire ;
- cryptologie ;

- usage et maîtrise de l'information ;
- système de systèmes ;
- vecteurs porteurs d'armes de destruction massive ;
- biologie et défense ;
- recherche de défense et innovation ;
- microsystèmes.

Le CSD a également examiné, dans le cadre de la préparation de la loi de programmation militaire, les hypothèses des différents systèmes de forces.

Ces travaux ont fait l'objet d'avis adressés au ministre de la Défense, qui préside en outre les séances plénières semestrielles. La mise en œuvre effective des recommandations du CSD fait l'objet d'un suivi.

La politique de soutien à l'innovation du ministère de la Recherche

par Alain COSTES, Directeur de la technologie - Ministère de la Recherche

The innovation support policy of the Ministry for Research has been developing for some years and has now reached a level that is appropriate for the economic and social challenges that face our nation. In this context, five priority actions of the technology directorate are listed below:

- Application and monitoring of the Law on Innovation and Research;
- Creation of innovative technology enterprises;
- Technology partnerships;
- Insertion of young graduates into economic life;
- European Community cooperation.

In respect of technology partnerships and more especially the national networks for research and technological innovation, some thoughts on prospects for cooperation with the Ministry of Defence are given at the end of the article, in a spirit of on-going and effective partnership between the two ministries.

Depuis plusieurs années, la politique de soutien à l'innovation du ministère de la Recherche s'est développée et a pris une ampleur à la hauteur des enjeux économiques et sociétaux pour notre pays. Dans ce cadre, sont présentées cinq actions prioritaires de la Direction de la technologie : application et suivi de la loi sur l'innovation et la recherche ; création d'entreprises de technologies innovantes ; partenariats technologiques ; insertion des jeunes diplômés dans la vie économique ; coopération européenne communautaire. Concernant les partenariats technologiques, et plus particulièrement les réseaux nationaux de recherche et d'innovation technologiques, quelques considérations sur les perspectives de coopération avec le ministère de la

Défense sont mentionnées en fin d'exposé, dans un esprit de partenariat continu et efficace entre les deux ministères.

La loi sur l'innovation et la recherche

Cette loi est parue au Journal officiel du 12 juillet 1999. Incitation à la mobilité et à la création d'entreprise par les personnels du secteur de la recherche, développement des collaborations entre les organismes de recherche, les établissements d'enseignement supérieur et les entreprises, qu'il s'agisse de grands groupes, de PME/PMI ou de sociétés de services, enfin, mise en place de mesures fiscales favorables aux entreprises innovantes – telles sont les grandes lignes directrices de la loi.

Concernant les personnels de la recherche, ce terme est pris au sens le plus large, c'est-à-

dire qu'il englobe les chercheurs des organismes de recherche, mais aussi les enseignants – chercheurs des établissements universitaires et les ingénieurs de recherche. La loi leur offre la possibilité d'apporter notamment leur concours scientifique ou technique, ou d'être actionnaire d'une entreprise qui valorise leurs travaux. Désormais, ils peuvent également siéger au conseil d'administration d'une entreprise en société anonyme.

Tous les fonctionnaires civils des services publics et des entreprises publiques sont concernés. La commission de déontologie de la fonction publique de l'Etat, saisie par l'autorité de tutelle, statue sur le bien-fondé de la demande. En moyenne, 100 dossiers sont examinés par an par cette commission qui rend, dans la grande majorité des cas, un avis favorable.

Par ailleurs, la loi permet aux établissements publics d'enseignement supérieur et de recherche de créer des "incubateurs" accueillant des entreprises de technologies innovantes et des services d'activités industrielles et commerciales pour gérer les relations avec les entreprises. Elle améliore également les dispositions financières pour les entreprises en croissance ; de cette façon, la loi crée un environnement juridique favorable à l'ensemble des entreprises de recherche.

Enfin, la loi a déjà permis de porter le nombre de créations d'entreprises par des chercheurs de 20 à plus de 100 par an. C'est donc un succès pour notre pays, tant sur le plan économique que sur celui de l'emploi.

Les actions en matière de création d'entreprise

En matière de création d'entreprise de technologies innovantes, quatre grandes actions sont menées en complémentarité : formation à l'entrepreneuriat, concours de création d'entreprises de technologies innovantes, "incubateurs", fonds d'amorçage. Concernant la formation à l'entrepreneuriat, l'idée directrice est qu'il faut dispenser dans les universités et au

sein des écoles d'ingénieurs un certain nombre de formations, mais aussi donner des exemples qui puissent inciter les jeunes à créer des entreprises et, surtout, à se familiariser avec le mot "entreprendre". Ce travail d'information et de sensibilisation auprès des étudiants est réalisé en étroite collaboration avec la conférence des présidents d'université et la conférence des directeurs d'écoles d'ingénieurs. Dans ce domaine, un véritable travail de fond reste à faire.

L'objectif du concours national de création d'entreprises de technologies innovantes est d'accompagner et de soutenir des projets jusqu'à la création effective de l'entreprise. Ce concours s'adresse à deux catégories de projets :

- la première regroupe les projets en création pour lesquels de trois à six mois sont encore nécessaires afin qu'ils aboutissent ;
- la seconde catégorie concerne des projets en émergence, c'est-à-dire qui nécessitent un développement avant d'entamer véritablement la phase de création.

Au regard des résultats des trois premières années, il s'avère que, très régulièrement, les lauréats des projets en émergence se retrouvent l'année suivante parmi les candidats et lauréats des projets en création, d'où l'importance de ces deux catégories de lauréats. Afin d'illustrer le bien-fondé de cette démarche, quelques chiffres peuvent être cités à propos de ce concours, dont la première édition a été lancée en 1999. Cette année-là, il était doté de 100 millions de francs : sur 1 913 dossiers reçus, 244 projets ont été sélectionnés, dont 79 projets en création et 165 projets en émergence. Pour l'année 2000, il y a eu un doublement du budget initial : sur 1 805 dossiers déposés, 296 projets ont été retenus. Ce budget de 200 millions de francs a été reconduit pour 2001 : sur 1 481 dossiers déposés cette année, 238 ont été retenus.

Parmi les nombreux candidats qui se posaient des questions quant à l'opportunité de créer une entreprise, un nombre non négligeable

s'est ainsi lancé dans cette aventure grâce à ce concours, dont c'était le véritable objectif. Le résultat est à la hauteur des ambitions du ministère de la Recherche, puisque les éditions 1999 et 2000 du concours ont permis la création effective de 254 entreprises. En y incluant le concours 2001, pour lequel les prix ont été décernés le 17 septembre dernier, on aboutit à un potentiel de plusieurs centaines d'entreprises susceptibles d'être créées.

S'ils disposent de tout le savoir-faire nécessaire dans la technologie qu'ils souhaitent développer, ces lauréats ont en revanche un très grand besoin d'accompagnement sur les aspects juridiques, économiques, financiers et commerciaux. Cet état de fait met bien en évidence l'importance des "incubateurs" et des fonds d'amorçage, pour lesquels un appel à propositions, doté par l'Etat de 300 millions de francs, a été lancé en 1999.

Les "incubateurs" sont des lieux d'accueil et d'accompagnement des projets dans le cadre d'un partenariat avec la recherche publique. Ces structures sont ouvertes uniquement à de jeunes créateurs d'entreprise issus de la recherche publique, ou à des candidats qui démontrent qu'ils ont besoin d'avoir des relations très étroites avec les laboratoires de recherche publique. Aujourd'hui, il existe 31 "incubateurs" soutenus à hauteur de 160 millions de francs par l'Etat, soit globalement un par région, avec cependant quelques exceptions, dont l'Ile-de-France qui en abrite cinq ou encore la région Rhône-Alpes qui en possède deux. Il convient de noter que les collectivités territoriales cofinancent de manière importante ces "incubateurs". Un nombre non négligeable d'incubants sont des lauréats du concours national de création d'entreprise, preuve qu'il existe bien, dans les faits, un lien étroit entre le concours et l'incubation, tel que cela avait été souhaité à l'origine.

Les fonds d'amorçage, quant à eux, ont pour objectif d'aider financièrement la création d'une entreprise. Deux types de fonds d'amor-

çage sont soutenus par le ministère de la Recherche : d'une part, des fonds nationaux thématiques, en particulier dans les Sciences de la vie et les Sciences et technologies de l'information et de la communication (STIC) ; d'autre part, des fonds régionaux qui, eux, sont multi-sectoriels et couvrent l'ensemble des domaines.

Aujourd'hui, il existe trois fonds d'amorçage nationaux : Biam pour la bio-ingénierie, C-source pour le multimédia et T-source pour les services et les systèmes de communication, auxquels il faut ajouter I-Source et Emertech, deux autres fonds d'amorçage nationaux, qui ont été créés hors appel à projets. Sept fonds d'amorçage régionaux ont été également retenus.

Les partenariats technologiques

Aujourd'hui, il faut de plus en plus être à l'écoute des besoins des entreprises afin de faire sauter un certain nombre de verrous technologiques. Ce n'est donc plus de transfert de technologie en tant que modèle linéaire ayant finalement montré ses limites dont il faut parler, mais véritablement de partenariat où chacun amène des compétences propres et complémentaires. D'une manière générale, les besoins des industriels sont des besoins systèmes. Or, qui dit besoins systèmes doit penser multidisciplinaire, alors qu'avec le modèle linéaire précédent on pratiquait majoritairement le mono-disciplinaire.

L'objectif et la responsabilité du ministère de la Recherche sont ainsi de favoriser le partenariat technologique et de mener des recherches dans ce cadre en prévoyant également les recherches amont qui permettront, demain, de poursuivre ce partenariat technologique. Pour ce faire, plusieurs actions incitatives ont été mises en place, telles que les réseaux nationaux de recherche et d'innovation technologiques, les centres nationaux de recherche technologique ou encore les réseaux de diffusion technologique.

Les réseaux nationaux de recherche et d'innovation technologiques

Les réseaux nationaux de recherche et d'innovation technologiques constituent un axe fort de la politique de soutien à l'innovation que conduit le ministère de la Recherche en partenariat avec d'autres ministères. Leur création a été annoncée par le Premier ministre lors des Assises de l'innovation, en mai 1998, et confirmée par le Comité interministériel de la recherche scientifique et technologique (CIRST), en juillet 1998 et en juin 1999.

Ils ont pour but de favoriser le couplage entre la recherche publique et les entreprises, sur des domaines jugés prioritaires par le gouvernement dans les secteurs où l'effort conduit par les structures habituelles est jugé insuffisant. Les réseaux rassemblent des industriels et des équipes de recherche publique autour de projets, dans des domaines technologiques bien identifiés. Les réseaux de recherche et d'innovation technologiques ont ainsi pour objectif d'innover en matière de produits, de procédés ou de services, afin de répondre à la demande du monde économique et de participer ainsi à la création de richesses et d'emplois.

Rôle des réseaux

Les principales fonctions des réseaux sont :

- être à l'écoute de la demande socio-économique à moyen et à long termes ;
- identifier les problèmes technologiques à résoudre ;
- rassembler des compétences scientifiques et technologiques ;
- développer des projets de recherche à partir de ces compétences ;
- susciter la mise en place des équipements nécessaires à la collaboration des partenaires, définir et faire partager une pratique satisfaisante de la propriété intellectuelle et industrielle ;
- encourager le transfert vers le marché, notamment par la création de PME innovantes.

Moyens

Les réseaux ont pour première ressource la mutualisation des moyens, notamment humains, des équipes de recherche publique et privée qui y participent.

Les projets labellisés qu'ils suscitent bénéficient du Fonds de la recherche technologique (FRT) et du Fonds national de la science (FNS) du ministère de la Recherche, ainsi que de financements incitatifs de divers ministères et agences concernés par chaque domaine.

Des partenaires non français, appartenant notamment à d'autres pays de l'Union européenne, peuvent également s'associer aux projets.

Ces réseaux ont bénéficié d'un financement public total de 1,3 milliard de francs en 2000, ce qui représente, avec l'investissement privé, un budget global de l'ordre de 2,5 milliards de francs.

Organisation

L'organisation des réseaux varie selon les thèmes abordés et les particularités de chaque domaine. Cependant, en règle générale, chaque réseau est piloté par un comité d'orientation constitué d'industriels et de représentants de la recherche publique (universités, écoles d'ingénieurs, organismes).

La présidence est confiée, de préférence, à une personnalité issue du monde industriel. Le fonctionnement est assuré par un secrétariat exécutif restreint.

Critères d'évaluation des dossiers

Les critères d'évaluation des dossiers sont :

- l'adéquation du projet avec les actions prioritaires définies par le comité d'orientation du réseau ;
- la pertinence du projet et son caractère innovateur (au regard des orientations du marché, de l'évolution des usages et des aspects sociétaux, de l'état de l'art et de la propriété intellectuelle) ;
- la qualité du partenariat et la complémentarité des partenaires (compétences en R&D, compé-

- tences industrielles et commerciales, valeur ajoutée apportée par chacun des partenaires) ;
- l'ouverture du partenariat à de nouveaux acteurs du secteur, en particulier aux PME ;
- les perspectives de retombées scientifiques, industrielles et économiques (brevets, innovations, normalisation, publications, perspectives de marché, impact sur l'emploi, création d'entreprises) ;
- la rigueur de la définition des résultats intermédiaires et finaux envisagés à propos des recherches et des échéances associées ;
- la cohérence des délais, des ressources et des charges prévues ;
- le degré de risque inhérent au projet.

Les principaux réseaux par grands domaines thématiques

GenHomme

Le réseau GenHomme entend valoriser la connaissance de la génomique humaine et favoriser l'accès des industriels aux données de génomique fonctionnelle humaine. Il mobilise deux milliards de francs sur cinq ans, à parts égales entre les secteurs public et privé.

Technologies pour la santé

Le caractère stratégique des technologies médicales est essentiel pour optimiser l'efficacité du système de santé publique. Des résultats sont attendus dans le développement d'équipements performants destinés au diagnostic, à la thérapie et à la surveillance.

Génoplande

Génoplande porte sur l'étude des génomes végétaux et la valorisation de ces travaux. L'objectif est de déboucher sur des semences de qualité, répondant mieux aux attentes des consommateurs et des agriculteurs du point de vue de la nutrition, de la sécurité alimentaire et de l'environnement.

Références, Alimentation, Europe (RARE)

Le réseau a pour objectifs de créer de nouveaux partenariats de recherche entre

organismes publics et entreprises privées du secteur clé des industries agroalimentaires. Il s'agit de rassembler et de mettre en cohérence les actions menées par les différents ministères concernés (recherche, agriculture et pêche, économie, finances et industrie, santé).

Le réseau national de recherche en télécommunications

Le RNRT s'intéresse au futur d'Internet, aux prochaines générations de téléphones mobiles multimédia et aux constellations de satellites. Depuis 1998, plus d'un milliard de francs a été attribué à 160 projets.

Le réseau micro et nanotechnologies

Ce réseau concerne le dimensionnement et le fonctionnement d'objets de très petite dimension pouvant atteindre une taille moléculaire.

Le réseau national des technologies logicielles

Le RNTL contribue à la création et au développement d'entreprises dans les technologies de l'information et de la communication pour le développement logiciel.

Audiovisuel et multimédia

Le réseau RIAM vise à développer les industries des programmes pour l'audiovisuel et le multimédia, grâce à la création d'outils innovants, issus de la recherche publique et privée, et par leur intégration dans la chaîne de production.

Eau et technologies de l'environnement

L'eau sera un enjeu majeur du XXI^e siècle. En effet, la quantité d'eau disponible reste constante, alors que la demande ne cesse de croître.

L'objectif de ce réseau est double : promouvoir le progrès technologique et le développement industriel par de nouvelles innovations et performances et concilier ce développement industriel avec les objectifs d'exploitation rationnelle de la ressource, de gestion intégrée du cycle de l'eau, de protec-

tion et de réhabilitation des milieux et sites sensibles.

Pollutions marines accidentelles "RITMER"

Le thème général du réseau concerne les pollutions marines accidentelles et leurs conséquences écologiques sur le littoral. Il porte, d'une part, sur le repérage, la caractérisation, le suivi des nappes de polluants et, d'autre part, sur la protection et la réhabilitation des écosystèmes littoraux et marins.

Génie civil et urbain

Ce réseau est consacré à la conception et à l'entretien des constructions, afin qu'elles répondent de manière optimale au service demandé : performance, durabilité, insertion dans l'environnement naturel, confort et sécurité des usagers et des riverains. Le réseau s'intéresse également aux technologies nécessaires à l'aménagement et à la gestion de la ville.

Pile à combustible

S'inscrivant dans le domaine des énergies non traditionnelles, la pile à combustible offre des perspectives d'utilisation importantes pour la propulsion des véhicules ou comme source de production d'électricité décentralisée. Le réseau aborde la filière dans sa globalité, depuis le carburant nécessaire à l'alimentation de la pile à combustible jusqu'à l'utilisation de l'énergie fournie (électricité, chaleur).

Predit

Le programme de recherche Predit regroupe les actions de quatre ministères : transport, industrie, recherche et environnement et de deux agences, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) et l'Anvar.

Quatre grandes thématiques prioritaires y sont traitées : la qualité de service dans les transports collectifs, les nouveaux véhicules propres, la sécurité et enfin les performances des entreprises du secteur et des systèmes de transports.

Matériaux et procédés

Le champ couvert va de la conception de matériaux nouveaux, de l'amélioration ou la substitution de matériaux traditionnels, à l'étude de leur comportement et de leur vieillissement, en relation avec leurs procédés d'élaboration. Les moyens financiers mis à disposition du réseau sont de 60 millions de francs en 2000, répartis à parité entre le ministère de la Recherche et le secrétariat d'Etat à l'industrie.

Terre et Espace

Le réseau Terre et Espace est consacré à l'observation de la Terre et aux applications des technologies spatiales à la gestion et à la protection de l'environnement. Son objectif est de développer, en associant des industriels et des scientifiques, des projets de nouveaux services utilisant, entre autres, des données d'origine spatiale et les moyens spatiaux de télécommunication et de positionnement dans les domaines de la gestion des risques naturels et industriels, de l'agriculture de précision, de la gestion des ressources naturelles (eaux et forêts notamment), mais aussi dans des secteurs émergents comme l'épidémiologie spatiale.

La maîtrise de ces questions, et plus généralement la surveillance globale de l'environnement, constitue un des enjeux majeurs du XXI^e siècle.

Recherche aéronautique sur le supersonique du futur

Le réseau a pour objectif de mobiliser, coordonner et évaluer la recherche sur les axes identifiés comme prioritaires : matériaux et structures, propulsion et bruit, optimisation aérodynamique et systèmes, combustion et impact sur l'environnement.

Pour les cinq années à venir, le réseau est destiné à préparer la France à l'éventualité du développement du transport supersonique commercial ou d'affaires, sachant que la décision de lancement d'un programme d'avion sur ce marché devra s'inscrire dans un cadre

de coopérations internationales. Cette initiative nationale associant les industriels et les scientifiques constitue un signe volontariste d'avancée concrète des réflexions sur le transport aérien du futur et son intégration dans l'environnement. Le ministère de l'Équipement, du Transport et du Logement est associé à ce réseau.

Les Centres nationaux de recherche technologique (CNRT)

L'objectif de ces centres est de devenir, grâce à une concentration de moyens, un pôle de compétence et d'excellence reconnu aux plans national et européen. Les CNRT se fondent sur une collaboration étroite entre la recherche publique (organismes publics de recherche, laboratoires universitaires) et la recherche privée (centres industriels, PME-PMI). Ce couplage entre la recherche publique et la recherche privée vise à accroître la capacité d'innovation et la compétitivité de l'industrie française dans les secteurs clés : technologies de l'information et de la communication, sciences du vivant, énergies nouvelles, micro et nanotechnologies, etc.

Chaque centre est implanté sur un site local avec un domaine de compétence clairement ciblé, avec également pour objectif d'accompagner le développement industriel local. Complémentaires des réseaux nationaux de recherche et d'innovation technologiques, les CNRT peuvent être considérés comme les véritables têtes de pont de ces réseaux au niveau national. Leur rôle est également très important sur le plan européen, puisqu'ils dessinent des axes de compétences au niveau d'un certain nombre de villes et de régions. Ces dernières ont été essentiellement retenues en fonction de la présence d'industriels dans le domaine correspondant.

Les CNRT participent également à l'aménagement du territoire. Les 15 premiers centres installés sont les suivants :

Belfort-Montbéliard-Nancy : Pile à combustible, interfaces pour transports terrestres
Bourges-Orléans : Propulsion du futur
Caen : Matériaux pour l'électronique
Evry : Génomique, bio-informatique, vectologie, thérapie génique...
Grenoble : Micro et nanotechnologies, technologies du numérique
Lyon : Chimie, biologie moléculaire
Marcoussis : Optique, optoélectronique, lasers pour télécommunications
Marseille/Étang-de-Berre : Énergies
Metz/Pont-à-Mousson : Métallurgie
Rennes-Lannion-Brest : Télécommunications, images et multimédia
Rouen : Combustion, moteurs propres
Saint-Cyr l'École : Aérodynamique et aéroacoustique des véhicules terrestres
Sophia Antipolis : Technologies innovantes au service de la société de l'information
Toulouse : Espace, aéronautique
Tours : Microélectronique de puissance, nouveaux matériaux pour l'électronique de puissance

Les réseaux de diffusion technologique

Il s'agit d'un guichet unique de conseillers en développement technologique mis à la disposition des PME/PMI afin de les orienter vers le prestataire de service considéré comme étant le meilleur et le plus efficace, ce qui implique, en amont, un travail d'analyse de leurs besoins. L'objectif est de parvenir à couvrir tout le territoire métropolitain.

Ce réseau est dirigé en commun par quatre grandes structures : l'ANVAR, les DRIRE, les délégués régionaux à la recherche et à la technologie, qui dépendent administrativement de la direction de la technologie, et les conseils régionaux.

L'insertion des jeunes diplômés

L'insertion des jeunes diplômés dans la vie économique est un souci qui doit être partagé

par tous. Pour y parvenir, le ministère de la Recherche dispose d'un certain nombre d'outils correspondants à des niveaux de formation différents : techniciens supérieurs (CORTECHS), stages ingénieurs, doctorants (conventions CIFRE), post-doctorants. La quasi-totalité de ces possibilités fait intervenir un partenariat entre laboratoires publics et entreprises, allant des PME/PMI aux grands groupes.

La coopération européenne communautaire

Au début de l'année 2001, les dossiers relatifs à l'espace européen de la recherche et de l'innovation, le PCRD, Eureka et COST, ont été confiés à une mission "Affaires européennes" placée sous la responsabilité du directeur de la technologie.

La Commission européenne a proposé la construction d'un véritable "Espace européen de la recherche et de l'innovation", que le gouvernement français a particulièrement soutenu pendant la présidence européenne du second semestre 2000.

Concernant le 5^e Programme cadre de recherche et développement technologique (PCRD), le suivi est assuré par le ministère de la Recherche. Ce programme est doté de 15 milliards d'euros sur 4 ans. Le ministère nomme en particulier les représentants français au sein des comités de gestion des 7 programmes spécifiques du PCRD. Ces représentants influent sur l'évolution des dispositifs européens en matière d'innovation.

Dans le cadre de la préparation du 6^e PCRD, la France s'est attachée à appuyer la proposition de la Commission sur la concentration sur un nombre limité de domaines pour lesquels il existe une problématique européenne, ainsi que sur la simplification des modes de gestion.

Il convient alors, pour chacun des acteurs impliqués, de travailler, discuter et négocier à Bruxelles, car c'est bien au niveau européen

que la France pourra gagner les prochaines batailles pour le développement technologique et la valorisation de ses pôles d'excellence.

Quelques perspectives communes entre recherche civile et recherche de défense

La politique de soutien à l'innovation du ministère de la Recherche commence à porter pleinement ses fruits, selon les axes décrits précédemment. Elle correspond à une volonté politique de trouver un équilibre entre la puissance publique et l'initiative industrielle privée. Cette politique est bien évidemment celle menée par le gouvernement, avec donc l'appui de tous les ministères concernés.

En particulier, le ministère de la Défense, fort d'une expérience considérable en la matière, que ce soit sur les plans scientifique, technologique, industriel ou financier, peut et doit s'inscrire dans cette démarche globale. C'est déjà le cas pour les réseaux, puisque la Délégation générale pour l'armement est représentée au sein des bureaux exécutifs de deux d'entre eux : "Terre et Espace" et "Recherche aéronautique sur le supersonique". Dans les domaines d'intérêt commun, l'effort de concertation peut donc se poursuivre et s'amplifier, par exemple, en envisageant au sein de certains réseaux des opérations financées conjointement.

D'une manière plus générale, un nouveau cadre d'action a été mis en place, grâce à un protocole relatif aux coopérations et synergies entre les deux ministères, signé le 29 janvier 2001 par le Directeur des systèmes de forces et de la prospective de la DGA et le Directeur de la technologie. Il s'agit en réalité de donner un sens concret en pragmatique aux idées classiques – et parfois seulement incantatoires – relatives aux coopérations entre recherche civile et recherche de défense. 

Recherches publiques civile et de défense*

par le professeur Jean-Jacques GAGNEPAIN
Conseiller scientifique du Délégué général pour l'armement

The DGA has been a major instigator in the development of government-funded research. It has long been the main partner of the leading French research organization (CNRS), to which half the laboratories of institutions of higher learning belong. The DGA sometimes goes beyond just the project financing role and acts as organizer, especially when, for defence purposes, a full technological process has had to be supported seamlessly and indefinitely in time.

Plus de 80 universités et quelque 200 écoles ont des activités de recherche. L'ensemble regroupe plus de 200 000 personnes : chercheurs à temps complet (33 000), enseignants - chercheurs (65 000), doctorants boursiers ⁽¹⁾ (20 000), chercheurs en situation post-doctorale (4 000), ingénieurs, techniciens, et personnels administratifs (90 000, en ne comptant que ceux qui sont affectés à des activités de recherche). Par ses effectifs, la France vient en seconde position dans l'Union européenne et contribue à hauteur de 19 %, derrière l'Allemagne (28 %) et devant la Grande-Bretagne (17 %) au potentiel de recherche européen.

La DGA a joué un rôle incitateur important dans le développement des recherches publiques. Pendant longtemps, elle a été le principal partenaire du premier organisme de recherche français, le CNRS, auquel se trouve associée la moitié des laboratoires des établissements de l'Enseignement

supérieur. Le rôle de la DGA est parfois allé au-delà du seul financement de projets, et il a été structurant lorsqu'il fallait, pour les besoins de défense, assurer des filières technologiques complètes, sans discontinuité, et en garantir la pérennité.

*On entendra par "recherche publique" la recherche qui est menée dans les laboratoires des organismes publics que sont les EPST (établissements publics à caractère scientifique et technologique) et les EPIC (établissements publics à caractère industriel et commercial), dans les universités et dans les écoles. EPST et EPIC sont au nombre de 21.

⁽¹⁾ Sont pris en compte seulement les doctorants bénéficiant d'une bourse de l'Etat ; le nombre total de doctorants, difficile à évaluer, pourrait se situer autour de 60 000.

Recherche fondamentale et recherche appliquée : un faux débat

De tout temps, l'activité humaine s'est organisée entre la recherche d'un savoir et celle d'un bien-être. Dans le premier cas, l'Homme s'efforce de percer les mystères du monde et de trouver une réponse à ses interrogations existentielles ; dans le second cas, l'objectif est de satisfaire des besoins matériels qui sont tout aussi indispensables aux progrès de l'humanité. S'agit-il de comprendre le monde ou d'inventer la roue ? La curiosité de l'Homme est sans limite et ses besoins le sont tout autant. Le rôle de la recherche scientifique est d'accroître les connaissances. Cela est vrai dans les deux cas, et la recherche s'est organisée en conséquence suivant deux démarches.

La première, qui, pour simplifier, peut être qualifiée "d'académique" ou de "cognitive" est celle de la connaissance pour la connaissance. Elle trouve sa justification dans les principes établis par la communauté scientifique elle-même (notamment par le principe d'une liberté nécessaire à la créativité) et définit ses objectifs en fonction de ce qui lui paraît être son propre intérêt. Elle peut cependant se tourner vers la demande extérieure, vers l'innovation, mais ce n'est qu'à la suite d'un long processus linéaire (schématiquement, dans l'imaginaire populaire le théoricien calcule, l'expérimentateur vérifie et l'ingénieur construit), qui n'est ni obligatoire ni systématique.

La seconde démarche, que l'on appellera "technologique" ⁽²⁾ participe aussi à l'accroissement des connaissances, mais dans le but de répondre aux demandes du monde qui lui

est extérieur, la société sur le plan le plus général, le monde économique, la défense, l'industrie, etc., qui demandent de nouveaux concepts, de nouveaux produits, de nouveaux services et souhaitent que des solutions soient apportées à leurs problèmes.

Les deux démarches ont souvent été opposées l'une à l'autre dans un débat récurrent entre "fondamental" et "appliqué", entre science "pure" ou "impure" (les sciences pour l'ingénieur sont destinées à vendre de la science pure pour des raisons qui ne le sont pas ! a-t-on dit), entre une recherche désintéressée et une autre qui ne le serait pas... Pasteur avait conclu, à son époque, le débat en disant : « *non, mille fois non, il n'existe pas une catégorie de sciences auxquelles on puisse donner le nom de sciences appliquées. Il y a la Science et les applications de la Science, liées entre elles comme le fruit à l'arbre qui l'a porté* ». La recherche technologique peut être tout aussi fondamentale que la recherche cognitive pour apporter les réponses aux questions qui sont posées, mais elle s'organise différemment.

Un bref rappel historique

Les événements qui rythment la vie de la société changent les équilibres. En période de crise la société se fait plus exigeante, veut que ses préoccupations soient prises en compte et ses demandes entendues. La recherche "appliquée" devient alors prioritaire, alors que lorsque la crise passe, par un effet naturel de balancier, le côté "académique", souvent confondu avec "fondamental", reprend le dessus. Cela est particulièrement vrai avant et pendant les guerres, mais aussi lors de crises économiques, en particulier lorsque l'emploi est en jeu ; l'innovation technique devient alors une nécessité.

C'est ainsi que la défaite de la guerre de 1870, qui a mis en évidence une impréparation technique, a conduit pour la première fois à la création d'une Commission des inventions (1883). La Première Guerre

⁽²⁾ Le sens que l'on donne à "technologie" prête souvent à confusion (du moins en France, car ce n'est pas le cas dans les pays anglo-saxons) avec celui de "technique". On entendra ici "technologie" comme science des techniques, étude systématique des procédés, des méthodes, des instruments, des outils, et plus généralement des objets propres aux domaines techniques, arts ou métiers.

mondiale la transformera en un secrétariat d'Etat. Cette guerre amènera aussi à la "mobilisation des savants", avec notamment les travaux de Paul Langevin sur l'acoustique sous-marine ou de Georges Urbain sur les gaz de combat. Après la guerre, la Commission des inventions reviendra à la vie civile et sera rattachée à l'Instruction publique. Suit alors une période de développement technologique avec les prémices de la future société de consommation, puis la crise économique survient. En 1922, l'Office national des recherches scientifiques et industrielles et des inventions (ONRSII) voit le jour. Sa mission sera de répondre aux besoins industriels. Après quelques vicissitudes, il conduira en 1938 à la création du CNRSA (Centre national de la recherche scientifique appliquée).

En parallèle, la première moitié du XX^e siècle fut celle des premières structures d'organisation et de financement de la recherche académique. En 1901 est créée une Caisse de la recherche scientifique (CRS). Une souscription lancée auprès des sociétés et des banques pour réunir des fonds fut sans succès. L'Etat trouvera alors des ressources par le prélèvement d'une taxe sur les jeux de hasard ! En 1924, E. Borel (mathématicien et ministre) proposa l'utilisation de la taxe d'apprentissage pour inscrire des moyens sous le nom de "Sou du laboratoire". Dans le même temps, les deux scientifiques que sont Jean Perrin (prix Nobel de physique 1926) et André Mayer (professeur de physiologie au Collège de France) militent en faveur d'une science moderne et pluridisciplinaire et du recrutement de jeunes chercheurs. Leur projet de bourses voit le jour en 1930 au sein de la Caisse nationale des sciences (caisse de retraite des vieux savants). Cette caisse sera alimentée financièrement par un prélèvement sur le budget de la ligne Maginot, et Frédéric Joliot sera l'un des premiers boursiers. En 1935 les différentes caisses sont fusionnées en une seule : la Caisse nationale de la recherche scientifique (la CNRS).

Cependant, les menaces de guerre entraînent un accroissement de l'effort public en faveur de l'industrie de défense. Le CNRSA, la CNRS et le Service central (centre administratif localisé quai d'Orsay, devenu ensuite le 15 quai Anatole France) sont regroupés et donnent naissance, en 1939, au CNRS. Durant la Deuxième Guerre mondiale la recherche publique s'efforce d'apporter quelques solutions rapides à des problèmes du quotidien. A la Libération, par un effet naturel de balancier, la recherche fondamentale redevient prioritaire, tout au moins au sein du CNRS qui se tourne vers les universités et engage une politique d'association avec celles-ci. Cette politique portera ses fruits et reste toujours d'actualité.

La période de l'après-guerre voit le lancement des premiers grands programmes technologiques, qui se poursuivront sur plusieurs décennies (nucléaire, aéronautique, spatial, etc.) et seront accompagnés dans la plupart des cas de la création d'établissements publics spécialisés. On constate que si, à l'origine, les missions de chacun d'eux se distinguaient clairement, les évolutions qui se sont produites au fil du temps font que l'ensemble du dispositif présente aujourd'hui recouvrements et lacunes.

Il faut attendre les années 70, le premier choc pétrolier et le changement de rythme de croissance qui en résulte pour que la recherche académique amorce une ouverture importante vers le monde industriel. Cette évolution est marquée en particulier par la création des Sciences pour l'ingénieur au CNRS en 1975. En fait, cette création n'était pas seulement due à la crise économique, auquel cas elle n'aurait été peut-être qu'un effet conjoncturel. Elle est aussi et surtout une conséquence de la transformation profonde de l'industrie qui s'est faite durant les trente glorieuses de l'après-guerre. Pendant cette phase de réindustrialisation du pays beaucoup d'entreprises, qui étaient à l'origine monométiers, ont intégré de nouvelles techniques dans leurs produits et sont devenues

multimétiers, avec pour conséquence des besoins variés en compétences et savoir-faire que la recherche publique, toujours organisée sur le modèle d'Auguste Comte en disciplines relativement cloisonnées, ne pouvait satisfaire. Le problème est encore réel aujourd'hui.

Les années 80 virent un développement important et rapide des liens, sous une forme essentiellement contractuelle, entre la recherche publique, l'industrie et la défense. En à peine plus de dix ans tous les indicateurs (nombre de laboratoires impliqués, nombre d'entreprises, nombre de contrats) furent multipliés par dix, et même par vingt pour les montants financiers mis en jeu. Mais à la fin des années 80 et au début de la décennie suivante les événements politiques, économiques et sociétaux amenèrent la recherche, qu'elle soit publique ou privée, civile ou de défense, à un nouveau tournant.

De nouvelles conditions pour la recherche

Les trente glorieuses, c'est-à-dire la période allant de la Libération au premier choc pétrolier, fut celle de la réindustrialisation de la France et d'un investissement important dans la recherche. Les deux se firent simultanément mais en parallèle, sans beaucoup d'interactions. Ce n'est qu'après, durant les années 80, ainsi que nous venons de le voir, que les partenariats se développèrent. Jusqu'à ce que la fin de la guerre froide avec la chute du mur de Berlin, les crises économiques successives et le phénomène de mondialisation créent les nouvelles conditions, dont nous n'avons sans doute pas encore pris toute la mesure.

Conséquence sur les budgets de la recherche

Les budgets consacrés à la recherche ne sont plus en augmentation, au mieux ils plafonnent, souvent ils diminuent, et ce dans la plupart des pays industrialisés. Il s'agit d'une

situation relativement nouvelle, qui vient après plusieurs décennies de croissance quasiment ininterrompue. La recherche de défense a été particulièrement touchée, ainsi que la recherche industrielle.

Par ailleurs, l'économie s'est mondialisée. Les grandes entreprises deviennent multinationales et leur concurrence est exacerbée par le développement des nouveaux moyens de communication, qu'il s'agisse de la communication à distance ou des moyens de transport. Cette évolution ne va pas sans crises et conduit les entreprises à recentrer leurs activités de R&D au cœur de leurs métiers. La notion de frontières territoriales et d'hexagone s'estompe aussi, au moins au sein de l'Union européenne. Le marché des technologies s'internationalise, ce qui conduira entreprises et donneurs d'ordres à mettre de plus en plus souvent les laboratoires des différents pays en concurrence.

Evolution des objets de la recherche

Pendant longtemps, la science a cherché à réduire ses objets d'étude et à les isoler afin d'en comprendre plus facilement les phénomènes. Cette approche réductrice est de moins en moins satisfaisante, la notion de système s'impose dans une approche plus globale, quitte à le décliner ensuite en ses composants. On parlera de système complexe, mais la complexité du système ne réside pas tant dans sa structure (toute structure est complexe si on la regarde avec un grossissement suffisant) que dans la variété des techniques qu'il faut assembler pour le construire, et donc des compétences technologiques qu'il faut pour le concevoir. Le cloisonnement en disciplines reste cependant une réalité, d'abord dans l'enseignement et donc dans la recherche, le premier en imposant son mode d'organisation à la seconde. La recherche industrielle et la recherche de défense ne peuvent s'en satisfaire. Le développement nécessaire de la pluridisciplinarité trouve là une bonne part de sa justification.

On peut établir un parallèle avec les changements d'organisation de la DGA, dont les activités restaient antérieurement découpées et se déclinaient, pour la recherche, au sein des groupes de la DRET sous une forme analogue à celle des disciplines. "L'adaptation d'impédance" avec la recherche académique était aisée puisque les modes d'organisation étaient similaires.

Les nouveaux besoins qui apparaissent en matière de défense conduisent aux concepts de "systèmes de forces" et de "capacités technologiques", qui transcendent le découpage antérieur. La réorganisation qui en a résulté et qui a été menée dans un délai court, a distendu une partie des liens entre défense et recherche publique. Il importe de les rétablir et de développer les interfaces.

Un écueil à éviter est celui d'une vue à court terme de la recherche ; le risque est réel lorsque les budgets publics connaissent un ralentissement (alors que les coûts continuent à croître). Les laboratoires se tournent alors plus volontiers (voire par nécessité) vers le secteur privé ; dans le même temps, les entreprises sont contraintes par le jeu des marchés boursiers à une plus grande rentabilité et mettent en place des stratégies privilégiant le court terme. Le problème est de même nature pour une recherche de défense répondant aux préoccupations légitimes des états-majors, qui doivent maintenir des capacités opérationnelles qu'imposent les événements.

Les enjeux de l'association entre la recherche civile, qu'elle soit publique ou privée, et la recherche de défense sont aujourd'hui marqués du sceau de la "dualité". Le concept n'est pas nouveau, il a près de trente ans, mais il a longtemps donné lieu à de fausses "bonnes idées". Fausse idée que celle de produits militaires aux spécifications pointues et aux prix élevés, qui seraient transposables au civil en relâchant les spécifications pour abaisser les coûts. Fausse idée que celle de produits civils qui seraient plus simples et moins chers, qui pourraient être militarisés en durcissant les spécifications, même si c'est au détriment des prix. En fait, de telles transpositions ont parfois été possibles mais uniquement lorsque performances et coûts étaient compatibles avec les exigences de l'un et de l'autre (comme c'est le cas, par exemple, avec la microélectronique et l'informatique).

La dualité doit s'envisager dès le début d'un produit, c'est-à-dire lors de la phase de recherche, et s'arrêtera sans doute lors de la phase de développement. Elle ne se réduit pas seulement à une économie de moyens, mais elle est aussi source de synergie entre la recherche civile et la recherche de défense. C'est avec cette perspective que l'on peut envisager un partenariat de plus grande ampleur entre la DGA, les organismes publics et le monde universitaire pour répondre avec efficacité aux besoins de l'armement.

L'effort du ministère de la Défense en matière de recherche et de technologie

par Jean-Yves LELOUP, ingénieur général de l'armement
Directeur des systèmes de forces et de la prospective

Within French Ministry of Defence, DGA is responsible for annually settling Research and Technology policy and priorities. Its approach is based upon a long-term view of military needs and required technologies during the next 15-30 years. These technologies will be acquired by industry according to year 2015 technological model (list of technologies to be acquired in 2015), while promoting advanced technological demonstrators, civilian synergy and international co-operation.

Le choix des technologies qui constitueront demain la base de nos systèmes de défense suppose de promouvoir les plus prometteuses, mais aussi de renoncer à celles qui n'apporteront pas de réelle supériorité. C'est la raison pour laquelle la politique de recherche du ministère s'appuie sur une vision prospective et structurée du besoin des armées. En particulier, la DGA a identifié le modèle technologique 2015, noyau dur des technologies dont la maîtrise sera nécessaire au développement des équipements de défense. L'acquisition de

ces capacités technologiques repose sur une politique dynamique en matière d'études amont, notamment par la réalisation de démonstrateurs technologiques.

La DGA s'appuie sur des méthodes aujourd'hui renouvelées pour permettre un investissement financier de l'Etat encore plus efficace et une meilleure consolidation de la base industrielle et technologique de défense. Sur ces bases, le ministère de la Défense poursuit son effort afin de renforcer la coopération civil-militaire et développer les synergies européennes.

La recherche de défense s'inscrit dans le processus global de préparation du futur

La technologie joue un rôle déterminant dans les engagements de nos forces, dans la mesure où le niveau technologique de leurs équipements est un facteur de supé-

riorité et de sécurité face à nos adversaires, mais aussi un gage de crédibilité vis-à-vis de nos partenaires alliés. Les conflits récents ont ainsi souligné l'intérêt des capacités de suivi de terrain ou de tir à distance de sécurité des avions d'armes, de l'observation spatiale et des équipements de vision de nuit.

Compte tenu de leur place déterminante et du délai de maturation de plusieurs années, la maîtrise des technologies nécessaires à la réalisation des futurs systèmes constitue ainsi un enjeu majeur pour le ministère de la Défense.

Dans cet esprit, la DGA, en tant que maître d'œuvre du système de défense, a pour rôle d'assurer l'équipement des forces armées, mais aussi la maîtrise des capacités technologiques nécessaires. En effet, pour concevoir un système de défense cohérent et efficace apte à faire face aux menaces d'aujourd'hui et de demain, la DGA doit veiller à ce que l'industrie soit en mesure de proposer puis de réaliser le moment venu des systèmes, performants et compétitifs en adéquation avec nos besoins futurs. Cela suppose que les technologies nécessaires soient disponibles et maîtrisées par l'industrie au moment considéré.

C'est précisément l'une des fonctions des études amont, qui rassemblent les travaux de recherche et de technologie (R&T) que la DGA confie à l'industrie et aux organismes de recherche. En fait, la politique de recherche du ministère de la Défense s'appuie sur une vision prospective et structurée basée sur le plan prospectif à 30 ans (PP30), œuvre conjointe de la DGA et des états-majors. Ce plan établit une synthèse de l'ensemble des réflexions menées dans les domaines géostratégique, opérationnel (c'est-à-dire en envisageant de nouvelles formes d'engagement et de combat) et technologique de façon à identifier les besoins en équipements des armées pour les trente années à venir, en fonction des "futurs possibles" ainsi dégagés. Le PP30 est structuré par systèmes de forces afin d'évaluer et promouvoir la cohérence de notre système de défense. Ce plan constitue le volet essentiel de l'orientation des études de défense.

Un modèle de capacités technologiques : le "modèle technologique 2015"

L'autre outil d'orientation des études de défense est le modèle technologique 2015. La loi de programmation 2003-2008 a été préparée pour la première fois selon une approche capacitaire qui consiste à évaluer les capacités et la cohérence des forces armées, indépendamment de l'arme d'appartenance.

La dimension technologique a été intégrée dans cette approche en complétant le modèle d'armée 2015 par un modèle de capacités technologiques adaptées à nos moyens et à notre perception de la meilleure façon de répondre aux menaces futures. Même s'il est prématuré aujourd'hui d'envisager des décisions d'acquisition au-delà de 2015, nous devons mettre nos successeurs en position de prendre les décisions, le moment venu, en planifiant la maîtrise de ces technologies dans un cadre national, européen, voire OTAN.

Cette démarche prospective et technologique a légitimé un effort de recherche et technologie en augmentation de 10 % en moyenne dans le projet de LPM 2003-2008 qui a été approuvé par le Conseil des ministres du 31 juillet 2001.

Parmi les capacités de ce modèle technologique 2015, on peut citer la numérisation de l'espace de bataille et la conception des systèmes d'information et de commandement, les armes à énergie dirigée, la protection contre les attaques informatiques, l'avionique modulaire intégrée ou l'interface homme système.

Le modèle de capacités technologiques 2015 et le PP30 sont les outils qui permettent au ministère de la Défense d'avoir une *vision à long terme* indispensable pour assurer la cohérence et la pertinence de sa politique de recherche.

Les études amont répondent à l'objectif de réduction des coûts et des délais de développement des programmes d'armement

Les études amont sont des études finalisées, attachées à la satisfaction d'un besoin militaire, réalisées essentiellement sous maîtrise d'œuvre industrielle en associant en tant que de besoin les laboratoires des écoles et des universités ainsi que les PME-PMI.

Les études amont sont rattachées pour les trois quarts à des programmes d'armement. Elles visent l'amélioration des programmes en cours ou la préparation de nouveaux programmes. Le dernier quart correspond à des travaux de recherche appliquée qui répondent à une quête d'innovation et d'amélioration des technologies disponibles.

Pour 2001-2003, le ministère de la Défense a identifié les domaines prioritaires où des efforts en R&T feront prévaloir la cohérence globale de l'outil militaire : la maîtrise de l'information, l'interopérabilité, la sauvegarde des forces, le soutien des forces.

Au plan de l'exécution de ces études, la construction du modèle technologique 2015 a montré l'importance de renforcer le recours à des *démonstrateurs technologiques* pour mieux cerner le domaine d'application des nouvelles technologies et lever tous les risques, notamment techniques, liés à l'emploi de ces technologies. Ces démonstrateurs permettront également de réduire les délais et les coûts des programmes et de préparer les coopérations internationales sur les programmes futurs.

Parmi les démonstrateurs existants, on peut citer *Graves* (radar de surveillance de l'espace, d'identification d'objets spatiaux et d'orbite) et *Clémentine* (microsatellite pour la mesure et le traitement d'activité radio-électrique et sa localisation). Des démonstrateurs sont en cours de réalisation, comme l'essai de mini-satellites d'écoute radio-électrique COMINT, le radar du futur avion

de combat et les éléments de son moteur. Enfin, d'autres démonstrateurs sont planifiés : le véhicule aérien de combat sans pilote, le système de déminage rapproché ou le robot terrestre de renseignement.

La réactivité est au cœur des objectifs du processus de conduite des études amont

La réactivité est essentielle en matière de préparation de l'avenir, qu'il s'agisse de la prise en compte et de la promotion de technologies émergentes comme de la réduction des délais des programmes d'armement, permettant de tirer le meilleur parti des avancées technologiques les plus récentes.

Les méthodes employées par le ministère de la Défense accordent à la réactivité une place centrale : ainsi, les crédits de la R&T sont placés sous la responsabilité unique de la DGA dans le souci d'une cohérence des actions. Plus précisément, cette responsabilité est assurée par la Direction des systèmes de forces et de la prospective (DSP), qui pilote également les travaux du PP30 et du modèle technologique 2015.

Le principe de gestion des études amont consiste en une délégation importante de responsabilité au profit des différents services prescripteurs d'études de la DGA. La DSP est chargée de veiller à la cohérence de ces études et à leur conformité aux orientations fixées par le ministre de la Défense. Ces orientations sont remises à jour chaque année, sur la base du PP30 et du modèle technologique 2015, en tenant compte des résultats des études achevées et, le cas échéant, des événements survenus en cours d'année. Il reste néanmoins possible de lancer des études non programmées si le besoin et l'urgence sont avérés, au titre de la réserve pour réactivité.

Par ailleurs, la DGA s'emploie à mieux exploiter la source d'innovation technologique, de réactivité et de compétitivité que constituent les PME-PMI. Ainsi, outre les

échanges menés dans le cadre des partenariats stratégiques (rencontres avec les syndicats professionnels et leurs branches PME-PMI) et des forums ouverts (carrefours DGA-industries, journées Science et Défense), la DGA a lancé plusieurs initiatives pour renforcer les liens avec le tissu des PME-PMI : mesures d'accompagnement au niveau régional, nouvelles procédures de propositions non sollicitées et d'appels à projets diffusées sur le site Internet de la DGA.

La défense renforce ses liens avec le monde de la recherche scientifique et technologique

La recherche d'une synergie entre les travaux de R&T militaires et civils découle de la nécessité de recourir à des compétences et des avis extérieurs au ministère, de confronter nos résultats et de prendre en compte le caractère dual de certaines technologies mises en œuvre dans les systèmes de défense. Ainsi, la construction du modèle de capacités technologiques 2015 a conduit à mettre l'accent sur la détection des technologies de rupture et, par conséquent, à associer le monde scientifique et industriel aux travaux de prospective technologique et aux travaux d'évaluation des études amont.

Du point de vue de la puissance publique, il est nécessaire d'optimiser l'emploi des crédits de recherche et de consolider globalement la capacité scientifique, technologique et industrielle française. En effet, dans certains domaines, plus nombreux aujourd'hui, le ministère de la Défense doit tirer profit des avancées du monde civil, et adapter ces technologies aux particularités militaires. Inversement, le souci de disposer de matériels de haute technologie conduit le ministère de la Défense à effectuer des recherches en avance sur le civil et dont les résultats sont ensuite utilisés à des fins civiles, comme c'est le cas pour les commandes de vol électriques et certains matériaux. Le ministère de la

Défense a identifié les domaines où cette synergie mutuellement bénéfique doit être recherchée : aéronautique et spatial, technologies de l'information et des communications, environnement, matériaux avancés, biotechnologies, énergie.

Naturellement, c'est avec le ministère de la Recherche que la défense établit les liens les plus étroits ; ainsi, les deux ministères ont décidé de structurer leur coopération dans ce domaine par une convention signée le 29 janvier 2001 pour une meilleure harmonisation des politiques de recherche. Les objectifs sont de rapprocher nos travaux de prospective, d'orientation et d'évaluation en matière de R&T et de participer à des financements conjoints, par exemple au sein des réseaux de recherche et d'innovation et de technologies (RRIT) placés sous la responsabilité du ministère de la Recherche, où se côtoient des représentants de la recherche, de l'industrie, de la santé, de l'aviation civile. Ces réseaux permettront également de mieux préparer en amont, au niveau étatique, la politique de valorisation des développements technologiques de défense pour les applications civiles.

Le ministère de la Défense doit resserrer également ses liens avec les autres ministères concernés par la recherche, tels ceux de l'Economie, des Finances et de l'Industrie, des Transports, de la Santé. Plusieurs axes sont ainsi identifiés pour renforcer cette synergie : développer les contacts avec les établissements publics sous tutelle des autres ministères ; augmenter le nombre de thèses soutenues par la DGA (actuellement 250) ; créer des prix scientifiques en concertation avec les ministères civils ; susciter des propositions de recherche exploratoire ambitieuses et innovantes par un appel à projets mis en ligne sur Internet.

Enfin, le ministère de la Défense finance directement des organismes publics de recherche qui sont au contact des donneurs d'ordres étatiques et des experts scientifiques civils :

le CEA pour des travaux de recherche fondamentale et de nouveaux moyens d'expérimentation dans le domaine nucléaire, les organismes sous tutelle DGA (ONERA, Institut franco-allemand de Saint-Louis) ou dont la tutelle est partagée avec d'autres ministères (CNES, dans le domaine spatial), les laboratoires universitaires et les écoles d'ingénieurs relevant de sa tutelle comme l'Ecole polytechnique.

Les études amont intègrent la dimension internationale

L'Europe – et encore moins un pays européen isolé – ne peut se lancer dans une logique de surenchère technologique, ni explorer toutes les capacités technologiques envisageables. Nous devons définir avec nos partenaires une véritable stratégie technologique adaptée à notre perception des menaces futures et compatible avec les moyens que nous pouvons y consacrer.

L'Europe doit affirmer son excellence en matière de technologie et d'innovation, dégager des axes prioritaires et créer les conditions d'une mobilisation optimale des ressources qui y seront affectées. Hormis pour les domaines de souveraineté nationale liés essentiellement à la dissuasion, le "pari européen" en matière de R&T de défense repose sur l'harmonisation des besoins allant de pair avec la synchronisation des efforts, une définition européenne des stratégies industrielles, l'acceptation des nécessaires mutualisation et interdépendance en matière de technologies de défense.

Dans cet esprit, notre modèle de capacités technologiques 2015 est un outil structuré et prospectif qui pourra nourrir des discussions dans le cadre de l'Union européenne. La DGA doit poursuivre la promotion de l'approche capacitaire et notamment du modèle de capacités technologiques auprès des principaux partenaires européens disposant de structures analogues (Royaume-Uni) ou sur le point de l'être (Allemagne). Plus globalement, la DGA doit définir, en concertation avec ses partenaires européens, une démarche permettant d'aboutir à l'élaboration d'une politique commune de R&T, à partir du référentiel des capacités technologiques, en bilatéral et en multilatéral.

Ces démarches s'appuieront en partie sur la situation de nos partenaires industriels transnationaux, notamment pour relayer et mettre en œuvre notre politique de recours aux démonstrateurs technologiques, appliquée à la coopération européenne de R&T.

Le budget de recherche du ministère de la Défense

L'effort financier annuel en faveur de la recherche et de la technologie est de l'ordre de 7 milliards de francs (1,1 milliard d'euros), soit environ 10 % du budget d'équipement du ministère. En particulier, le montant consacré à la recherche par voie contractuelle, les études amont (plus de 3 milliards de francs ou 0,45 milliard d'euros), représente presque le tiers de l'effort de l'ensemble des pays de l'Union européenne. 

Les capacités technologiques

par Lyonel GOUÉDARD, ingénieur général de l'armement

Directeur du Service de la recherche et des études amont - Direction des systèmes de forces et de la prospective

In order to protect the technological excellence of our armaments, a hard core of the technologies we wish to bring under control in France and in Europe, has been identified.

The construction of this model relied on the PP 30, as well as on the works on technological prospective conducted within the Ministry. For each force system, the technological actions to be conducted in each and every technical domain, have been analysed for each programme or each operational capability. After merging within each domain, and through the analysis of the whole of these actions, the technology capabilities, which appeared as having to constitute the hard core of the model, were identified. The forty technology capabilities thus listed will allow the satisfaction of the needs of each of the eight force systems.

Pour préserver l'excellence technologique de nos armements, un noyau dur des technologies que nous souhaitons maîtriser en France et en Europe a été identifié.

La construction de ce modèle s'est appuyée sur le PP30 ainsi que sur les travaux de prospective technologique menés au sein du ministère. Les actions technologiques à conduire pour chaque système de forces ont été analysées, pour chaque programme ou pour chaque capacité opérationnelle, domaine technique par domaine technique. Après fusion au sein de chaque domaine, et par une analyse de l'ensemble de ces actions, les capacités technologiques qui apparaissaient comme devant constituer le noyau dur du modèle ont été identifiées. Les quarante capacités technologiques ainsi répertoriées permettent de satisfaire les besoins de chacun des huit systèmes de force.

Une vision à long terme : les capacités technologiques

Depuis le début des années 1990, avec la fin de la guerre froide, la baisse des budgets de défense dans le monde aurait pu conduire à ralentir le rythme des évolutions technologiques des systèmes de défense. Au contraire, on constate une accélération du rythme de ces évolutions. Cette accélération est notamment liée à l'explosion de technologies développées par le monde civil (telles que celles concernant les communications, l'informatique...). Ces technologies ont un impact direct sur la définition des systèmes d'armes mais aussi sur leur conception, voire sur la nature même des conflits, les évolutions technologiques pouvant modifier la manière dont peut être pensé l'usage de la violence.

Les capacités technologiques développées par les civils sont aujourd'hui accessibles à de très nombreux pays, y compris ceux qui n'investiront pas, ou peu, dans la recherche de défense. Ainsi, sommes-nous susceptibles, lors d'un conflit, d'être confrontés à certaines armes mettant en œuvre des technologies récentes. Il paraît donc impératif d'être apte à appliquer, et souvent dans des délais brefs, les évolutions technologiques aux systèmes d'armes.

Une fois perdue, une compétence technologique en matière de défense ne peut être restaurée rapidement compte tenu de la

nature, de la multiplicité et de la rapidité des évolutions. Ainsi, pour pouvoir assurer notre défense ou tenir notre place dans une défense concertée, il importe de savoir en permanence identifier les capacités technologiques que nous devons acquérir ou maintenir (dans un cadre national ou européen) et qui, *in fine*, se traduiront en capacités opérationnelles.

Dans les systèmes modernes, complexes et mettant en œuvre de nombreuses technologies, une même capacité technologique peut soutenir plusieurs matériels différents. La capacité opérationnelle d'un même matériel peut par ailleurs dépendre de l'existence de plusieurs capacités technologiques. La relation entre capacités opérationnelles et capacités technologiques est donc loin d'être biunivoque et se révèle souvent indirecte. Cela conduit à considérer et étudier les capacités technologiques de défense comme un tout.

Les capacités technologiques à acquérir en priorité sont celles considérées comme primordiales pour permettre aux armées d'assumer les missions qui leur sont imparties. Le plan prospectif à 30 ans (PP30) précise ces missions et recense l'ensemble des équipements dont devront être équipées les armées pour satisfaire au modèle d'armées 2015. Mais il est nécessaire de poursuivre la réflexion au-delà de ce modèle, pour pouvoir prendre en compte les ruptures technologiques susceptibles de conduire à l'apparition de nouveaux moyens ou de nouvelles formes de combat et permettre aux décideurs, à l'horizon 2015, de développer les équipements de défense dont les armées pourront avoir besoin dans les 10 ou 15 ans qui suivent.

C'est sur ces bases que l'on procède à l'identification du socle de capacités technologiques.

Identification du socle de capacités

Tout d'abord, on détermine pour l'ensemble des programmes futurs identifiables, complété par des besoins non traduisibles immédiatement en programmes, les écarts de

capacité par rapport à ce qui existe aujourd'hui. A chaque capacité sont associées des actions technologiques qui se traduisent en un certain nombre de thèmes d'études. Cette analyse est menée de façon indépendante par programme ou par capacité opérationnelle. Elle est complétée par les études technologiques de base non attachées à un besoin opérationnel, clairement identifié par un système de forces. Il y a donc possibilité de redondance entre les besoins.

Ces études sont regroupées par domaine technique en agrégeant au sein d'une même action technologique les besoins voisins identifiés au titre de plusieurs programmes (ou capacités opérationnelles). Une fois l'agrégat réalisé, chacune de ces actions technologiques est évaluée selon plusieurs critères.

- Le caractère dual de la capacité. Il s'agit ici d'évaluer la part d'innovation issue directement du civil et l'écart entre les besoins civils et les besoins strictement militaires pour en déduire les actions qui doivent être menées en liaisons directes avec les civils ainsi que l'effort spécifique que doit mener la Défense pour aboutir à l'action technologique identifiée.
- La priorité que le ministère doit accorder à chacune de ces actions. Trois classes de priorité ont été identifiées :
 - *primordiale*, l'action correspond à un besoin fondamental et doit être financée impérativement ;
 - *importante*, l'action est nécessaire pour permettre le gain de capacité technologique ou opérationnelle dont le besoin a été identifié lors de la première étape ;
 - *souhaitable*, sans être indispensable, l'action permet de réduire les risques pour les programmes futurs.
- La possibilité de coopération. Quatre modalités de conduite des études relatives à chaque action sont envisagées :
 - *autonomie nationale*, l'action correspond à un besoin de souveraineté et doit être menée dans le cadre national ;

- *autonomie européenne*, l'action doit être conduite en Europe. La France participe à sa réalisation afin de bénéficier de tout ou partie des résultats ;
- *capacité d'acheteur*, action technologique dont les résultats doivent être disponibles pour que la France, sans participer à son élaboration, soit apte à les mettre en œuvre ;
- *abandon*, action initialement identifiée, mais pour laquelle aucune action d'études amont n'apparaît comme nécessaire, soit que le besoin a disparu compte tenu des décisions sur les programmes, soit que cette capacité sera disponible sans nécessiter aucune action d'étude amont spécifique.

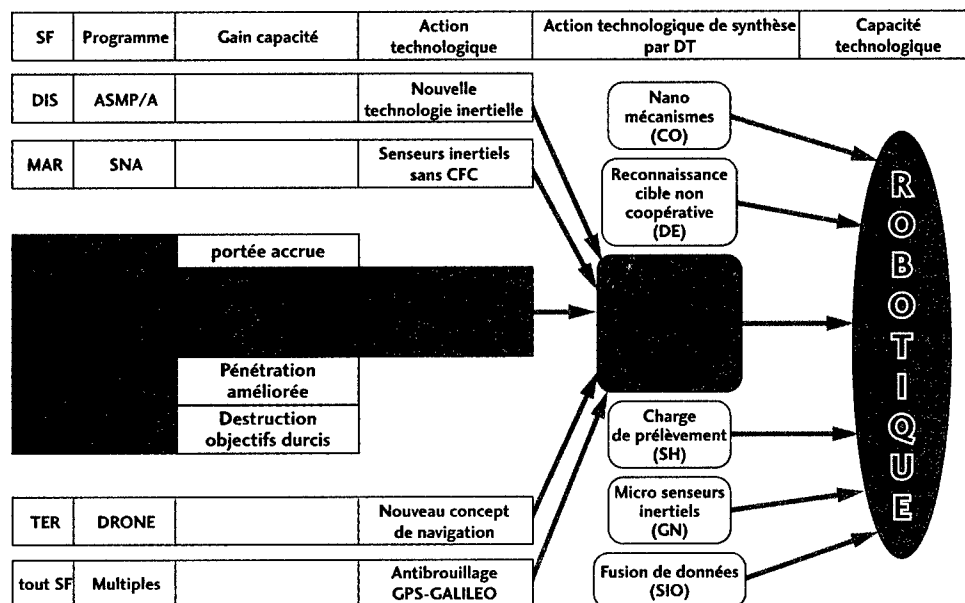
Ces besoins sont alors synthétisés sous forme de capacités technologiques. A chaque capacité, on rattache les études qui seront à conduire, les priorités qui doivent leur être accordées et les coopérations qui sont à rechercher, que ce soit avec des partenaires étrangers ou en se rapprochant des civils.

Enfin, il apparaît que la réalisation de démonstrateurs technologiques est une des façons les plus probantes de s'assurer qu'une technologie est effectivement maîtrisée.

C'est pourquoi, pour chacune des capacités technologiques, on recense les démonstrateurs technologiques qu'il y a lieu de réaliser. Il faut noter qu'au-delà de la maîtrise d'une technologie, les démonstrateurs présentent plusieurs autres intérêts :

- réduire notablement les risques, et donc le coût, pour le développement des programmes qui utiliseront cette capacité ;
 - mieux cerner les domaines d'application des technologies ;
 - valider certains concepts d'emploi ;
 - initialiser des coopérations préparant la réalisation en commun de programmes d'armements ;
 - favoriser le rapprochement d'acteurs de l'armement (laboratoires scientifiques, grands maîtres d'œuvre industriels, PME/PMI...).
- Le schéma ci-dessous illustre, sur un cas concret, les différentes étapes de la démarche précédemment décrite.

IDENTIFICATION D'UNE CAPACITÉ TECHNOLOGIQUE



Les 40 capacités technologiques

Un socle de quarante capacités technologiques a été ainsi identifié. Le tableau (cf. page suivante) montre les liens entre chacune des capacités technologiques et les systèmes de force, d'une part, et les capacités opérationnelles prioritaires, de l'autre. Cette adéquation assure la cohérence de notre outil de défense, comme on peut en juger ci-après.

Système de forces – dissuasion

Les capacités du système de forces ont deux horizons d'application, le court et le moyen terme. Elles contribuent à l'amélioration du système de *pénétration des missiles balistiques* et à la préparation des évolutions, notamment de la *propulsion et de l'architecture des missiles balistiques*, envisagées pendant la vie du programme M51 pour le maintien ou l'amélioration des capacités opérationnelles. A long terme, c'est-à-dire après 2020, elles préparent des solutions nouvelles pour la *propulsion et l'architecture des missiles aérobie, dont l'hypervitesse*.

Les actions technologiques associées contribuent à maintenir, en particulier pour les missiles balistiques, un potentiel de compétences industrielles nécessaire à l'autonomie nationale pour le *maintien de l'invulnérabilité des SNLE* et notre capacité à assurer les *transmissions stratégiques*.

Système de forces – C3R

La raison d'être du système de forces est la maîtrise de l'information pour renseigner en vue de décider puis transmettre les ordres. Ce système de forces innervé donc tous les autres et ses technologies sont présentes dans tous les systèmes. Il nécessite des capacités technologiques tournées vers le renseignement (*observation optique spatiale, radars SAR-MTI, capteurs d'écoute, identification spatiale et l'orbitographie, architecture de systèmes de drones*), mais aussi des capacités technologiques de traitement de l'information (*fusion de données,*

numérisation de l'espace de bataille, la transmission en EHF). Enfin, l'omniprésence des systèmes informatiques nécessite une maîtrise de la capacité de *lutte informatique*.

Système de forces

– mobilités stratégique et tactique

Les besoins pour ce système de forces peuvent être, pour l'essentiel, satisfaits par l'achat de matériels dont l'acquisition ne pose pas de réel problème en matière de disponibilité ou souveraineté. Il n'y a donc pas lieu de mettre en exergue de capacités technologiques pour ce système. Ceci n'excluant pas le fait de disposer des compétences minimales pour spécifier nos besoins. Néanmoins, certains aspects spécifiques de ce système de force nécessitent des études amont plus importantes, comme le système d'autoprotection des avions de transport et le système de ravitaillement en vol.

Système de forces

– frappe dans la profondeur

Largement tributaire du C3R et de la maîtrise du milieu aérospatial (dont les besoins ne sont pas repris ici), le système de forces requiert en propre un certain nombre de capacités technologiques critiques liées pour la plupart à l'action de frappe proprement dite. Les différentes allonges recherches impliquent une nouvelle génération de *missiles de croisière* mais aussi de *turboréacteurs de petite dimension pour les missiles (ou les drones)*, ainsi que des technologies de *guidage et navigation de haute précision*. Dans le cas de missions plus complexes, il sera nécessaire de disposer d'engins intermédiaires entre les missiles et les drones (*UCAV*). Le risque de dommages collatéraux, en particulier pour des frappes d'opportunité, suppose, outre la navigation précise, une capacité *d'identification non coopérative*. Enfin, le besoin de limiter l'attrition implique une capacité de *brouillage offensif* et, éventuellement, de destruction des défenses aériennes adverses.

SYNTHESE DES CAPACITÉS TECHNOLOGIQUES

Capacité opérationnelles Systèmes de forces	Appréciation de la situation	Commandement Conduite Communication	Frappe	Sauvegarde
DISSUASION		Transmissions stratégiques	Pénétration des missiles balistiques Propulsion et architecture des missiles balistiques Propulsion et architecture des missiles aérobie hypervitesse	Invulnérabilité des SNLE
C3R	Observation optique spatiale Radars SAR-MTI Capteurs d'écoute Architecture de systèmes de drones	Fusion de données Numérisation de l'espace de bataille Transmission EHF		Identification spatiale et orbitographie
PROFONDEUR			Architecture des missiles de croisière Turboréacteurs pour les missiles et drones Guidage-navigation de haute précision	Identification non coopérative Brouillage offensif
PREPARATION	Environnement géophysique	Architecture des grands systèmes et la simulation Interfaces homme-machine		Soutien médical en OPEX Protection contre les agents B&C
Milieu Aéroterrestre	Robotique		Munitions intelligentes bas coût Armes à énergie dirigée	Protection équilibrée Détection/neutralisation des mines
Milieu Aéromaritime		Systèmes de combats intégrés et modulaires		Détection et protection UUV Maîtrise de l'énergie
Milieu Aérospatial			Moteurs à hautes performances Architecture ouverte pour l'avionique	Interaction entre aérodynamique-furtivité et autoprotection Intégration d'aériens partagés discrets Détection & interception aéronefs Détection & interception missiles balistiques

maintenir améliorer acquérir

Système de forces – maîtrise du milieu aéroterrestre

Le rôle du système de forces est de matérialiser sur le terrain et dans la durée l'atteinte des objectifs stratégiques de la France. Généralement employées au sein d'un dispositif interarmées strictement national ou multinational, les forces terrestres s'engagent au sol et près du sol, au contact direct de l'adversaire, des factions en présence ou des populations, pour contrôler de façon permanente et durable des milieux physiques et humains diversifiés.

En termes techniques, cela doit se traduire par des concepts de protection offrant des performances plus élevées qu'aujourd'hui, mais avec un allègement des structures et privilégiant par ailleurs la discrétion par :

- une *protection équilibrée* ;
- une capacité de tir indirect précis, voire "coup au but", résistant aux contre-mesures adverses et nécessitant la mise en œuvre d'une gamme de *munitions intelligentes bas coût* ;
- la maîtrise des fonctionnalités permettant une mise en œuvre de moyens utilisant la *robotique* ;
- l'utilisation d'*armes à énergie dirigée*, la *détection* et la *neutralisation des mines*.

Système de forces – maîtrise du milieu aéromaritime

Le système de forces est caractérisé par des plates-formes diversifiées (bâtiments de surface, sous-marins ou avions de patrouille maritime) auxquelles il faut donner des capacités de *détection et de protection* contre missiles, torpilles, mines, plates-formes adverses ou l'environnement. Ces capacités nécessiteront d'acquérir l'aptitude technologique à mettre en œuvre des engins sans pilotes du type UUV (UAV) ou semi-submersibles afin d'accroître les zones de détection/protection tout en réduisant le risque de pertes humaines. Ces différentes plates-formes (avec ou sans pilote) doivent fonctionner de concert

à l'aide de *systèmes de combat intégrés et modulaires*. Enfin, la *maîtrise de l'énergie* est primordiale pour les plates-formes navales.

Système de forces – maîtrise du milieu aérospatial

Parmi les capacités technologiques sous-tendues par la réalisation des systèmes qui assurent les capacités opérationnelles du système de forces, certaines nécessitent une maîtrise sinon nationale, au moins européenne. Elles peuvent être critiques pour la réalisation d'aéronefs performants, c'est-à-dire équipés de *moteurs à hautes performances* et dont la survivabilité est assurée par une *maîtrise de l'interaction entre aérodynamique, furtivité et autoprotection*. Ces avions doivent être efficaces, et donc capables de voir sans être vus. Pour cela, ils disposent de l'*intégration d'aériens partagés discrets* et de capteurs intégrés dans une *avionique ouverte*, comme pour la réalisation d'armements antiaériens, de moyens de *détection et d'interception d'aéronefs* (et de missiles de croisière) associés, dans le cadre d'une défense aérienne conventionnelle qui devra néanmoins être antifurtive, ou enfin de *détection et d'interception de missiles balistiques* au sein d'une défense aérienne élargie.

Système de forces – préparation et maintien des capacités opérationnelles

Les actions amont de ce système de forces reposent sur deux axes principaux.

Le premier est lié à l'évolution des systèmes d'armes. Leur complexité de plus en plus grande nécessite désormais de *maîtriser l'architecture des grands systèmes et la simulation* et de pouvoir s'adapter aux milieux dans lesquels ils seront mis en œuvre, en sachant utiliser l'*environnement géophysique*.

Les travaux liés au second axe ont pour but d'assurer la protection de nos troupes en assurant leur *soutien médical en opérations extérieures* et une meilleure adéquation des moyens

par la prise en compte des *interfaces homme-machine*. Un effort tout particulier sera fait pour *lutter contre les agents biologiques et chimiques*.

Autres compétences

Bien entendu, les autres domaines ne devront pas être totalement abandonnés, ne serait-ce que pour nous permettre de discuter avec nos partenaires, et de pouvoir disposer d'une compétence d'acheteur apte à juger ce qui nous est proposé pour ce que nous aurons décidé d'acheter "sur étagère". Il ne faut pas oublier les travaux prospectifs ou technologiques plus amont pour lesquels il importe de maintenir un effort permanent.

La maîtrise de ces capacités technologiques, enrichie de recherche de base, notamment en matière de technologie et d'études prospectives, pour analyser

l'arrivée potentielle de ruptures technologiques, permettra de fournir aux armées les moyens dont elles auront besoin pour assurer les missions qui leur sont confiées. Ce référentiel de capacités nous permet de disposer d'une vision à long terme pour définir notre politique d'études amont dont il assure la cohérence globale. Il constitue également l'élément de base pour harmoniser l'utilisation de nos ressources tout à la fois avec les travaux effectués par les civils, en particulier ceux pilotés par les ministères (recherche, transport, industrie...), mais également avec nos partenaires européens.

Ainsi, une harmonisation de la politique de recherche de l'ensemble des parties prenantes européennes permettra, avec des moyens qui resteront inférieurs, aux systèmes de défense de l'Europe d'atteindre un niveau technologique, et donc opérationnel, équivalent à celui des autres grandes puissances. 

La dualité : ses fluctuations et son nouveau souffle

par Alain QUENZER, ingénieur général de l'armement
Service de la recherche et des études amont - Direction des systèmes de forces et de la prospective

There has been much talk in the 1990s of the civil-military duality; however this term means different things to different people. Of course any activity that shapes the future for our technical and scientific industrial base must, as far as possible, be co-ordinated; this requires first and foremost a clear definition of the desired aim, with an unequivocal and realistic insight into the resource problem that is all too often underestimated. Many fine words are spoken, but they are not matched by actions, and what does emerge is often impeded by differences in procedures between ministries - defence is resolutely "top-down", research just as clearly "bottom-up" - and policies seem to change on a daily basis. Due to the drastic reduction of its research funds, the French department of defence decided in 1997 to fund only specific research applied for middle term armement products. After a regression period for civilian-military cooperation, was decided beginning 2000 to try to build up new ways of optimising the synergy between the ministries responsible for research and for defence.

Dans les premières décennies après la Seconde Guerre mondiale, les grands programmes menés par les Etats, tout particulièrement ceux de la défense, mais aussi les programmes civils tel Concorde, étaient des moteurs puissants du progrès scientifique et technique. Dès 1960, avec la création de la DRME devenue DRET, la défense a joué un rôle structurant dans la recherche amont en suscitant les liens nécessaires avec les milieux de la recherche civile. La direction de la DRET rencontrait semestriellement les

responsables DGRT et DITAR du ministère de la Recherche pour faire le point sur les actions co-décidées par les binômes rassemblant les responsables des groupes du service des recherches et leurs homologues de la recherche, par exemple de la mission scientifique et technique d'alors. Malgré les évolutions des structures et tout particulièrement de celles du ministère chargé de la Recherche, cette synergie a pu, entre autres, déboucher sur des actions telles SYRECIDE rappelée ci-dessous.

La dualité et l'Etat

Des discours à la réalité

Vers la fin des années 1970 le terme *dual use* prit son envol aux Etats-Unis alors que, en France, on tentait encore parfois de justi-

fier l'effort de recherche de défense par les "retombées" de ces recherches dans le secteur civil. En 1992, par une communication conjointe au Conseil des ministres de Hubert Curien, ministre de la Recherche, et Pierre Joxe, ministre de la Défense, fut introduite

dans le discours politique la notion de dualité.

Le mot "dualité" prenait dès lors un essor d'autant plus grand que d'une part, chacun pouvait lui donner le sens qu'il voulait et que d'autre part, il venait à point pour justifier les réductions sensibles des crédits de recherche de défense.

Le résultat directement tangible des discours sur la dualité a été l'instauration d'une contribution du ministère de la Défense au BCRD, inscrite en LFI, et se montant à 690 MF en 1993, 700 MF en 1994, 1 900 MF en 1995, 2 000 MF en 1996 et 2 000 MF de reports en 1997, 500 MF en 1998, 900 MF en 1999, 1 500 MF en 2000 et 1 200 MF en 2001, sans que l'utilisation de ces fonds ne soit soumise à une réelle concertation entre les deux ministères. Ces crédits viennent abonder le budget du CNES. Ces procédés ont chargé le terme de "dualité" de sous-entendus financiers et budgétaires, allant jusqu'à établir localement des tactiques de rejet de l'intérêt d'une concertation civil-défense, fondées sur la crainte d'une taxation supplémentaire du budget de la défense.

La dualité vue par la DGA

Très schématiquement, on pourrait dire qu'un système d'arme est composé d'un cœur spécifique défense, qui lui confère la supériorité par rapport aux systèmes concurrents, et d'un ensemble de briques technologiques que l'on choisira le plus possible dans les produits civils en relâchant en particulier les spécifications jusqu'alors imposées par la défense (cf. **amendement Perry, aux États-Unis**). Dans ce schéma il y a deux types d'ingrédients spécifiques défense : d'une part, certains éléments technologiques de supériorité qui n'auront pas pu provenir du monde civil et, d'autre part, l'intégration et l'adaptation mutuelle de toutes les briques et leur constitution en système.

Ceci montre clairement que l'on ne peut pas parler de développement à double usage, mais

que c'est bien au niveau de la R&T que la synergie doit être recherchée dès que possible.

Le dual, ce n'est ni l'utilisation militaire de produits civils ou de la recherche civile, ni l'utilisation civile de produits ou de la recherche militaire. Le dual c'est mener en commun des recherches technologiques de base jusqu'au stade d'une bifurcation, où apparaissent d'un côté le développement civil et son marché et de l'autre le développement spécifique défense.

Une expérience phare : SYRECIDE

C'est pourquoi la DRET et la DGRT ont établi, dès 1996, une procédure de cofinancement SYRECIDE (synergie recherche civile-défense), à hauteur de 50 %, d'actions d'envergure et innovantes, menées par des groupements associant des industriels capables de valoriser les produits de la recherche sur les marchés civils et armement et des équipes de la recherche publique. Les deux ministères contribuaient chacun globalement pour moitié au financement public annuel des projets soutenus dans le cadre de cette procédure.

Le financement qui y était consacré restait faible : en 1998 (respectivement 1997) cela a concerné des projets d'un montant total de 40 MF (26 MF) avec une contribution étatique de 20 MF (resp. 13 MF) répartie à parts égales entre la DGA et le MENRT. Notre but était d'accroître les moyens de cette procédure, qui apporte une valeur ajoutée importante et permet de construire de meilleurs programmes, larges dans les partenariats et moins coûteux pour la défense, par le fait du cofinancement, et la possibilité à plus long terme de voir cette technologie portée, améliorée, et rendue mature et moins coûteuse par la dynamique des marchés civils.

Les principales difficultés rencontrées lors de cette expérience se résument à :

- des réformes successives d'organisation interne de chacune des parties étatiques :

- la DGA d'abord, avec, dès 1997, un recentrage des études amont sur le spécifique défense, recherche appliquée visant à mettre au point les technologies prévues pour l'équipement des forces dans le cadre du modèle d'armée 2015. Ce recentrage s'est traduit par une régression des liens entre les responsables des études amont et leurs interlocuteurs dans les ministères civils ;
- le ministère chargé de la Recherche ensuite, et la réforme de sa procédure en janvier 1999 qui a marqué unilatéralement la fin de SYRECIDE ;

• des approches budgétaires différentes : "achats de recherche de défense" sur titre V, par conséquent contractualisation soumise au code des marchés publics d'alors, inadapté à la R&T côté DGA, et subvention à la recherche (titre VI), côté MENRT. La durée moyenne de notification était d'environ 2 mois au MENRT et plutôt 18 mois à la DGA, ce qui rendait difficile le phasage d'actions cofinancées. C'est pourquoi les derniers projets sélectionnés en 1998, bien qu'ils soient co-pilotés par les représentants des deux ministères, n'étaient notifiés que par une seule voie, l'équilibre budgétaire se faisant globalement sur l'année.

Remarquons que les difficultés rencontrées dans une coopération interministérielle sont semblables à celles rencontrées dans une coopération internationale, difficultés de langue mises à part...

Les actions d'environnement de la recherche

Les liens entre recherche civile et recherche de défense ne se résument pas uniquement à l'existence d'un certain nombre de thèmes d'intérêt à caractère dual. Ils sont également affaire de contacts et d'échanges au sein de la communauté scientifique. Ces contacts et

échanges sont essentiels si l'on veut éviter qu'à l'avenir la R&T de défense ne se dissocie entièrement de la R&T civile, d'autant plus qu'avec la professionnalisation des forces armées, le citoyen et donc aussi le scientifique pourrait à terme se désintéresser de la défense, considérant qu'elle n'est l'affaire que des militaires ; on retournerait ainsi de quelque trente ans en arrière.

Cette synergie entre les milieux de la recherche civile et militaire, qui n'est généralement pas citée lorsque l'on parle d'actions duales, a été la seule à subsister à la fin des années 1990. Elle se décline au sein de la défense en une participation à la formation d'ingénieurs (école sous tutelle), en un effort de formation par la recherche dans le cadre des bourses de thèse DGA-CNRS, créées en 1983, où la DGA finance près de 250 thésards. Ces thèses sont attribuées par un jury où sont représentés la défense, le ministère chargé de la Recherche et le CNRS. Enfin, un certain nombre d'autres actions entrant dans le cadre de "l'environnement de la recherche" nous permet de participer à l'animation du milieu scientifique tels les soutiens aux manifestations scientifiques intéressant la défense, et de soutenir des propositions spontanées d'équipes de recherche sur des idées originales et ambitieuses afin d'espérer ouvrir la voie à des technologies nouvelles et à de futurs programmes d'étude amont innovants.

Réciproquement, le ministère chargé de la Recherche finançait dans des organismes liés à la défense des post-docs (ONERA, CNES, CEA).

Une récession...

L'ensemble de ces actions, malgré une décroissance observée de 1997 à 1999, a pu être maintenu et contribue à la synergie entre la recherche civile et les études amont de la défense, mais l'ensemble de ces actions n'est pas à lui seul suffisant.

A la suite de la diminution du budget de la défense, et tout particulièrement de celui

voué aux recherches, qui a perdu 50 % entre 1992 et 1997, les études amont se sont focalisées sur le spécifique défense, en laissant à la recherche civile la responsabilité de construire la base scientifique et technique nationale nécessaire. Cette focalisation aurait dû être accompagnée d'une action interministérielle volontariste comme aux Etats-Unis ou au Royaume-Uni en vue d'assurer la compétitivité de notre base technologique à moyen ou long terme. Cela n'a pas été le cas, comme le constatait Madame le député Lignières-Cassou à la fin de l'an 2000, dans son rapport sur les recherches de défense : *« Votre rapporteur a eu l'impression au cours de ses travaux que la notion de dualité était souvent mise en avant par un acteur pour repousser la charge de financement de la recherche sur un autre acteur et que le principe de dualité semblait plutôt en régression, dans les esprits, si non dans les faits. »*

Dès le rapport d'évaluation 1998 des études amont, le président de la commission d'évaluation notait qu'il s'agit là d'un *« problème majeur que l'on a trop tendance à minimiser : ni les procédures, ni la réflexion et encore moins, les aides des ministères civils ne peuvent laisser penser que l'on est proche d'une prise en compte réelle du problème de la dualité dans toute son ampleur... »*. En 2000, nous étions effectivement retombés au creux de la vague et les seuls liens subsistants étaient, hormis quelques contacts directs tenant plus à la personnalité des acteurs et à leur initiative personnelle, les actions menées dans le cadre de l'environnement de la recherche.

Un nouveau souffle

Le 29 janvier 2001, l'IGA Leloup, représentant la DGA, et M. A. Costes, directeur de la technologie au ministère chargé de la Recherche, ont signé un protocole en vue de développer et de renforcer les relations de coopération et de synergie en matière d'activité de recherche et de technologie entre le ministère de la Défense et le ministère de la

Recherche. Ce protocole dessine trois grands champs d'application :

- concertation sur la définition des politiques technologiques à mener ;
- assistance mutuelle en expertise, prospective et évaluation ;
- coopération sur des projets ou des actions de recherche et de technologie (R&T).

Il établit un comité directeur assisté d'un groupe de travail pour faire semestriellement le point sur les actions entreprises et à entreprendre.

Un comité directeur ne peut être actif que si, à la base, se constituent des réseaux d'échange. Le MRT a récemment mis sur pied des réseaux de recherche et d'innovation technologique qui rassemblent en réseau, sur des thématiques jugées prioritaires, acteurs industriels et scientifiques. Fonctionnant dans un cadre interministériel, ces R²IT sont des plates-formes aptes à permettre une coordination efficace. La participation d'un représentant DGA à chacun des réseaux permettra ainsi de reconstruire la coordination de la défense avec les autres ministères porteurs et, au cas par cas, de relancer dans le cadre des appels à proposition de ces réseaux un cofinancement d'actions intéressant la défense.

L'ensemble de ces dispositions devrait permettre de redonner à la concertation une efficacité certaine en faisant évoluer les mentalités ; mais n'oublions pas que reconstruire est une tâche demandant plus d'efforts que de détruire : malgré ce revirement, nous constatons encore actuellement une diminution notable du nombre et de l'ambition des propositions spontanées de recherche soumises par les milieux de la recherche publique. Les messages de recentrage sur le spécifique défense ont sans doute été reçus par ces milieux comme un abandon de l'amont, un désintérêt pour l'innovation scientifique et technique qu'il convient de s'attacher à rectifier.

La dualité dans l'industrie

Au niveau national

Quelles que soient les orientations adoptées par l'Etat, la réussite *in fine* de ces stimulations est entre les mains des responsables industriels et dépend de la manière dont ils gèrent en interne la dualité.

L'adaptation à des fins militaires de recherches civiles ou sa réciproque, l'adaptation à des fins civiles de recherches de défense, se fait naturellement au niveau du développement et repose sur la compétence de l'industriel. Lorsque nos industriels de l'armement se placent à la fois sur le marché civil et sur le marché armement, cette démarche est simplifiée. Cette adaptation n'est pas linéaire dans le temps, il ne s'agit pas de transferts mais de fertilisation réciproque : par exemple, les composés carbone-carbone développés pour le lanceur *Ariane* ont ensuite été optimisés par le sport automobile ; *Ariane* profite maintenant de ces matériaux améliorés par les marchés civils.

D'autres exemples existent bien sûr dans le domaine de la microélectronique et de l'informatique ; il s'agit alors pour la Défense de concevoir des systèmes modulaires où le module civil puisse être changé dans le système d'arme dès lors qu'une amélioration sensible y est apportée (le cycle d'évolution du matériel civil est en général cinq fois moindre que celui du matériel défense).

Dans tous ces aspects, soulignons le rôle majeur qui revient à l'industriel maître d'œuvre du système ; l'Etat doit uniquement veiller à ce que ne soient pas développés, pour les besoins défense, des équipements voués à une série très limitée, si la même fonction peut être remplie par l'adaptation de produits civils.

La réussite de ces opérations dépend alors de la structure interne de l'industriel et de la perméabilité qu'il saura établir entre ses activités civiles et de défense. A ce titre, on peut constater avec satisfaction que rares sont les

grands industriels pour lesquels la partie armement reste majoritaire. Un exemple parlant en est le groupe Aerospatiale qui, en l'espace de dix ans, est passé d'une proportion en chiffre d'affaires défense-civil de 60 % - 40 % à 20 % - 80 %.

La dualité au niveau européen

Malgré l'affichage d'objectifs uniquement civils pour les programmes de recherche et de technologie soutenus par la Communauté européenne, compte tenu de l'aspect amont et pré-compétitif, certains domaines traités par le PCRD sont clairement à double usage (technologies de l'information et des communications, aéronautique, matériaux, procédés industriels), etc. On peut évaluer approximativement à 25 % le montant du PCRD consacré au dual, soit environ 3,3 GECUS (~ 20 GF).

Le Parlement européen a eu des positions très contrastées ces dernières années au sujet des études duales : rapport Desama, hostile aux études duales, rapport Argyros contrasté puis le rapport Titley plus favorable, et enfin, au début du 5^e PCRD, une volonté de réserver les crédits de recherche à des fins exclusivement civiles. Les positions des Etats membres vis-à-vis de la dualité sont très variées, allant d'une position très favorable (ex. : Suède) à hostile (ex. : Irlande). La France considère que « *tout en reconnaissant la nature essentiellement civile du PCRD, il importerait de faire acter la volonté de ne pas pénaliser les projets dont les résultats ont un intérêt militaire potentiel* ».

S'il convient essentiellement et avant tout à nos industriels de l'armement de s'inscrire dans cette compétition européenne pour se voir soutenir dans leurs actions de recherche finalisée pré-compétitive, il revenait à l'Etat, dans la préparation et la définition du 6^e PCRD, de prévoir et d'inscrire des thèmes permettant la mise en œuvre de cette dualité, ce qui a été fait.

La DGA a, pour sa part, décidé d'apporter une attention particulière aux propositions

d'études amont en relation directe avec des projets dont la partie technologie de base serait soutenue par la Communauté européenne afin de permettre aux industriels d'en parfaire le volet défense.

Après une période de régression, qu'avait soulignée le rapport d'évaluation de 1999 des études amont, lors de la suppression de Syrecide, qui selon Madame Lignières-Cassou "ne laisse pas d'étonner sur les aléas de la politique de recherche en France", nous sommes entrés en 2000 dans une phase constructive avec

certaines opportunités réelles qui permettent d'entrevoir un avenir meilleur. Tout repose sur les acteurs à la base, étatiques et industriels, car c'est de leur volonté commune et de leur mentalité que dépend l'efficacité de l'action. Certaines études sur la dualité ont proposé la création d'un comité interministériel spécifique ; l'essentiel à mon sens est que l'orientation donnée au plus haut niveau de l'Etat soit claire et constante et que son interprétation aux échelons subalternes ne succombe pas aux tentations de tactiques locales en vue de repousser la charge financière sur l'autre partie. C'est l'intérêt de la nation qu'il s'agit de garantir et non l'intérêt du ministère auquel on appartient. 

Les matériaux structuraux : un enjeu scientifique et technologique majeur

par Annick PERCHERON - GUÉGAN, Ministère de la Recherche
Jean-François BAUMARD, CNRS
Michel MUSSINO, Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie
Thierry PUIG, Manager antichar ⁽¹⁾- Direction des systèmes d'armes
et Jean-Paul GRELLIER, Direction des systèmes de forces et de la prospective

The structural materials field is a transverse domain, strategic for civil and military use. For defence, materials make a major contribution to the performance of systems as well as to their durability, their availability and the control of their life cycle costs. The security of crews is strongly concerned too. In this field, the policy is to promote a cross fertilisation between civil and defence in order to achieve major success like in the aerospace industry for example. By pursuing this way, it will be possible to improve performances of future systems as materials are expected to play a key role in the present century as they did in the last one.

De tout temps, les progrès apparus dans les systèmes d'armes sont allés de pair avec les innovations apportées par l'industrie des matériaux.

Les matériaux structuraux représentent pour la défense un domaine transverse particulièrement stratégique puisqu'il intéresse la quasi-totalité des matériels d'armement, sur tout leur cycle de vie allant de leur spécification au retrait du service en passant par leur conception, leur développement, leur mise en service et leur maintien en condition opérationnelle.

Les matériaux contribuent largement aux performances des systèmes ainsi qu'à leur durabilité, leur disponibilité et leur coût complet de possession, et conditionnent dans de nombreux cas la sécurité des équipages des forces armées. Ils jouent un rôle majeur dans tous les composants structuraux

(transmettant des efforts mécaniques) et/ou fonctionnels compte tenu de propriétés physiques particulières (transparence électromagnétique ou acoustique, absorption radar ou IR, barrières thermiques...).

La bonne position générale nationale dans le domaine des matériaux structuraux est due à la qualité des laboratoires de recherche nationaux et des équipes de R et D des entreprises concernées, ainsi qu'aux liens qu'ils ont pu établir et entretenir depuis de nombreuses années.

La valorisation des recherches au profit des acteurs industriels est systématiquement recherchée. Elle s'appuie sur une mise en réseau des activités (industrie et recherche) et des compétences scientifiques de base (en chimie, physique, mécanique, sciences de l'ingénieur...).

⁽¹⁾ Responsable du domaine Technique "matériaux structuraux" au sein de la DGA de février 1997 à septembre 2001 (DGA/DSP/STTC).

Dualité

Le domaine des matériaux est souvent considéré comme dual. Or, pour l'essentiel, les solutions (matériaux/procédés) qui répondent aux exigences des systèmes d'armes modernes possèdent un haut degré de technologie et sont spécifiques de ces besoins de défense : ces solutions sont souvent des "verrous" technologiques pour les programmes d'armement.

Les différences de cahier des charges (intégration de fonctions propres comme la furtivité, l'endommagement aux combats...) conduisent, pour les applications de la défense, à des solutions spécifiques pour lesquelles des développements particuliers sont indispensables (cas des composites absorbants radar par exemple).

La dualité se traduit plus précisément en termes de communauté de moyens. En effet, on constate que, pour la fabrication d'objets civils et militaires, les moyens industriels sont souvent identiques (industrie "amont" d'élaboration, procédés de transformation, de construction) et éventuellement transposables. Les synergies entre secteurs sont favorisées et sont indispensables pour pérenniser l'outil industriel et consolider les sources d'approvisionnement.

Recherche civile sur les matériaux

Les activités dans le domaine des matériaux pour les applications civiles, sous financements étatiques, sont pilotées par le ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie (MEFI), le ministère de l'Education nationale, de la Recherche et de la Technologie (MENRT) et le ministère des Transports (dont la DGAC).

MEFI

Les crédits engagés par le ministère ces dernières années relevaient de deux procédures :

- les technologies clefs ;
- la procédure régionale ATOUT destinée à diffuser les technologies existant sur "étagère" pour aider à la compétitivité des industriels.

Ministère de la Recherche

Plusieurs programmes ou procédures existent :

- le 5^e PCRD (1999 à 2002). Les activités matériaux se retrouvent dans le programme thématique "croissance compétitive et durable" : thèmes "technologies des transports terrestres et de la mer" et "nouvelles perspectives pour l'aéronautique" ;
- le programme interministériel (avec le ministère des Transports) Amiante dont l'objectif est de trouver des solutions de substitution à l'amiante pour les applications dans le bâtiment, les transports et l'industrie ;
- le programme européen Eureka destiné à renforcer la compétitivité de l'industrie européenne civile.

Actions communes (MEFI et MR)

Dans le cadre des Réseaux de recherche et d'innovation technologiques (RRIT), les ministères ont créé un réseau "matériaux et procédés" dont le but est de mobiliser la recherche publique pour les besoins des marchés en créant un partenariat entre la recherche publique et l'industrie. Le mode de financement du réseau fait appel à la subvention ou à l'avance remboursable. Ce dispositif devrait permettre d'intégrer de futurs projets intéressants à la fois les secteurs civil et militaire. Il s'agit d'une procédure de type *bottom-up*, les projets étant proposés sur initiative des partenaires industriels et universitaires, expertisés puis financés, selon les perspectives d'application des résultats par le ministère concerné.

Un accord a été signé entre le ministère de la Recherche (Direction de la technologie) et le ministère de la Défense (Direction des systè-

mes de forces et de la prospective). Ce protocole a pour objet de développer et renforcer les relations de coopération et de synergie entre les ministères.

Pour faire suite à ce protocole, un représentant de la DGA a été intégré au sein du bureau du réseau "matériaux et procédés".

La même coordination entre représentants civils et représentants de la DGA existe dans le cadre d'autres Réseaux de recherche et d'innovation technologiques intéressant les matériaux : micro-nano technologies, recherche aéronautique sur le supersonique.

DGAC

Des subventions industrielles, en accord avec les règles concurrentielles européennes, sont accordées par la DPAC, avec maîtrise d'ouvrage déléguée à la DGA (Service des programmes aéronautiques), aux principaux industriels de l'aéronautique civile (EADS, SNECMA, Dassault Aviation...). C'est en particulier le cas du domaine matériaux pour l'aéronautique, qui permet de jouer pleinement la synergie civil/militaire. Les travaux financés par la DPAC profitent ou profiteront aux activités militaires : il y a un effet de levier très important pour le domaine des matériaux pour avions. Cela est aussi vrai pour le domaine des structures.

Les propositions industrielles concernent :

- les programmes d'études et recherches ;
- les développements technologiques probatoires à l'échelle industrielle regroupant plusieurs thèmes : matériaux, structures, conception et production.

Programmes CNRS dans le domaine des matériaux

A la suite des assises tenues à Lyon en décembre 1997, le CNRS a défini un "Programme matériaux", renouvelé en 2001, dont les objectifs sont les suivants :

- susciter et promouvoir de nouvelles fonctions susceptibles d'être assurées par les

matériaux dans l'ensemble des technologies ;

- contribuer à l'amélioration continue de matériaux préexistants (capacité d'ingénierie, évolution de formulations ou de procédés, meilleur dimensionnement des pièces) ;
- mieux comprendre les mécanismes limitant les performances, la fiabilité et la durée de vie des matériaux, pour mieux les utiliser et les optimiser ;
- soutenir les actions portant sur la conception, la réalisation, la caractérisation et la modélisation de matériaux d'architectures nouvelles ou complexes (matériaux polyphasés, multimatériaux et composites, matériaux à gradient de propriétés) ;
- définir la stratégie et la cohérence de la chaîne allant de l'élaboration à l'utilisation.

Pour atteindre ces objectifs, le CNRS organise des appels d'offres, soutient des groupements de recherche (GdR) entre laboratoires étatiques ou des contrats de programmes de recherche (CPR) entre laboratoires étatiques et industriels ; la DGA participe dans le cadre de ses études amont à deux CPR dans le domaine des matériaux structuraux, l'un sur les intermétalliques TiAl, l'autre sur la durée de vie des matériaux thermostructuraux (composites à matrice céramique).

Recherche défense sur les matériaux

Problématique défense

La problématique défense du domaine des matériaux est résumée ci-après :

- les solutions matériaux dans les domaines de pointe (verrous technologiques) sont presque toujours spécifiques à l'application défense concernée ;
- le cycle de retour sur investissement des solutions matériaux (matériaux / procédés) pour les industriels (élaborateurs et utilisateurs) est de l'ordre de 20 ans, soit bien au-delà des conditions économiques habituelles ;

– les besoins matériaux de la défense constituent une très faible part de marché comparé à celui du domaine civil, et sont plus exigeants au plan technique. Ils motivent ainsi difficilement les élaborateurs de matériaux.

Compte tenu de ces spécificités et de la grande diversité du domaine, il est indispensable à la défense, pour préparer ses futurs armements, de n'investir que sur un nombre restreint de technologies stratégiques jusqu'à leur maturation industrielle en phase avec les aspects calendaires et budgétaires des programmes.

Les priorités

Les axes stratégiques du domaine matériaux structuraux peuvent être rassemblés en trois principales familles ⁽²⁾ :

- A) – *ceux ne concernant que la défense* (pour lesquels les retombées civiles sont marginales ou inexistantes) :
- *matériaux pour la maîtrise des signatures* électromagnétique, infrarouge, matériaux anéchoïques et pour la réduction des bruits rayonnés par les bâtiments de surface et les sous-marins ;
 - *perforation - blindage* : les efforts concernent principalement le comportement dynamique des matériaux (consolidation et préparation des expertises étatiques au profit de la défense, accroissement des capacités prédictives des industriels dans les simulations des interactions des armes avec les protections ou les systèmes) ;
 - *usure des tubes d'armes* : développement

de méthodologies expérimentales permettant la modélisation des phénomènes complexes liés aux tirs ; “ruptures technologiques” de protection anti-usure pour les futurs besoins opérationnels.

- B) – *ceux indispensables* à la satisfaction des besoins opérationnels des systèmes pour lesquels la *défense* est *leader* compte tenu des échéanciers relatifs aux programmes d'armement (des retombées dans le secteur civil sont prévisibles) :

- *matériaux pour la propulsion* (turbomachines, composantes de la dissuasion). Signalons en particulier les enjeux associés aux parties chaudes des futures turbomachines militaires ;
- *matériaux pour “fenêtres”* (radômes, irdômes, dôme sonar).

- C) – *ceux indispensables* à la satisfaction des besoins opérationnels pour lesquels le *secteur civil* est généralement *leader*. L'implication de la défense ne concerne alors que l'adaptation des technologies aux besoins spécifiques à la défense :

- *matériaux et systèmes intelligents* : contrôle actif pour l'amortissement des bruits et des vibrations, contrôle des déformées structurales, contrôle santé intégré des structures ; dans ce secteur particulièrement émergent, la DGA a mis en place depuis plusieurs années un groupe de concertation avec les milieux industriels et universitaires ;
- *allègement des structures* : les enjeux de réduction de masse sont associés à l'introduction dans des pièces structurales d'alliages et de composites ;
- *corrosion* : les enjeux (en particulier pour le secteur naval) concernent à la fois le développement de solutions matériaux alternatives pour les circuits eau de mer, l'accroissement des capacités prédictives de durabilité des solutions

⁽²⁾ Pour plus de détail, le lecteur pourra se reporter aux articles suivants :

– Revue Scientifique et Technique de défense – Spécial STTC – mars 2001 : Les matériaux structuraux (Jean-Paul Grellier, Thierry Puig) et matériaux pour la maîtrise des signatures (Philippe Masclet).

– Revue L'ARMEMENT – Horizon 2030 – mars 2000 : Les matériaux du XXI^e siècle (Jean-Paul Grellier, Thierry Puig).

- matériaux, le développement des techniques de monitoring, ainsi que l'optimisation des contre-mesures (protection cathodiques, biocides...);
- *réduction des coûts* : réduction des coûts et des délais de qualification et de mise en œuvre des composites à matrice organique au profit, pour l'essentiel, du secteur aéronautique ;
- *intégrité des structures navales* (fatigue et résistance ultime pour le dimensionnement, prévision de comportement en service, analyse de la nocivité des défauts, tenue aux chocs) ;
- *nouveaux concepts* : il s'agit de technologies relatives à la mise en œuvre de futurs systèmes (îlots flottants, micro-drones, pistes projetables).

Les "outils"

Les actions de recherche de la DGA s'inscrivent principalement dans le cadre de Programmes d'études amont (PEA).

Les PEA font l'objet d'une évaluation verticale régulière effectuée par un groupe de pilotage impliquant des représentants des états-majors, des spécialistes des services de programmes de la DGA, des experts de la DCE et des personnalités extérieures à la DGA. Ce type d'évaluation permet d'analyser l'adéquation entre les objectifs initiaux et les résultats et de réorienter, si besoin est, les PEA.

Une soixantaine de personnes (dont une quinzaine extérieures à la DGA) sont actuellement impliquées dans l'évaluation de ces PEA. Des représentants des ministères civils seront systématiquement invités à participer aux groupes de pilotage des nouveaux PEA non confidentiels. L'implication d'acteurs extérieurs à la DGA permet une meilleure gestion des risques associés aux projets de recherche et d'études tout en renforçant les liens entre la défense et le civil.

A côté des programmes d'études amont, différents "outils" complémentaires

permettent le soutien d'actions particulières :

- *les thèses DGA* qui permettent à de jeunes diplômés d'effectuer leurs travaux, dans un laboratoire de recherche français (CNRS, université, école d'ingénieurs, ONERA...) sur un sujet novateur et présentant un intérêt potentiel important pour le secteur défense. Les représentants du CNRS sont étroitement associés aux phases de sélection et de suivi de ces thèses. Par leur aspect souvent très "amont", ces thèses sont un excellent trait d'union entre le civil et la défense ;
- *les fonds de réactivité* qui rendent possible le soutien d'actions nécessitant une contractualisation rapide ou émanant de propositions spontanées des entreprises (des PMI notamment) ;
- *les recherches exploratoires* qui permettent de soutenir des recherches sur des thèmes nouveaux présentant un intérêt pour la défense afin de prendre en compte des propositions originales des équipes de recherche civiles, d'explorer des points durs tant scientifiques que technologiques, de stimuler l'effort d'innovation et d'acquérir ou d'augmenter la connaissance sur des sujets correspondant à des verrous techniques de PEA existants ou de voies alternatives nouvelles.

Une veille prospective du domaine a été mise en place en 2000 par la DGA au niveau national (DGA, ONERA, ISL, CEA/DAM, grandes écoles, universités, industriels) dans le cadre de PROMAT : PROspectives MATériaux structuraux. L'objectif de cette cellule de veille prospective est de détecter les technologies de rupture pouvant "impacter" les programmes d'armement à échéance de 15 ans et au-delà.

Enfin, de nombreux ingénieurs DGA participent régulièrement à des manifestations scientifiques civiles (colloques, conférences, associations...).

Des réussites à venir

De nombreux exemples de développement de synergies entre la défense et le civil peuvent être donnés. Citons en particulier le thème des composites thermostrostructuraux. Les matériaux carbone/carbone ont été conçus au départ pour des applications dans les tuyères de missiles balistiques et les corps de rentrée avant de trouver des débouchés dans les freins d'avions militaires puis civils et, enfin, dans les lanceurs civils (*Ariane 4 et 5*) ou militaires (*M 51*).

Ces synergies entre le civil et la défense doivent être poursuivies et devraient accompagner l'éclosion de ruptures technologiques telles que les nanotechnologies, les multicouches, les futurs "matériaux à la carte", les matériaux et systèmes actifs...

Les avancées scientifiques à venir permettront la prévision des propriétés macroscopiques à partir de la connaissance des propriétés intrinsèques des matériaux et de leur mise en œuvre (modélisations pertinentes à plusieurs échelles – relations micro-mésomacro). Ce type d'approche plus déterministe qu'aujourd'hui devrait réduire de façon sensible les délais de développement et les coûts globaux des futurs programmes qu'ils soient civils ou militaires.

Les matériaux resteront longtemps encore le support matériel des performances des systèmes d'armes et contribuent largement à leur durabilité, leur disponibilité et leur coût complet de possession. Ils conditionnent dans de nombreux cas la sécurité des équipages des forces armées.

Ce domaine doit avoir de nombreuses retombées dans les secteurs industriels civils comme l'aéronautique, les transports, la santé...

Les révolutions attendues dans les nanotechnologies, les multicouches, les futurs "matériaux à la carte", les matériaux et systèmes actifs apporteront leurs lots de ruptures technologiques. Les progrès futurs permettront de relier les caractéristiques intrinsèques des matériaux à leurs propriétés macroscopiques, réduisant les délais et les coûts globaux de possession.

La mise en œuvre de synergies entre le civil et la défense a permis de nombreuses "fertilisations croisées" à l'origine de succès remarquables. Cette politique doit être poursuivie pour relever les futurs enjeux.

Le domaine des matériaux structuraux ne semble pas près de perdre, au cours de ce siècle, son côté stratégique pour la défense et le civil.

La modélisation numérique dans la définition de nouvelles protections individuelles antibalistiques

— enjeux, intérêts et limites —

par le médecin en chef J.-C. SARRON

Département des sciences médicales et des facteurs humains (SH) - Service des stratégies techniques et des technologies communes

Direction des systèmes de forces et de la prospective

Ballistic injuries due to military conflict have always been a major issue. With new materials, body armour defeats the ballistic threat impacting upon it but induces rear effects on the human body. Digital simulation as well as experiments may increase knowledge about the physics of wounds. Definition of more relevant criteria should help designing new body armour.

Les interventions de nos forces lors des dernières missions extérieures montrent que les blessures d'origine balistique sont toujours d'actualité. Les progrès obtenus avec les nouveaux matériaux de protection entrant dans la fabrication des gilets pare-balles permettent de stopper efficacement certains projectiles. En revanche, ils induisent des effets délétères appelés "effets arrière". La simulation numérique associée aux essais de laboratoire est un espoir pour l'amélioration de nos connaissances sur les mécanismes intimes de ces blessures. La définition de critères lésionnels mieux adaptés devrait aider à la conception et au développement de nouvelles protections.

Les militaires engagés dans des opérations conventionnelles ou de maintien de la paix sont exposés aux tirs d'armes. La seule mesure protectrice recon- nue envers la menace balistique est le port de protections destinées à stopper les éclats et les balles de guerre de petits calibres. Le pouvoir perforant des munitions 5.56, 7.62, 12.7 est redoutable ; de nouveaux calibres toujours plus vulnérants apparaissent, de sorte que les protections individuelles doivent être améliorées et évoluer avec le risque. Malgré le port du casque et du gilet pare-balles, 27 et 38 % des blessures concernent encore respectivement la tête et le tronc (Pasturel 1998).

L'efficacité des protections antibalistiques est testée traditionnellement sur des critères statistiques de pénétration par des projectiles normalisés sans juger les effets sur l'individu. Aujourd'hui, un des défis consiste à identifier les critères biomédicaux qui permet-

traient de juger l'efficacité des protections et prévoir leurs effets sur l'utilisateur.

La montée en puissance de la modélisation numérique permet maintenant de rapprocher le monde du vivant de celui de l'ingénieur dans des simulations complexes. Ces simulations ont plusieurs avantages. Le plus important est certainement d'intégrer une composante médicale, jusque-là quasiment absente, lors des investigations sur les protections. Ensuite, d'un point de vue économique, la simulation numérique reste moins onéreuse que les essais réels. En pratique, elle peut être répétée sans poser de problèmes éthiques et évite de mener de multiples essais sur l'animal. Le besoin d'améliorer les protections antibalistiques est évident et la simulation numérique apparaît comme un outil pertinent d'investigation pour les caractériser.

Effets arrière thoraciques : le besoin de critères lésionnels

Le gilet pare-balles complet ⁽¹⁾ peut arrêter efficacement un projectile de 7.62 standard au prix d'une blessure fermée du segment corporel sous-jacent. Cette lésion est la conséquence d'effets arrière (Linden 1988, Iremonger 1990). Il est rapidement apparu déterminant de mieux connaître ces lésions afin de proposer des contre-mesures adaptées ou des améliorations des protections existantes. Un groupe de travail OTAN (TG001 HFM024) s'est constitué en 1997 et a apporté les premiers éléments de compréhension sur les *body armor blunt trauma* grâce à la mise en place d'un programme d'études partagées. Des échanges bilatéraux avec le Canada, grâce à des arrangements spécifiques, ont permis également de partager nos connaissances sur les interactions protection-corps humain

protégé. Ces opérations ont été conduites dans le cadre des actions menées par le département SH du STTC (Sarron 2000).

Nos connaissances actuelles sur les blessures non perforantes proviennent d'études réalisées sur gélatine ou sur animaux protégés classiquement par un gilet pare-balles disposant d'une plaque dure de polyéthylène (ou de céramique) impactée par une munition de 7.62 standard à plus de 800 m/s. Le projectile est stoppé en quelques centaines de microsecondes par la protection. Une partie de l'énergie cinétique totale (d'environ 3 kJ) est dissipée dans la plaque dure qui fragmente le projectile. La face avant de la protection se brise ou se "délamine" selon la nature du matériau de la plaque dure, tandis que la face arrière subit une déformation régulière sans être perforée. L'autre partie de l'énergie est donc transmise du cône dynamique qui se forme sur la face arrière vers la paroi thoracique (figure 1). Rapide au début, la vitesse de formation du cône décroît rapidement.

L'impact sur le thorax est estimé équivalent au choc direct d'un projectile de 550 g lancé à 45 m/s avec une surface de contact de 90 cm². Les lésions sont la conséquence d'un chargement rapide caractérisé par une faible masse mais une vitesse importante (en opposition aux accidents de la circulation où sont mis en jeu des vitesses faibles et une inertie importante). Le taux de déformation important des tissus vivants explique la nature particulière des blessures qui sont plus proches du *blast* que de l'écrasement. Les blessures locales, sous l'impact, comportent contusions cutanées et pulmonaires, fractures de côtes, hémorragies pulmonaires. La gravité des lésions correspond à un score AIS (*Abbreviated injury score*) supérieur ou égal à trois. Ce score et ceux utilisés en accidentologie (ISS : *Injury severity score* ; RTS : *Revised trauma score*...) sont en général peu discriminatifs et inadaptés pour l'estimation de la gravité lésionnelle associée aux effets arrière.

⁽¹⁾ Gilet pare-balles (24 plis aramide 194 g/m²) doté des plaques de protection dures additionnelles. Les plaques dures en dotation dans l'armée française sont en polyéthylène haute performance (masse surfacique 17 kg/m²), elles sont insérées dans les poches externes du gilet souple en aramide.

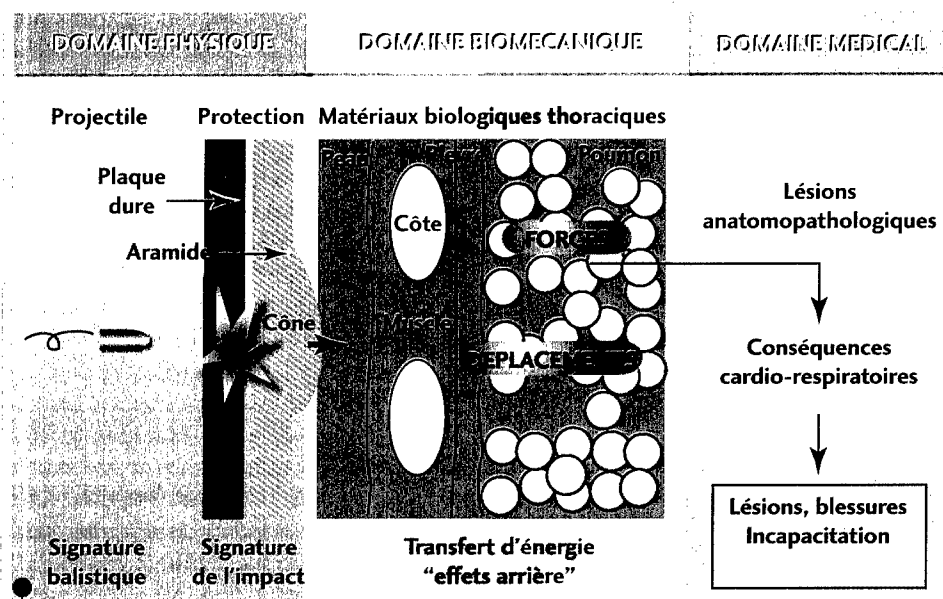


FIGURE 1 : Cascade schématique des événements lors d'un impact thoracique non perforant.

Les index lésionnels ne sont pas utilisés en pratique pour qualifier les protections. L'usage industriel est de se conformer au Standard 0101.03, norme émise par le *National Institute of Justice* (NIJ) aux Etats-Unis depuis 1987, remplacé cette année par le Standard 0101.04 ⁽²⁾. En effet, toutes les protections doivent répondre à cette norme avant d'être homologuées. Le Standard 0101.04 certifie qu'une protection est efficace dès lors que le projectile ne la perce pas et que l'empreinte de déformation maximum en face arrière de la plaque ne dépasse pas 44 mm dans un bloc de plastiline ⁽³⁾ sur laquelle la protection a été mise en appui.

Cette norme est controversée par plusieurs nations. Elle est même remise en cause par les investigateurs du NIJ (Rice 2000). Pourquoi ? Les raisons sont multiples. La plastiline est une pâte inerte dont les propriétés mécaniques sont très éloignées de celles des tissus vivants. Elle ne donne que des renseignements statiques de la déformation maximale. La norme n'est pas corrélée avec la gravité des lésions observées en clinique. Elle

ne reflète pas des conséquences physiologiques et pathologiques de l'impact. Enfin, une profondeur de 44 mm est purement arbitraire et ne trouve aucune justification médicale.

Une manière contournée de maintenir ce critère de nature purement physique a été de le rendre plus sévère en abaissant le maximum de l'empreinte dans la plastiline. Evidemment ce procédé ne donne toujours aucune indication lésionnelle et il demeure impossible de certifier des protections sur des critères biomédicaux. La simulation numérique laisse cependant entrevoir une voie encourageante.

La simulation numérique en balistique lésionnelle

Deux grandes catégories d'outils de simulation existent à ce jour : les outils utilisant

⁽²⁾ Ce standard est disponible à l'adresse <http://www.ojp.usdoj.gov/nij/pubs-sum/183651.htm>

⁽³⁾ Sorte de pâte à modeler industrielle, très souple, utilisée communément en art plastique (Roma Plastilina #1).



Figure 2 : Thorax osseux (a.) et viscéral (b.)

une méthode probabiliste et ceux fondés sur une méthode déterministe. Parmi les premiers, on peut citer Computerman (développé aux Etats-Unis) et le modèle informatisé du combattant, mis au point à la DGA/ETBS, dont l'objectif est de fournir une probabilité de vulnérabilité pour des impacts balistiques perforants. Nous détaillerons ici les outils de simulation déterministe représentés essentiellement par des "modèles éléments finis". Ils sont largement utilisés par les construc-

teurs automobiles pour la simulation de *crash* et ont donné naissance à de nombreux codes commerciaux comme LS Dyna, Madymo, Samcef, Mecalog, Pam-Crash d'ESI, etc.

Principe des techniques numériques par éléments finis

Les impacts en balistique font naturellement appel aux lois de la mécanique et se traduisent en termes mathématiques par des équations conventionnelles de forces, d'énergie, ou de quantité de mouvement appliquées en fonction du temps à des milieux continus déformables. En l'occurrence, le projectile, les protections et le corps humain sont de tels milieux déformables.

En pratique, la méthode impose de définir quatre grandes étapes :

- la géométrie du modèle ;
- les conditions aux limites de la structure et le chargement des forces lors de l'impact ;
- les propriétés mécaniques de tous les matériaux (biologiques et non biologiques) ;
- la méthode de résolution temporo-spatiale.

La géométrie du projectile, de la protection et la représentation anatomique du thorax ne posent pas de difficultés majeures (figure 2).

Les forces sont appliquées de deux manières. Soit toute la chaîne balistique est modélisée : le projectile et sa vitesse à l'impact, la plaque et le thorax ; soit on commence seulement aux déplacements de la face arrière de la protection. Dans ce dernier cas, on applique alors directement les déplacements sur le thorax sans la présence de la protection ni du projectile (figure 3). Chaque méthode a ses avantages et ses inconvénients. Par ailleurs, les contacts entre les structures solides font l'objet d'une définition des conditions aux limites. Selon les rapports entre organes, les contacts peuvent être glissants à rugueux. Ce paramétrage reste encore très empirique, donc perfectible.

L'étude des propriétés des matériaux est essentielle. Il s'agit d'attribuer aux tissus vivants (côte, tissus mous, poumon...) des propriétés mécaniques fidèles qui mettent en relation les contraintes et les déformations. Plusieurs hypothèses doivent être émises avant de choisir un modèle de comportement selon l'isotropie, l'homogénéité, la compressibilité du milieu. Il est important de rappeler que ces lois varient de manière importante avec la vitesse de déformation qui est souvent considérable en balistique terminale (taux de déformation de 300 à 1 000 m/s). Les lois non

linéaires hyperélastiques (tissus mous), linéaires élastoplastiques avec endommagement (os) sont classiquement employées. Le poumon avec ses alvéoles est assimilé à une mousse.

La résolution numérique des équations est effectuée par des codes de calcul qui utilisent des méthodes explicites, lagrangiennes, en grande déformation. Ils ont la particularité d'être très sensibles au choix du pas de temps d'intégration. Celui-ci dépend grandement de la taille et de la qualité des éléments. Cependant cette limitation a été compensée cette dernière décennie grâce aux progrès considérables accomplis sur les puissances de calcul des processeurs.

L'impact sur le thorax : résultats généraux

Tout l'intérêt de la modélisation numérique réside dans la visualisation et la quantification des événements, alors qu'il est très difficile de les saisir par des moyens expérimentaux en raison de la brièveté de l'impact. Les résultats numériques sont cependant comparés

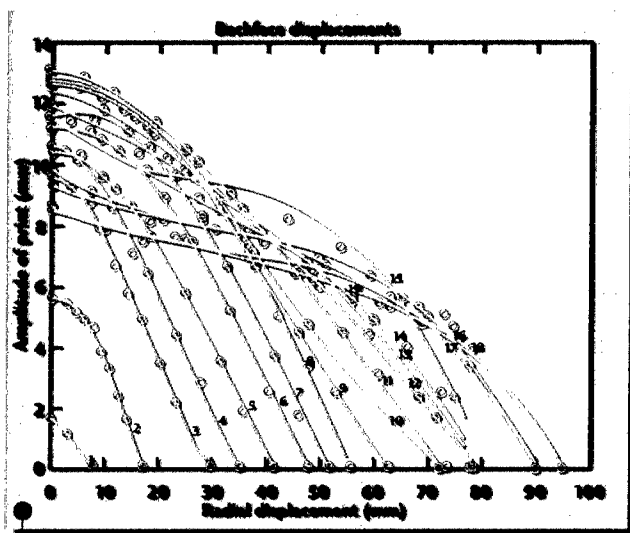


FIGURE 9: Hemi-déplacements mesurés (o) par cinématographie rapide de la face arrière d'une plaque d'aramide. Interpolation polynomiale cubique en trait plein (courbes 1 à 19 en fonction du temps).

aux résultats expérimentaux dans une étape préalable de validation.

La durée d'un impact non pénétrant, cause d'effet arrière, n'excède jamais la milliseconde. A l'impact sur la plaque, la fragmentation du projectile est instantanée, le cône dynamique de plaque se constitue en environ 500 μ s alors que le mouvement général de celle-ci est quasiment nul. Le passage de l'onde de choc dans les tissus biologiques survient en moins de 200 μ s et la mise en mouvement de la paroi thoracique a lieu après le passage de l'onde de choc. Sous l'impact, la compression des tissus mous de la paroi thoracique explique les contusions cutanées caractéristiques. Les côtes fléchissent et souvent se fracturent (figure 9). Le poumon du côté de l'impact subit des étirements et des cisaillements qui dépendent de l'amplitude de la déformation thoracique. Ces contraintes mécaniques détruisent les alvéoles et conduisent aux hémorragies.

La nature de la plaque dure de protection (polyéthylène ou céramique) n'est pas déterminante sur les forces exercées contre le



FIGURE 4 : Fracture d'une côte et quantification numérique de l'endommagement.

thorax. Les pressions au contact de la peau sont de l'ordre de 20 à 30 MPa. A titre de comparaison, les pressions mises en jeu par un projectile non létal atteignant directement le thorax (par exemple le *stiff baton*, projectile cylindrique de 140 g, de diamètre 37 mm, à une vitesse de 40 m/s) n'excèdent pas la dizaine de MPa lors de l'impact. Les pres-

sions calculées sont maximales à proximité de l'impact. La propagation de l'onde de pression est conforme à celle observée dans la gélatine.

Ces résultats ouvrent un certain nombre de pistes sur les améliorations possibles des protections.

Amélioration et optimisation des protections

La sévérité des lésions est évaluée cliniquement sur l'intensité de la contusion cutanée, le nombre de fractures de côte, l'étendue des lésions pulmonaires. La combinaison de ces critères conduit à des index de sévérité dont le plus usuel est l'AIS déjà cité. Il existe une bonne

corrélation entre ces critères et l'amplitude maximum de la pression et de l'accélération enregistrée sur le mur thoracique. Pressions et accélérations semblent donc des grandeurs physiques intéressantes pour évaluer la gravité des lésions. Elles sont naturellement accessibles par les codes de calcul MEF dans chacun des éléments et permettent d'établir une vé-

ritable cartographie tridimensionnelle de ces grandeurs physiques.

La pression calculée comprend deux composantes l'une sphérique et l'autre déviatorique. La première renseigne sur la pression hydrostatique tandis que la seconde indique les zones de cisaillement qui sont le plus souvent le siège des lésions tissulaires (figure 5).

Des essais sur plaques de protection en aluminium, aramide ou polyéthylène montrent que les matériaux de protection polystratifiés ont une meilleure efficacité que les matériaux homogè-

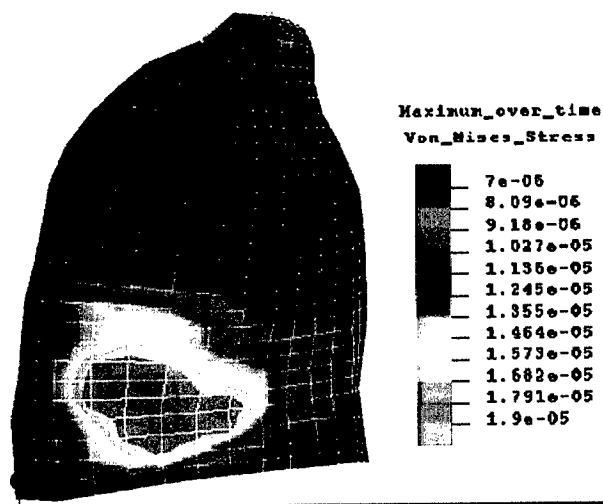


FIGURE 5 : Répartition des contraintes de cisaillement sur le poumon. Ces pressions expliqueraient la rupture des vaisseaux sanguins et les hémorragies dans les alvéoles pulmonaires. Les résultats sont conformes aux observations anatomiques.

nes comme l'aluminium. Les structures multicouches absorbent une énergie plus importante au cours d'un phénomène de délaminage ; il en résulte un cône dynamique moins profond mais plus étendu. Dès lors, la pression transmise est moins importante. Une autre approche susceptible de réduire la transmission d'énergie consiste à assembler des matériaux d'impédance décroissante afin de constituer une protection polystratifiée. L'amélioration des protections de demain doit résulter de l'optimisation de cet assemblage qui conduira à des protections hybrides.

Des études récentes montrent que l'on peut améliorer très efficacement une protection par l'addition de mousse anti-traumatique qui selon sa qualité peut réduire de moitié l'amplitude de la pression thoracique en retardant la montée en pression. Elle réduit également le déplacement thoracique et la mise en vitesse initiale sans cependant modifier significativement l'accélération. Les critères lésionnels sont améliorés si l'on considère la contusion cutanée et pulmonaire mais l'AIS qui tend à diminuer reste encore élevé. En revanche, la mousse anti-traumatique a peu d'influence sur l'étendue de la surface de contact.

Perspectives

La protection contre les balles de guerre, les éclats et les explosions reste une priorité dans l'amélioration de l'équipement individuel du combattant. Des progrès importants ont déjà été acquis ces dernières années grâce à l'utilisation d'outils numériques. Les efforts de recherche sont orientés dans trois directions : la connaissance scientifique biomédicale, l'élaboration de nouveaux concepts de protection et la définition de spécification à caractère médical dans le cahier des charges des futures protections.

⇒ Sur le plan scientifique

Il faut encore améliorer nos connaissances sur les mécanismes lésionnels afin de cerner

plus précisément les composantes physiques à l'origine des blessures (composante déviatorique de la pression, accélération, vitesse...) et surtout déterminer des seuils lésionnels. Des études sont en cours et l'aide apportée par la simulation numérique devrait permettre d'ouvrir un champ d'investigation qui sera exploré expérimentalement.

⇒ Sur la conception de nouvelles protections

Les plaques dures protègent contre les éclats et les projectiles, mais il est à souligner qu'elles protègent également contre le *blast* associé aux explosions (Vassout 2001). Il paraît donc logique de choisir des combinaisons de matériaux qui répondent efficacement à ces deux catégories de menace. Les modèles numériques ne sont d'aucun secours dans ce choix en raison de la complexité mécanique des systèmes polystratifiés (polyéthylène, mousse, aramide, collage...). En revanche, l'application des forces transmises entre la protection et l'appui peut être simulée sur modèle thoracique en vue de comparer les prototypes sur les étendues lésionnelles.

⇒ Sur les recommandations aux industriels

Le Standard 0101.04 n'est pas une vérité immuable et il faut progresser sur un critère physique qui reflète la réalité biomédicale. La mesure de la pression semble une approche encourageante pour représenter des niveaux de gravité lésionnelle.

Il est cependant illusoire de croire que la simulation peut résoudre la totalité des problèmes posés par les impacts balistiques sur le corps humain. Certes, la place de la simulation dans l'arsenal des moyens d'investigation est importante pour mieux comprendre les mécanismes lésionnels, pour évaluer l'efficacité des protections ou pour concevoir de nouvelles protections, mais elle est insuffisante. La simulation ne peut s'affranchir de toutes les expériences réalisées en laboratoire. Les résultats de la simulation doivent guider les essais à conduire et les résultats des essais

BIBLIOGRAPHIE

1. Pasturel (A.), *Bilan des blessures en ex-Yougoslavie. Rôle des protections.* Document interne DGA, 1998.
2. Liden (E.), Berlin (R), Janzon (B), Schantz (B), Seeman (T), *Some observations relating to Behind-body Armor Blunt Trauma Effects Caused by Ballistic Impact.* J. of Trauma, 1988, vol. 27, pp. S145-S148.
3. Iremonger (M.J.), Bell (S.I.), *Simulation of behind armour trauma*, School of Mechanical, Materials and Civil Engineering, Royal Military College of Science, Shrivenham, Swindon, 1990, SN6 8LA.
4. Sarron, (J.C.), Destombe, (C.), Da Cunha, (J.), Martinez, (J.), Vassout (P.), Magnan (P.), (2000), *Blessures thoraciques par balle de guerre sous protection balistique individuelle*, Rapport DGA PEA 980823 Essais conduits à Oksbøl (Danemark) par le groupe de travail TG001 du groupe OTAN HFM 024, 2000.
5. Rice (K.D.), Lightsey (S.L.), *An update on US National Institute of Justice performance standards for personal body armor*, Personal Armour Systems Symposium 2000, Septembre 2000, DCTA, Colchester UK.
6. Vassout (P.), *Etude et réalisation de protection pour le combattant contre les effets des ondes de choc fortes.* Rapport ISL S-RV 213/2001, axe 2.12 PROTEC, 2001.

viennent ensuite valider scientifiquement le modèle numérique. Ainsi, les essais sont indispensables pour accepter un modèle dans son domaine de validité. Cependant, les résultats issus du modèle n'auront de sens que si le choix des paramètres n'est pas trop éloigné de ceux retenus pour les essais. Aussi la prudence est-elle de règle dans l'interprétation des résultats numériques.

La protection antibalistique individuelle du combattant peut et doit encore être significativement améliorée en tenant compte de critères médicaux. L'enjeu actuel réside dans la définition d'indices d'évaluation biomédicaux des blessures et leur corrélation à des niveaux de pression et/ou d'accélération. Le développement de modèles corporels fidèles permet d'ores et déjà de dresser des cartographies des endommagements associés aux impacts non perforants. Dès que ces modèles seront validés, ils deviendront des outils performants pour la conception et la comparaison de nouvelles protections. 

Remerciements - L'auteur et le département STIC/DI se remercient les personnes qui ont participé et contribué activement au présent travail : CEB (J.-P. Caillou, C. Destombe), ERBS (J. Da Cunha, D. Rouvet), IMTSSA (T. Lorton, P. Barthélemy), ISL (P. Vassout, P. Magnan), SEERCA (J. Fontaine), The Royal Danish Army Combat School (Danemark) et le Centre de Recherche de Défense de Valcarlos (Canada).

Recherche et développement en météorologie à finalité militaire

par Nicolas BERIOT, Département des missions de défense - Direction générale / Météo-France
et Arnaud de la LANCE, Département technique "environnement géophysique"
Service des stratégies techniques et des technologies communes - Direction des systèmes de forces et de la prospective

Progress in the field of meteorological science and technology is mainly driven by the civil market and requirements. In the military domain, meteorological information with high quality standards is also a key requirement for a large number of applications. In addition to the general meteorological means, specific tools have to be developed to meet defence needs.

Lors des interventions au Kosovo, les conditions météorologiques ont eu un impact important sur le déroulement des opérations. En effet, les frappes aériennes utilisant certaines munitions guidées ne pouvaient être menées qu'à condition que la visibilité soit assurée à distance suffisante de l'objectif désigné. Ce simple exemple dont tous, même non-spécialistes, ont pu avoir connaissance par la presse, illustre et rappelle combien une opération militaire dépend souvent, à un degré plus ou moins important, des conditions d'environnement. Et ceci reste vrai malgré les plus hautes technologies employées, même lorsque certains des éléments qui sont mis en jeu – l'avion, par exemple – sont réputés aptes à fonctionner par tous les temps.

Les prises de décision puis la mise en œuvre des systèmes d'armes peuvent dépendre de questions comme celles-ci : Le ciel sera-t-il suffisamment clair pour réaliser une observation aéroportée demain

entre 6 h 00 et 8 h 00, sur tel secteur ? La hauteur de vagues permettra-t-elle un plageage demain, à 2 h 00, sur telle côte ? La couverture nuageuse permettra-t-elle un vol hélicoptère sous jumelles de vision nocturne, dans 3 heures, sur tel trajet ? Le vent et les conditions de stabilité atmosphérique permettront-ils un ravitaillement en vol, à telle heure, sur tel secteur de l'Adriatique ? Quels points sont envisageables pour un largage à haute altitude de parachutistes dérivant sous voile et devant se poser à tel endroit ? Quel sera l'état du sol durant la nuit de J+1 dans tel secteur ? Le tir d'une bombe guidée par laser sera-t-il possible sur tel objectif et à la distance de 10 km, demain à 6 h 00 ? Les conditions de visibilité, dans 2 heures et dans les 5 km autour de tel objectif, seront-elles suffisantes pour permettre à tel missile de reconnaître et atteindre cette cible ? En vue d'un tir imminent d'obus à longue distance, quelles corrections de tir sont à appliquer en fonction des conditions atmosphériques subies par le projectile durant son trajet ? Dans quelle direction et comment évoluera le panache de produits contaminants dispersés dans les airs ? Quelle est la couverture radar modifiée par les conditions atmosphériques ?

Les exemples pourraient être multipliés en citant divers systèmes d'armes, divers types d'opérations, divers paramètres... Dans certains cas, les conditions météorologiques sont un

critère déterminant la faisabilité ou la non-faisabilité d'une opération. Dans d'autres cas, elles sont un facteur dont la connaissance ou l'anticipation permettent d'optimiser l'efficacité opérationnelle ou les coûts.

Avec les progrès de la science et des techniques météorologiques, des informations de plus en plus abondantes et de qualité et de fiabilité croissantes deviennent disponibles. Le domaine de la défense en est alors naturellement utilisateur. Détenir les meilleurs outils et disposer des meilleures informations au moment opportun contribuent à l'efficacité des opérations et à une certaine supériorité vis-à-vis de l'adversaire. La finalité opérationnelle est de pouvoir exploiter l'environnement à son avantage.

La météorologie est une composante des systèmes de la défense qui doit continuer à progresser pour être cohérente avec les précisions et disponibilités opérationnelles, souhaitées et rendues accessibles grâce aux nouvelles technologies dans les autres domaines de l'armement.

Les besoins de la défense militaire

Aujourd'hui, la connaissance en météorologie peut être mise à profit dans différents domaines d'activité.

Conception des armements

Un système d'armes est conçu et dimensionné en fonction d'un domaine d'emploi potentiel, dont la description comprend notamment les paramètres d'environnement. La prise en compte de l'impact de l'environnement atmosphérique sur ses performances et son efficacité peut avoir des conséquences techniques importantes et représenter une part non-négligeable du coût d'un programme. Modéliser cet environnement

requiert des informations climatologiques ⁽¹⁾ et peut demander aussi de disposer de jeux de données permettant la simulation de l'atmosphère.

Planification à froid

La planification à froid consiste à préparer des dossiers relatifs à des théâtres d'opérations potentiels. De tels dossiers comportent un volet climatologique, nécessitant dans certains cas des études spécifiques de la part des services météorologiques. Un exemple récent est la constitution de bases de données d'hydrométéores par Météo-France pour la documentation établie par le SHOM (Service hydrographique et océanographique de la Marine) destinée aux forces navales.

Planification et conduite des opérations

La planification nécessite des prévisions aux échéances allant de 24 heures à quelques jours. La conduite des opérations requiert des prévisions aux échéances allant de l'immédiat jusqu'à 48 heures.

Mise en œuvre des systèmes d'armes

Tirer un obus ou un missile, déplacer des troupes ou des véhicules, mettre en œuvre des moyens de détection ou de camouflage ... peuvent nécessiter diverses informations météorologiques décrivant l'état instantané de l'atmosphère ou un état prévu à très courte échéance.

Rôles de Météo-France et de la DGA

Sur le plan opérationnel, l'établissement public Météo-France a pour mission d'alimenter les armées en informations météorologiques, ainsi que l'établit l'arrêté du 8 septembre 1998 définissant les rapports entre les armées et Météo-France. Les moyens de Météo-France se prolongent dans les forces ; chaque armée met en œuvre des spécialistes et des moyens dédiés à l'exploitation de l'information météorologique.

⁽¹⁾ La climatologie a pour objet la caractérisation du climat à partir de données observées, modélisées ou reconstituées : conditions moyennes, extrêmes, variabilité et tendances. (Pierre Bessemoulin)

Météo-France joue un rôle de premier plan en France dans la recherche et le développement en météorologie, mais d'autres organismes y contribuent de manière importante : laboratoires du Centre national de la recherche scientifique (CNRS) et laboratoires universitaires, industriels.

Au sein de la DGA, l'ensemble des services de programmes et les établissements concernés de la Direction des centres d'expertise et d'essais (DCE) jouent un rôle de maître d'ouvrage :

- dans les études spécifiques ;
- dans l'exploitation et les adaptations, si elles sont nécessaires, de la recherche civile ;
- et dans le développement et la réalisation des systèmes d'exploitation et de diffusion des produits météorologiques.

Météo-France a conclu des conventions avec les trois armées et avec le SHOM. Une convention est en cours de mise au point avec la DGA. Les enjeux des collaborations entre ces organismes, pour la recherche et développement, sont :

- un transfert rapide des technologies développées en météorologie civile, vers les applications militaires ;
- la réalisation des recherches et développements spécifiques dont peut avoir besoin la défense.

Les thèmes de recherche et développement

Les thèmes de recherche et de développement sont nombreux et couvrent l'observation, la modélisation de l'atmosphère et les moyens d'exploitation de l'information météorologique.

L'observation météorologique sur le théâtre d'opérations

Des moyens mobiles et projetables sont nécessaires pour effectuer, sur le théâtre d'opérations, des mesures météorologiques.

Il peut s'agir de capteurs météorologiques classiques, pour l'observation en surface (pression, température, humidité, vent...) et pour l'observation en altitude (radiosondages).

Des développements spécifiques sont envisageables dans plusieurs directions :

- la conception de stations autonomes adaptées aux contraintes des théâtres d'opérations, larguées à partir d'avion ou d'obus cargo par exemple, capables de mesurer puis de transmettre les informations à distance ;
- l'expérimentation de moyens d'exploration volumique de l'atmosphère tels que des drones spécialisés pour les mesures météorologiques ;
- la mise en œuvre de moyens de télédétection basés en surface tels que des radars météorologiques mobiles pour localiser et mesurer l'intensité des précipitations ;
- ou, enfin, l'exploitation au mieux des moyens déjà mis en œuvre sur les théâtres (intégration des capteurs météorologiques sur tous vecteurs - avion d'observation, véhicule terrestre de reconnaissance, bâtiment, etc.) ou, dans un autre ordre d'idée, l'éventuelle adaptation de moyens de télédétection déjà existants pour en extraire une information météorologique (nous pensons ici aux radars de surveillance aérienne présents sur le théâtre d'opérations).

La télédétection par satellites météorologiques

Les logiciels de traitement de données de satellites météorologiques bénéficient aux applications militaires autant qu'aux applications civiles. C'est ainsi que des logiciels développés par Météo-France ont été implantés au CNMA (Centre national météorologique Air) de Taverny.

Il existe cependant quelques traitements répondant spécialement aux besoins de la défense, telle la cartographie fine de la température de surface de la mer. Météo-France et la Marine nationale mettent des moyens en commun pour cette activité.

Les modèles de prévision météorologique

La diversité des théâtres extérieurs où opèrent les forces françaises engendre un besoin d'informations météorologiques pouvant concerner toute zone géographique. Les progrès de la modélisation numérique ont permis de répondre en partie à ce besoin.

Schématiquement, la prévision météorologique relative à un théâtre d'opérations extérieur à la France s'appuie actuellement sur deux modèles de prévision météorologique :

- pour les échéances dépassant 48 heures, un modèle de prévision météorologique couvrant l'ensemble de la planète ;
- pour les échéances inférieures à 48 heures, un modèle à mailles fines (environ 10 km de résolution horizontale) et au domaine limité (environ 2 000 km par 2 000 km) imbriqué dans le modèle de plus grande échelle.

En France, la recherche ayant conduit Météo-France (en coopération avec plusieurs pays étrangers) à la réalisation de ce modèle à mailles fines répondait d'abord à des besoins généraux de la prévision météorologique sur la métropole et en Europe. Des développements ultérieurs ont rendu ce modèle déplaçable à volonté sur le globe, ce qui a trouvé une application dans le domaine militaire. Un modèle de ce type, nommé "Aladin", a été mis en œuvre pour couvrir le Kosovo.

L'amélioration des modèles de prévision numérique est un axe de recherche permanent en météorologie. Des modèles expérimentaux - par exemple, le modèle à méso-échelle dit "Méso-NH", objet d'une collaboration entre Météo-France et le laboratoire d'Aérodynamique du CNRS - permettent d'enrichir la description de la physique et de la chimie de l'atmosphère, d'améliorer les algorithmes de traitement, et d'affiner progressivement la résolution, c'est-à-dire le nombre de niveaux suivant la verti-

cale et la maille horizontale. Ces progrès sont transférés au fur et à mesure dans les modèles opérationnels que Météo-France met en œuvre, tant pour les applications civiles que pour la défense militaire.

Les modèles météorologiques évoqués ici servent pour la prévision mais aussi pour ce que l'on appelle en météorologie "l'analyse". L'analyse consiste à fournir, à un instant donné, la meilleure description possible de l'atmosphère en prenant en compte à la fois les observations réalisées à ce même instant et la connaissance de l'atmosphère issue des prévisions antérieures. Des applications militaires peuvent nécessiter des prévisions, mais l'analyse elle-même constitue déjà une source d'informations utiles sur la situation instantanée.

La dissémination atmosphérique de produits contaminants

La prévision du transport et de la diffusion de polluants atmosphériques a fait l'objet de développements en vue d'applications civiles : des modèles de panaches, de trajectoires et de rétro-trajectoires* sont adjoints à des modèles de prévision météorologique et peuvent être activés par Météo-France pour répondre à d'éventuelles demandes de l'AIEA (Agence internationale de l'énergie atomique), par exemple.

Ces outils logiciels pourront faire l'objet d'adaptations pour répondre à des besoins militaires, comme la prévision de dissémination liée à une bombe au graphite, ou la protection NBC.

La dérive de polluants marins ou objets flottants

Développés initialement par Météo-France pour prévoir la dérive de nappes d'hydrocarbures, adaptés ensuite pour prévoir la dérive de conteneurs, les logiciels de dérive devraient pouvoir être adaptés pour répondre à des besoins militaires, y compris en les adjoignant à un modèle à mailles fines sur un théâtre d'opérations extérieur.

*Possibilité de remonter au lieu d'émission des produits contaminants à partir d'observations a posteriori.

La propagation acoustique

Les calculs d'analyse ou de prévision de propagation acoustique aérienne devraient associer des modèles fins de terrain et un modèle de prévision météorologique à mailles fines. Ces logiciels applicatifs sont encore à développer, tant pour un usage en métropole que sur les théâtres d'opérations extérieurs.

La propagation infrarouge

La préparation de mission et la mise en œuvre de systèmes d'armes comprenant de l'optronique infrarouge peuvent dépendre d'une bonne estimation ou prévision de l'opacité de l'atmosphère dans ces longueurs d'ondes, et du contraste thermique des scènes et des objectifs.

Il s'agit, par exemple, de s'assurer que l'auto-directeur infrarouge d'un missile pourra reconnaître précisément son objectif en phase de guidage terminal. Ce calcul de la propagation infrarouge et du contraste thermique dépend fortement d'une bonne analyse ou prévision des conditions atmosphériques. De nombreux développements sont encore nécessaires dans ce sens. En effet, certains paramètres ayant un poids prépondérant dans la propagation infrarouge ne sont pas encore analysés et prévus avec précision. C'est le cas par exemple des aérosols. Les progrès dans ce domaine relèvent, avant tout, des recherches et développements généraux des modèles de prévision météorologique. Un programme d'études-amont nommé MIRA (méthodologie de développement et de validation expérimentale de modèles de rayonnements des fonds dans l'infrarouge et de leur propagation dans l'atmosphère) a été lancé en 2000 par le STTC avec une assistance à maîtrise d'ouvrage du CELAR (Centre d'électronique de l'armement) pour développer des méthodologies de caractérisation expérimentale et de modélisation de l'environnement atmosphérique en infrarouge. Les synergies civilo-militaires sont fortes dans ce domaine, et trois thèses financées sur bour-

ses DGA-CNRS sont en cours : au LOA (Laboratoire d'optique atmosphérique) de l'Université de Lille, au LaMP (Laboratoire de météorologie physique) de l'Université de Clermont-Ferrand et au GMEI (Groupe de météorologie expérimentale et instrumentale) du CNRM (Centre national de recherches météorologiques) à Toulouse.

La visibilité

La visibilité, notamment dans les basses couches de l'atmosphère, paramètre essentiel, reste encore aujourd'hui difficile à prévoir. Dans ce domaine aussi, la défense doit attendre les progrès généraux dans le domaine de la prévision météorologique et de la modélisation numérique.

Citons aussi les prévisions d'éclairement nocturne, utiles ou indispensables aux opérations employant des jumelles de vision nocturne ; outre la phase et la position de la lune, les principaux paramètres de l'environnement naturel déterminant l'éclairement nocturne sont évidemment les caractéristiques de l'ennuage. Des développements sont en cours notamment dans le cadre de la CDMA (cellule de développement météorologique air) mise en place par l'armée de l'Air et Météo-France à Toulouse ; le SHOM contribue à ces travaux.

La propagation radar

La propagation radar est fortement affectée par les profils verticaux de paramètres atmosphériques tels que la température et l'humidité. Idéalement, un modèle de prévision météorologique pourrait fournir l'ensemble des éléments nécessaires à la connaissance des conditions de propagation et à l'évaluation des portées, offrant ainsi de précieuses informations concernant la détection ou, à l'inverse, la discrétion d'un avion.

A ce jour, les modèles opérationnels de prévision météorologique, même "à mailles fines", n'offrent pas encore une résolution verticale assez riche pour simuler et prévoir

les phénomènes de très basses couches qui peuvent influencer de manière très forte sur la propagation. Un certain nombre d'études et d'expérimentations peuvent cependant avoir lieu, et c'est l'un des objets d'un programme d'étude européen en cours de préparation sur l'initiative de la France, qui portera sur la détection des conduits et la propagation radar au-dessus de la mer.

Les données pour l'artillerie

L'efficacité des tirs d'artillerie à longue portée dépend d'une excellente appréciation du vent sur la trajectoire de l'obus. Aujourd'hui, le vent est estimé par un radiosondage lâché au voisinage de la zone de tir. A l'avenir, cette information pourrait se voir complétée ou remplacée par une représentation plus fine de l'atmosphère telle que peut en fournir un modèle de prévision météorologique à mailles fines. Des études dans ce sens ont été amorcées par l'armée de Terre, la DGA et Météo-France ; elles seront prolongées par des expérimentations. En tout état de cause, ces besoins, relativement stables dans le temps puisqu'ils n'évoluent qu'avec l'apparition de nouvelles générations de munitions et de canons, devront être régulièrement confrontés aux capacités des modèles météorologiques à mailles fines qui progressent sensiblement d'année en année.

Les outils du prévisionniste

En aval des modèles, les traitements de l'information météorologique comportent presque toujours une étape de validation et d'interprétation humaines, tâches qui sont dévolues au prévisionniste. Les volumes et la diversité des informations que doit appréhender et manipuler le prévisionniste sont considérables : champs quadridimensionnels issus des modèles, images de satellites et de radars, observations en surface et en altitude, etc. A cette fin, des logiciels spécialisés ont été développés. Le logiciel opérationnel *Synergie* de Météo-France, qui dépasse le

million de lignes de programme, fait l'objet de nouvelles versions et d'enrichissements depuis plus de dix ans. Ces recherches et développements bénéficient immédiatement à la défense militaire qui emploie gratuitement ces mêmes logiciels dans ses grands centres météorologiques :

- l'armée de Terre, avec le SPART (Service de programme des armements terrestres), prévoit l'installation d'un système *Synergie* au sein de la CEMETER (Cellule météorologique Terre, à Lille) ;
- *Synergie* est exploité par la CELENV (Cellule environnement de la Marine, à Toulouse) et équipe aussi le porte-avions *Charles de Gaulle* ;
- l'armée de l'Air exploite *Synergie* au CNMA et a récemment testé ce système dans une configuration projetable sur théâtres d'opérations.

L'océanographie opérationnelle

Le développement de l'océanographie opérationnelle, prometteur pour les activités navales et sous-marines, est connexe à certains développements de la météorologie.

Le CNES (Centre national d'études spatiales), le CNRS, l'IFREMER (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer), l'IRD (Institut de recherche pour le développement), Météo-France et le SHOM ont initié en 1996 un projet de grande ambition dans ce domaine : MERCATOR. Ce projet vise la réalisation d'un modèle numérique d'analyse et de prévision de l'océan global, couplé à des modèles de prévision météorologique. Il s'appuie en partie sur des travaux de recherche et développement pilotés par le SHOM et financés par la DGA.

Les aides à la décision tactique

Il s'agit ici des logiciels qui, sur la base de prévisions météorologiques validées, fournissent des indications synthétiques sur les possibilités (zones géographiques, plages temporelles) de mise en œuvre de systèmes

d'armes. Quelques logiciels de ce type existent et sont exploités par les forces. Il s'agit d'un thème en pleine expansion qui touche en particulier aux domaines de l'assimilation et de la fusion de données hétérogènes (mesures, prévisions, bases de données) puis de la restitution des informations produites sous des formes adaptées à chaque type d'application. La coopération internationale dans ce domaine est amorcée, notamment dans le cadre de l'OTAN.

Des modules additionnels pour l'aide à la décision tactique pourront être ajoutés à la station de travail Synergie du prévisionniste militaire. De tels développements ont fait l'objet d'une étude (nommée SIAM pilotée par le SPOTI en 1999) et une réalisation est envisagée par le SPART pour répondre à certains besoins de l'armée de Terre.

Les progrès de la science et des techniques météorologiques, motivés majoritairement par des besoins civils,

trouvent, dans la défense militaire, un domaine d'application extrêmement vaste et très exigeant. En aval et en complément des moyens météorologiques répondant aux besoins généraux de la météorologie, des outils spécifiques doivent être développés pour répondre aux besoins de la défense.

Les acteurs et les moyens mis en jeu en France sont civils et militaires : les armées, la DGA, Météo-France, le CNRS (dont l'INSU, Institut national des sciences de l'univers), les laboratoires universitaires ainsi que certains industriels. Il est essentiel que les efforts en recherche et développement soient programmés et fédérés.

La météorologie militaire française doit continuer à progresser pour se maintenir au niveau des exigences imposées par les nouvelles capacités technologiques en matière d'armement. La satisfaction des besoins des armées dans le domaine de la météorologie est aujourd'hui indispensable à la cohérence des systèmes de la défense. 

Technologies de l'information : quelle stratégie pour la défense ?

par Antoine de MARICOURT, ingénieur principal de l'armement - Chef du bureau d'architecture des SIC
et David LENOBLE, ingénieur civil - Architecte système d'information et de communication
Service des programmes d'observation, de télécommunication et d'information

Information technologies are evolving very fast. Civil industry experimented new working organisations in order to handle this characteristic and to push technologies faster towards the market. Defence could put similar strategies at work, so that it makes the best use of a limited R&D budget. This is probably a necessary step, if defence wishes to stay in the race. In this paper, we review these strategies and examine how defence could put them at use.

L'accélération du développement des sciences et technologies de l'information a permis de faire de la société de l'information une réalité. Elles bénéficient en cela de l'implication de tous ses acteurs, privés ou publics, civils ou militaires. Cela se traduit par un foisonnement sans précédent d'innovations technologiques dont les applications émergent à un rythme effréné, largement soutenu par un marketing agressif. Chacun s'est retrouvé placé dans une situation de dépendance technologique quasiment irréversible qui le contraint à anticiper en permanence les évolutions. Etre en mesure de gérer ce contexte est devenu une nécessité qui a de nombreuses implications sur la façon de conduire la R&D.

ils pu mettre en place ou utiliser ? Qu'est-ce qui fait la particularité de la défense ? Nous nous inspirons du comportement des acteurs civils pour proposer quelques lignes directrices pour la défense. Nous nous intéressons essentiellement à l'aspect développement (transformation d'une technologie en produit) plutôt qu'à l'aspect recherche.

Un domaine complexe

Ce qui caractérise les sciences et technologies de l'information, c'est leur complexité et leur grande diversité. Elles regroupent une grande variété de connaissances interdépendantes et en interaction avec celles d'autres sciences. Le paysage scientifique est donc vaste et constitué d'une multitude de thèmes de R&D, qu'aucun acteur ne pourrait maîtriser seul. Ceci impose d'être clairvoyant et de faire des choix judicieux.

En outre, les technologies de l'information abritent une part importante de thèmes de R&D de moindre complexité. Cette relative facilité pousse un grand nombre d'acteurs à investir individuellement dans des actions de recherche et, surtout, de développement. Ceci rend difficile l'obtention d'une vision claire du paysage de la R&D et la définition des activités de veille technologique. La mise à disposition d'une multitude d'informations

Quel est ce domaine ? Quels en sont les acteurs ? Quels sont leurs objectifs et quelles stratégies de R&D ont-

sur Internet, sous une forme complètement désordonnée, n'a pas contribué à clarifier cette vision.

Par ailleurs, l'informatique est devenue un élément à part entière de notre culture. Les maîtrises d'ouvrage doivent dorénavant travailler avec des utilisateurs familiarisés avec les nouvelles technologies. Tout le monde a un avis sur la question, même les non-spécialistes, ce qui induit une exigence de maîtrise plus forte pour canaliser le dialogue.

Enfin, les systèmes d'information s'interconnectent et se densifient. Par voie de conséquence, les techniques évoluent, les technologies se transforment et s'imbriquent et les acteurs sont légion. Cette multiplicité, ainsi que la difficulté d'avoir une vision claire de l'avenir, entraîne une plus grande difficulté d'expression du besoin, qui a tendance à augmenter quantitativement et à s'appauvrir qualitativement. Dans ce domaine, la volonté la plus souvent exprimée est finalement celle de s'adapter et d'être réactif afin d'être en mesure de prendre en compte des besoins ultérieurs non connus !

La rapidité des évolutions et le manque de visibilité dans le domaine des technologies de l'information rendent donc indispensable la mise en place de véritables stratégies de R&D.

Les acteurs du monde civil...

Quel que soit l'acteur, la mise en place d'une stratégie de R&D ne peut avoir lieu que si les enjeux sont bien identifiés. Une bonne connaissance de ces acteurs doit permettre à la défense d'identifier des thèmes de recherche communs ou des stratégies qui ont fait leur preuve dans le monde civil et qu'elle pourrait mettre en place pour son propre compte.

L'opposition civil *versus* militaire étant trop frustrante pour être intéressante, il semble plus pertinent de passer en revue les grands types d'acteurs de la sphère civile afin de les compa-

rer à ceux de la défense. Pour les acteurs privés du domaine civil, le contexte est essentiellement concurrentiel sur le terrain économique : la valeur ajoutée se mesure en termes financiers et les résultats doivent être obtenus à échéance relativement brève. Parmi les plus actifs, nous différencions les constructeurs, les éditeurs, les intégrateurs et les opérateurs. Les acteurs publics, préoccupés par le long terme, jouent, quant à eux, un rôle important dans la recherche.

... et leurs enjeux

Globalement, tous ces acteurs sont confrontés au même problème : ils doivent tirer parti au plus vite des technologies de l'information pour générer de la valeur ajoutée. Leur politique de R&D doit donc leur permettre, d'une part, de faire *naître* les nouvelles technologies qui leur donneront un avantage décisif et, d'autre part, d'être en mesure de les *intégrer* dans leur chaîne de valeur.

Les éditeurs et constructeurs vendent un ou plusieurs produits (logiciel dans un cas et matériel dans l'autre). La valeur ajoutée vient essentiellement des *performances pures* du produit et donc de la technologie qu'il met en œuvre. Les éditeurs et constructeurs ont ainsi intérêt à mener des recherches de fond et relativement pointues. Ils cherchent à les intégrer très rapidement dans leur produit et à provoquer des ruptures technologiques. Ils n'hésitent pas à renouveler fréquemment leurs gammes, d'autant plus rapidement que le marché visé est grand public.

Le maître d'œuvre ou intégrateur tire essentiellement sa valeur ajoutée dans le domaine des services. Son client attend une *performance globale* d'un système d'information plutôt qu'une somme de performances sur un ensemble de produits. Le maître d'œuvre est moins préoccupé par les avancées technologiques rapides que par la capacité à les *intégrer* continuellement dans un système complet. Il est donc essentiellement intéressé par la

R&D dans le domaine du traitement de l'information, des aspects méthodologiques et des architectures techniques.

Enfin, pour les opérateurs, la valeur ajoutée provient de la capacité à offrir un service de manière fiable et dans la durée. De même que l'intégrateur, il cherche à accroître les services rendus, mais la *stabilité* et la *continuité* du service priment. Du point de vue de la R&D, l'opérateur cherchera à développer des technologies qui lui permettront de s'adapter à son environnement d'exploitation et de rendre son système plus robuste.

Les moyens mis en œuvre

Afin d'atteindre les objectifs qu'ils poursuivent, ces acteurs se sont dotés des moyens nécessaires à leur stratégie de R&D. Nous distinguons essentiellement la recherche fondamentale, la normalisation et la définition d'architectures techniques.

La recherche fondamentale apparaît comme le moyen privilégié pour le moyen et le long terme. Elle touche de nombreux domaines : mathématiques, pour les aspects formels ou la cryptographie ; physique (optique, matériaux, électronique, etc.) pour les composants etc. Toutefois, l'incertitude sur la durée des recherches, et donc la récurrence de ses coûts, font de la recherche fondamentale l'apanage des institutions publiques ou des très grosses entreprises. Si IBM ou Microsoft peuvent entretenir un nombre important de laboratoires, peu d'entreprises de taille plus modeste en sont capables.

La recherche fondamentale intéresse cependant au premier chef les éditeurs et les constructeurs dans une perspective de rentabilité économique. Il a donc fallu organiser un transfert plus rapide vers le marché. On a ainsi assisté à une multiplication des partenariats : entre industriels (telle la fondation

pour la recherche sur le WAP ⁽¹⁾ qui regroupe Cegetel, Siemens, Gemplus et Monaco Telecom, et qui finance des projets d'étudiants) ; entre industriels et universités (par exemple, entre IBM et l'Ecole des mines d'Alès pour la maîtrise des systèmes complexes) ; ou encore entre plusieurs acteurs publics (par exemple le CELAR, l'ONERA, Supélec, l'ENST et Alcatel dans le domaine de la détection d'intrusion ⁽²⁾).

Le phénomène des "start-up" a été une autre forme de réponse apportée au besoin de transfert rapide des technologies sur le marché. Issues d'organismes publics tels que l'INRIA qui joue un rôle particulièrement actif dans ce domaine, elles permettent de valoriser le résultat des recherches et donc de rentabiliser les investissements faits par les nations. Issues de grands groupes industriels (*spin-off*), elles permettent de mutualiser les financements et donc de partager les risques : en cas de réussite, le gain peut être important, en cas d'échec la perte est limitée.

Cependant, même si la recherche fondamentale et la réorganisation du transfert des technologies ont pu répondre au souci des constructeurs et des éditeurs, elles ne suffisent pas pour les intégrateurs. De leur point de vue, qui favorise la recherche d'une certaine stabilité, les instances de normalisation sont apparues comme un vecteur stratégique fort et privilégié. Elles proposent un cadre de discussion sur des thèmes communs et permettent de faire émerger des compromis technologiques. Une fois normalisés, ces compromis apportent à chaque acteur une référence commune et pérenne (à l'échelle temporelle des technologies de l'information) qui leur garantit *in fine* la compatibilité de leurs travaux sur le sujet normalisé. Les instances de normalisation permettent ainsi de stabiliser la technologie une fois qu'elle est sortie des laboratoires.

Ici aussi, l'accélération s'est nettement fait ressentir. Les organismes de normalisation historiques ont été jugés trop lents ou trop

⁽¹⁾ Wireless Application Protocol.

⁽²⁾ Programme d'études amont financé par la DGA.

complexes, et on a vu apparaître une multitude de groupes. Les plus connus et les plus actifs sont ceux liés à l'Internet ou aux communications (IETF ⁽³⁾, W3C ⁽⁴⁾, OMG ⁽⁵⁾, WAP, etc.), mais le phénomène n'est pas limité à ces domaines. De nombreux autres groupes moins connus et plus spécialisés existent et regroupent quelques éditeurs spécialisés sur une technologie particulière. Le fait d'être actif dans ces groupes est d'ailleurs bien souvent présenté commercialement comme un gage de pérennité.

Ce processus de standardisation des produits est tellement important qu'il trouve son prolongement dans la standardisation des architectures. Celles-ci permettent de décrire les relations qu'auront les divers constituants d'un système. Définir une architecture permet donc de s'abstraire encore un peu plus des produits. On peut d'ailleurs noter que la plupart des organismes de normalisation définissent aussi des architectures techniques (modèles de référence) qui fixent le cadre de certaines discussions plus ciblées.

Sur ce point, les technologies de l'information ont aussi fait naître un nouveau phénomène. Certaines entreprises ont ainsi développé une stratégie qui consiste à distribuer gratuitement des produits structurants pour habituer leurs clients à un cadre technique qui les poussera à acheter des services à plus forte valeur ajoutée. C'est, par exemple, le cas de Sun, avec des architectures telles que J2EE ⁽⁶⁾. Ce type d'action est caractéristique de la préoccupation d'un intégrateur, puisqu'il lui suffit, une fois son architecture de référence bien définie, de faire de la veille technologique sur les produits pour les y intégrer. Des changements d'architecture sont parfois nécessaires, mais à un rythme nettement moins rapide que celui de l'évolution des produits.

Enfin, des actions similaires sont aussi menées par les administrations qui, via l'établissement de référentiels, tentent d'organiser l'emploi des technologies de l'information

au profit du citoyen. C'est par exemple le rôle de l'ATICA ⁽⁷⁾ en France.

On peut noter au passage que c'est une technologie de l'information (l'Internet) qui a permis de fédérer les efforts de tous ces acteurs. Outil de partage de l'information, Internet a largement contribué à accélérer et globaliser le développement de ces technologies. Il n'est pas étonnant qu'il soit aussi devenu un élément essentiel dans la nécessaire phase de stabilisation qui doit prendre le relais.

La défense : opérateur et intégrateur ?

La défense, quant à elle, ne se situe pas dans une perspective concurrentielle sur un terrain économique. La supériorité que doit lui conférer son système d'information réside dans la capacité à conduire des opérations de type militaire. Elle doit donc maîtriser le traitement de l'information et est largement préoccupée par la gestion de cette information (acquisition, fusion, confiance, pertinence, etc.). De ce point de vue, elle se trouve dans une *problématique d'intégrateur*.

D'autre part, les opérations militaires sont souvent conduites dans des conditions particulières. En effet, la contrainte d'environnement est sensiblement différente : les systèmes de la défense doivent continuer à fonctionner, au moins pendant un certain temps, dans des conditions *hostiles* (agression, destruction, manipulation ou détournement de l'information, etc.). Par ailleurs, à l'échelon tactique, ils doivent faire face à des contraintes de mobilité que les opérateurs civils ne rencontrent pas. Les systèmes de la défense doivent donc être aptes à fonctionner dans un environnement beaucoup plus instable que les

⁽³⁾ Internet Engineering Task Force.

⁽⁴⁾ World Wide Web Consortium.

⁽⁵⁾ Object Management Group.

⁽⁶⁾ Java2 Enterprise Edition.

⁽⁷⁾ Agence pour les technologies de l'information et de la communication pour l'Administration.

systèmes civils. Ils doivent être *robustes, sécurisés et mobiles*, à un degré nettement plus élevé. De ce point de vue, la défense se trouve aussi dans une *problématique d'opérateur*.

Quelle stratégie pour la défense ?

La défense se trouve donc dans une logique relativement équivalente à celle des autres acteurs, mais avec des contraintes opérationnelles différentes.

Comme eux, elle dispose d'un budget de R&D limité et doit optimiser son emploi afin d'arriver à disposer des meilleures technologies, le plus rapidement possible. Elle est aussi confrontée à deux problèmes identiques : avoir la garantie que des progrès technologiques sur les domaines qui l'intéressent sont réellement faits, et s'assurer que ces technologies seront intégrables dans ses propres systèmes.

Nous avons vu que la recherche fondamentale est une réponse adaptée au premier problème. L'activité y étant très intense, l'efficacité maximale consiste à répartir le budget disponible sur les technologies spécifiques qui ne seront pas, ou peu, explorées par d'autres. C'est une stratégie de *leader* sur certains produits bien ciblés et de *suiveur* sur le reste. L'effort doit porter sur les contraintes opérationnelles spécifiques déjà citées et qui ont trait à la robustesse, la sécurité et la mobilité.

Les PEA⁽⁸⁾ peuvent fournir à la défense un cadre propice à cette approche en permettant de réunir à la fois des industriels et des universitaires. Une réflexion sur la possibilité de susciter la créativité, sous forme de concours ou de prix, pourrait aussi être menée (équivalent des fondations créées par les grands acteurs industriels).

Adopter une stratégie de *suiveur* sur certaines technologies a pour conséquence immédiate l'obligation de renforcer

considérablement l'activité de veille technologique. Tabler sur des progrès suscités par d'autres acteurs n'a de sens que si l'on est capable de détecter l'apparition de ces nouvelles technologies et de les évaluer.

Face au second problème, la défense doit être en mesure de faire intégrer rapidement les produits innovants dans ses systèmes. Pour cela, une politique de recherche très ciblée et un accroissement de la veille technologique ne suffisent pas. Restent donc les deux grandes voies que sont la normalisation et la définition d'architectures techniques.

La normalisation est une activité qui préoccupe la défense depuis longtemps (dans un cadre national ou international). Le problème est que le monde de la défense n'a pas intégré la nécessaire souplesse dont a su faire preuve le monde civil. Un effort significatif doit donc être fait dans ce sens. Le dialogue entre les parties prenantes doit être rapide, et le plus ouvert possible. A défaut d'y parvenir, la défense pourra beaucoup plus difficilement faire prendre en compte ses particularités dans les systèmes qu'elle fera développer.

Enfin, même si la normalisation est un aspect important, pour lequel il faut repenser notre mode d'action, cela ne suffit pas. Il nous reste à développer une vision d'ensemble à moyen terme qui doit permettre à la défense de piloter plus finement les activités de recherche et de normalisation. Cela passe par la définition d'architectures techniques. Celles-ci doivent permettre de segmenter un système en sous-ensembles (capacités) afin de rendre local l'impact des changements de technologie. Elles doivent aussi nous permettre de mieux identifier les produits sur lesquels des efforts de recherche doivent être spécifiquement accomplis et permettre d'orienter la veille technologique.

Concrètement, les méthodes du monde civil peuvent être appliquées : publication d'informations sur un intranet, ou sur un extranet réunissant nos partenaires industriels et les

⁽⁸⁾ Programme d'études amont.

Applications

autres nations, appels à commentaires sur des architectures de référence, etc. Si l'on veut aller encore plus loin, une partie de ces informations pourrait être rendue libre d'emploi et mise à disposition de nos partenaires. Notons que des démarches de ce type ont déjà été entreprises, par exemple avec le COE ^(?) défini par les Etats-Unis.

En conclusion, des techniques mises en œuvre dans le civil pour tenir compte de l'évolution rapide des tech-

nologies de l'information pourraient judicieusement être utilisées par la défense. Elles nécessitent un investissement humain important, mais leur utilisation demeure indispensable si la défense veut continuer à anticiper et maîtriser les évolutions technologiques dans le domaine stratégique de l'information. 

^(?) Common Operating Environment.

Le Centre technique d'Arcueil et la recherche de défense

par Dominique LUZEAUX, ingénieur en chef de l'armement
et Thierry THOMAS, Chef du département "Matériaux, Surfaces, Protection" - Centre technique d'Arcueil

The Technical Center of Arcueil takes an active part in Defence research and contributes to the innovation and evaluation process. Relying on the various available networks, the CIA has a strategy based on partnership and technological transfer. It plays a central part between program agencies on the one hand, and the industrial and academic world on the other hand. Through the various partnerships both nationwide and throughout Europe, it contributes to the diffusion of Defence concerns as well as to the development and the quality of the studies it is responsible for.

Comme le rappelle la loi de programmation militaire à venir, la recherche de défense a notamment pour objectif de permettre d'acquies à moindre coût la supériorité technologique qui demeure un élément essentiel de la supériorité militaire. Elle a donc sa place dans ce processus à la fois continu et discontinu qui réunit l'invention, sa diffusion et, une fois celle-ci adoptée, l'innovation.

Si l'innovation semble, en première approximation, consister à produire des objets qui n'existaient pas auparavant, une analyse plus fine conduit à distinguer quatre niveaux d'innovation :

- les améliorations incrémentales ;
- les changements radicaux qui transforment des technologies individuelles ;
- les changements dans les systèmes technologiques, c'est-à-dire les combinaisons des changements intervenant aux niveaux tant technologique qu'organisationnel ;

- les changements dans des familles de technologie et dans les cadres organisationnels et institutionnels qui leur correspondent.

Autant les deux premiers niveaux peuvent être compris et intégrés par une veille scientifique et technologique bien conduite, autant les deux derniers nécessitent plus qu'un simple rôle de spectateur. Inventer et innover n'est pas tout : encore faut-il comprendre ce que l'on est en train de faire et en discerner le sens et le potentiel. Ceci amène à ne pas simplement se concentrer sur les composantes technologiques, mais à analyser l'impact au niveau des fonctions et systèmes qui les utilisent, voire également au niveau des systèmes de systèmes issus de la combinaison et de l'intégration des systèmes précédents. Ce processus, qui commence à nous sembler aujourd'hui familier, s'inscrit dans ce qui a été appelé la "révolution dans les affaires militaires" (RMA) outre-Atlantique par William Perry puis par Andrew W. Marshall.

Il ne faut pas non plus négliger l'effet multiplicateur réciproque entre certaines familles d'innovations, qui conduisent à une remise en cause profonde des systèmes de systèmes à force d'évolutions apparemment mineures ou tout au moins régulières de technologies.

L'émergence actuelle d'une société numérique en est un témoin, cherchant ses racines dans une évolution quasi linéaire des technologies de conception en microélectronique. Dans le domaine de la défense, le danger est évidemment de se laisser piéger dans une simple extrapolation linéaire des conditions antérieures – pudiquement appelées remises à niveau ou rénovations à mi-vie –, et d'être non anticipatif ou au pire réactif, mais certainement pas proactif.

La recherche de défense participe à une stratégie de dissuasion, en particulier dans le cadre de conflits asymétriques : il s'agit de convaincre l'adversaire éventuel que l'on dispose d'une telle supériorité de ressources que leur engagement coûterait plus cher à l'adversaire que les éventuels gains qu'il pourrait envisager. Une telle stratégie est également basée sur une rapidité de mise en œuvre, voire une brutalité de la réponse (principe de foudroyance), et fait donc primer la qualité sur la quantité, ou en d'autres mots, l'effet sur la masse. Dans cette logique, il est alors nécessaire de disposer des éléments scientifiques, techniques et industriels pour se doter d'une telle capacité. Il est aussi crucial d'être en mesure d'évaluer la recherche afin de déterminer si elle est au bon niveau et joue son rôle dans la dissuasion. Cette évaluation, qui doit être menée en permanence, doit être au même niveau que celle que l'adversaire pourrait faire : en effet, elle doit se substituer à une "vérification sur le terrain" que l'on cherche précisément à éviter. Ceci implique alors une excellence certaine dans les capacités étatiques d'évaluation de la recherche de défense.

Capacités d'innovation et d'évaluation sont les deux moteurs de la recherche de défense. Leur mise en route pose cependant quelques problèmes non négligeables. En particulier, il convient de signaler la difficulté intrinsèque de marier les différentes constantes de temps, typiquement entre le déroulement d'une

action de recherche, les cycles d'évolution technologique et les logiques de rentabilité industrielles. Les acteurs industriels qui réalisent les produits conduisent des recherches directement reliées à l'intégration technologique et au processus de production ; l'achat de recherche sur étagère risque donc de ne conduire, en raison de la longueur des cycles, qu'à une approche au mieux réactive, souvent décriée comme le *technology push*, d'où l'intérêt d'organismes publics de recherche de défense et d'une capacité étatique à :

- procurer en amont les connaissances nécessaires à l'identification et à l'évaluation des menaces ;
- procurer les connaissances nécessaires à l'identification et l'évaluation des capacités de parer ces menaces, ainsi que de doter les forces de moyens nouveaux pour accomplir leurs missions.

La défense reste donc naturellement obligée de se préoccuper davantage et plus en profondeur de la recherche que certains grands opérateurs du monde civil qui se reposent de plus en plus sur le marché.

Par ailleurs, même s'il convient de tenir compte de l'essor de certaines technologies civiles en évolution très rapide, il ne faut pas se cacher que ces dernières ne couvrent pas, de loin, le champ des possibles pour la défense. Cela peut venir du fait que les connaissances n'existent pas dans le domaine civil et ne sont pas susceptibles de s'y développer pour des raisons d'absence de marché. En tout état de cause, comme le souligne la loi de programmation militaire, l'industrie civile peut à son tour profiter des avancées de la recherche financée par la défense : les cas cités sont les drones et robots pour les différents milieux, l'observation optique spatiale, la surveillance tout temps du sol. L'intérêt réel de la dualité civilo-militaire ne doit pas se comprendre unilatéralement, et il ne doit pas non plus masquer l'existence durable d'un fort domaine spécifique à la défense.

Le CTA : acteur central de la recherche de défense

Après avoir joué dans le passé le rôle d'un centre de recherche (dans la lignée des organismes qui l'ont précédé : Laboratoire central de l'armement, Etablissement technique central de l'armement, Centre de recherche et d'études d'Arcueil), le Centre technique d'Arcueil (CTA) est devenu aujourd'hui un centre expert au sein de la Direction des centres d'expertise et d'essais, dont le rôle est :

- d'aider à l'orientation des programmes d'études amont ;
- de piloter la réalisation de certains de ces programmes ;
- d'en évaluer les résultats ;
- de concourir à l'intégration des résultats dans les programmes d'armement.

Ses missions, mais aussi son long historique, le placent ainsi au carrefour des architectes de systèmes, des services de programme, de l'industrie de défense et du tissu académique (organismes publics et privés de défense, écoles...).

Pour acquérir et maintenir l'expertise interne nécessaire à ces actions, le centre réalise lui-même une part, très limitée, des études amont du ministère. Pour mobiliser l'expertise externe au profit de la défense, il s'implique (souvent en les initiant) dans des actions en réseau de centres de recherche avec le monde civil industriel et universitaire ainsi qu'avec les grands organismes de recherche français et étrangers. Il participe aussi bien à la recherche de nouvelles orientations et à l'investigation de certaines pistes de rupture potentielle au niveau des technologies et de leur implication dans les systèmes de défense, qu'à l'animation de la communauté académique, publique ou privée, autour des problématiques scientifiques intéressant directement le ministère de la Défense.

Le champ d'activité du CTA couvre, dans la continuité, les capacités d'observation et d'analyse d'un système d'armes placé dans un environnement potentiellement hostile, en vue de prendre des décisions tant pour sa propre sauvegarde que pour l'exécution de la mission qui lui a été fixée, puis les capacités de discrétion et de protection vis-à-vis des diverses menaces existant sur le champ de bataille, et enfin les capacités d'action au niveau des armes à employer. Si l'on se rapporte au bilan sur les capacités technologiques nécessaires liées au modèle 2015, il apporte donc directement son concours, pour chacun des systèmes de force suivants :

- *commandement, conduite, communication et renseignement* : le traitement des données issues des observations optiques spatiales et des capteurs d'écoute, la fusion de données, l'identification spatiale. L'ensemble des compétences concourt, d'une part, au traitement et à la diffusion des informations pour la prise de décision et l'évaluation de la situation, d'autre part, à la numérisation du champ de bataille. Les données traitées sont de type texte, image, sons, vidéo, etc. ;
- *frappe dans la profondeur* : le guidage-navigation de haute précision via les aspects de définition et de production des données cartographiques et géographiques ;
- *préparation et maintien de la capacité opérationnelle* : l'architecture des grands systèmes de la simulation ;
- *maîtrise du milieu aéroterrestre* : la robotique (drones et robots terrestres), les munitions intelligentes bas coût, les armes à énergie dirigée, la détection des mines, mais aussi les armes non létales et la protection de l'infanterie ;
- *maîtrise du milieu aéromaritime* : la détection (systèmes de veille pour la lutte anti-aérienne), la protection des systèmes de combat ;
- *maîtrise du milieu aérospatial* : la détection des aéronefs.

Le CTA : acteur en réseau de la recherche de défense

Il est bien connu que, de nos jours, la connaissance n'est plus une monnaie d'échange ou de pouvoir, mais doit être partagée. D'ailleurs, contrairement à des ressources physiques, elle participe par ce partage au cercle vertueux de création de valeur. Cette intelligence relationnelle est à la base du développement des réseaux experts, et des nouveaux modes de travail entre fournisseurs et clients : on apprend *avec* ses fournisseurs et non plus *par* eux, et on crée de la valeur *avec* ses clients et non plus *pour* eux. Les implications dans la conduite de projets sont notamment :

- le raccourcissement du cycle d'innovation,
- l'expérimentation conjointe de nouvelles solutions (d'où réduction du temps de développement),
- le partage et réduction des risques,
- la maîtrise des coûts.

Certes, il y a des difficultés associées à ces nouveaux modes de travail en réseau, en particulier liées à la propriété intellectuelle. Outre-Atlantique, certains grands industriels leaders de l'informatique ont ainsi créé les droits proportionnels aux responsabilités ; cela leur permet de créer de véritables "communautés" autour de leurs projets.

Le CTA s'est depuis longtemps engagé dans une telle logique d'animation de réseaux, en particulier avec les organismes de recherche publics et privés, mais aussi avec certains industriels nationaux ou internationaux. Cela lui permet de mobiliser autour de problématiques intéressant la défense des équipes compétentes et de générer un effet de levier très important et des économies d'échelle.

Certaines structures placées sous la responsabilité du ministère de la Recherche sont remarquablement adaptées, il s'agit des groupements de recherche (GDR). Grâce à ces structures régulièrement évaluées par le minis-

tère (ce qui garantit la qualité des équipes de recherche concernées), il est possible de faire travailler plusieurs laboratoires académiques, mais aussi des organismes publics et des industriels, autour de problématiques fixées par un comité directeur multipartite. Cela ne nécessite qu'un financement très modeste ne prenant en charge que les frais de gestion et d'édition du groupe ainsi que certaines aides relatives aux communications à l'étranger. Dans le GDR ISIS (Information, signal, images), on compte ainsi plusieurs dizaines de laboratoires partiellement ou complètement mobilisés. Selon les domaines, les équipes du CTA sont membres du comité directeur, responsables de certaines actions ou simples spectateurs ; il y a quelques années, un GDR "Impact matériaux" a même été constitué en codirection avec un laboratoire, le LAMEFIP (laboratoire dépendant de l'ENSAM Bordeaux), et a permis de lancer, entre autres, une vingtaine de thèses sur un domaine précis intéressant quasiment exclusivement la recherche de défense, avec un investissement financier faible de la DGA.

Afin de faciliter la constitution de tels réseaux d'équipes, le CTA tient une place privilégiée dans le développement régional et le partage d'infrastructures au service des activités d'études et de recherche. Parmi les divers projets soutenus par le Conseil régional d'Ile-de-France, l'initiative "Vallée scientifique et technologique de la Bièvre" concerne la mise en place d'un réseau haut débit (Gigabit/s) et s'inscrit dans la stratégie de développement de ce territoire qui s'étend sur vingt communes du Val-de-Marne et des Hauts-de-Seine. Il rassemble, au côté du CTA, les acteurs majeurs de la recherche publique du sud de l'Ile-de-France (CEMAGREF, Ecole centrale de Paris, Ecole normale supérieure de Cachan, Ecole polytechnique féminine, Ecole spéciale des travaux publics, Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité, Institut Gustave Roussy, IUFM, ONERA, Université Paris XI et son plateau

universitaire). L'ensemble de l'investissement est financé pour moitié par la région, le reste étant partagé entre les partenaires. En retour, ces derniers bénéficient de l'utilisation pour une durée au moins égale à 8 ans. De telles initiatives représentent des financements très faibles et permettent de mettre en œuvre les logiques de partenariat et de réseau présentées précédemment. En effet, il sera possible de communiquer en boucle locale fermée à haut débit avec la possibilité de mettre en place des réseaux privés virtuels (*virtual private network*). Ceci permettra d'échanger données et fichiers numériques de toutes tailles et de mettre en commun moyens de calcul et de simulation pour une optimisation des ressources régionales. En outre, l'architecture actuelle est évolutive et permet d'accueillir d'autres partenaires (jusqu'à plus de 3 fois le nombre actuel) sans investissement supplémentaire pour les partenaires actuels.

De telles initiatives permettent au CTA d'accéder aux complémentarités respectives des équipes, en vue :

- d'augmenter les compétences scientifiques et techniques ;
- de participer au transfert des connaissances, en traduisant les besoins en début de cycle, et en valorisant les acquis en fin de cycle ;
- d'accroître le potentiel humain et donc le potentiel d'expertise au service de la défense, dans un contexte difficile de ressources humaines ;
- d'accroître à peu de frais le périmètre du domaine couvert en vue d'optimiser les expertises et la vision système ;
- d'affirmer ou prendre une position européenne.

Ce dernier point est très important dans le contexte actuel de construction de l'Europe, et la Communauté européenne favorise ces initiatives avec ses différents appels d'offre. C'est pourquoi le CTA y

participe tant au sein des programmes civils, comme ceux liés au programme cadre de recherche et développement (PCRD) ou à Eureka, qu'au sein des programmes militaires comme Euclid ou de différents AT (arrangements techniques) qui permettent de :

- partager les risques d'un développement entre des partenaires étatiques et industriels ;
- utiliser les recherches de laboratoires dans un cadre applicatif motivant (aspects relationnels mais aussi financiers) ;
- évaluer en pratique les partenaires industriels et universitaires européens, ce qui autorise ultérieurement de savoir à qui s'adresser pour construire un nouveau projet, ou pour un besoin ponctuel d'expertise ;
- se faire connaître et évaluer et intégrer ainsi des réseaux de compétences européens.

Le CTA dans une logique de partenariat et de transfert

Un des atouts majeurs du CTA est son fort enracinement au sein de la communauté académique, ce qui se traduit par un éventail d'interventions allant des actions ponctuelles de co-encadrement de travaux de recherche appliquée (avec des laboratoires universitaires et industriels) et de collaboration sur certains points durs scientifiques et techniques – mise à disposition de moyens, réflexions en commun – jusqu'à des projets communs de recherche et des programmes de contrats de recherche (PRC) associant industriels et universitaires. C'est ainsi que des accords portant sur des thématiques de recherches communes intéressent directement la défense ont été mis en place avec divers laboratoires du CNRS : traitement des langues et de l'identification multilingue, comportement dynamique de matériaux, des propriétés thermiques de matériaux sous hauts flux d'énergie... D'autres projets sont à venir, notamment dans le domaine de la robotique.

L'intérêt essentiel de ce type de projets communs est d'abord de faire travailler les équipes de recherche du CNRS sur des problématiques intéressant directement la défense en exploitant au maximum la dualité civil-militaire, et de leur proposer une évaluation technico-opérationnelle des concepts scientifiques et techniques en découlant.

D'autres partenariats avec des organismes publics de recherche sont en cours (CEA, CNES, ISL, ONERA) ; ils relèvent des mêmes logiques.

Mais les collaborations avec les acteurs mobilisés autour de la recherche de défense ne sont pas seulement nationales : au-delà de certaines relations personnelles avec des laboratoires ou instituts européens ou américains, tant dans le monde académique qu'industriel, des collaborations sont en cours avec des instituts de recherche de défense étrangers : FGAN/FOM et BWB en Allemagne, TNO aux Pays-Bas, DSTL au Royaume-Uni... Ces collaborations reposent sur des accords de partenariat ou des instances internationales (arrangements techniques bilatéraux ou multilatéraux, groupes de recherche de l'OTAN). Ainsi, le CTA intervient sur des sujets aussi variés que le traitement d'images multicauteurs pour la détection et la poursuite de cibles, les matériaux composites, l'évaluation d'imagerie satellite à des fins de renseignement, la vulnérabilité des systèmes d'armes à l'égard du laser...

S'il est fondamental de participer à l'animation des problématiques de recherche de défense au sein des organismes de recherche publics, en liaison étroite avec les instances de définition des politiques techniques au sein de la DGA, il est également crucial de veiller au transfert, le plus tôt possible, de cette recherche vers le monde industriel. C'est ainsi que le CTA a une politique active en termes de bourses CIFRE, qui ont l'avantage de réaliser contractuellement, sous l'égide des divers ministères concernés, le triptyque recherche civile-défense-industrie.

Dans cette logique de transfert industriel des actions de recherche lancées par le CTA, un groupement d'intérêt public, le GERAIRP (Groupement d'étude et de recherche pour les applications industrielles des lasers de puissance), constitué entre la DGA, le CEA et le CNRS ainsi que plusieurs sociétés industrielles (cf. encadré) a été créé en décembre 1996. Il s'inscrit dans la suite des activités menées par le CTA sur les lasers de puissance à la fin des années 80 et a pour objet le développement en commun des activités de recherche et de transfert des technologies dans ce domaine.

La recherche de défense concourt à l'identification des risques pour notre sécurité et au choix des réponses particulières que nous pourrions être amenés à opposer à ces risques. L'identification et la préparation des capacités technologiques qui s'ensuit permet le lancement des programmes d'armement du futur. Il apparaît incontournable d'avoir des liens privilégiés avec le monde de la recherche, tant publique que privée, afin de réussir l'appropriation et la conceptualisation de l'innovation au service de la défense.

Pour servir ces ambitions, le CTA joue un rôle pivot au sein des réseaux appropriés auprès desquels il jouit d'une reconnaissance certaine. En effet, il bénéficie d'un potentiel humain d'une grande technicité qui se traduit par une formation de pointe (grandes écoles, doctorats, habilitation à diriger des recherches) de nombre de ses personnels, avec une reconnaissance régulière tant de la qualité individuelle par des dépôts de brevets, des publications internationales et des récompenses décernées lors de conférences, que de la qualité collective des équipes : prix Chanson en 1999, prix de l'Audace décerné par le ministère de la Défense en 2000. 

Encadrés pages suivantes

Exemple de projet mené dans le cadre européen BRITE

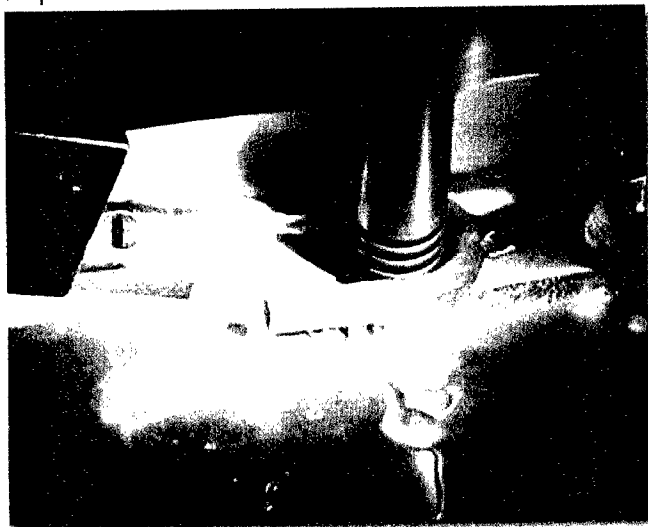
Les nouveaux matériaux composites à matrice métallique, tels les alliages d'aluminium renforcés par des particules de carbure de silicium, présentent des propriétés physiques et des performances mécaniques très intéressantes pour de nombreuses applications militaires (composants de structures hautes performances, boîtiers d'électronique, supports d'optiques, protections balistiques, pièces fonctionnelles dans les mécanismes d'armes, etc.). Si les procédés de mise en œuvre sont maintenant bien maîtrisés par les industriels élaborateurs, les techniques d'assemblage restaient encore récemment peu étudiées, ce qui gênait considérablement l'intégration de ces matériaux dans les nouveaux projets, en particulier dans le secteur aéronautique.

C'est pour pallier ce manque que douze partenaires européens (élaborateurs, transformateurs et utilisateurs) se sont associés au sein d'un projet BRITE (référence BE97-4734) financé pour trois ans par la Commission européenne. Au terme de cette coopération fructueuse, les partenaires ont présenté en septembre 2001 un bilan très prometteur, puisque des solutions technologiques ont été mises au point pour répondre à tous les besoins identifiés aujourd'hui :

- le procédé de soudage par friction (*Friction Stir Welding*) permet de réaliser des panneaux raidis pour les structures hautes performances (fuselage d'avion, structures de pont aérotransportable, corps de fusées, corps de missiles, containers, matériels de franchissement, etc.) en remplacement des techniques traditionnelles de soudage ;
- le procédé de brasage pour l'assemblage des systèmes mécaniques soumis à de faibles efforts mécaniques (boîtiers d'électronique hermétiques, support d'électronique, structures et support d'antennes, etc.) ;
- le procédé de collage a été adapté pour assembler des panneaux pour les structures hautes performances et pour réaliser des assemblages composite/aluminium pour les applications de protection balistique ;
- les procédés de co-fabrication : la co-extrusion pour la réalisation de profilés composite/aluminium directement utilisables comme éléments raidisseurs dans les structures hautes performances le co-forgeage pour la réalisation de boîtiers composite/aluminium.

Budget total du projet : 2,56 millions d'euros.

Partenaires du projet : CSM Materialteknik (Suède, coordinateur), AMC (Royaume-Uni), EADS Allemagne, EADS France, VTT (Finlande), Forges de Bologne (France), Imperial College (Royaume-Uni), LKR (Autriche), CTA (France, coordinateur technique) et Bofors, Celsius Electronics, Saab Dynamics comme partenaires associés suédois.



Exemple d'une capacité trouvée chez un partenaire : soudage par friction locale.

Le GERALIP : un transfert réussi

Pour la DGA, l'activité laser de puissance a beaucoup évolué depuis le début des années 80, date du commencement des investigations dans ce domaine. L'objectif initial était d'évaluer le potentiel des lasers de puissance en tant qu'arme puis comme outil industriel pour la mise en œuvre des matériaux.

Concernant l'arme, de nombreux programmes de recherche nationaux et internationaux ont montré que les lasers de puissance pouvaient être efficaces, mais à des coûts prohibitifs. Les recherches ont alors été réorientées vers les lasers de faible et moyenne puissance utilisés pour perturber les systèmes d'observation.

Concernant l'utilisation du laser comme outil de mise en œuvre des matériaux, cette application présente un caractère très dual. Son potentiel s'est avéré important pour la réduction des coûts, pour l'intégration de fonction ou pour mettre en œuvre des matériaux nouveaux. Mais il est apparu nécessaire de mener des recherches sur l'interaction laser-matériau pour évaluer les limites et optimiser les procédés.

C'est pourquoi, en 1989, une unité mixte de recherche DGA-CNRS a été créée et implantée sur le site d'Arcueil : le Laboratoire d'applications des lasers de puissance (LALP). Cette unité regroupait une équipe du CNRS spécialiste de l'étude de l'interaction laser-matière et une équipe de la DGA qui travaillait à l'évaluation de l'outil laser. Ce regroupement avait quatre objectifs :

- mener des études fondamentales sur les processus intervenant lors de l'interaction laser-matière ;
- transférer les connaissances acquises vers les applications industrielles civiles et militaires ;
- former des équipes à l'utilisation de cet outil et à son potentiel ;
- poursuivre et amplifier les coopérations européennes afin de multiplier le potentiel de l'équipe en place.

Pendant trois ans, cette équipe a effectué des démonstrations remarquables et acquis une grande expérience dans le domaine de la maîtrise de l'interaction laser-matière. Pour un grand nombre d'entre elles, les recherches ont été menées dans le cadre de coopérations internationales qui ont permis de tisser un réseau d'experts précieux.

En 1992, la DGA évoluant et se restructurant, le procédé laser mûrissant et pénétrant de plus en plus l'industrie, une réflexion a été engagée pour évaluer le niveau de dualité de ces applications et identifier les besoins spécifiques défense. Cette enquête a permis de montrer que les travaux intéressant la défense se situent maintenant à deux niveaux : la démonstration de la faisabilité et la qualification du procédé de mise en œuvre. Elle a également montré que l'acquis technologique de ce laboratoire mixte DGA-CNRS devait être valorisé dans un cadre bien plus large que celui de la défense et que les investissements nécessaires dépassaient ses seuls besoins.

La décision d'externalisation de ces activités s'est concrétisée en 1997 par la création d'un Groupement d'intérêt public qui réunit en son sein trois organismes (CEA, CNRS et DGA) et les 4 industriels offreurs français (SOPRA, SESO, IQL et AFMA Robot). La création de ce GIP est la première étape vers la création d'une entité franco-allemande comprenant le FhG-ILT avec qui le LALP travaillait depuis de nombreuses années dans le cadre de coopérations européennes BRITE ou Eureka, et dont l'expérience dans le domaine du transfert de technologie est reconnue mondialement.

L'objectif principal de ce groupement est le transfert de technologie. La défense et le CEA ont souhaité que l'expérience acquise et les moyens mis en place durant les quinze dernières années puissent profiter à l'ensemble du secteur industriel. Cette volonté n'a pas pour seul objectif l'obtention de performances technologiques mais aussi et surtout l'utilisation du fort potentiel de la technologie laser dans le domaine de la réduction des coûts. Il s'agit également, dans une période où la réduction des ressources humaines amène à faire des choix de priorités, d'une très bonne expérience dans le domaine de la coopération. Ainsi cette expérience permet d'intégrer dans une même équipe les compétences des chercheurs en charge des travaux les plus amonts et des personnels du CEA et de la DGA en charge de la défense et de la construction d'une expertise et du transfert pour les secteurs de l'énergie.



Ph. CLFA (centre laser franco-allemand) & Lilian Sabatier.

Similitudes et particularités de la recherche civile et de défense dans le domaine des communications acoustiques sous-marines

par Gérard LAPIERRE, ingénieur des études et techniques d'armement
Groupe d'études sous-marines de l'Atlantique - Direction des centres d'expertise et d'essais

The emergent requirements of underwater acoustic communications for civil and military use cannot be met by current state of the art systems. The various research projects, funded mainly by oil industry and defence, aim to develop and study methods which frequently present many similarities. This way of communication, fast-growing since the advent of digital communications, will allow unrealizable or strongly expensive operations until now. The industrial stake lies in the sharing of a relatively new market. The military stake lies in reaching a sufficient expertise to ensure the requirements satisfaction.

Les besoins émergents en terme d'emploi des communications acoustiques sous-marines à des fins civiles et militaires ne peuvent être couverts par les systèmes constituant l'état de l'art actuel. Les différents projets financés majoritairement par l'industrie pétrolière et la défense visent à répondre à ce besoin par des axes de recherches qui présentent bien souvent de nombreuses similitudes. Ce procédé de transmission, en plein essor depuis l'avènement des communications numériques, doit permettre la concrétisation d'opérations irréalisables ou fortement coûteuses jusqu'à présent. L'enjeu industriel réside dans le partage d'un marché relativement neuf. L'enjeu étatique réside dans l'atteinte d'une expertise suffisante pour assurer la satisfaction des besoins.

Spécificités des communications acoustiques sous-marines par rapport aux autres modes de transmission

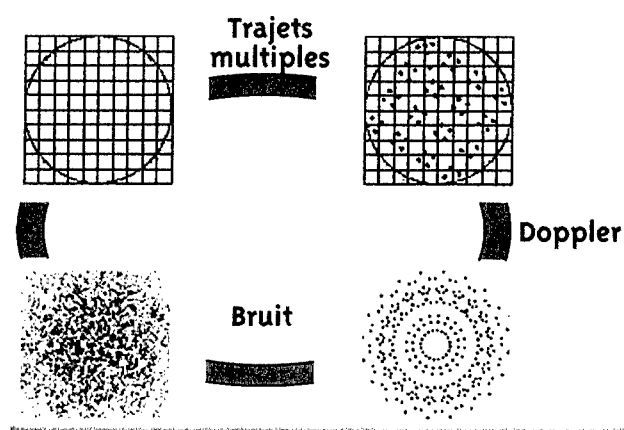
L'onde acoustique est le seul support viable de transmission d'information sans fil dans le milieu marin. Les ondes électromagnétiques sont inutilisables (sauf à très basses fréquences et à faible débit) et l'onde optique ne porte qu'à quelques dizaines de mètres, même dans la gamme bleu-vert.

Les communications acoustiques sous-marines (ASM) constituent un domaine qui, bien qu'ancien, connaît un véritable essor en raison des derniers progrès technologiques enregistrés (recours aux communications numériques, puissance de calcul accrue...). Comme toute transmission l'échange de données par voie acoustique suppose l'acquisition, la génération, le codage et la mise en forme par le biais d'une modulation adéquate d'un message. Les types de modulation usuels sont les modulations de fréquence (et leurs varian-

tes) ou de phase. Ce signal attaque dès lors un transducteur chargé d'émettre l'onde acoustique dans l'eau. Le signal reçu n'étant pas exploitable en l'état (décision optimale quant à l'information transmise), des opérations d'acquisition, démodulation, filtrage et traitement du signal sont nécessaires pour recouvrer le signal originel. Les différents traitements envisageables ont engendré une littérature très abondante dont un état de l'art peut être consulté en [1].

A toutes fins utiles, rappelons les principales perturbations introduites par le canal sous-marin. La Figure 1 illustrera l'impact de ces différents phénomènes sur les états de phase possible d'un signal émis en modulation de phase à 4 états représentés dans le cadre en haut à gauche. Tout d'abord, la transmission est corrompue par le phénomène des *trajets multiples*. Le signal reçu est ainsi constitué d'une succession de répliques atténuées, déphasées et retardées du message émis, conséquence de la propagation et des multiples réflexions sur le fond et en surface de l'onde acoustique (cadre en haut à droite de la Figure 1). Cette interférence génère, par la sommation plus ou moins destructive de chacune de ces contributions, des extinctions ou évanouissement de signaux (phénomène de *fading*). Outre l'identification, la variabilité de cet enchevêtrement de signaux n'a commencé à être maîtrisée qu'à partir des années 90. Ensuite, les mouvements des porteurs et les variations du milieu (état de la surface de la mer) introduisent une distorsion connue sous le nom de phénomène doppler. Ce dernier se caractérise par une contraction/dilatation de l'échelle des temps et une translation des fréquences beaucoup plus prononcées en acoustique sous-marine

ILLUSTRATION DE L'IMPACT DES PERTURBATIONS AFFECTANT UNE TRANSMISSION 1



en raison de la relative homogénéité de la célérité du son dans l'eau (1 500 m/s) par rapport aux vitesses des porteurs (quelques m/s) (cadre en bas à droite de la Figure 1). Enfin, de nombreux signaux indésirables regroupés généralement sous le terme de *bruit* viennent s'ajouter au signal reçu (cadre en bas à gauche de la Figure 1). Le contraste énergétique entre la composante utile et nuisible du signal est régi par l'équation du sonar. Cette dernière, rappelons-le, permet de définir à partir du niveau émis et du contexte de transmission (directivité, pertes de propagation, gains d'antenne et de traitement), le niveau du signal reçu. Le support physique des transmissions étant l'onde acoustique, la bande passante des transmissions est limitée à deux égards. D'une part, les transducteurs ont des facteurs de qualité (ratio entre la fréquence porteuse et la bande passante) généralement situés entre 5 et 10 ce qui limite la bande passante à quelques dizaines de kHz et les débits entre quelques centaines de bits/s et quelques dizaines de kbits/s aux fréquences utilisées (entre 1 et 50 kHz). D'autre part, les transmissions subissent la sélectivité en fréquence de l'onde acoustique.

Toutes ces perturbations, spécifiques au milieu sous-marin, rendent les transmissions

ASM extrêmement délicates à réaliser. Elles n'en demeurent pas moins la seule voie de transmission possible sans fil. Ceci justifie les efforts déployés dans le cadre de la recherche civile et militaire.

En termes de matériel opérationnel, quelques références de modems (organe de transformation de l'information numérique en onde acoustique et vice-versa) commerciaux existent. On citera principalement les sociétés Orca Instrumentation en France et Benthos (ex-Datasonics) aux Etats-Unis, capables de développer des modems en fonction des applications visées. Les développements militaires ont concerné principalement des matériels de téléphonie (WQC-6 pour les Etats-Unis, TUUM pour la France). L'utilisation de modulations analogiques et la dégradation apportée par le canal acoustique sous-marin (réverbération principalement) ont cantonné ces systèmes à des utilisations marginales. L'avènement des communications numériques constitue de ce point de vue une étape importante dans la réhabilitation des communications acoustiques sous-marines en tant que vecteur utilisable pour les futures missions de lutte anti-sous-marine (LSM) ou *offshore*.

Bilan des applications

Les développements liés aux communications ASM reposent principalement sur la réalisation de projets financés par l'industrie pétrolière (Fonds de soutien aux hydrocarbures) en ce qui concerne la recherche civile et la DGA, par l'intermédiaire des programmes d'études amonts (PEA), pour la recherche militaire.

Applications civiles

En ce qui concerne les développements civils, l'Ifremer a été un acteur moteur dans l'utilisation des communications sous-marines

grâce, notamment, à ses travaux sur la robustesse des modulations (Chirp) ou au développement de systèmes complets (système TIVA ⁽¹⁾ sur le *Nautilus*). Un des premiers impacts médiatiques de l'utilisation des communications acoustiques sous-marines est sans doute l'inspection du *Titanic* par le *Nautilus* (Ifremer). Au cours de cette opération, des prises de vue du bâtiment ont pu être effectuées et transmises par voie acoustique (en canal vertical) grâce au système TIVA.

Les projets de recherche liés à l'industrie pétrolière concernent pour une grande partie le théâtre *offshore* ultra grands fonds (3 000 m et plus). Dans ce contexte, les différentes étapes de vie d'une installation pétrolière (prospection, forage et exploitation) nécessitent des activités de pose, commande, contrôle et maintenance dont le coût est prohibitif du fait des technologies employées. En outre, la fiabilité des systèmes employés est essentiellement fondée sur le principe de redondance. Ainsi, pour une simple fermeture de vannes, le lien de commande peut être constitué d'au minimum deux, pratiquement quatre, liaisons filaires appelées ombilicaux.

La recherche actuelle porte sur la suppression de certains de ces liens. Dans le cas où la fourniture d'énergie serait possible via une installation *ad hoc* déployée au fond (utilisation de piles à eau de mer, de générateurs thermoélectriques), le recours à une télécommande acoustique permettrait de se passer totalement des liens physiques, ce qui constituerait une solution plus que compétitive. En effet, les techniques actuelles de liens électro-hydrauliques demeurent fort coûteuses, aussi bien en coût d'installation (280 \$ le mètre linéaire) que de maintenance (blocage des installations pendant plusieurs jours). Toute intervention sur les ombilicaux est très contraignante et provoque une immobilisation régulière de la plate-forme, induisant de forts manques à gagner pour l'exploitant.

(1) TIVA : Transmission d'Images par Voie Acoustique.

Dans ce contexte de grandes profondeurs d'inspection, un certain nombre de besoins ont été identifiés parmi lesquels :

Le contrôle continu des installations

Afin de minimiser les contraintes internes supportées par le *riser* (organe de forage déployé de la plate-forme au puits) par un positionnement dynamique de la plate-forme, la communauté pétrolière est très intéressée par l'installation de capteurs autonomes de positionnement (environ un tous les 100 m) le long du *riser* au moyen d'AUV/ROV (robots d'intervention téléopérés ou autonomes) afin d'en synthétiser la déformée. A la difficulté liée à la mise en place de tels systèmes s'ajoutent les problèmes d'exploitation dus à un environnement acoustique perturbé. Outre le *riser*, les obturateurs de sécurité (organe prévenant des surpressions pendant le forage), les têtes de puits, les puits d'injection... sont autant de systèmes nécessitant une surveillance permanente.

La commande d'actionneurs

Le recours à l'onde acoustique comme vecteur de transmission permettrait la diminution du nombre de liens physiques censés effectuer une même opération (fermeture de vannes, par exemple). Le mécanisme de propagation de l'onde acoustique et les techniques d'adressage autorisent la commande sélective des équipements et peuvent ainsi amener à simplifier le réseau filaire déployé.

L'inspection après incident et avant intervention

En cas de danger, le BOP (obturateur de sécurité) peut cisailer le *riser* entre le puits de forage et la plate-forme de surface. Une observation de l'état du BOP après incident est fortement souhaitée. De plus, avant de connecter de nouveau le *riser*, un contrôle de la pression et de la température au sein du puits doit être effectué. Le besoin porte ici sur la possibilité de transmettre ces informations en surface pour décision à partir de

moyens d'inspection (UUV) non reliés physiquement à la surface pour des problèmes de facilité d'emploi et de coûts de revient.

D'autres projets de recherche sont soutenus grâce à des subventions européennes. Ces projets visent à mieux appréhender, respecter ou connaître l'environnement. Citons les projets ROBLINKS ⁽²⁾ ou ACME ⁽³⁾. Ce dernier vise à utiliser les communications acoustiques sous-marines à des fins de surveillance permanente de l'environnement ; de surveillance en période critique ; d'aide à la navigation par collecte d'information *in situ*.

Dans ces applications, le déploiement d'un réseau de modems acoustiques équipés de capteurs adaptés (capteurs de pollution, courantomètre...) pouvant relayer les informations collectées vers une bouée de surface acoustique/radio permettrait de récolter en temps réel et de fusionner les données recueillies. Par exemple, il serait ainsi possible de mesurer la présence d'hydrocarbures dans l'eau et suivre le déplacement de la nappe après le naufrage d'un pétrolier. Les derniers événements (*Erika* et *Ievoli Sun*) ont malheureusement démontré la pertinence du concept.

Applications militaires

La recherche militaire dans le domaine des communications acoustiques sous-marines possède un passé beaucoup plus ancien. Le projet ELAN (Etude d'une liaison acoustique numérique) constitue le premier projet notable (1984-1990) témoignant de l'investissement de la DGA dans ce domaine. Il visait à étudier la faisabilité d'une liaison tactique entre un porte-avions et un sous-marin. Ses retombées ont permis d'initialiser de nombreuses pistes de recherche encore parcourues actuellement par le tissu indus-

⁽²⁾ ROBLINKS : long range shallow water ROBust acoustic communication LINKS.

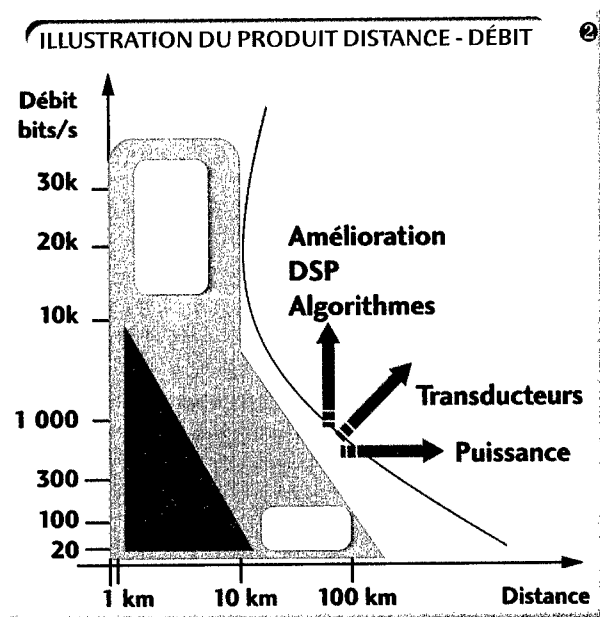
⁽³⁾ Acoustic Communication network for Monitoring of underwater Environment in coastal areas.

triel et universitaire concerné (LIS (ex-CEPHAG), Thales Underwater Systems (ex-Thomson Marconi Sonar)...). Parmi les pistes explorées, citons tout particulièrement :

- les communications discrètes ; l'objet de la recherche portait alors sur la possibilité de communiquer de façon non détectable ou tout du moins non compréhensible par un tiers ;
- les communications à longue distance ; l'objet de cet axe de développement portait sur la transmission d'information sur de très longues distances (plusieurs dizaines de kilomètres) ;
- les communications à haut débit ; l'objet de ce travail porte sur l'optimisation du débit au regard de la bande passante exploitée.

La Figure ② illustre, par une représentation du débit en fonction de la portée, la contribution des deux derniers pôles. L'évolution de la recherche militaire dans ce domaine a permis de passer d'un produit débit x distance de transmission de l'ordre de 0,5 km x kbits/s à près de 40 entre 1980 et l'an 2000 (domaine en vert sur la Figure ②, le bleu représentant les objectifs actuels de la recherche) [2].

Le développement des communications acoustiques sous-marines est donc très largement soutenu par l'effort militaire. Ceci constitue une constante que l'on retrouve aussi bien en France, qu'au Royaume-Uni ou aux Etats-Unis. Le Tableau ③ illustre l'effort de recherche de chacune de ces nations et témoigne de la convergence des différentes actions menées [3]. On s'aperçoit notamment que les développements portent sur l'étude et l'évaluation des performances des transmissions pour des aspects très ciblés. Quelle est



la meilleure portée ? Quel est le plus haut débit ? Quelle discrétion peut-on assurer ?

Les projets actuels tentent désormais d'intégrer la fonction communication acoustique sous-marine comme composante d'un système plus global au rang desquels les réseaux acoustiques sous-marins et les systèmes déployables constituent les premières applications. La mise en place du PEA "réseaux" par le Service des programmes navals (SPN) en 2000 devrait permettre à la France de maîtriser ce concept. La limitation physique induite par la faible bande passante des transducteurs aux basses fréquences ([1-10] kHz) nécessaires pour une portée importante rend toute transmission à un débit correct à longue distance impossible en direct. L'augmentation des débits de transmission passe alors par le déploiement d'organes relais (répéteurs) introduisant *de facto* la notion de réseau.

Ces différentes formes d'échange (bas débit robuste, haut débit, longue distance, réseau) sont désormais de nature à pouvoir être intégrées dans les futurs concepts de lutte sous-

**EFFORT DE RECHERCHE MILITAIRE
POUR LES COMMUNICATIONS ACOUSTIQUES SOUS-MARINES.**

Pays	But du programme	Nb. projets	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03
	Amélioration de la portée	2														
	Accès multi-utilisateurs	5														
	Réseau acoustique sous-marin															
	Discrétion / tactique	5														
	Vers le haut débit	3														
	Amélioration de la robustesse	6														
	Haut débit	1														
	Communications discrètes	1														
	Système RDS (Rapidly Deployable System)	1														
	Communications acoustiques longue distance	1														
	Communications acoustiques haut débit	1														
	Communications acoustiques bas débit	1														
	Réseaux acoustiques sous-marins	1														

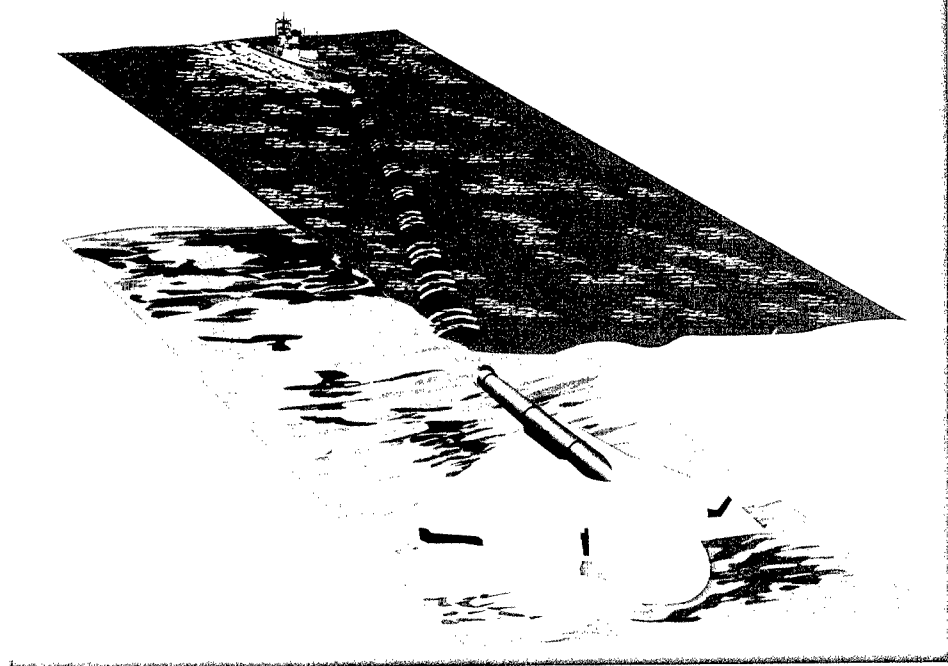
marine. Dans ce domaine, on recherche à établir une situation tactique, la plus complète possible, et à la partager. C'est le concept du *Net Centric Warfare* [4]. Pour ce faire, l'ensemble des composantes d'une force ASM (sous-marin, bâtiments de surface, mais aussi systèmes déployables, AUV, bouées et centre à terre...) doit être capable d'échanger les données collectées au moyen de liens de transmission fiables, discrets et agencés en réseau. Certains projets sont déjà lancés, comme le projet de système déployable rapidement (RDS) de l'OTAN qui a pour but de fusionner au sein de bouées autonomes les fonctions de détection et de communication. Ce développement doit permettre, par fusion des données recueillies par chacun de ces éléments, d'établir une situation tactique globale (surveillance de ports, trajectographie...). Outre-Atlantique, de récentes expé-

rimentations de transmissions d'*e-mail* par voie sous-marine entre un sous-marin (*USS Dolphin*) et une station à terre par l'intermédiaire de relais acoustique ont été effectuées avec succès.

Dans le domaine de la guerre des mines, les communications acoustiques sous-marines constituent un des maillons essentiels de la chaîne de développement des futurs drones sous-marins autonomes [4], [5]. De ce point de vue, l'intégration des communications consiste à équiper les futurs drones de liens de transmission généralement décomposés en deux. D'une part, un lien descendant de contrôle-commande chargé de donner les différentes consignes de l'opérateur avec le maximum de fiabilité et d'autre part un lien ascendant à même de remonter un ensemble d'informations récoltées depuis les différents senseurs embarqués (sonar, loch doppler,

ILLUSTRATION D'UNE APPLICATION DE CHASSE AUX MINES (SOURCE GESMA).

④



contrôle interne...) (Figure ④).

Dans ce domaine et pour les applications présentées ci-avant, l'Europe doit combler le fossé technologique entre le vieux continent et les Etats-Unis.

Synthèse des besoins

Les deux précédents paragraphes ont apporté une vue, certes, non exhaustive, mais représentative des tendances actuelles de la recherche civile et militaire. Dès lors, l'on constate de nombreuses similitudes dans les applications envisagées.

La première similitude concerne les communications avec les drones sous-marins. Le remplacement des ROV *offshore* de plus en plus contraignants en raison de l'augmentation de la longueur des câbles et le déploiement futur envisagé de drones sous-marins de chasse aux mines engendrent un besoin similaire, à savoir un lien de communication

bas débit (quelques dizaines de bits/s) mais très sécurisé pour le contrôle-commande et un lien haut débit (plusieurs dizaines de kbits/s) pour les remontées d'informations. Citons, par exemple, les projets civils *Asimov* ou *Sirene* et militaire *Redermor*.

La seconde concerne le besoin de déploiement de capteurs *ad hoc* interfacés entre eux par l'intermédiaire d'un réseau acoustique sous-marin et offrant la possibilité par fusion de données d'avoir une situation globale (situation tactique, état de pollution, carte de courants...).

L'application militaire conserve cependant certaines spécificités parmi lesquelles la discrétion acoustique. Afin de préserver la discrétion de nos sous-marins et la sécurité des informations transmises, les communications acoustiques sous-marines devront utiliser des techniques comme celles fondées sur la recherche d'un rapport signal sur bruit négatif, c'est-à-dire avec un niveau de signal en dessous du

niveau de bruit ambiant. Parmi d'autres alternatives possibles, le recours à l'équation du silence, c'est-à-dire le codage de l'information non plus par un signal d'excursion temporelle plus ou moins longue mais par le temps entre deux signaux très brefs.

La recherche civile possède aussi ses spécificités. L'environnement acoustique caractéristique des installations de forage nécessite des développements spécifiques en raison de niveaux de bruit très élevés.

Le tableau suivant synthétise les similitudes et les particularités de la recherche civile et militaire :

riques ont permis l'utilisation des procédés de détection et de correction d'erreurs et une plus grande robustesse vis-à-vis des effets temporels (étalement et évanouissement) et fréquentiels (doppler) de la réverbération. D'autre part, l'augmentation des cadences des processeurs a permis de passer des traitements non cohérents aux traitements cohérents (recours aux modulations de phase pour améliorer l'efficacité spectrale) et aux utilisations de signaux large bande. Ainsi, de nombreuses variantes des modulations de fréquence sont apparues (chirp, saut de fréquences...) dont l'excursion fréquentielle

a permis d'améliorer de façon significative la robustesse des transmissions.

Problème technique	Civil	Militaire
Intégration de liens de transmission à bord des ROV/AUV	x	x
Réseaux acoustiques sous-marins	x	x
Communications tactiques / discrètes		x
Communication acoustique à longue distance		x
Définition des modems (énergie, ergonomie...)	x	x
Réduction de bruit du porteur	x	x

Recherche appliquée

Il s'agit de développer des chaînes de transmission complètes au regard des applications visées. Les systèmes non cohérents de par

Axes de recherche

Après avoir recensé les différentes problématiques techniques et dégagé les nombreuses similitudes en terme de recherche civile et militaire, on peut rassembler en trois groupes les efforts de recherche :

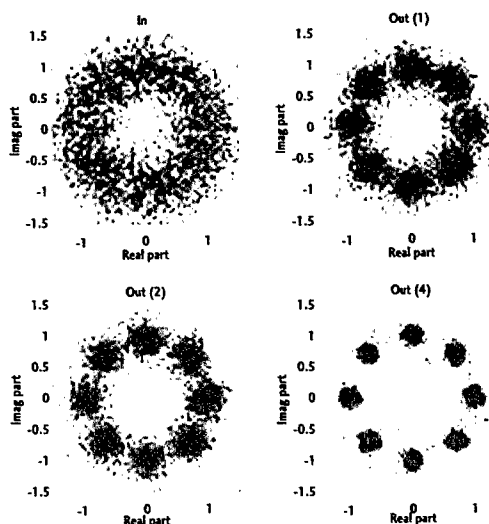
Recherche basique

Il s'agit d'étudier des fonctions composant la chaîne de communication ainsi que l'influence de l'environnement sur les transmissions (étude de la nature des trajets multiples, propagation, instrumentation...). Il convient aussi d'envisager de nouvelles familles de codes de transmission, de mettre au point de nouvelles modulations, de nouveaux procédés de codage...

Une des étapes importantes franchie dans ce domaine concerne l'arrivée des communications numériques et l'augmentation de la capacité de calcul des processeurs de signaux. En effet, les communications numé-

leur robustesse sont très utiles pour les applications de contrôle-commande pour lesquelles la sécurité est primordiale. Cette sécurité possède un prix puisque les systèmes présentent dès lors un faible débit au regard de la bande passante consommée. Les modems commerciaux utilisent, par exemple, des temps de garde afin de minimiser l'interférence entre symboles (le mélange des différentes informations binaires transmises). Cette solution non optimale en termes d'efficacité spectrale est supplantée depuis par le recours à des traitements cohérents (égalisation adaptative à retour dans la boucle, notamment). Cette nouvelle gamme de traitement intéresse toutes les applications nécessitant des transmissions de grands volumes d'information (capteurs, imagerie...) pour lesquelles un certain taux d'erreur est acceptable. De ce point de vue, les certitudes d'antan ne sont plus les vérités d'aujourd'hui.

EGALISATION SPATIO-TEMPORELLE D'UNE MODULATION DE PHASE À 8 ÉTATS (TRANSMISSION À 33 KBPS SUR 1 000 M).



La figure en haut à gauche présente la constellation d'entrée avant traitement. Les trois autres quadrants montrent les constellations obtenues après traitement à partir d'un, deux ou quatre capteurs.

En effet, jusqu'à la fin des années 80, la communauté scientifique a considéré comme un postulat le fait que la variabilité de l'océan soit incompatible avec le recours à des traitements cohérents. Les opinions ont changé, comme le prouvent les récents dépouillements effectués par l'ENST Bretagne et le GESMA (Figure 5) [7]. Ainsi, les transmissions à haut débit possibles jusqu'alors en configuration verticale sont désormais envisageables en transmissions horizontales pour lesquelles les multi-trajets sont très perturbants (en acoustique sous-marine, un même signal est véhiculé suivant plusieurs trajets). Les voies de recherche portent désormais sur l'utilisation conjointe de traitements d'antenne combinés aux traitements temporels (formation de voies, diversité spatiale couplée au processus d'égalisation) afin

d'améliorer encore et toujours les performances de transmission. Signalons que la diversité spatiale est préférée à la diversité fréquentielle de par la faible bande passante disponible qui condamne de nombreuses approches existantes dans le canal urbain (OFDM ou Multiplex à Division de Fréquences Orthogonales, FDMA ou Accès Multiples à Division de Fréquence...).

Les besoins d'échanges multi-utilisateurs ont ouvert la voie au développement des réseaux acoustiques sous-marins notamment avec l'étude des spécificités induites par le milieu ASM sur l'utilisation des protocoles de communication existants (système à répartition de temps TDMA, de fréquences FDMA, de code CDMA).

Recherche opérationnelle

Il s'agit d'interfacer les organes de transmission au sein de systèmes complexes. Cet axe de recherche concerne la téléphonie, les systèmes déployables... Il exige des progrès en compatibilité acoustique, diminution de l'influence du bruit des porteurs et plus généralement de réduction de bruit. Le travail de standardisation des transmissions est aussi intégré dans cette répartition.

Revue des prestations du GESMA

Le Groupe d'études sous-marines de l'Atlantique, centre de la DCE spécialisé dans la lutte sous-marine et historiquement dans la guerre des mines, réalise des prestations d'études et d'expertise dans le domaine des communications acoustiques sous-marines pour le compte principalement du SPN mais aussi de clients privés (diversification *offshore*). Ainsi, le GESMA procède :

- à l'évaluation des performances des systèmes actuellement commercialisés (notamment à l'aide de la plate-forme expérimentale du GESMA, le *Redermor*). Ainsi, plusieurs tests en mer de systèmes autorisant des débits de l'ordre de 20 à 300 bits/s sur des portées de 1 à 3 kilomètres ont été réalisés ;
- à l'évaluation de nouvelles méthodes de transmission (égalisation spatio-temporelle, miroir à retournement temporel, porteuses chaotiques, réseaux...). Dans ce contexte, un démonstrateur de transmission d'informations à haut débit en temps réel est en cours de développement avec les industriels (ORCA Instrumentation) et universitaires (ENST Bretagne) compétents du domaine. Les prochaines évaluations en 2002 devraient permettre d'apporter une contribution significative à l'autonomie de drones sous-marins. De la même façon, les années à venir permettront au GESMA d'étudier et expertiser le concept d'échanges réseaux et de communication multi-utilisateurs à partir de scénarios opérationnels définis par le SPN en cohérence avec l'étude MO2015 (Opérations Maritimes en 2015) de l'OTAN ;
- à l'expertise des principaux développements industriels dirigés par le SPN.

communications urbaines et satellites au monde sous-marin ouvre la porte à de nombreux axes de recherche. Le tissu industriel commence à entrevoir les énormes potentialités offertes par ce marché relativement neuf.

Dans ce domaine aussi, les développements suscités par les applications civiles peuvent être exploités à des fins militaires. Certaines applications spécifiquement militaires nécessitent malgré tout une prise en charge exclusive par la recherche de défense.

Enfin, les utilisateurs civils et militaires peuvent intégrer ce nouveau vecteur de communication dans différents scénarios opérationnels. L'intégration de la composante communication par voie sous-marine au sein des théâtres de lutte ASM peut amener de nouveaux modes de déploiement et intégrer de nouveaux acteurs (bouées...). Une plus grande finesse dans la connaissance de l'environnement pourrait être mise à profit par l'utilisation des échanges en réseaux.

En dernier lieu, les efforts de coopération au sein de l'Europe, à l'heure actuelle encore balbutiants dans ce domaine, doivent être intensifiés pour fédérer les énergies aussi bien dans le monde civil que militaire. 

Le domaine des communications acoustiques sous-marines est un domaine en plein essor depuis l'avènement des fortes puissances informatiques et l'intégration au sein des systèmes embarqués des méthodes de traitements cantonnées jusqu'alors aux stations de travail. La recherche universitaire est friande des difficultés apportées par le canal acoustique sous-marin. La déclinaison des progrès enregistrés sur les

- [1] D. Kilfoyle et Al., 'The state of the art in underwater acoustic telemetry', IEEE J. of Oceanic engineering, January 2000, Vol. 25, N° 1.
- [2] D. Kilfoyle, A. Baggeroer, 'Research directions in underwater acoustic telemetry', Sea Technology, May 1999.
- [3] T. Curtin, R. Benson, 'ONR Program in underwater acoustic communications', Sea Technology - May 1999.
- [4] 'Network-centric ASW', Naval Forces, N° III/1999, Vol. XX.
- [5] P. Waquet, 'Le chasseur de mines du futur', L'ARMEMENT - n° 63 - Octobre 1998.
- [6] J. Lemaire, 'Situation et perspectives en robotique sous-marine', L'ARMEMENT - n° 71 - Octobre 2000.
- [7] G. Lapiere, J. Labat, J. Trubuil, 'Evaluation of a high data rate acoustic link: contribution of blind spatio-temporal equalization', Proc. of ECUA 2000, Lyon, France.

CHEFREN :

un outil de réduction des risques pour les missiles de demain

par David COLLIQUET, ingénieur de l'armement
Centre d'essais des propulseurs de Saclay

The development of the CHEFREN test cell at CEPr (Centre d'Essais des Propulseurs, Saclay, France) provides France with a unique test facility. It enables to reproduce the high altitude trajectory of a missile... at ground level. This outstanding ability is not only a technical challenge: it also implies major economic matters, and the VESTA ramjet program will be the first one to benefit from this characteristic.

Depuis son invention par René Lorin, en 1913, et sa première mise en application par René Leduc, de 1934 à 1949, le statoréacteur, une excellente française, a toujours mobilisé la communauté aéronautique mondiale, et en particulier française. Ce type de propulsion constitue en effet le meilleur compromis entre distance franchissable et volume de moteur pour des engins appelés à évoluer à longue portée avec une vitesse fortement supersonique (de Mach 2 à Mach 12). Le développement du statoréacteur nécessite toutefois un savoir-faire scientifique et technologique considérable. C'est après de nombreux développements durant les années 50 et 60 que la collaboration d'Aerospatiale et de

l'ONERA aboutira, en 1986, sous l'impulsion de la DGA, à la mise en service opérationnel du missile ASMP (Air-Sol Moyenne Portée), premier et unique missile à statoréacteur équipant une force armée du monde occidental. Le mode de fonctionnement du statoréacteur (cf. *encart 1*) présente l'avantage, contrairement aux turboréacteurs, de ne pas requérir de pièces tournantes (compresseurs ou turbines, pièces mécaniques complexes et fragiles). Pourtant, derrière ce principe en apparence simple, se cache une méthodologie de développement particulière mobilisant un ensemble de moyens d'essais de haute technicité. Le nouveau moyen CHEFREN ⁽¹⁾ du Centre d'essais des propulseurs (CEPr) en fait désormais partie.

⁽¹⁾ Concept hybride d'ensemble furtif à réservoir pour engin nucléaire.

Une méthodologie de développement particulière

Afin d'appréhender la valeur ajoutée de ce moyen d'essai, reconnu comme exceptionnel au plan mondial, un éclairage sur la méthodologie d'essais au sol des statoréacteurs s'impose. Elle sera illustrée par l'exemple du programme VESTA (VEcteur à STAtoréacteur) ; ce programme, dont la maîtrise d'œuvre industrielle a été confiée à Aerospatiale Matra Missiles, a pour objet le développement d'un vecteur de nouvelle génération dérivé de l'ASMP ⁽²⁾, mais de portée et de maniabilité bien supérieures.

Pour schématiser, l'efficacité d'un statoréacteur dépend avant tout de deux facteurs : la compression réalisée par ses entrées d'air et l'agencement de sa chambre de combustion. Ces deux facteurs ne sont pas indépendants, ce qui constitue un point délicat du développement de ce type de formule propulsive.

Quatre types d'essais sont généralement prévus durant le cycle de développement d'un statoréacteur :

- des *essais d'aérodynamique interne et externe*, généralement à échelle réduite, permettant notamment de déterminer les performances des entrées d'air. Pour VESTA, ces essais ont été réalisés dans les souffleries S2 et S3 de l'ONERA à Modane ;
- des essais en *"veine forcée"* durant lesquels seule la chambre de combustion est testée, l'écoulement issu des entrées d'air étant simulé par des grilles de distorsion. Les chambres de combustion du vecteur VESTA ont été testées sur le site du Subdray de la CELERG, à Bourges. Ces essais permettent sur des trajectoires complètes de simuler toutes les phases de fonctionnement du moteur (accélération, transition, statoréaction) mais avec une alimentation en air approchée par rapport à celle du vol ;
- des essais en *"jet semi-libre"*, permettant de valider, sur des portions de trajectoires à basse altitude, le fonctionnement du moteur en

prenant en compte les couplages entre les entrées d'air et la chambre de combustion ;

- des essais en *"jet libre"*, consistant à tester le missile complet en fonctionnement à échelle 1 sur des portions de trajectoires haute altitude. Pour VESTA, ce type d'essai sera réalisé au CEPr, dans le banc d'essai CHEFREN.

Ce dernier type d'essai *"jet libre"* constitue souvent une étape de réduction des risques avant essais en vol. En effet, entrées d'air et chambre de combustion sont étroitement

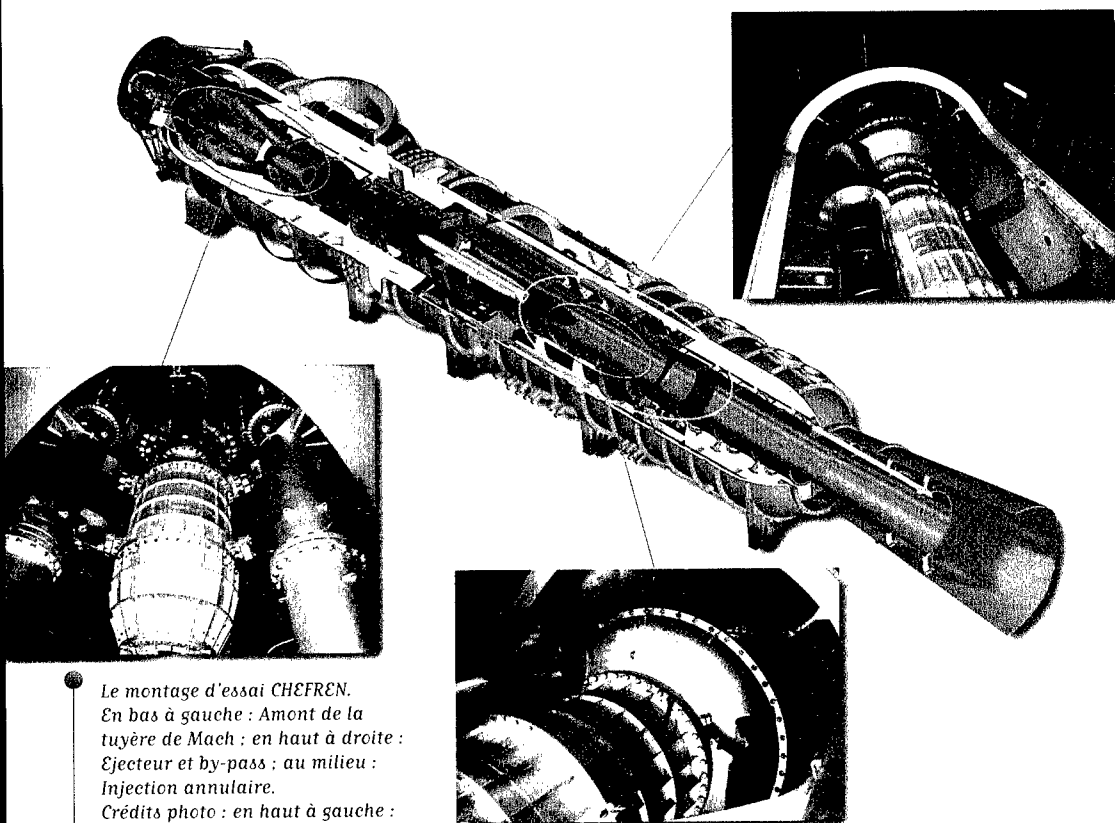
Encart 1

LE STATORÉACTEUR : PRINCIPE

Comme tout propulseur "aérobie", le statoréacteur utilise l'oxygène de l'air capté en vol par ses entrées d'air pour le brûler avec un combustible (solide ou liquide, comme du kérosène). L'accélération dans une tuyère de ce mélange (dont l'énergie a été augmentée par la combustion) permet de produire de la poussée. Le missile évoluant à vitesse supersonique (Mach 2, Mach 3, voire plus), un des points délicats du statoréacteur réside dans la fonction de captation de l'air : les entrées d'air doivent ralentir l'air capté et transformer sa vitesse en pression, en limitant les pertes d'énergie dans l'opération. Intervient alors le mélange avec le carburant, puis la combustion. Un autre défi des statoréacteurs consiste alors à stabiliser la flamme de ce mélange réactif en mouvement (encore à des vitesses supérieures à 300 km/h) dans la chambre de combustion sans recourir à l'implantation d'obstacles mécaniques.

Lorsque cet ensemble d'équations de mécanique des fluides et de thermodynamique est résolu, à grand renfort d'empirisme et d'expérience, le résultat est là : ce simple conduit, de forme savamment optimisée, protégé thermiquement, ingère l'air, le comprime, le brûle, l'accélère, sans recourir à aucune pièce tournante.

⁽²⁾ Concept de statoréacteur à accélérateur intégré, avec deux entrées d'air latérales.



Le montage d'essai CHEFREN.
En bas à gauche : Amont de la
tuyère de Mach ; en haut à droite :
Ejecteur et by-pass ; au milieu :
Injection annulaire.
Crédits photo : en haut à gauche :
CEPr ; au milieu : DGA/COMM
F. Vrignaud.

liées et seuls les essais jet libre permettent une validation globale de cette interaction. Ainsi, en 1982 déjà, des essais en jet libre du missile ASMP avaient eu lieu au CEPr. Néanmoins, si le principe général de l'essai était le même (tester un missile complet dans un écoulement en haut supersonique), les raffinements atteints aujourd'hui par le banc CHEFREN permettent de franchir une étape de plus dans la représentativité de ce type d'essai "système".

Une gestation longue pour un outil exceptionnel

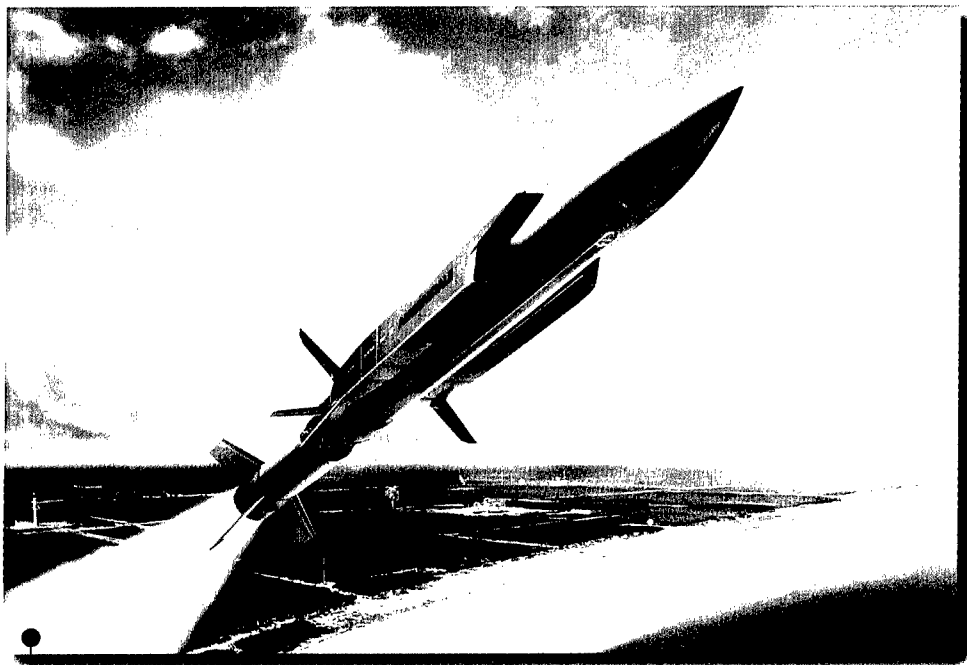
L'origine de CHEFREN remonte à 1992, sous la forme d'un Développement

Exploratoire (DE, équivalent des Programmes d'Etudes Amont actuels). Lancé en parallèle d'autres DE "pyramidaux", baptisés CHEOPS et MICHERINOS, le DE CHEFREN devait valider la formule aéropulsive d'un Air-Sol Longue Portée (ASLP) à statoréacteur, avec trois essais en vol depuis le Centre d'essais des Landes.

En 1996, le DE est réorienté une première fois pour faire suite au choix de l'ASMPA⁽³⁾ pré-développé par le programme VESTA. Les essais en vol sont abandonnés au profit d'essais au sol, en jet libre, à échelle 1, mais toujours avec le concept ASLP. Le projet démarre alors pour le CEPr.

En 1997, une nouvelle réorientation conserve le principe d'essais en jet libre, mais le missile VESTA prendra la place de l'ASLP dans la veine d'essai. La

⁽³⁾ Air-Sol Moyenne Portée Améliorée.



"VESTA : Vecteur à STatoréacteur". Crédit-photo : Aerospatiale Matra Missiles.

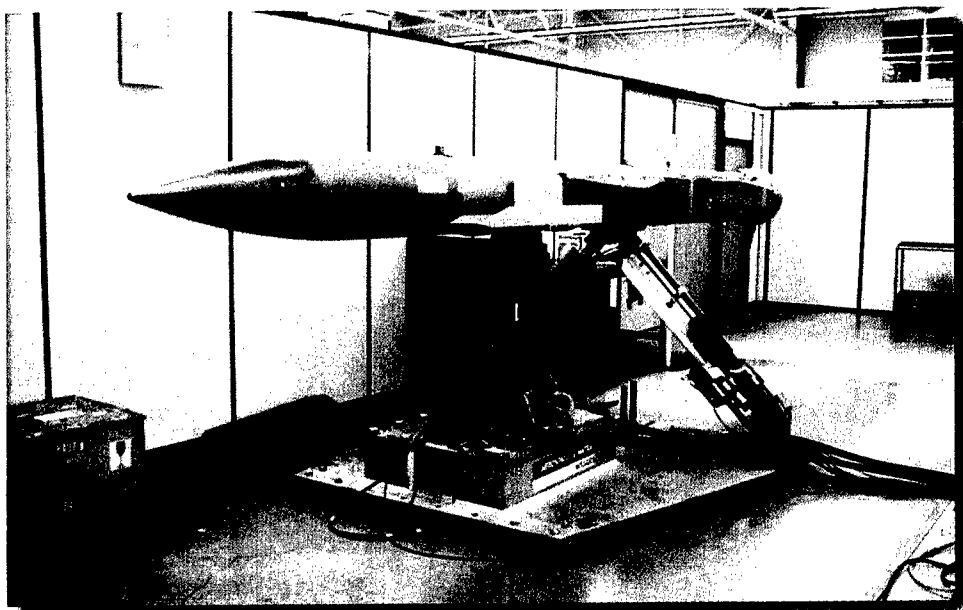
bataille des coûts, axe stratégique de la réforme de la nouvelle DGA, aura eu pour conséquence de faire coup double : réduire les risques sur un programme préfigurant le nouveau vecteur stratégique à moyenne portée ASMPA tout en mettant au point une installation d'essai unique. En 1997, le DE CHEFREN, réalisé sur la base d'une co-traitance CEPr / Aerospatiale Matra Missiles / ONERA sous maîtrise d'ouvrage du Service des programmes nucléaires (SPNuc), est donc définitivement lancé, avec quatre objectifs :

- valider la robustesse de la formule aéro-propulsive VESTA, avant les essais en vol ;
- explorer le potentiel de croissance de l'ASMPA ;
- valider la méthodologie de développement des statoréacteurs ;
- développer une installation d'essai jet libre au CEPr.

Aux frontières du vol réel

Ce quatrième objectif n'est pas des moindres, car le projet consiste, d'une part, à adapter intégralement un banc d'essai ayant notamment accueilli les essais des propulseurs *Olympus* du *Concorde* et, d'autre part, à mettre à niveau le réseau d'air du CEPr. Cette dernière opération aura requis, entre autres, la création de plusieurs centaines de mètres de liaison d'air à haute pression.

La conception du montage aérodynamique du banc d'essai est confiée à l'ONERA, tandis qu'Aerospatiale Matra Missiles prend en charge la conception et la fabrication du missile instrumenté pour les essais ainsi que le "support motorisé" lui permettant une mobilité spatiale. Le CEPr, enfin, est responsable des fabrications et du montage d'adaptation du banc et du réseau d'air ainsi que de la conduite des essais. Des essais à échelle réduite seront aussi menés dans ce centre, en



"Maquette de soufflerie en cours d'intégration". Crédit-photo : Aerospatiale Matra Missiles.

1997 et 1998, afin de valider le concept novateur du montage d'essai.

La vocation de la veine d'essai CHEFREN n'est rien moins, en effet, que de recréer au sol la trajectoire d'un missile supersonique (VESTA) en altitude. Il s'agit donc de reproduire, en temps réel, dans un espace confiné ⁽⁴⁾, la vitesse (nombre de Mach) de l'engin, son altitude, et ses variations "d'altitude", c'est-à-dire son orientation dans l'espace.

Pour le nombre de Mach, le procédé est similaire à celui utilisé dans toutes les souffleries aéronautiques du monde : le missile est fixe, et c'est l'écoulement d'air autour de lui qui est accéléré très exactement à la vitesse de vol réel. Le missile VESTA évoluant en vol à une vitesse de l'ordre de 3 000 km/h à haute altitude, la veine CHEFREN doit donc canaliser, autour de la maquette dans le banc

d'essai, un écoulement d'air à cette vitesse, avec une dépression correspondant exactement à celle rencontrée en altitude ⁽⁵⁾.

De la précision de cette dépression dépend la représentativité de l'altitude "vue" par le missile. La veine CHEFREN apporte une innovation majeure dans ce domaine : grâce à un barillet de 6 vannes pesant près de 20 tonnes, il est possible de contrôler en temps réel la quantité d'air admise sur le missile et de réaliser des transitoires d'altitude identiques à ceux des trajectoires de vol. Pour cela, un système de déviation de l'air traverse toute la veine d'essai et permet aux machines d'atmosphérisation, en amont et en aval du banc, de travailler avec un débit d'air constant, ce qui facilite leur synchronisation.

En ajoutant à ces transitoires d'altitude les évolutions permises par le support motorisé, assurant le mouvement spatial du missile, tout est réuni pour fournir un outil recréant, en temps réel, la trajectoire réelle d'un missile à haute altitude ... au sol, et d'un simple clic de souris !

⁽⁴⁾ Un "banc d'altitude", cellule hermétique de 30 m de long pour un diamètre de 5 m.

⁽⁵⁾ Inférieure à 1/20^e de la pression atmosphérique au niveau de la mer !

CHIFFRES-CLÉS

- Puissance utilisée pour générer l'écoulement d'air : 320 MW (120 MW d'origine électrique, 200 MW d'origine vapeur), soit la puissance de 50 motrices de TGV ou le quart de la puissance d'un réacteur nucléaire.
- Débit d'eau pour refroidir les machines de production d'air : 75 000 m³/h, soit un débit assurant la consommation en eau potable d'une ville de 400 000 habitants environ ou le remplissage d'une piscine olympique en 2 minutes.
- Débit d'air en continu : 220 kg/s d'air sec et chimiquement propre, à 7 bar (7 fois la pression atmosphérique) et 400 °C. Cela représente la production, toutes les secondes, d'un volume d'air occupant la remorque d'un camion de 33 t, amené à haute pression et à thermostat 15 !
- Altitudes simulées : entre 16 et 23 km d'altitude ; précision de l'altitude en palier : ± 50 m.
- Coût global du projet : environ 36 M€ (240 MF), incluant la conception et le développement de la veine d'essai et du spécimen d'essai ainsi que la réalisation des campagnes d'essai.

320 mégawatts pour quelques kilos d'air...

Etant données les conditions extrêmes d'un vol supersonique, les paramètres de mise en œuvre de ce moyen d'essai se situent aux limites des capacités du Centre d'essais des propulseurs : les débits d'air, pressions et températures en jeu (cf. *encart 2*) impliquent une puissance totale de dimension industrielle. Il s'agit de plus de 320 MW qui permettent de produire et d'extraire les débits d'air assurant une représentativité optimale. Puissance paradoxale, si on la compare à la consommation en air du missile, c'est-à-dire à peine quelques kilos par seconde !

Le potentiel d'atmosphérisation du CEPr est utilisé en quasi-totalité pour produire et extraire les 220 kg/s d'air accélérés à Mach 3+. Fait remarquable, les 4 moyens de production et les 2 moyens d'extraction d'air, représentant en tout 14 compresseurs, sont capables de travailler continûment, ce qui signifie que la seule limitation à la durée des essais vient du missile en veine (qui s'échauffe fortement). Cette caractéristique revêt une importance économique considérable, exploitée dès la conception de la "maquette" d'essai

VESTA pour le CEPr. Cette maquette est en effet réutilisable, équipée de divers systèmes de purge et de refroidissement lui permettant d'enchaîner, quotidiennement, trois ou quatre essais durant lesquels la chambre de combustion fonctionne. Cette fréquence n'est pas envisageable pour les essais en vol, qui nécessitent une infrastructure beaucoup plus lourde.

Un système économiquement utile

Cette vertu constitue l'un des avantages économiques évidents de la veine CHEFREN, mais on peut en trouver plusieurs autres :

- *Economie globale.* La complexité croissante des systèmes d'armes modernes rend leur évaluation (expertise et essais) de plus en plus coûteuse. Un moyen comme CHEFREN, permettant des essais non destructifs, répétés et reproductibles, permet d'envisager moins d'essais en vol en les compensant par plus d'essais au sol. Le coût global du projet CHEFREN, de la conception à la finalisation des essais, représente en effet 36 M€ (240 MF) pour plusieurs dizaines de trajectoires testées,

tandis qu'un tir réel au CEL (Centre d'essais des Landes), qui permet d'acquérir des informations complémentaires, coûte plusieurs M€. Au total, l'utilisation combinée des moyens du CEL et du CEPr permet donc une économie globale très significative sur l'évaluation des programmes d'armement futurs.

• *Fiabilité des missiles testés.* Parce que les conditions d'essais peuvent être très exactement reproduites, au besoin plusieurs fois par jour, CHEFREN constitue un outil intéressant pour résoudre avant essais en vol, en phase de développement, les points durs d'un système propulsif.

• *Réduction des risques.* Le coût et le risque des essais au sol étant moindres, CHEFREN permet d'aller aux limites du domaine de vol du statoréacteur et de vérifier que les marges de fonctionnement, nécessaires pour les engins opérationnels, sont appropriées. Lors d'essais en vol, ces limites ne sont, bien sûr, jamais "explorées". Par ailleurs, le système d'acquisition des paramètres du missile permet une grande exhaustivité des mesures lors d'un essai, contrairement à un essai en vol pour lequel la télémesure limite le flux d'informations acquises. Tout cela conduit donc à mieux connaître le fonctionnement intime du missile et ses marges, ce qui réduit les risques sur les modèles opérationnels.

(6) Utilisant l'air ambiant pour leur combustion, contrairement, par exemple, aux moteurs-fusées.

• *Adaptabilité.* La veine d'essai, conçue pour accueillir le spécimen VESTA, peut accueillir divers engins "aérobies" (6). Le Mach de vol peut être changé en remplaçant simplement la tuyère de Mach et la plage d'altitude peut être étendue en fonction du diamètre du missile testé. Cette modularité confère à CHEFREN un bel avenir !

CHEFREN permet à la France de se doter d'un moyen d'essai unique au monde, capable de reproduire au sol les trajectoires d'un missile en vol. Cet outil, néanmoins, se justifie surtout par son utilité économique permettant de réduire les coûts d'évaluation et les risques sur des systèmes d'armes se complexifiant. Ce volet économique n'est pas le moindre puisqu'il suit la tendance générale de la recherche de défense : dans les années à venir, dans un environnement financier contraint, la course à la performance technique et scientifique ne peut se départir d'une meilleure performance économique.

Enfin, CHEFREN est un atout supplémentaire pour le CEPr, dont l'ambition est d'être, en Europe, le *leader* et le partenaire de référence pour l'évaluation et l'expertise des systèmes aéropulsifs.



Les PME : un vivier pour la DGA

par Patrick CUNIN, ingénieur en chef de l'armement

Sous-directeur des PME-PMI et de l'action régionale - Direction de la coopération et des affaires industrielles

The DGA wishes to facilitate access of innovative small and medium-size enterprises (SME's) to defence contracts; as part of that plan, it has designed a number of measures to support and help companies. Yet the DGA is faced with difficulties related to the specific nature of defence markets and will further need to ensure the continuity of know-how and industrial capacities developed by these companies, which are considered as strategic from the viewpoint of defence stakes. The DGA will also need to endorse any initiative that will foster the grouping of SME's in large business sectors in order to improve positioning on European defence markets, while at the same time encouraging these same companies to increase their participation in European Union research programmes. The implementation of an action plan should allow the DGA to contribute to consolidate the fabric of European SME's that are of interest to defence.

La France dispose d'un important réseau de plus de 4 000 petites et moyennes entreprises et industries (PME-PMI) indépendantes ⁽¹⁾, presque toujours équipementiers ou sous-traitants et travaillant directement ou indirectement pour la défense. Ces PME sont des structures réactives, innovantes et compétitives qui complètent les capacités industrielles des grands maîtres d'œuvre et des équipementiers.

La DGA souhaite faciliter l'accès aux contrats de défense des PME, qui ont la capacité de proposer des solutions techniques originales à faible coût. Mais l'implication des PME françaises dans les programmes d'armement se heurte à un certain nombre de difficultés compte tenu de la spécificité des contrats de défense : rôle croissant des maîtres d'œuvre, lourdeur des procédures, caractère

cyclique de certains contrats. En particulier, les procédures de passation des contrats en vigueur dans l'administration peuvent constituer un frein important pour travailler avec des entreprises dont les stratégies sont plutôt axées sur le court terme. On constate ainsi depuis quelques années que certaines PME européennes se désengagent des activités de défense pour se tourner vers des marchés civils plus porteurs.

⁽¹⁾ En France, les petites et moyennes entreprises et industries (PME-PMI), dénommées PME dans la suite du texte, sont définies comme des entreprises employant moins de 500 personnes, dont le chiffre d'affaires annuel n'excède pas 75 Meuros et dont la dépendance capitalistique vis-à-vis d'une grande entreprise est inférieure à 25 %

La typologie des PME intéressante la défense

Il convient de distinguer deux catégories principales d'entreprises : les PME travaillant directement ou indirectement pour la défense, dont le chiffre d'affaires lié aux activités de défense est supérieur à 50 %, et les PME aux activités duales dont le chiffre d'affaires correspondant aux activités de défense, pour celles déjà présentes sur le secteur, est plutôt inférieur à 30 %.

Les PME de défense peuvent être confrontées à des crises de trésorerie liées au caractère cyclique de certains marchés de défense. Lorsque de telles entreprises détiennent des savoir-faire ou des capacités industrielles stratégiques au regard des enjeux de défense, la DGA doit s'assurer de la pérennité de ces savoir-faire et de ces capacités en s'efforçant d'anticiper leurs difficultés, en incitant ces entreprises à diversifier leurs activités, voire en les adossant à d'autres groupes industriels du secteur. Il faut en outre veiller aux éventuelles pertes de compétences aux plans national et européen, susceptibles de porter atteinte à notre sécurité d'approvisionnement et qui résulteraient d'une prise de contrôle par des intérêts étrangers d'une PME au caractère stratégique.

Les PME susceptibles d'intéresser la défense mais n'ayant pas encore de relations contractuelles avec la DGA sont en général des entreprises de haute technologie aux activités essentiellement civiles. La difficulté consiste à identifier ces entreprises puis à évaluer et à faire connaître leurs compétences technologiques, en particulier dans les domaines tech-

niques de la DGA considérés comme prioritaires. Il est donc nécessaire de disposer d'un réseau en régions d'observateurs pour identifier et évaluer le savoir-faire de ces entreprises. La DGA s'appuie pour cela sur le réseau de ses correspondants en région auprès des DRIRE ⁽²⁾ (directions régionales de l'industrie, de la recherche et de l'environnement auprès du secrétariat d'Etat à l'industrie), sur le réseau des DRRIRD ⁽³⁾ (délégués régionaux au redéploiement industriel et aux restructurations de la défense) ainsi que sur ses établissements en région (DCE, SMA).

Une base de données sur les PME a été constituée et comporte aujourd'hui plusieurs centaines d'entreprises. Outre des informations technico-industrielles, cette base de données comporte différentes informations à caractère juridique, économique et financier. Pour anticiper les difficultés des PME de défense, une analyse financière est réalisée sur les entreprises vulnérables. La réduction d'activité étant souvent citée comme représentant la première cause de défaillance, l'évaluation du chiffre d'affaires et le score financier sont les premières variables retenues pour ce diagnostic de vulnérabilité. Une attention particulière est également portée au taux de dépendance aux commandes de défense qui ne devraient pas représenter plus de 30 % du chiffre d'affaires.

Les moyens mis en œuvre par la DGA

Pour mieux utiliser les compétences des PME dans les activités de défense, la DGA a mis en place un ensemble de mesures de soutien et d'aide qui visent en particulier à valoriser les innovations technologiques de ces entreprises. Mais il est nécessaire que ces mesures spécifiques soient mieux connues et mieux adaptées aux attentes des PME. Le portail armement *ixarm*, récemment créé, va permettre de mieux faire connaître ces mesures. Il va également permettre d'associer en

⁽²⁾ Les DRIRE ont pour vocation de mettre en œuvre la politique industrielle de l'Etat en région. La DGA et la DARPMI ont signé le 22 décembre 1999 une convention relative à l'accompagnement des PME intéressantes la défense, qui permet à la DGA de disposer d'un correspondant dans chaque région.

⁽³⁾ Les DRRIRD sont chargées d'animer et de coordonner les acteurs régionaux impliqués dans l'accompagnement économique et social des restructurations de la défense. Elle relève du délégué interministériel aux restructurations de défense (DIRD).

temps réel l'ensemble du tissu industriel à la commande publique, tout en assurant une meilleure transparence sur les grands programmes d'armement en préparation.

Les contrats directs en études

Au titre de l'année 2000, les PME ont bénéficié de 314 MF de contrats directs au titre des études, ce qui représente 10,6 % du montant total des études amont (cf. ❶). Les PME indépendantes des grands groupes industriels ont reçu pour leur part 145 MF de contrats directs au titre des études amont, soit 4,9 % du budget des études amont.

Il faut souligner que le montant total des contrats directs notifiés aux PME devrait en principe diminuer, car la politique actuelle d'acquisition de la DGA privilégie la passation des contrats aux grands maîtres d'œuvre et équipementiers et génère une sous-traitance indirecte plus importante auprès des PME. Ce montant de sous-traitance indirecte n'est pas aujourd'hui mesurable en raison de l'absence d'indicateurs de gestion et d'évaluation communs aux maîtres d'œuvre industriels et à la DGA.

Les mesures de soutien à l'innovation

Pour améliorer les conditions d'accès direct des PME aux programmes de la DGA, trois dispositifs ont été mis en place depuis 1998 : la procédure de traitement des propositions

non sollicitées (juin 1998), les appels à compétences sur projets (avril 1999) et les appels à compétences sur idées (décembre 2000). Le pilotage de ces dispositifs est assuré par la direction de la coopération et des affaires industrielles.

● Les propositions non sollicitées (PNS)

Les entreprises font spontanément connaître à la DGA des innovations technologiques susceptibles d'intéresser la défense. Cette procédure leur permet de mieux se faire connaître des services de programme de la DGA et d'obtenir, dans un délai de trois mois, l'appréciation de l'intérêt que la DGA porte à leurs propositions.

Un tiers environ des propositions a reçu un avis favorable et conduit à négocier des contrats (28 sur 75). Parmi les propositions ayant retenu l'intérêt de la DGA et ayant conduit à une notification de contrat, on peut citer l'étude d'un dispositif atténuateur pour barres de suspension d'hélicoptère (société ARTEC), la simulation laser (société OPTIS) et la faisabilité d'une conduite de tir simplifiée (société SERAT). La figure ❷ présente un point de situation sur les propositions non sollicitées.

● Les appels à compétences sur projets (AAP)

Les appels à compétences sur projets ont pour objectif de faire connaître aux indus-

❶ RECAPITULATIF DES MONTANTS EN MF DES ÉTUDES AMONT DIRECTEMENT NOTIFIÉES AUX PME EN 1998 ET 2000.

	Budget études amont titre V	Montant total notifié aux PME	Part études amont	Montant notifié PME indépendantes	Montant notifié PME filiales	% de retour aux PME indépendantes
1998	3050	320	10,5 %	143	177	4,7 %
2000	2967	314	10,6 %	145	169	4,9 %
2001*	3250	325	10 %			

* prévisions 2001

triels, en avance de phase sur la procédure contractuelle, une sélection de thèmes d'études amont accessibles aux PME, sur lesquels la DGA envisage de notifier des contrats. Les thèmes d'études amont sont publiés chaque année en mars et en octobre.

41 thèmes ont été publiés en avril 2000, 23 en octobre 2000 et 15 en avril 2001. La dernière liste de thèmes a été publiée directement sur le portail armement. La figure ② présente un point de situation sur les appels à compétences sur projets. On constate que le nombre d'appels à projets publiés est en baisse depuis deux ans et que cette mesure

de soutien aux PME devra faire l'objet d'une évaluation et d'une réorientation éventuelle.

● Les appels à compétences sur idées

Cette nouvelle procédure est une démarche de marketing achat. Les appels sur idées permettent aux services de programme de la DGA de rechercher des informations sur les capacités technologiques de l'industrie, en dehors de tout engagement contractuel.

Huit appels sur idées ont été mis en ligne sur le portail armement depuis son lancement en décembre 2000 et concernent cinq domaines techniques (guerre électronique, sciences

de l'homme, véhicules terrestres, systèmes d'information opérationnelle et conception des systèmes complexes).

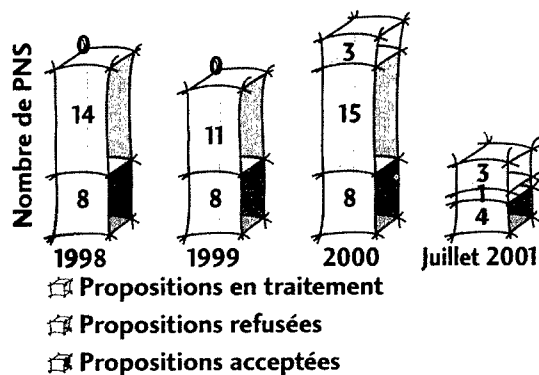
Les mesures en fonds propres

Pour aider les PME à renforcer leurs fonds propres, la DGA s'est adossée à plusieurs partenaires financiers, dont La Financière de Brie et la filiale de la Caisse des dépôts et consignations chargée des PME, auxquels elle apporte son expertise et sa connaissance des grands programmes d'armement.

La mise en œuvre des mesures en fonds propres (fonds d'amorçage ou fonds de capital-développement) repose en particulier sur le partenariat établi en janvier 1993 entre la DGA et Brie Conseil et Finance (BCF) et sa filiale La Financière de Brie.

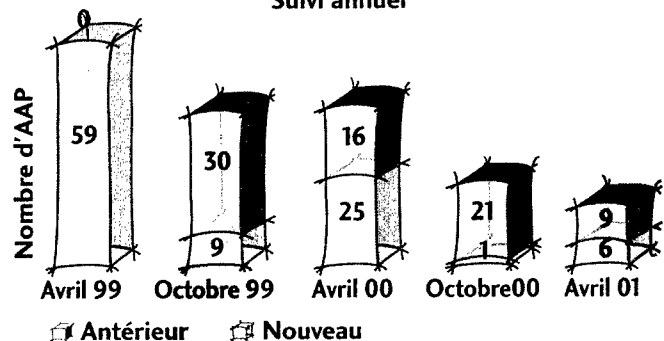
PNS (PÉRIODE DE JUIN 1998 À JUILLET 2001)

Propositions non sollicitées Suivi annuel



AAP (PÉRIODE D'AVRIL 1999 À AVRIL 2001)

Appel à compétences sur projets Suivi annuel



Il faut souligner que la décision finale appartient à la société de capital-risque dans le cadre de ses structures de fonctionnement. Le montant par opération peut varier de 300 à 700 KF pour les fonds d'amorçage et est limité à 5 MF pour les fonds de capital-développement.

En 2000, 60 % des dossiers d'investissement acceptés par La Financière de Brieenne provenaient de PME de défense. Ces dossiers d'investissement concernaient les outils logiciels (80 %), l'ingénierie acoustique (10 %) et la recherche biomédicale (10 %).

Les plans d'acquisition

Dans le cadre de marchés conclus sans mise en concurrence préalable, la DGA impose progressivement aux maîtres d'œuvre l'établissement de plans d'acquisition dont l'objectif est de maintenir une concurrence saine et équilibrée aux niveaux de sous-traitance entre les PME et les filiales de grands groupes industriels. La DGA pourra ainsi être amenée, si nécessaire, à imposer aux maîtres d'œuvre la consultation de fournisseurs en complément de ceux qu'ils ont eux-mêmes prévus.

Le pilotage des plans d'acquisition est assuré par la Direction des programmes, des méthodes d'acquisition et de la qualité. L'objectif fixé est de réaliser 8 % de plans d'acquisition en 2001 (par rapport au nombre total de marchés négociés sans mise en concurrence préalable).

Les aides financières à l'exportation

Il y a l'aide à la promotion industrielle (article 10) et l'aide à l'industrialisation (article 90). Le pilotage de ces aides financières est assuré par la Direction des relations internationales.

● L'aide à la promotion industrielle

L'aide à la promotion industrielle vise à faciliter la participation des industriels à des salons d'armement ou à des actions de prospection à l'étranger. Les dossiers retenus font l'objet

d'un protocole entre l'Etat et la PME, permettant une prise en charge partielle des dépenses, qui peut varier de 20 à 50 %. Certains protocoles comportent une clause de remboursement des aides en cas de succès, lorsque les actions de prospection conduisent à des ventes à l'exportation.

Sur un total de 6 MF par an environ, 50 % du financement va aux PME.

● L'aide à l'industrialisation

L'aide à l'industrialisation, pour des produits correspondants à des marchés de défense à l'exportation, donne lieu au versement d'avances remboursables. Les dossiers, instruits par la DGA, sont examinés en juin et en décembre de chaque année par un comité interministériel. Les dossiers retenus font l'objet d'une convention entre NATEXIS Banque et l'entreprise. L'avance correspond à 50 % environ des dépenses engagées. Le remboursement ne s'effectue qu'en cas de vente à l'exportation.

Une procédure accélérée à l'attention des PME a été mise en place en 1998, pour faire face à des opérations urgentes mettant en jeu de faibles financements.

Sur un total de 100 MF par an environ, près de 40 % du financement va aux PME.

Le médiateur de la DGA

La DGA met à la disposition des PME qui le souhaitent un médiateur pour les aider à prévenir les contentieux et résoudre à l'amiable les conflits éventuels avec leurs donneurs d'ordre. Le médiateur est une personnalité indépendante dont l'intervention et les avis n'ont pas de caractère obligatoire.

En 2000, le médiateur a résolu à l'amiable plus de 90 % des contentieux qui lui ont été présentés.

Les PME et l'Europe

A l'heure de l'Europe monétaire et de la mise en place d'une force européenne d'action

rapide, la problématique des PME doit être bien évidemment traitée dans un contexte européen.

On constate aujourd'hui que les PME françaises demeurent isolées et peu organisées au plan européen, malgré l'existence de groupements professionnels actifs. La consolidation de la base industrielle et technologique de défense européenne (BITD) est en cours et concerne en priorité les grands maîtres d'œuvre industriels et les équipementiers. Mais cette consolidation a déjà des conséquences indirectes sur le tissu de sous-traitance, que constituent majoritairement les PME de défense.

Les performances de la BITD européenne reposeront pour une part importante sur les PME qui, par leur capacité d'innovation et leur réactivité, ont un rôle primordial à jouer dans le paysage industriel européen.

Faciliter l'accès des PME françaises aux marchés européens de défense est aujourd'hui une priorité pour le maintien et le développement de compétences technologiques aux plans national et européen.

L'accès aux programmes communautaires de R&D

Pour compenser la baisse des budgets d'études amont, il convient d'encourager les PME susceptibles d'intéresser la défense à participer aux programmes de recherche-développement (R&D) de l'Union européenne. La commission prévoit en effet de

réserver aux PME 15 % du budget ⁽⁴⁾ du 6^e programme cadre de recherche et de développement (PCRD) et de lancer de nouveaux projets spécifiques : les projets de recherche collective ⁽⁵⁾.

Il apparaît en effet que les entreprises françaises souffrent d'un déficit de sensibilisation, d'information et d'assistance sur les dispositifs européens de R&D. Mais il faut également souligner que la culture de partenariat rencontre encore de fortes réticences dans les PME françaises.

Si les PME françaises représentent 10 % du nombre total des PME de l'Union européenne, 8 % seulement bénéficient de primes exploratoires et 10 % ont participé à des projets CRAFT ⁽⁶⁾. A titre de comparaison, il faut rappeler que 29 % des PME européennes impliquées dans les primes exploratoires et 23 % de celles présentes dans les projets CRAFT sélectionnés étaient sur la période 1994-1998 des PME britanniques.

Le concours de l'ANVAR ⁽⁷⁾ sera recherché pour faciliter l'accès des PME françaises aux coopérations technologiques européennes.

La recherche de partenariats européens

La recherche de partenariats passe par une meilleure connaissance des politiques publiques menées par nos partenaires européens et par des actions conjointes avec les groupements professionnels. Il faut en particulier souligner l'effort entrepris par le comité Richelieu, avec la création en novembre 1998 de la Fédération européenne des PME de haute technologie, et son implication dans l'organisation de réunions bilatérales dont l'objectif est de mettre en contact des PME européennes travaillant dans des domaines technologiques voisins ou complémentaires. La DGA soutient financièrement le comité Richelieu pour la recherche de partenariats européens.

⁽⁴⁾ Le budget du 6^e PCRD devrait s'élever à 17,5 milliards d'euros sur quatre ans (période 2002-2005). 650 millions d'euros par an devraient en principe revenir aux PME européennes.

⁽⁵⁾ Les projets de recherche collective doivent permettre aux PME de bénéficier collectivement de recherches entreprises pour leur compte par un ou plusieurs instituts. Un groupe composé de quelque 20 à 50 PME sera impliqué dans le pilotage et l'évaluation des projets.

⁽⁶⁾ Volet innovation du 5^e PCRD (Source : Commission européenne pour la période avril 1999-avril 2000).

⁽⁷⁾ L'ANVAR, Agence nationale de valorisation pour la recherche, est le point de contact national du programme "PME et innovation" du 5^e PCRD.

La politique menée en faveur des PME par nos principaux partenaires étrangers

Les Etats-Unis

Contrairement aux idées reçues, les Etats-Unis⁽⁸⁾ ont une politique publique de soutien aux PME fondée sur une coopération entre le secteur public et privé, notamment dans le cadre du programme de capital-risque de la *Small Business Administration* (SBA).

Créée en 1953 par la loi PL 85-536, et encore appelée loi des PME, la SBA est une agence ayant pour seul objectif de servir les intérêts des PME. Parmi les programmes de la SBA, on peut citer le programme "Plaidoyer" (porteparole des PME) et le programme de capital-risque (3 100 investissements en fonds propres réalisés en 1999 pour une valeur totale de 4,2 milliards de dollars). Cependant, la SBA doit faire preuve d'une grande transparence vis-à-vis du Congrès sur les moyens utilisés et les résultats obtenus.

Il faut souligner que 53 % des salariés du secteur privé sont employés dans des PME, que 51 % de la production du secteur privé proviennent de ces mêmes entreprises et que 55 % des innovations proviennent des PME, deux fois plus par employé que dans les grandes entreprises.

La législation américaine fait obligation à l'ensemble de l'administration d'inclure des dispositions dans les procédures contractuelles favorisant l'accès des PME aux grands programmes de défense (une part des achats⁽⁹⁾ directs leur est exclusivement réservée, obligation est faite aux maîtres d'œuvre de confier une part minimale de leur sous-traitance à des PME).

Le Royaume-Uni

Le Royaume-Uni a fait évoluer ses procédures d'accompagnement des PME vers le modèle américain. Il n'existe cependant pas de mesures spécifiques en faveur des PME de défense. En outre, il faut souligner que le

développement du capital-risque est peu développé au Royaume-Uni et que les PME britanniques manquent en conséquence des assises financières nécessaires à leur développement.

Le *Department of Trade and Industry* (DTI) a créé en avril 2000 le *Small Business Service* (SBS). Le SBS est chargé de centraliser et de coordonner l'ensemble des actions et des aides gouvernementales au profit des PME, de leur apporter une aide juridique et réglementaire et de représenter leurs intérêts au sein du gouvernement. Le SBS organise, par exemple, un système de crédit d'impôts pour les PME qui investissent dans le domaine de la recherche.

Le SBS gère notamment le programme SMART qui fournit aux PME une aide au financement de projets depuis leur "étude technologique" (2 500 £) jusqu'à leur "développement" (150 000 £ ou plus).

L'Allemagne

Le tissu industriel allemand⁽¹⁰⁾ est marqué par la prédominance des entreprises de taille plutôt moyenne (supérieure à 100 personnes). Ces dernières représentent près de 42 % des emplois et le tiers du chiffre d'affaires de l'industrie manufacturière. De plus grande taille que leurs homologues françaises, les sous-traitants allemands, en général de premier rang, sont plus actifs à l'exportation.

Il n'existe pas outre-Rhin de concentration des activités de production d'armement comme en France. Leur dépendance à l'égard de la défense est en général faible (autour de 10 % de leur chiffre d'affaires). La diversification plus poussée de leurs activités, qui les met structurellement en relation avec le marché civil, leur donne une plus grande

⁽⁸⁾ Source : l'article intitulé "La politique publique d'aide aux PME au service du rêve américain", publié dans le numéro 2716 du 6 juin 2001 de *Problèmes économiques*.

⁽⁹⁾ Une loi votée par le Congrès impose aux agences et départements gouvernementaux de réserver 23 % du montant total de leurs contrats aux PME.

⁽¹⁰⁾ Source : étude réalisée par l'Observatoire économique de la défense (janvier 2001).

POLITIQUE DE SOUTIEN AUX PME CHEZ NOS PRINCIPAUX PARTENAIRES

Pays	Dispositifs généraux	Dispositifs spécifiques défense	Poids économique ⁽¹²⁾ des PME
Etats-Unis	Loi PME de 1953, créant la SBA	Loi réservant 23 % des contrats directs aux PME	53 % des emplois directs 55 % des innovations
Royaume-Uni	Création du SBS en avril 2000	Pas de dispositifs spécifiques pour les PME de défense	42 % des emplois directs (PME 20-500 personnes) Innovations réalisées dans les grands groupes
Allemagne	Gestion au niveau du gouvernement fédéral et des Länder	Pas de dispositifs spécifiques pour les PME de défense	42 % des emplois directs 15 % des innovations
France	Gestion au niveau gouvernemental (BDPME, ANVAR, DARPMI)	Mesures de soutien et d'aides de la DGA Mise en œuvre du FRED ⁽¹³⁾	52 % des emplois directs 37 % des innovations

capacité à saisir les opportunités de développement.

Les Länder détiennent des compétences propres en matière de politique industrielle et peuvent édicter des dispositions favorisant les PME dans l'attribution des marchés publics. A cet effet, ils disposent librement de deux points de TVA, consentis par l'Etat.

Le tableau 4 montre que les politiques mises en œuvre à l'égard des PME de défense sont très variables selon les Etats. Il apparaît aujourd'hui que les PME françaises sont aujourd'hui désavantagées par rapport à leurs homologues européennes et en particulier allemandes, alors qu'elles sont plus innovantes. En effet, les PME françaises sont de petite taille et insuffisamment organisées pour bien se placer sur les marchés européens. Elles sont en outre très dépendantes des marchés de défense. Il y a donc lieu d'encourager les

initiatives des groupements professionnels, qui visent à favoriser les regroupements formels ou informels des PME françaises par grands domaines d'activité pour l'exploration des marchés européens. Il faut à cette occasion saluer l'émergence des premiers regroupements ⁽¹¹⁾ de PME dans le domaine de l'aéronautique sous l'impulsion du comité aéro-PME du GIFAS.

Bilan et perspectives

L'action de la DGA durant ces dernières années a conduit à faire évoluer certains grands groupes industriels français de défense vers des sociétés transnationales européennes puissantes, capables de rivaliser avec leurs homologues américaines. Les fusions-concentrations des grands groupes industriels ne sont pas toutes terminées ou n'ont pas encore été suivies d'effet, notamment en matière d'intégration et d'externalisation. Mais cette consolidation européenne de l'industrie de défense a déjà des conséquences indirectes sur le tissu de sous-traitance. Il devient maintenant urgent de se préoccuper de ce tissu industriel, cons-

⁽¹¹⁾ Il s'agit pour l'essentiel des groupes Micro-Mécanique Pyrénéenne, Dabier Lhotellier, Fairchild Fasteners et Chelton.

⁽¹²⁾ Les chiffres concernent le secteur de l'industrie manufacturière qui représente en France 75 % du total de l'activité des PME.

⁽¹³⁾ FRED : Fonds pour les restructurations de la défense.

titué pour l'essentiel de PME de défense de haute technologie, qui devront fournir un grand effort de compétitivité pour survivre.

La mise en œuvre d'un plan d'actions permettrait à la DGA de contribuer à la consolidation du tissu des PME intéressant la défense. Ce plan pourrait comporter deux catégories d'actions : des actions à lancer en priorité au niveau national et des actions à lancer au niveau européen. Au plan national, il faudrait faire preuve d'imagination, si on souhaite qu'une partie du tissu industriel des PME de haute technologie maintienne et développe à terme des compétences dans le domaine de la défense. Pour travailler de manière plus réactive avec les PME, on proposerait d'exploiter le nouveau code des marchés publics et d'analyser les possibilités d'exclusion ouvertes par ce dernier. Le cadre contractuel correspondant donnerait lieu à une concertation avec le ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie.

Il serait également nécessaire d'évaluer les mesures de soutien et d'aide aux PME. La mise au point, en coopération avec les groupements professionnels, d'indicateurs d'évaluation de ces mesures apparaît aujourd'hui comme une étape nécessaire après quelques années de fonctionnement. Ces mesures devraient être également mieux adaptées aux attentes des PME. Le lancement d'actions sous forme d'avances remboursables finançant à hauteur de 50 % maximum les projets innovants des PME pourrait être envisagé.

Les PME européennes de défense

Au plan européen, la tâche à entreprendre est considérable, car aucune initiative concernant directement les PME de défense n'a été décidée par les Etats. Une réflexion devrait être lancée sur la place que pourraient occuper les PME susceptibles d'intéresser la défense européenne à l'horizon 2010, et quelle pourrait être leur implication dans les

programmes d'équipement d'une force européenne d'action rapide. Une première étape consisterait à proposer à nos partenaires des orientations de politique générale en concertation avec l'EDIG ⁽¹⁴⁾, comme par exemple les conditions d'accès aux programmes de l'OCCAR ⁽¹⁵⁾ ou encore l'application des modalités de l'accord LoI ⁽¹⁶⁾ aux PME.

La mise en réseau des PME intéressant la défense rendrait possible une meilleure position sur les marchés européens, et dans de meilleures conditions de réactivité. Le lancement d'un portail européen, à partir du forum européen mis en place par le comité Richelieu, permettrait ainsi de disposer d'une vitrine technologique des compétences européennes dans le domaine de la haute technologie, et aiderait nos PME à se faire connaître de leurs homologues européennes, et faciliterait donc les regroupements ou les associations ponctuelles.

Enfin, il faudrait également faciliter l'accès des PME innovantes aux programmes de recherche de l'Union européenne dans le cadre d'une action interministérielle concertée, en s'inspirant notamment de l'organisation SBS mise en place au Royaume-Uni. Il est en effet indéniable que nos PME ont besoin d'une aide juridique et réglementaire pour se positionner efficacement dans les programmes de R&D de l'Union européenne.

I l faudra certes dépenser beaucoup d'énergie avant d'aboutir à une véritable consolidation du tissu des PME européennes de défense, mais le défi est intéressant et les enjeux vitaux pour l'avenir de l'industrie de défense européenne.

⁽¹⁴⁾ EDIG : European Defence Industry Group.

⁽¹⁵⁾ OCCAR : Organisation conjointe de coopération armement.

⁽¹⁶⁾ L'accord LoI, signé à Franborough le 27 juillet 2000, a pour objectif de consolider l'industrie européenne de défense.

La préparation du 6^e programme-cadre de recherche et développement de l'Union européenne

par Manuella LE VAILLANT, Bureau Analyse et Synthèse

Sous-direction de la coopération multilatérale - Direction de la coopération et des affaires industrielles

Support for research and technological development is, like the common agricultural policy, one of the key policies of the European Union. Its aim is to strengthen the international competitiveness of European industry in high value technology sectors, while contributing to the social and economic cohesion of the Union.

The preparation of the sixth framework programme is required to analyse the various options available to the Ministry of Defence for promoting synergy between civil and military research. The Ministry's aim is to get maximum advantage from the results of research carried out with Community financial support. As it cannot participate directly, the Ministry can only consider indirect options based on duality.

A l'instar de la politique agricole commune, le soutien à la recherche et au développement technologique est une des grandes politiques communautaires. Son objectif est de renforcer la compétitivité internationale de l'industrie européenne des secteurs à haute valeur technologique, tout en contribuant à renforcer la cohésion sociale et économique de l'Union.

La politique communautaire de recherche et développement technologique

Conformément aux termes du traité instituant la Communauté européenne (TCE) et du traité sur l'Union européenne (TUE), seule la recherche civile est envisagée. Les diverses initiatives politiques, menées à partir du milieu des années 90 (en particulier l'initiative dite "Bangemann-Cresson" en 1996), et visant notamment à la prise en compte de la recherche militaire, sont restées vaines. Ces échecs s'expliquent sans doute par l'absence de légitimité politique et juridique de la composante militaire de la recherche au sein de la Communauté européenne; celle-ci n'étant vraisemblablement envisageable dans son sens strict, c'est-à-dire hors de la dualité, que dans le cadre du deuxième pilier de l'Union consacré à la Politique européenne de sécurité et de défense commune (PESD).

L'Europe de la Défense et celle de l'Armement plus encore ⁽¹⁾ sont en pleine gestation. La

⁽¹⁾ Avec la spécificité due à l'article 296 du TCE révisé par le traité d'Amsterdam, selon lequel la politique en faveur du secteur industriel de l'Armement relève toujours des Etats membres.

première dispose maintenant d'un cadre juridique au sein du deuxième pilier ⁽²⁾ et fonctionne selon le mode de la concertation intergouvernementale ⁽³⁾. La seconde y est également mentionnée ⁽⁴⁾, mais sans aucune précision. Il s'agit alors pour les Etats de poursuivre les initiatives *ad hoc* en la matière.

La politique communautaire de recherche et développement de l'Union intéresse pourtant les ministères de la Défense des Etats membres, à l'image du Royaume-Uni qui, comme les autres pays anglo-saxons, a adopté très tôt une stratégie de décloisonnement des secteurs civils et militaires en matière de recherche. La dualité ⁽⁵⁾, dont l'évidence s'impose au fur et à mesure de l'évolution technologique, mais qui demeure sans existence officielle, est donc au centre de cet intérêt.

L'élaboration du 6^e programme-cadre doit conduire à l'analyse des différents modes d'action dont dispose le ministère de la Défense pour favoriser la synergie entre les recherches civile et militaire. L'objectif pour lui est de bénéficier au mieux des retombées des recherches effectuées avec le concours des financements communautaires. En l'absence de possibilité de participation directe, seuls sont envisageables par le ministère des modes d'action indirects basés sur la dualité.

Le programme-cadre de recherche et développement de l'Union

Le PCRD, prévu à l'article 166 et suivants du TCE, est le principal instrument de la politique communautaire de recherche ⁽⁶⁾. Il définit pour quatre ans, selon une approche descendante, les domaines technologiques stratégiques à promouvoir. La Commission européenne, usant de son pouvoir d'initiative en la matière, propose ainsi une décision adoptée ensuite par le Parlement européen et le Conseil ⁽⁷⁾, en vertu du principe de codécision (cf. article 251 du TCE).

Le 5^e programme-cadre (1998-2002) s'achève bientôt. Il fonctionne selon le principe de l'appel concurrentiel à propositions, ces dernières étant ensuite évaluées par des comités d'experts techniques indépendants. Seules des entités juridiques – personnes physiques, entreprises, laboratoires publics, etc. – distinctes situées sur le territoire d'au moins deux Etats membres ⁽⁸⁾ peuvent présenter des projets éligibles au financement communautaire. La Communauté européenne finance à hauteur de 35 à 50 % des coûts totaux éligibles des projets retenus et jusqu'à 100 % pour les actions de soutien à l'accès aux infrastructures de recherche. Il est composé de vingt-trois actions clefs réparties entre quatre programmes thématiques ⁽⁹⁾ et trois programmes horizontaux. L'intérêt principal du 5^e PCRD a été d'initier ce concept d'action clef, qui a permis une identification plus précise des domaines technologiques et donc de conduire des actions plus ciblées. A titre d'exemple, l'aéronautique a ainsi pu directement bénéficier de 700 M€uros (millions d'euros) ⁽¹⁰⁾.

A l'heure du bilan, il appert pourtant que le 5^e PCRD, comme les précédents, a échoué dans l'instauration d'une véritable coordination entre les politiques de recherche menées aux niveaux national et communautaire, le constat étant plutôt celui d'une simple juxtaposition des deux.

⁽²⁾ Titre V du TUE révisé par la traité d'Amsterdam.

⁽³⁾ En opposition au premier pilier, auquel ressortissent les politiques dites "communautaires".

⁽⁴⁾ Article 17 du TUE.

⁽⁵⁾ Dont il existe deux formes : spin-in, du civil vers le militaire et spin-off, du militaire vers le civil.

⁽⁶⁾ Parmi d'autres initiatives telles que Cost, Euréka, etc.

⁽⁷⁾ Composé des ministres européens de la Recherche.

⁽⁸⁾ Ou un Etat membre et un pays associé.

⁽⁹⁾ Consacrés à la qualité de la vie et à la gestion des ressources du vivant, à la société de l'information conviviale, à la croissance et à la compétitivité durable et à l'énergie, l'environnement et le développement durable.

⁽¹⁰⁾ Action clef "Nouvelles perspectives pour l'aéronautique".

Vers un Espace européen de la recherche

C'est de ce constat d'échec qu'est née, en janvier 2000, l'idée du commissaire Philippe Busquin d'un Espace européen de la recherche ⁽¹¹⁾ (EER), entériné par le Conseil européen ⁽¹²⁾ de Lisbonne, en mars 2001. Cette initiative, qui sert de pierre angulaire à l'élaboration du 6^e programme-cadre, est en rupture totale avec la philosophie antérieure. Elle a pour objectif l'intégration de la recherche européenne, grâce notamment à la mise en réseau des organismes de recherche, à une approche européenne en matière d'infrastructures et à la mise en œuvre davantage coordonnée des programmes de recherche nationaux et européens.

La Commission européenne a présenté, en février 2001, sa proposition de décision au Conseil et au Parlement européen concernant le 6^e PCRD ⁽¹³⁾, qui couvrira la période 2002-2006. Cette proposition est basée sur une estimation globale de 16 270 M€uros, auxquels s'ajoute le volet Euratom consacré à la recherche nucléaire d'un montant de 1 230 M€uros.

L'idée d'EER se traduit ainsi dans la structure du 6^e PCRD, qui comporte trois parties :

- intégrer la recherche,
- structurer l'Espace européen de la recherche,
- renforcer l'Espace européen de la recherche.

Trois nouveaux instruments de mise en œuvre sont proposés :

- les projets intégrés,
- les réseaux d'excellence,
- la participation de la Communauté à des programmes exécutés conjointement (cf. article 169 du TCE).

C'est dans la première partie, intitulée "intégrer la recherche" et dotée de 13 020 M€uros, que figurent les sept "domaines thématiques prioritaires de recherche" :

- la génomique et la biotechnologie pour la santé ;
- les technologies pour la société de l'information ;
- les nanotechnologies, les matériaux intelligents et les nouveaux procédés de production ;
- l'aéronautique et l'espace ;
- la sûreté alimentaire et les risques pour la santé ;
- le développement durable et le changement planétaire ;
- les citoyens et la gouvernance dans la société européenne de la connaissance.

Le calendrier devant conduire à l'adoption du 6^e programme-cadre est le suivant :

- depuis *septembre 2001* : première lecture par le Parlement européen ;
- *fin 2001* : position commune du Conseil Recherche, composé des ministres de la Recherche des Etats membres ;
- *mi-2002* : adoption finale du texte par le Conseil Recherche et le Parlement (selon le principe de la codécision), y compris le budget ;
- *fin 2002* : décision du Conseil sur les instruments spécifiques nécessaires à la mise en œuvre du programme-cadre ;
- *début 2003* : lancement des appels à proposition.

Les actions de décloisonnement entre les recherches civile et militaire

Le PCRD, en tant que politique communautaire, n'a pas aujourd'hui - et ne le peut en l'état actuel des Traités - vocation à traiter de la recherche militaire proprement dite. La dynamique Armement, en train de s'enclencher dans l'Union, ne permet pas de

⁽¹¹⁾ COM (2000) 6 du 18 janvier 2000.

⁽¹²⁾ Des chefs d'Etat et de gouvernement.

⁽¹³⁾ COM (2001) 94.

préjuger de sa place, ni de son articulation avec la recherche civile. La dualité reste donc l'unique biais pour la Défense de bénéficier des retombées des recherches effectuées avec le concours des financements communautaires susceptibles de l'intéresser.

Si elle n'est pas reconnue en tant que telle, la dualité voit son intérêt croître sans cesse. Elle existe au su et au vu de tous dans les programmes-cadres successifs de l'Union. La Commission l'a même évaluée à 25 % en moyenne dans une étude effectuée sur le 4^e PCRD en 1997. Le ministère de la Défense doit donc s'efforcer de mettre en place une véritable coordination entre les différents acteurs du PCRD, dans le but de développer une synergie plus grande entre les recherches civile et militaire.

La Délégation générale pour l'armement participe au processus d'élaboration du 6^e PCRD. La Direction de la coopération et des affaires industrielles prend part aux négociations interministérielles ⁽¹⁴⁾ des positions françaises sur le nouveau programme-cadre. Il s'agit de veiller à ce que les domaines technologiques intéressant la Défense notamment les technologies génériques, les nanotechnologies et l'aéronautique figurent au rang des priorités défendues par la France. Les arbitrages internes rendus cet été par le Cabinet du Premier ministre ont répondu à ces préoccupations.

La DGA devrait en outre profiter de la convention signée en janvier 2001 entre sa Direction des systèmes de forces et de la prospective et le ministère de la Recherche et de la Technologie pour systématiser le principe de collaboration entre les deux ministères, et favoriser ainsi le décloisonnement entre les recherches civile et militaire. Cette convention prévoit notamment un point annuel sur la politique de recherche et technologie dans son ensemble, tant celle conduite sur le plan national qu'international. Elle pose encore le principe de l'établissement d'une "liste d'experts nationaux

sensibles à la dualité, afin qu'ils puissent participer aux différents travaux menés dans le cadre du PCRD, à un niveau approprié". Ce dialogue devrait être l'occasion de définir une stratégie commune sur la dualité par l'identification de domaines technologiques prioritaires et donc de susciter des projets éligibles aux financements communautaires en cohérence avec ces orientations, sous couvert de finalité civile.

La DGA tirerait également avantage à se rapprocher de la même manière de la Direction générale de l'Industrie, des Technologies de l'Information et des Postes du ministère des Finances et de l'Industrie, qui détient certaines données concernant les contrats passés par l'industrie lors des programmes-cadres. Une plus grande visibilité sur les activités de l'industrie est la condition *sine qua non* d'une meilleure coordination et d'une plus grande efficacité.

Enfin, il conviendrait, à l'occasion du lancement du 6^e programme-cadre, de réfléchir, en concertation avec l'industrie, à la possibilité d'un "phasage" entre certains programmes de recherche civils et militaires, par le biais d'un complément de financement à destination des industriels. Il s'agirait ainsi de favoriser la prise en compte la plus précoce possible des adaptations nécessaires à la spécificité militaire des recherches élues aux financements communautaires. Ce mécanisme permettrait d'obtenir des résultats substantiels à faible coût, au regard conjugué des 16 270 M€uros proposés pour le 6^e programme-cadre et du chiffre moyen de la dualité.

Le 6^e PCRD et, à travers lui, l'utilisation optimale de la dualité, devrait être l'occasion d'un décloisonnement entre les recherches civile et militaire profitable à tous. 

⁽¹⁴⁾ Au Secrétariat général du comité interministériel pour les questions économiques européennes (SGCI).

Dualité de la recherche aéronautique : mythe ou réalité ?

par Hervé MORAILLON

Sous-directeur des programmes - Direction des programmes aéronautiques civils

Is aerospace research dual? Most of you probably would consider this question as incongruous, considering this has been obvious for tens of years. But is it still accurate? This is a question that merits to be thought over again given the industry merging and acquisitions in the perspective of the establishment of a European research area in civil aeronautics. Here is probably an opportunity for defence aerospace which could take advantage of civil aerospace initiatives and subsequently allow to reach a new well-recognised ambition for the whole aeronautical sector.

La recherche au profit de la construction aéronautique est-elle duale ? La plupart considère probablement la question comme incongrue ! Pourtant, ce qui a sans doute paru une évidence pendant des décennies est-il encore d'actualité ? La période actuelle mérite que la question soit posée à nouveau, compte tenu, d'une part, des restructurations industrielles et, d'autre part, de la véritable mise en place d'un espace européen de la recherche dans le domaine aéronautique civil. Il y a là probablement des opportunités à saisir pour l'aéronautique de défense qui pourrait bénéficier des initiatives de l'aéronautique civile et doter ainsi l'ensemble du secteur aéronautique d'une ambition renouvelée et reconnue de tous.

L'avion est par principe dual pour ses technologies de base

En remontant aux premiers temps de l'aviation, la construction aéronautique apparaît par essence duale, puisque la première application militaire de l'aviation au début du siècle précédent a consisté en missions d'observation à partir d'avions Farman ⁽¹⁾ "purement civils" puisque sans aucune spécificité militaire. A l'époque, les technologies de l'aéronautique étaient donc strictement communes quelles qu'en soient les applications.

Il est indéniable toutefois que les épisodes successifs des principaux conflits qui ont marqué le siècle précédent ont été autant de formidables accélérateurs pour la mise en œuvre des progrès technologiques de l'aéronautique, depuis les technologies de base comme l'aérodynamique, les structures et la mécanique du vol en 1914-1918 jusqu'à l'apparition des premiers systèmes embarqués en 1939-1945. La période de la guerre froide a constitué la dernière phase où les applications militaires ont apporté une véritable accélération technique à l'ensemble du secteur aéronautique.

Après chacune de ces périodes particulières de conflit, l'aéronautique civile, qui connaissait son propre rythme de développement

⁽¹⁾ Pour la petite histoire, il est d'ailleurs symbolique qu'aujourd'hui le siège de la Direction générale de l'aviation civile soit localisé Rue Farman à Paris.

du transport aérien, a bénéficié de ces accélérations, plus ou moins rapidement selon la situation économique du moment.

Les premiers temps de l'aéronautique ont donc été complètement duaux, qu'il s'agisse des technologies mises en œuvre ou des hommes qui avaient la charge de conduire ces politiques ; la meilleure preuve en est la création en 1919 de l'Office de coordination générale de l'aéronautique devenu Direction générale de l'aéronautique et des transports aériens en 1926. La création de l'ONERA en 1946 répond également à cette même vision d'un centre de recherche unique pour l'aéronautique.

En tout état de cause, aux yeux de l'homme de la rue, l'histoire de l'aéronautique française mêle indistinctement les grandes étapes de l'aéronautique civile et de l'aéronautique militaire ; côté civil, la *Caravelle*, le *Concorde*, les *Falcon*, le premier *Airbus* puis l'*Airbus A320* avec ses commandes de vol électriques sont autant d'étoiles au firmament de nos mémoires collectives. Côté militaire, s'intercalent les *Mirage III*, puis le *Mirage IV* et son vecteur nucléaire, les *Mirage 2000* et le *Rafale*.

Tous ces succès de l'aéronautique française ou européenne sont fondés sur le progrès de technologies duales développées au profit de toutes ces applications, notamment au sein de l'ONERA et des centres d'essais du ministère de la Défense. Un des meilleurs exemples en est probablement la mise au point des systèmes de commandes de vol électriques, où le militaire a tiré les enseignements du *Concorde* avant qu'*Airbus* ne bénéficie à son tour, plus ou moins directement, des acquis des avions de chasse.

L'aéronautique civile suit maintenant sa voie propre

Depuis une ou deux décennies, la situation d'équilibre technologique naturel entre les applications civiles et militaires de l'aéronautique ne s'impose plus avec la même évidence.

Avec le développement du transport aérien civil mondial, la fabrication des avions de transport commerciaux est devenue une activité caractérisée par des séries importantes. Cette évolution ne s'est faite en Europe qu'avec l'avènement des avions de la famille Airbus alors que les Etats-Unis l'avaient connue beaucoup plus tôt, avec les Lockheed, Douglas et autres Boeing. Dès lors, les fabricants européens d'avions commerciaux bénéficient d'effets de série inconnus de leurs homologues de l'aviation militaire et ont atteint une taille critique, les conduisant à se doter naturellement de bureaux d'études maîtrisant les principaux métiers et procédés d'assemblage de l'aéronautique civile. L'avionneur doit en effet mener, souvent de front, plusieurs développements d'avions et préparer en même temps les choix technologiques requis pour le prochain programme à lancer.

Une telle capacité nécessite clairement d'avoir à sa disposition un centre de compétences fiable, donc interne et suffisamment important, pour chacun des principaux métiers. Bien sûr, cela n'empêche pas de profiter au mieux des technologies disponibles sur le marché national ou européen, en particulier auprès des centres de recherche comme l'ONERA. Toutefois, lorsqu'ils sont libres de leur choix, les bureaux d'études des avionneurs civils, qui ont acquis la taille critique, n'hésitent plus à développer les technologies spécifiquement adaptées à leur besoin sur la base de solutions techniques différentes de l'aéronautique militaire, puisque les paramètres d'optimisation et les normes à respecter sont eux-mêmes différents.

Par exemple, là où le domaine civil recherche la réduction de la consommation en croisière, la fiabilité et la durée de vie adaptée à des vols répétés de longue durée, le militaire recherche plutôt la performance instantanée, la manœuvrabilité ou la discrétion en faisant appel à des architectures ou des matériaux spécifiques.

Le développement du transport aérien et la montée en puissance de l'industrie aéronau-

tique civile européenne ne sont pas pour autant les seules raisons faisant douter de la dualité entre aéronautique civile et militaire.

La dualité, c'est plus vite dit que fait !

Ce n'est que sous contraintes financières et techniques, imposées notamment par les donneurs d'ordre de la recherche, que les différents acteurs sont amenés à rechercher encore la dualité en valorisant au mieux les recherches de base menées par les centres de recherche.

Dans cet esprit a été créé en 1973 le GARTEUR (*Group for Aeronautical Research and Technology in Europe*). Ce groupe réunit, pour les principaux pays aéronautiques européens ⁽²⁾, les diverses administrations en charge de la recherche aéronautique militaire et civile ainsi que les centres de recherche aéronautique avec l'objectif d'optimiser l'efficacité de la recherche aéronautique en Europe en développant la coopération et en réduisant les duplications inutiles.

Alors que l'idée en paraît séduisante *a priori*, ce groupe fonctionne aujourd'hui plus comme un club d'échanges d'idées sur la recherche aéronautique duale qu'en véritable programme de coopérations. Les résultats de ce forum de coopération sont d'ailleurs relativement modestes en termes financiers : faut-il pour autant y voir une preuve que la dualité en aéronautique a vécu ? Cela ne semble pas être le cas, comme on le verra plus loin.

Mais revenons d'abord sur les raisons conduisant à ce que le secteur civil ne soit plus à la remorque du secteur de la défense dans le domaine de la recherche aéronautique.

Une politique d'études amont polarisée sur le spécifique

Les programmes d'études amont de la DGA se sont progressivement focalisés, à la

demande des utilisateurs, sur les spécificités technologiques les plus directement utiles aux militaires : c'est ainsi qu'ont été lancés de nombreux programmes de recherche, dont il ne s'agit évidemment pas de contester l'utilité ici, sur la furtivité, la discrétion électromagnétique et infrarouge et autres fonctions clairement sans application dans le domaine civil pur. En revanche, la procédure de sélection des programmes des études amont a fortement restreint la possibilité de lancer des programmes duaux, car des partages de financement sont alors exigés, indépendamment de la difficulté de concilier le cadre administratif des marchés publics et celui des conventions de soutien au profit de l'aéronautique civile. Il semblerait qu'à chaque fois que la défense estime que le développement des technologies dont elle pourrait avoir besoin à long terme est susceptible d'être autofinancé par les industriels ou financé par les crédits civils, elle ne saurait pas résister à la tentation de prendre ce risque. Ce raisonnement est tout à fait logique et sans risque apparent pour la défense à court terme, puisque seuls les besoins identifiés à long terme ne sont pas soutenus ou au moins différés. Ce n'est qu'après une dizaine d'années que les éventuels effets négatifs risqueraient d'apparaître pleinement et irréversiblement si un financement n'avait toujours pas été assuré.

Il en résulte un moindre soutien du "socle technologique" traditionnel aéronautique. L'effet résultant de cette politique est également la disparition des actions de démonstration technologique financées conjointement par le ministère de la Défense et le ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement en charge de la construction aéronautique, comme il en a existé précédemment. Cette politique présente au moins l'avantage d'une simplification administrative, puisque ne cohabitent plus sur un même thème précis le code des marchés publics et les conventions adaptées aux soutiens civils. Elle permet en outre une

⁽²⁾ Les pays signataires du MoU GARTEUR sont la France, l'Allemagne, le Royaume-Uni, l'Espagne, les Pays-Bas, la Suède et l'Italie.

clarification des objectifs poursuivis, les fondements des soutiens civils et militaires étant différents. Une telle approche suppose toutefois que les dotations budgétaires civiles soient suffisantes pour soutenir l'ensemble des technologies de base dans les domaines de l'aérodynamique, de la mécanique du vol, des structures, des matériaux, de la propulsion et des systèmes.

Il est à noter que cette séparation nette des actions n'empêche pas pour autant la coordination des actions de recherche. Le meilleur exemple en est donné par la coordination civilo-militaire des actions de recherche franco-allemande dans le domaine des hélicoptères. Un véritable partenariat dual, fondé sur la complémentarité des actions de recherche menées, est instauré pour la recherche dans le domaine des voilures tournantes. C'est donc bien à un niveau plus global qu'il faut examiner la dualité de la recherche au profit de la construction aéronautique.

Les évolutions de la base industrielle et technologique du secteur aéronautique

Encouragés en cela par les Etats, les principaux acteurs industriels européens de l'aéronautique et de la défense se sont restructurés en profondeur pour s'adapter à la nouvelle donne du marché mondial, caractérisé par des opérations préalables de concentrations de grande envergure aux Etats-Unis. Dès lors, les groupes industriels restructurés affirment leur présence sur un large éventail de créneaux civils et militaires et disposent dorénavant d'une capacité d'autofinancement renforcée et d'un portefeuille technologique élargi ; corrélativement, ils sont moins dépendants de chacun des donneurs d'ordre, à moins que ces derniers ne s'associent pour acquérir de nouveaux systèmes conjointement.

Simultanément, la taille de ces groupes permet la mise en place d'une véritable politique de gestion de la recherche et technologie au sein de ses diverses entités, politique sous-tendue en interne par des centres de

recherche centraux (*corporate center*) et en externe par des partenariats profonds avec les principaux organismes de recherche européens, comme l'ONERA et ses homologues ou les centres universitaires.

Pour ces différentes raisons, l'aéronautique civile ne peut assurément plus, si tant est qu'elle l'ait jamais fait, se contenter d'attendre de bénéficier des retombées technologiques des développements trop espacés menés pour la défense, tant ses besoins sont aujourd'hui criants. Les technologies nécessaires au développement d'un convertible (*tilt-rotor*) civil européen en fournissent un exemple typique : c'est aujourd'hui au travers du 5^e PCRD, sans contribution défense, que sont financées les démonstrations technologiques requises. Le maintien de la compétitivité des groupes européens, face à leurs concurrents qui reçoivent des soutiens militaires et civils pour acquérir de nouvelles technologies, leur impose en effet de participer à la course technologique.

Les technologies candidates pour relever ces défis doivent être examinées sans retard, avec des moyens appropriés. Or, elles requièrent des financements importants qui ne pourront être réunis qu'à l'échelle européenne. A titre d'exemple, divers travaux de démonstration de grande ampleur sont actuellement en cours, avec l'objectif de l'amélioration des matériaux, des structures et de leurs assemblages.

L'aéronautique civile vient de franchir une nouvelle étape d'intégration internationale

Parallèlement aux restructurations du paysage industriel européen, l'Europe dans son ensemble a maintenant pris pleinement conscience des enjeux de l'aéronautique civile insérée dans le système plus global du transport aérien et n'hésite pas à se mobiliser en sa faveur. Le secteur aéronautique civil reçoit en particulier un soutien appuyé des Etats, mais aussi de la Communauté euro-

péenne au travers des programmes cadre de recherche et développement (PCRD) européens successifs.

Au titre du 5^e PCRD, des actions essentielles de recherche et surtout de démonstrations technologiques, complémentaires des actions nationales, sont menées par l'ensemble du secteur aéronautique civil européen. Les principales opérations concernent notamment la réduction du bruit et des émissions, les structures et leur assemblage, l'avionique modulaire intégrée, l'avion plus électrique. Les Anglo-Saxons diraient que ces actions sont maintenant à rattacher au *need to have* et plus seulement au *nice to have*.

Le prochain PCRD (le 6^e) en cours de préparation confirmera, espérons-le, la priorité de l'Union européenne pour ce domaine thématique aéronautique. En tout cas, c'est dans cet esprit que le commissaire Busquin, en charge de la recherche, a réuni autour de lui un groupe de personnalités ⁽³⁾ qui a établi la vision 2020 de l'aéronautique européenne et les grands défis à surmonter.

Les défis soulevés par le transport aérien sont en effet énormes : comment renforcer encore la sécurité et la sûreté du transport aérien en croissance dans les prochaines décennies, tout en prenant en compte les légitimes aspirations du citoyen de bénéficier d'un transport aérien plus accessible (moins cher, plus confortable, plus fiable, moins dépendant de la météorologie) et simultanément respectueux de son environnement ? Les réponses à apporter à ces défis nécessitent dorénavant la mobilisation de tous les acteurs de l'aéronautique civile autour de solutions technologiques innovantes à la hauteur des réponses durables attendues.

Conformément aux recommandations de cette vision 2020, l'ensemble des acteurs de l'aéronautique civile européenne, administrations, industriels et centres de recherche, vient de franchir une nouvelle étape d'intégration internationale en mettant en place un conseil consultatif pour la recherche aéronautique en Europe : ce conseil, l'ACARE ⁽⁴⁾, est chargé d'établir consensuellement un "agenda stratégique de recherche", c'est-à-dire les actions prioritaires et les ruptures à franchir, ainsi que leur phasage, pour permettre au transport aérien de relever les défis identifiés dans cette vision commune.

Cependant, les Etats-Unis restent à la pointe de l'innovation technologique et investissent toujours plus dans le secteur aéronautique.

Si les travaux de ce conseil sont à la hauteur de l'ambition affichée, l'Europe dans son ensemble (Etats membres et Commission) mais aussi chacun des acteurs ⁽⁵⁾ en charge du financement de la recherche aéronautique civile disposeront d'un référentiel commun leur permettant d'optimiser l'efficacité de leurs propres interventions dans un cadre plus cohérent. L'union devrait alors faire la force de l'aéronautique civile européenne et lui permettre d'améliorer encore sa compétitivité sur le marché mondial. Cette démarche contribuera certainement à éclairer davantage encore, pour les décideurs comme pour le citoyen, la route à suivre et les moyens qu'il est nécessaire d'y consacrer au plan national et au plan communautaire.

En revanche, du fait de l'exclusion de la défense du premier pilier de l'Union européenne, l'aéronautique militaire est pour l'instant exclue des travaux de ce conseil.

Une opportunité à saisir pour l'aéronautique militaire ?

Aujourd'hui, l'aéronautique militaire est de manière croissante confrontée aux mêmes défis.

Le premier défi permanent qui s'impose au secteur militaire comme au secteur civil est

⁽³⁾ Les membres français de ce groupe étaient MM. Lagardère et Ranque.

⁽⁴⁾ ACARE : Advisory Council for Aeronautics Research in Europe.

⁽⁵⁾ Notamment les industriels qui autofinancent une partie des travaux.

évidemment la réduction des coûts : elle seule permettra l'équipement des forces dans un contexte budgétaire resserré, mais elle est aussi garante du maintien de la compétitivité de l'industrie européenne face à la concurrence mondiale. A titre d'exemple, les efforts civils sur les matériaux métalliques et composites et sur l'assemblage des grandes structures devraient bénéficier au secteur défense.

Un autre défi est venu s'imposer avec une vigueur qui n'avait pas été complètement anticipée. Il s'agit de la protection de l'environnement, qui devient un axe d'effort accru pour les militaires. A titre d'exemple, pour la première fois, la conception des avions de combat pourrait être amenée à prendre en compte l'impact acoustique de l'entraînement des forces sur le voisinage des bases aériennes. Même si les préoccupations sont encore loin d'atteindre les seuils qui s'imposent chaque jour davantage au transport aérien civil de passagers et de fret, les forces armées doivent à leur tour intégrer ces nouveaux besoins sociétaux. Elles pourront dès lors bénéficier des recherches menées depuis longtemps sur ces thèmes particuliers par l'aéronautique civile.

Plus généralement, le système du transport aérien dans son ensemble et les systèmes de forces aéroportés sont de plus en plus régis par les mêmes objectifs de sécurité. Ils doivent de plus en plus prendre en compte la contrainte de partage et de gestion commune d'un unique espace global, gestion souvent basée sur l'emport d'équipements interopé-

rables entre les mondes civils et militaires.

Cette liste n'est évidemment pas limitative et devrait s'allonger rapidement dans les années à venir. Pour autant, les ressources financières mises en place pour relever les défis auxquels doit faire face la construction aéronautique civile n'atteignent pas aujourd'hui un niveau suffisant pour que d'éventuelles provisions technologiques puissent être prises dans les démonstrations technologiques civiles au bénéfice des spécificités militaires.

Il appartient au secteur de la défense d'analyser quels bénéfices pourraient être retirés, aux niveaux national et européen, de la démarche menée actuellement par les acteurs de la communauté aéronautique civile européenne. Dès 2002, un premier "agenda de recherche stratégique" devrait être disponible et utilisable par l'ensemble des acteurs de l'aéronautique, notamment militaire. Espérons que cette démarche contribue de manière efficace à nous convaincre tous en France et en Europe, côté civil comme défense, qu'il est nécessaire de consentir un effort accru au profit de l'aéronautique duale pour faire face aux défis rencontrés et garantir une compétitivité toujours remise en cause par la concurrence internationale ! Les acteurs présents dans les deux domaines, notamment les industriels et les centres de recherche, devraient être les premiers à en défendre l'intérêt.



L'ONERA : un acteur et un intégrateur de la recherche duale

par André LAFON, ingénieur en chef de l'armement
Direction de la Stratégie et de l'Action commerciale / Office national d'études et de recherches aérospatiales

In its task of providing appropriate responses to both civil and military requirements, ONERA is particularly concerned to ensure that both these communities benefit from the sharing of effort and cross fertilisation that its dual function offers. The article begins with a few figures to characterise the apportionment between civil, dual and military activity, and then, using some current examples of research carried out at ONERA, illustrates the way the establishment exploits and develops the potential advantages of duality. This narrative addresses successively the two major aspects of research: the development of models, methods and calculation tools, and the study of new concepts. In conclusion, it underlines those conditions which experience suggests are a precondition for taking full advantage of what duality has to offer.

Dans sa capacité à apporter les meilleures réponses aux besoins civils comme militaires, l'ONERA est particulièrement soucieux de faire bénéficier ces deux communautés des possibilités de mutualisation des efforts, mais aussi de fertilisation croisée que lui autorise son double champ d'intervention.

Après avoir situé en quelques chiffres la répartition de l'activité entre civil, dual et militaire, l'article visera à illustrer, à partir de quelques exemples actuels de recherches conduites à l'ONERA, la manière dont y sont exploités et mis en valeur les potentiels de dualité. Cet éclairage abordera successivement les deux grands volets de l'activité de recherche : le développement de modèles, méthodes et outils de calcul ; l'étude de nouveaux concepts. En conclusion seront soulignées les conditions qui, fruit de l'expérience acquise, nous apparaissent devoir être réunies pour valoriser au mieux les gisements de dualité.

La dualité en quelques chiffres

Premier acteur public national de la recherche aéronautique et spatiale, le parcours de l'ONERA, aux côtés des industriels qu'il accompagne depuis plus de cinquante ans dans les grands programmes (*Mirage 2000*, *Rafale*, *Concorde*, famille *Airbus*, hélicoptères *Tigre* et *NH 90*, missiles *ASMP* et *Apache*, lanceurs *Ariane*, satellites *Spot* et *Hélios*...) témoigne du rôle joué au bénéfice des applications tant militaires que civiles.

Le budget annuel de l'ONERA, de l'ordre de 180 millions d'euros, est constitué pour environ 40 % d'une subvention versée par le ministère de la Défense et pour environ 60 % de contrats provenant de clients institutionnels (services étatiques, agences) ou industriels. En pratique, un peu plus de 60 % du budget de l'ONERA provient du ministère de la Défense. En réalité, une analyse plus fine de l'activité de l'ONERA montre que celle-ci se décompose globalement en trois parts sensiblement équivalentes entre activités militaires, civiles et duales. Cette analyse révèle également que la proportion d'activité duale financée à travers les contrats est significativement plus faible que celle menée sur subvention (cf. tableau). La subvention, destinée avant tout à la préparation du futur, correspond en

effet aux travaux de recherche les plus amont, par nature moins marqués par les spécificités d'application civile ou militaire alors que les contrats sont liés le plus souvent à des travaux orientés par un besoin court ou moyen terme, en relation avec une perspective ciblée d'application civile ou militaire.

**Répartition de l'activité de l'ONERA
(prévisions d'activité 2001)**

	Militaire	Civil	Dual
Subvention	20 %	27 %	53 %
Contrats	42 %	42 %	16 %
Total	33 %	36 %	31 %

La dualité au niveau des modèles, méthodes et outils de calcul

Le domaine de la modélisation des phénomènes physiques, de l'élaboration de métho-

des et outils de calcul constitue un champ privilégié pour la dualité : les équations de la mécanique des fluides, de l'électromagnétisme, de la dynamique des structures, etc., ignorent le caractère civil ou militaire du contexte où elles sont utilisées. Si des spécificités demeurent au niveau du domaine d'utilisation (plage de nombre de Mach, gamme de fréquences, etc.), elles contribuent essentiellement à enrichir un corpus commun au service d'un éventail d'applications civiles ou militaires. Cet effet d'enrichissement est particulièrement apparent quand on examine les grands logiciels de simulation développés par l'ONERA.

Le logiciel *elsA* (ensemble logiciel pour la simulation en aérodynamique) capitalise ainsi l'ensemble des développements menés au sein de l'ONERA et en relation avec de nombreux partenaires industriels ou du milieu académique dans le domaine de l'aérodynamique. Ce logiciel a été développé selon une

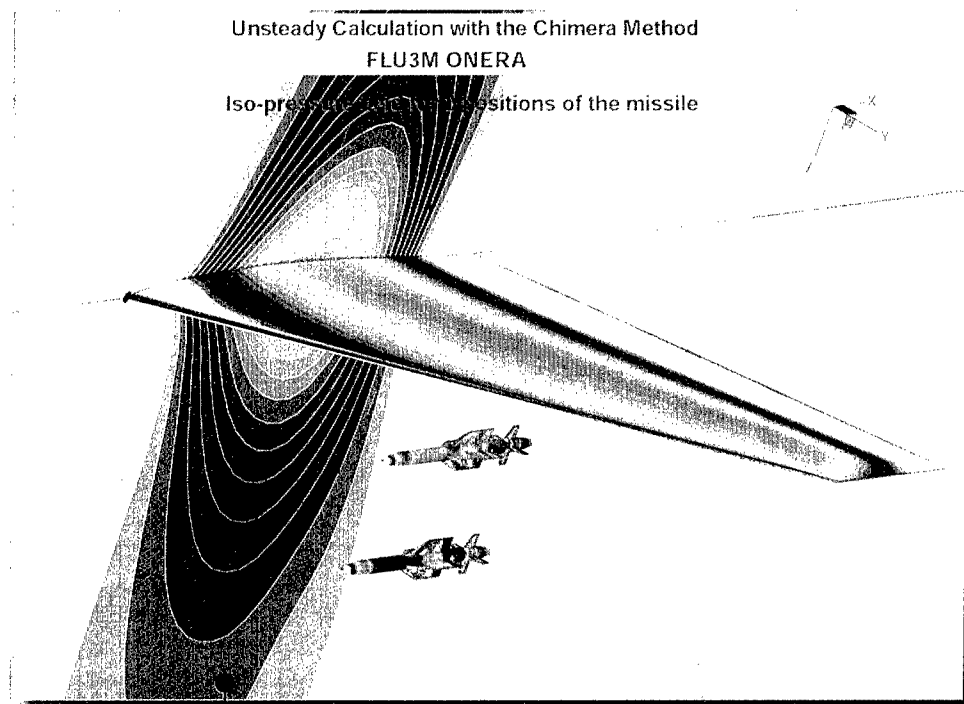


Figure 1 : Simulation aérodynamique de largage de missile par la méthode Chimère.

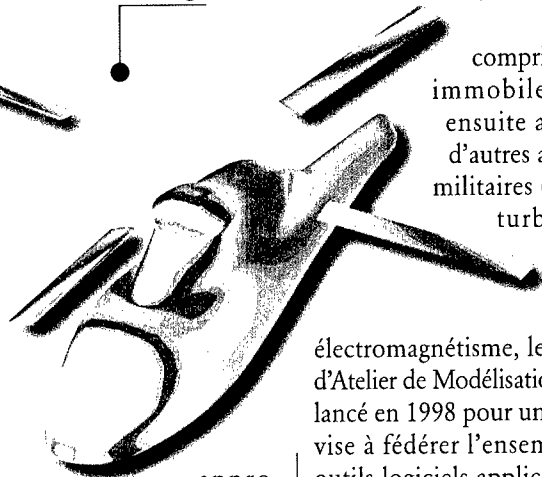
Rotor

Mrel
1.07179
1.01538
0.958974
0.902564
0.846154
0.789744
0.733333
0.676923
0.620513
0.564103
0.507692
0.451282
0.394672
0.338462
0.282051
0.225641
0.169231
0.112821
0.0564103
0

Fuselage

M
0.263401
0.242329
0.221257
0.200185
0.179112
0.15804
0.136968
0.115896
0.0948243
0.0737523
0.0526803
0.0316082
0.0105362

Figure ② : Calcul de l'interaction rotor - fuselage par la méthode Chimère.



compris dans le cas de corps immobiles), se sont révélées ensuite adaptées pour traiter d'autres applications civiles ou militaires (avions, hélicoptères, turbomachines...) (cf. figure ②).

Dans le domaine de la modélisation en

électromagnétisme, le projet PAME (Projet d'Atelier de Modélisation Electromagnétique), lancé en 1998 pour une durée de quatre ans, vise à fédérer l'ensemble des méthodes et outils logiciels applicables aux trois grands domaines "métier" : furtivité, compatibilité électromagnétique, antennes. Du point de vue de la modélisation et de la simulation, les problématiques de ces trois domaines sont en effet très voisines : maîtriser les interactions électromagnétiques sur des géométries et des matériaux complexes, augmenter les fréquences d'analyses et réduire les coûts informatiques induits par l'énorme augmentation du nombre d'inconnues à manipuler, visualiser et post-traiter d'importants flux de données, enfermer les modèles (et outils) dans des boîtes noires afin de revitaliser l'analyse physique des problèmes. La fédération des recherches et travaux logiciels associés a pour conséquence de faire bénéficier tous les utilisateurs de l'Atelier des meilleures potentialités des techniques de résolution des équations de Maxwell (solutions fréquentielles ou temporelles, linéiques pour les câbles, surfaciques pour la peau des objets ou volumiques pour les matériaux hétérogènes). Cela est d'autant plus nécessaire que la complexité des objets étudiés (cf. figure ②) rend particulièrement pertinent le recours à une approche multiméthodes : des solutions partielles (qui peuvent d'ailleurs être calculées par différentes équipes) peuvent être assemblées pour prévoir les réponses électromagnétiques d'aéronefs, de lanceurs... ou d'automobiles.

appro-

che orientée objet,

afin précisément de faciliter l'intégration d'une large variété de modélisations physiques et méthodes numériques : *elsA* constitue une plate-forme de simulation multi-utilisateurs et multi-applications. Installé chez plusieurs partenaires industriels, *elsA* est aujourd'hui utilisé dans le cadre de nombreux projets civils et militaires : citons l'étude de l'intégration motrice d'avions civils, la détermination du champ aérodynamique autour d'un hélicoptère complet (fuselage + rotor), le calcul des interactions aérodynamiques avion/missile dans la phase de largage du missile.

Outre la factorisation des efforts que permet le développement d'une telle plate-forme multi-applications, cela conduit également à faire bénéficier l'ensemble des projets recourant à *elsA* des développements initialement motivés par un contexte d'application donné. Ainsi, les techniques de maillage *Chimère*, particulièrement appropriées pour traiter des configurations mettant en jeu des corps en mouvement relatif, ont été étudiées à l'ONERA à partir du début des années 1990 pour des besoins liés au largage de missiles (cf. figure ①). Ces techniques, qui permettent également de faciliter la construction de maillages autour de géométries complexes (y

Ainsi, les avancées stimulées par un domaine applicatif bénéficient *de facto* à l'ensemble des métiers.

Dans le registre de la modélisation des systèmes, des synergies importantes existent également : une caractéristique commune essentielle des systèmes aéronautiques et spatiaux est leur complexité. La maîtrise de cette complexité fait appel au même corpus de compétences ou d'approches scientifiques, même si les modélisations peuvent être spécifiques, selon les cas. A titre d'illustration, considérons ainsi le domaine de l'avionique, qui représente un constituant majeur des aéronefs modernes (de l'ordre de 40 % du coût d'un aéronef). La modélisation des systèmes avioniques a fait l'objet d'un effort important de recherche amont mené à l'ONERA de 1997 à 2000 qui s'est attaché à formaliser les architectures avioniques civiles et à réaliser un atelier logiciel pour la spécification, la conception et l'analyse de ces architectures.

Une démarche similaire va s'engager à partir de 2002 pour le domaine de l'avionique militaire. Des différences importantes existent entre avioniques civile et militaire : l'avionique militaire intègre des fonctions "intelligentes" et réactives comme la planification de mission, nécessite des capacités de reconfiguration dynamique selon les phases de mission et est soumise à un environnement hautement évolutif et fortement contraint par le temps. Néanmoins, la problématique scientifique de la modélisation multi-niveaux (le recours à différents niveaux d'abstraction s'avérant nécessaire pour "casser" la complexité du système) et multi-points de vue (aspects fonctionnels, temps réel, sûreté de fonctionnement, sécurité, etc.) est commune aux deux domaines : les acquis obtenus à partir des études d'avionique civile constituent ainsi un point de départ particulièrement favorable pour aborder le contexte de l'avionique militaire.

La dualité au niveau des concepts

Un axe majeur de progrès pour les systèmes aérospatiaux réside dans la capacité à proposer des concepts innovants. Il importe de remarquer que ces progrès passent certes par de nouvelles architectures de systèmes (lesquelles sont le plus souvent fortement spécifiques de l'application considérée), mais aussi par des innovations (voire des ruptures) technologiques affectant un des constituants clés du système. Bien que très souvent générées par un besoin lié à une application déterminée (civile ou militaire), ces innovations technologiques peuvent souvent bénéficier à d'autres applications, moyennant les adaptations nécessaires, et sous réserve de satisfaire aux critères de performances et de coûts propres à l'application considérée. Il est d'autant plus important de prendre conscience et de tirer profit de ces potentialités qu'elles peuvent parfois concerner des secteurs industriels tout à fait différents du secteur d'intérêt initial. Nous prendrons ici encore, à titre d'illustration, trois exemples de recherches en cours à l'ONERA dans des domaines très différents.

Considérons tout d'abord le cas des recherches menées dans le domaine des matériaux haute température pour turbomachines. L'amélioration de la poussée des turboréacteurs requiert une augmentation de la température des gaz de combustion à l'entrée de la turbine. De tels résultats ont pu être obtenus grâce à

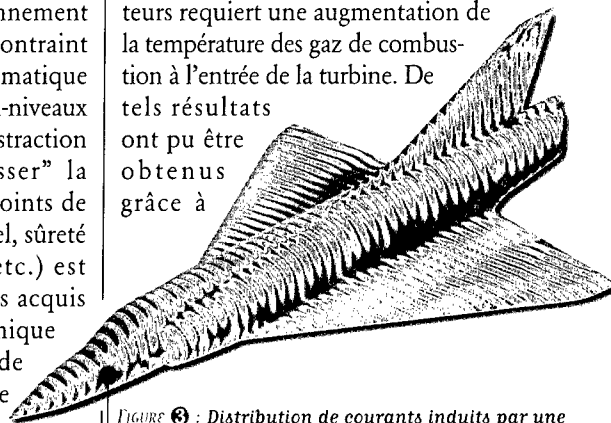


FIGURE 8 : Distribution de courants induits par une onde électromagnétique sur une maquette générique.

l'introduction d'aubes monocristallines en superalliages dans les parties les plus chaudes des turbines. Des superalliages monocristallins à base de nickel ont ainsi été développés par l'ONERA dans les années 80 pour répondre à des besoins d'origine militaire et sont aujourd'hui utilisés dans le moteur *M88* du *Rafale* (alliage AM1). Durant cette période, une nuance (alliage AM3 de densité plus faible) a été également développée par l'ONERA ; elle est utilisée aujourd'hui dans les moteurs *Arriel 2* et *Arrius 2* de Turbomeca qui équipent des hélicoptères civils et militaires. Les recherches ont abouti par la suite au superalliage MC-NG, actuellement en cours d'évaluation chez SNECMA et Turbomeca.

Parallèlement à ces recherches qui se poursuivent sur des matériaux haute température (avec notamment l'exploration en cours du concept de barrières thermiques), un besoin nouveau s'est manifesté plus récemment, pour répondre à des préoccupations d'origine civile de réduction du bruit des moteurs. Des recherches viennent ainsi d'être initiées pour mettre au point des mousses métalliques conservant de bonnes propriétés thermiques mais permettant d'absorber les ondes acoustiques. Il ne fait pas de doute que lorsque des préoccupations de furtivité acoustique se manifesteront, le secteur militaire bénéficiera des développements qui auront été effectués sur cette classe de matériaux.

Deuxième exemple, celui des oscillateurs paramétriques optiques (OPO). Il s'agit de cavités optiques contenant un matériau non linéaire pompé par laser et permettant de générer des faisceaux couvrant une large bande de fréquence. Les études menées à l'ONERA sur ce concept, dont l'origine remonte aux années 1960, visaient initialement à développer des sources laser pour réaliser des diagnostics optiques dans les turbomachines, besoin foncièrement dual. Or, les progrès réalisés, notamment sur des matériaux non linéaires spécifiques, condui-

sent aujourd'hui à une véritable rupture technologique conférant à ce concept une maturité et une compacité lui ouvrant de nombreuses voies d'application.

L'ONERA a ainsi réalisé cette année, en première mondiale, un OPO à très grande pureté spectrale (permettant de sélectionner la fréquence désirée avec beaucoup de précision) et tenant dans une boîte à chaussures (soit un gain de compacité d'un facteur supérieur à 100 en trois ans). Les applications visées sont multiples : citons tout particulièrement la détection de polluants (pour mesurer l'impact du trafic aérien au niveau des zones aéroportuaires ou à haute altitude, mais aussi pour la mesure des émissions de polluants dans les réseaux urbains), le leurrage des autodirecteurs infrarouge de missiles (les OPO permettent de générer des sources de rayonnement infrarouge très puissantes aptes à saturer ces autodirecteurs, après avoir identifié grâce à leur grande agilité en fréquence leur longueur d'onde de fonctionnement).

Autre illustration de la dualité en matière d'études de concepts : le radar SAR (*Synthetic Aperture Radar*). Par la capacité qu'il offre d'observer des scènes depuis un capteur aéroporté ou spatial en s'affranchissant des conditions météorologiques, le radar SAR intéresse autant le renseignement militaire que des thématiques civiles qui imposent des observations régulières ou fréquentes (suivi des cultures, des forêts, des océans) ou une forte réactivité (suivi d'inondations, problèmes humanitaires...). Des nuances importantes existent certes en termes de besoin : d'une façon générale, l'accent sera mis sur la richesse et la qualité radiométrique pour les images à finalité civile (d'où l'utilisation de plusieurs fréquences ou polarisations) et sur la résolution et la précision de localisation pour les images à finalité militaire.

Il n'en reste pas moins que, dans une large mesure, les efforts de recherche à mener pour aboutir à des systèmes opérationnels sont



FIGURE 4 : Image SAR multipolarisation obtenue par le radar RAMSES.

similaires : technologie radar, en particulier antennes et émetteurs, techniques de traitement du signal et de traitement d'image, pour parvenir à former les images SAR et les exploiter. L'émergence des techniques 3D par interférométrie SAR qui permettent une restitution fine du relief intéresse à nouveau les communautés militaires (systèmes de préparation de mission) et civiles (urbanisme, implantation de réseaux de téléphonie...). Cette approche duale se retrouve dans la démarche poursuivie à l'ONERA dans ce domaine : en tant que moyen expérimental de référence, la station aéroportée RAMSES (cf. figure 4) possède ainsi des capacités élevées tant sur le plan du choix de la fréquence et de la polarisation qu'en matière de résolution et d'interférométrie.

Des conditions à réunir pour valoriser les potentiels de dualité

Il nous semble capital de réunir deux facteurs, afin de tirer le meilleur parti de la dualité dans la recherche aéronautique et spatiale. Il est tout d'abord impératif de veiller à entretenir, à travers un soutien financier suffisant, les activités de recherche les plus amont, qui sont par nature les plus duales : les innovations (et peut-être encore davantage les ruptures) technologiques de demain

se préparent largement grâce à ces recherches amont conduites aujourd'hui.

En second lieu, la complexité des systèmes aéronautiques et spatiaux, la multiplicité des acteurs et des compétences mobilisables en matière de recherche intéressant le secteur aérospatial, la constante de temps de maturation des technologies dans ce secteur rendent nécessaire de disposer d'un lieu d'intégration, d'agrégation, de capitalisation de tous les produits de la recherche intéressant l'aéronautique et l'espace.

Par sa compétence pluridisciplinaire couvrant l'ensemble des problèmes du domaine aérospatial, par son positionnement à cheval entre le monde de la recherche et le monde industriel, l'ONERA a vocation à jouer pleinement ce rôle d'intégrateur de recherches. Apportant une vision système au monde de la recherche, il est ainsi en mesure de valoriser efficacement la recherche à caractère essentiellement dual conduite dans le monde de la recherche académique, au profit de l'ensemble du secteur industriel (civil et militaire) aérospatial.

L'auteur remercie ses collègues J.M. Boutry, L. Cambier, J. Foisseau, V. Gobin, S. Naka, E. Rosencher, pour leur précieuse contribution dans la préparation de cet article.

PMI de haute technologie, un débat prématurément clos

par François CANTEGREIL
Président de la Commission aéronautique et défense - Comité Richelieu

High technology SMEs are currently in a paradoxical situation. All political manifestos claim that on-going, even-handed and stable support for SMEs/SMLs is their aim. In the real world, French SMEs are subject to all the pressures linked to globalisation and their position is deteriorating. The implementation of a genuine and resolute policy for their support is far from being achieved today.

Une étude réalisée par le Comité Richelieu auprès de ses adhérents fait apparaître que les PMI interrogées financent à plus de la moitié (56 %) leur budget de Recherche & Développement. C'est un coût élevé qui montre l'effort qu'elles consacrent à la R&D. Toutefois, le poids important de cet effort d'autofinancement freine ces programmes de recherche et naturellement le développement de ces entreprises. C'est d'ailleurs une des constatations de l'étude : le poids de la R&D est en décroissance par rapport à ce qui était attendu puisqu'il est évalué à 10 % du chiffre d'affaires, alors qu'une étude comparable, menée il y a cinq ans faisait apparaître un poids nettement supérieur, 15 % du CA.

La situation actuelle des PMI de haute technologie est paradoxale. Au niveau des intentions, le soutien aux PME-PMI est revendiqué dans tous les programmes politiques d'une façon continue, égale

et permanente. Dans les faits, les PMI françaises sont livrées aux rapports de force engendrés par la mondialisation, et leur position va en s'affaiblissant. La mise en œuvre d'une politique réelle et déterminée en leur faveur est, c'est un euphémisme de le dire, loin d'être engagée à ce jour.

Il nous semble que la situation actuelle est caractérisée par un retrait des pouvoirs publics. Ce retrait revient à affaiblir le tissu industriel français. C'est plus qu'un abandon de souveraineté ; c'est pour le pays, se priver d'une richesse économique à terme.

Un retrait des pouvoirs publics

L'étude dont il vient d'être question met en évidence que près d'une PMI sur deux (44 %) réalise de la R&D à un stade pré-compétitif, c'est-à-dire à un stade où le retour sur investissement ne peut être envisagé dans un avenir proche. Il s'agit pour l'entreprise d'un investissement immatériel dont la rentabilité ne pourra être envisagée que sur le long terme et avec un grand risque. Ce type d'investissement est difficile à financer car il cumule les difficultés : c'est un investissement immatériel qui fait peur aux banques. Le bilan des PMI de haute technologie qui l'engagent est le plus souvent très fragile, et fait lui aussi fuir les banques.

Ce risque ne peut être pris qu'avec le soutien de l'Etat. Or, celui-ci se désengage. Deux exemples différents peuvent être pris. La privatisation de France Telecom a eu un effet direct sur les actions de soutien aux PMI de haute technologie. Le retrait du CNET s'est traduit par l'abandon d'une politique de soutien aux PMI. La mise en place du RNRT n'a pas compensé, loin s'en faut, l'aide financière qui était dispensée aux entreprises de taille petite ou moyenne. Celles-ci, privées d'une source de financement de leurs programmes de R&D, s'en trouvent affaiblies. Pour l'instant en tout cas, une source de financement de haute technologie semble s'être en partie tarie pour les PMI.

Un autre exemple peut être trouvé dans la politique de la Délégation générale de l'armement. Au cours des dernières années, elle a réduit considérablement le nombre de ses fournisseurs et a délégué à de grands donneurs d'ordres le choix des technologies et des entreprises qui pourraient participer au développement de nouveaux systèmes d'armes.

Cette évolution reconnue, et même revendiquée, a eu des conséquences positives sur le coût d'achat et de maintenance des équipements concernés. Mais cette politique a aussi des conséquences directes et déterminantes sur les PMI innovantes du secteur de la Défense. En effet, celles-ci ont l'avantage d'offrir une alternative technologique à l'offre des grands groupes. En déléguant aux grands donneurs d'ordre le choix des technologies et des entreprises en charge de les mettre en œuvre, on peut se demander si l'on n'a pas pris le risque de voir ces derniers étouffer la concurrence, lorsqu'ils avaient à choisir entre une technologie déjà développée par eux et une solution alternative développée par une PMI. Comment leur reprocher qu'entre les solutions de leurs propres bureaux d'études, qu'ils peuvent reprendre sans effort et à faible coût pour eux, et celles d'entreprises extérieures, ils choisissent la solution la plus économique pour eux, même si ces

solutions sont en retard techniquement ou plus coûteuses pour leur client, les forces armées françaises ?

Il nous semble que cette politique industrielle, même si elle présente quelques avantages par ailleurs, se traduit par une prime à l'immobilisme technologique. Il ne faut pas en être surpris : ce n'est pas le rôle de ces grands groupes multinationaux que de mettre en œuvre une politique de soutien au tissu industriel français.

Leur préoccupation est de survivre et de se développer. On ne les critique pas en rappelant que ni l'intérêt personnel de leurs dirigeants ni celui de leurs actionnaires ne peut prendre en compte un tel objectif. Ce n'est pas dans la nature des choses que de leur demander de sacrifier leur intérêt propre au profit de celui d'autres entreprises, souvent plus réactives et dynamiques, qui pourront un jour devenir leurs concurrents. Cette politique qui a marqué de façon profonde les cinq dernières années ne joue pas en faveur de l'innovation de rupture propre aux PMI, mais en faveur de l'innovation de continuité qui convient mieux aux grands groupes.

Vers un affaiblissement du tissu industriel français

Le changement de politique industrielle de la Délégation générale de l'armement a profondément changé la donne dans le domaine de la haute technologie. On peut faire deux constatations. Tout d'abord, en quelques années, le rapport de force a changé : il n'est plus en faveur de l'acheteur et cette situation devrait s'accroître dans le temps.

En effet, la DGA se trouve aujourd'hui confrontée à un petit nombre de partenaires industriels et ne s'adresse plus qu'occasionnellement aux entreprises petites ou moyennes. On pourrait croire qu'il s'agit d'un monopole confronté à un oligopole, mais la situation est en fait plus délicate. Au niveau européen, on constate que pour plusieurs

grands secteurs industriels, un seul groupe peut être confronté à un petit nombre d'acheteurs, à savoir les forces armées des différents pays. C'est en fait un monopole confronté à un oligopsonne. Ce n'est pas une situation idéale pour le progrès technologique ni pour l'abaissement des coûts sur la longue période.

La seconde constatation est que le rôle d'architecte industriel qui était joué par la DGA n'est plus rempli aujourd'hui. La situation s'est donc totalement inversée en peu de temps. Auparavant, les PMI s'adressaient à la DGA pour proposer des solutions innovantes qui venaient en opposition – ou en rupture – avec les solutions proposées par les grands donneurs d'ordre. Aujourd'hui, ces derniers sont à la fois juges et parties prenantes. Les PMI étaient en concurrence avec ces donneurs d'ordres devant un arbitre indépendant et soucieux de l'intérêt national. Aujourd'hui, elles sont en concurrence soit avec leur client, soit avec des sociétés étrangères en étant arbitrées par leur client.

Dans ces conditions, il est difficile pour les PMI de trouver une oreille favorable chez des interlocuteurs qui n'ont aucun intérêt objectif à aider la mise à jour de solutions alternatives à leurs propres solutions et qui se trouvent être parfois même leurs concurrents dans leur propre domaine. Cette situation est vécue de façon pénible par les PMI. Elle l'est encore plus lorsqu'il s'agit en outre d'examiner le problème conflictuel de la propriété industrielle : dans le cas où le financement de l'étude serait trouvé, qui en restera propriétaire pour les développements ultérieurs ?

Les conséquences de cette seconde constatation se sont fait sentir de façon immédiate sur les budgets de R&D. N'ayant plus une oreille attentive à leur projet, et constatant de surcroît que certains de leurs interlocuteurs n'avaient pas en fait un intérêt évident à ce que leur solution voie le jour, force était à ces PMI de haute technologie de retarder ou d'abandonner leurs projets. Elles

se sont alors tourné *de facto* vers d'autres horizons commerciaux et techniques en n'allant pas au bout de leurs ambitions puisqu'elles n'en avaient ni le financement ni les débouchés. Cela peut expliquer les résultats de l'étude qui était mentionnée ci-dessus et qui met en évidence un affaiblissement du tissu industriel.

Le soutien aux PMI de haute technologie est une opération rentable

On peut se demander pourquoi il y a eu autant de plans de soutien en faveur des PME-PMI au cours des quinze ou vingt dernières années, chaque gouvernement proposant le sien ? On peut se demander pourquoi, à l'étranger, la même démarche a été engagée dans les grands pays industriels. Pourquoi les Etats-Unis, le Japon, le Canada et Israël ont-ils mis en place très tôt une politique forte en faveur des PME et l'ont maintenue sur la longue période ? Pourquoi la Grande-Bretagne, l'Allemagne et même l'Union européenne, de façon affichée et réglementée, mettent en œuvre une politique active en faveur des PME ?

Trois séries d'explications peuvent être données. Tout d'abord, les PMI représentant plus d'un emploi industriel sur deux (entre 55 et 60 %, cf. SESSI, secrétariat d'Etat à l'Industrie), il faut soutenir ces entreprises car elles représentent une force économique grande et un poids politique important. De même, il s'agit d'un laboratoire social intéressant où, en particulier dans le domaine de la haute technologie, les rapports sociaux à l'intérieur de l'entreprise ne sont pas systématiquement conflictuels mais préfigurent ce qu'ils seront ou pourraient être dans le futur. Enfin, les PME-PMI faisant preuve de souplesse et de réactivité qui aident à sortir plus vite d'une crise économique ou permettent de tirer profit plus rapidement d'une évolution technologique brutale.

Une deuxième série d'explications peut être prise en compte. Les PMI contribuent à l'indépendance nationale. La nature de leur actionnariat (contrôle par une personne physique) et celle de leur encadrement (de même nationalité que l'actionnaire) fait que l'on peut donner une identité nationale ou même régionale à une PMI. L'avancée technologique dont elle fait preuve devient alors celle de la région ou du pays. Les PMI contribuent à l'identité économique nationale alors que ce n'est plus, ou de moins en moins, le cas des grands donneurs d'ordre.

On constate également, dans le même esprit, que le soutien aux PMI est un des derniers moyens pour un pays européen de soutenir son industrie régionale ou nationale (cette réalité pousse également les *Länder* allemands à soutenir leurs entreprises). Cette dernière explication justifie encore plus une politique de soutien aux PMI dans le secteur de l'armement : le retour pourra être bien identifié et éventuellement contrôlé.

Une troisième série d'explications est fondée sur un examen économique très simple : soutenir les PMI est un investissement rentable. L'effort financier consacré aux PME-PMI est loin d'être une dépense destinée uniquement à calmer le jeu politique et à atténuer les conséquences morales et politiques de la mondialisation et du libéralisme. C'est un intérêt bien compris qui pousse les Etats à promouvoir une politique en faveur des entreprises industrielles de taille petite ou moyenne. Plusieurs arguments ou exemples peuvent ainsi être mis en avant.

Etre de taille petite ou moyenne est un passage obligé pour devenir grand. Ce truisme est illustré par la plupart des grands groupes industriels d'origine française d'aujourd'hui qui ont tiré profit, il y a quarante ans, de la volonté de l'Etat français de se doter d'une industrie aéronautique et d'armement forte. L'investissement du pays a été rapidement amorti et s'est révélé d'une rentabilité remarquable à de nombreux points de vue, notamment financier.

Le cas d'une entreprise du Comité Richelieu mérite d'être analysé et pris comme exemple. Son créateur avait été à la peine depuis l'origine de la société. Il l'avait portée à bout de bras pendant plus de vingt ans et avait dû faire face à six reprises à une situation caractérisée de dépôt de bilan. Il avait fait appel plusieurs fois, en fait chaque fois que c'était possible, à des procédures d'aide ou d'avance remboursable pour des montants qui, dans leur totalité, apparaissent aujourd'hui somme toute limités de quelques millions d'euros. L'entreprise avait survécu et prospéré, mais chaque fois dans les conditions auxquelles sont habituées les entreprises de haute technologie, c'est-à-dire avec des difficultés financières. En particulier, les sociétés de capital risque qui étaient entrées au capital s'étaient éclipsées dès qu'elles l'avaient pu.

S'étant engouffré dans le secteur des fibres optiques, le créateur avait rapidement tiré profit de l'explosion de ce secteur pour développer une activité de diversification. Celle-ci avait pris une ampleur bien supérieure à celle de l'activité principale. A la suite d'une analyse stratégique fine et détaillée qu'il avait menée avec son équipe dirigeante, il était arrivé à la conclusion que l'entreprise ne pourrait rester isolée, sauf à prendre des risques très importants sur son avenir et sur les emplois concernés nouvellement créés (un demi-millier de personnes). La conjoncture était bonne, mais elle pouvait se retourner. Le financement des produits à développer pourrait alors ne pas être trouvé. Un contact fut pris avec tous les partenaires industriels pouvant consolider la stratégie industrielle de cette société en excluant les solutions financières. Parmi les 12 partenaires identifiés et éventuellement candidats à la reprise, le dirigeant choisit finalement le seul groupe industriel européen. L'activité fut donc cédée à ce groupe à la satisfaction de tout le personnel. Le regroupement effectué, il est possible aujourd'hui de faire le bilan de l'opération. Celui-ci est éloquent et instructif.

- L'opération ayant été effectuée à un moment où le climat financier pour les entreprises de haute technologie était particulièrement favorable, la cession a entraîné le paiement au Trésor public d'un impôt sur les plus-values très largement supérieur à la dotation budgétaire annuelle de l'ANVAR.
- Les collègues du chef d'entreprise découvrirent qu'il avait cédé ou donné plus de 20 % du capital de la société au personnel de l'entreprise (chaque salarié devenait actionnaire après un mois de présence).
- La cession terminée, le chef d'entreprise reprenait le travail pour développer l'activité principale en constatant qu'il avait maintenant les moyens financiers de son ambition industrielle.
- L'entrepreneur continuait à se rendre disponible pour ses anciens collègues comme il le faisait auparavant.
- Enfin, *last but not least*, il refusait de déménager vers un paradis fiscal : il était français et souhaitait le rester jusqu'au bout ! (Seule ombre au tableau, il souhaite rester discret).

Dans cette histoire que l'on peut qualifier de *success story*, tout le monde a été gagnant. Le gain très important pour le Trésor public compense, alors qu'il s'agit d'une seule entreprise, l'aide financière consacrée aux PMI pour plus d'une année. Il montre que le soutien aux PMI de haute technologie est très gagnant pour le pays. Il est également instruc-

tif sur le comportement de beaucoup de créateurs d'entreprises, ce cas n'étant pas isolé.

La nouvelle donne économique engendrée par la mondialisation, les effets secondaires du désengagement de l'Etat rendent nécessaire un renforcement de la politique de soutien aux PMI françaises de haute technologie qui ont subi de plein fouet le contrecoup de ces changements profonds. Les moyens d'action de la DGA peuvent être utilisés avec efficacité dans cette perspective.

De plus, les règles communautaires réduisent le champ d'action d'un Etat membre pour aider un secteur de son industrie ou même l'industrie nationale dans son ensemble. Il y a fort à parier que les Etats utiliseront toute la latitude qui leur sera laissée pour aider ces entreprises. Comme les PMI innovantes constituent un moyen efficace de dynamiser un tissu industriel, il faudra veiller à ce que notre pays ne prenne pas de retard dans ce domaine.

Le besoin d'identification régionale ou nationale ne peut qu'être renforcé par les derniers événements politiques. Ils apportent aujourd'hui une raison supplémentaire de soutenir tant régionalement que nationalement les PMI innovantes. En d'autres termes, on peut penser que l'on n'a pas fini de parler de plan de soutien aux PMI innovantes.





Managing synergy between civil and defence research in the United Kingdom

by David Roberts, Secretary of the Anglo-French Defence Research Group
International Research Co-operation - Ministry of Defence
© British Crown Copyright 2001/MOD.

As R&D investment by companies continues to rise (a phenomenon noticeable even during the current downturn), excellence and innovative research in a number of technologies of defence interest will increasingly be the property of the civil sector. The planning of defence research needs to be undertaken accordingly and the purpose of this article is to examine the links between civil and defence research in the United Kingdom. We begin by describing the UK MOD's strategy for technology which addresses the connection between technology and defence capability. The extent to which we can exploit the civil sector will clearly have a bearing on defence capability, and it is through its influence on the strategy where we would expect what is happening

in the civil sector to make its presence most felt. We then define the three ways in which civil sector research is viewed in the UK (largely the definitions relate to the closeness with which observation is undertaken), then in relation to these we present an account of current UK practice. The potential significance of the civil sector has been realised within the UK defence scientific community for some time and over the last year or so has received particular attention. Specifically an *MOD Strategy for keeping track of world-wide Civil Sector R&T* was formulated last year. It will be discussed below and we shall conclude where we began with the technology strategy, for it is here that synergy between defence and civil research will be managed in future.

The UK Ministry of Defence and its strategy for technology

The purpose of the UK MOD and its Armed Forces⁽¹⁾ is "to defend the United Kingdom and Dependent Territories, its people and interests and to act as a force for good by strengthening international peace and security." MOD achieves this

in part by "directing the and providing a defence effort that meets the needs of the present, prepares for the future and insures against the unpredictable and generating modern battle winning forces and

⁽¹⁾ *Defence Mission Statement - Secretary of State for Defence's response to a Parliamentary Question, Hansard, 24 March 1999, cols 310 to 311.*



La gestion de la synergie entre recherche civile et de défense au Royaume-Uni

Alors que l'investissement de R&D des sociétés continue à croître (phénomène qui demeure perceptible dans la période de récession actuelle), l'excellence et l'innovation reposeront de plus en plus, pour un certain nombre de technologies intéressant la défense, sur le secteur civil. La préparation de la recherche de défense doit en tenir compte, et l'objet du présent article est d'examiner les liens entre recherche de défense et recherche civile au Royaume-Uni.

Nous commencerons par décrire la stratégie du ministère de la défense britannique en matière de lien entre technologie et capacité de défense. L'étendue du recours au secteur civil aura naturellement un effet sur la capacité de défense, et c'est à travers cette influence

sur la stratégie que les changements intervenant dans le secteur civil se feront le plus sentir. Nous examinerons ensuite les trois manières selon lesquelles la recherche dans le secteur civil est envisagée au Royaume-Uni (ces définitions sont essentiellement liées à la proximité de l'observation) avant de présenter la pratique britannique actuellement en vigueur.

La communauté scientifique de défense britannique a pris conscience depuis quelque temps déjà de l'importance potentielle du secteur civil et lui porte, depuis un peu plus d'un an, une attention toute particulière. En particulier, une *Stratégie du MOD visant à assurer le suivi de la R&T du secteur civil au niveau mondial* a été formulée l'an dernier.

Le ministère britannique de la défense et sa stratégie en matière de technologie

La fonction du ministère de la Défense et de ses forces armées ⁽¹⁾ est "de défendre le

Royaume-Uni et les territoires placés sous son autorité, sa population et ses intérêts et de constituer une force agissant pour le bien en renforçant la paix et la sécurité internationales". Le MOD y parvient notamment en "dirigeant et fournissant l'effort de défense répondant aux besoins actuels, en préparant l'avenir, en se prémunissant contre l'imprévisible et en générant les forces capables de

⁽¹⁾ Defence Mission Statement – réponse du secrétaire d'Etat à la Défense à une question parlementaire, Hansard, 24 March 1999, cols 310 to 311.



other defence capabilities." In all of this MOD must make every pound count for defence to "ensure that the budget is used to best effect, encourage British defence technology, science and Industry and help to protect the natural environment." The technology strategy aims to sustain and enhance defence and industrial capability through the cost-effective exploitation of advanced technology.

The primary objective of the strategy is to maximise MOD's access to the available world-wide science and technology base and to develop, through MOD funding, the MOD technology base in those areas most likely to enhance defence capability. The technology base to which the MOD needs access is potentially as wide and as deep as technology itself. In former times when technological advance was driven by military need and the cold war was at its height, the UK's defence technology base resided mainly in its research establishments. Today however in many areas of technology the civil sector provides the lead so in some sense "determines" a part of the technology base. The effect is likely to grow more pronounced with time: the R&D spend for the UK's top 300 companies in 2000 increased by 14% over the previous year's (and 42% over 1997's)⁽²⁾, and although many companies' efforts will not involve defence technologies, there can be little doubt that those elements of the base where the civil sector is active in research – a situation which we must accommodate – are increasing in relative terms. Equally some technologies are led from other countries, not necessarily allies, another factor breaking down the "coherence" of MOD's technology base now compared with twenty years ago.

Having identified the importance of civil R&T⁽³⁾ to the defence technology base the requirement immediately follows of ensu-

ring appropriate access to civil-based technologies.

The Requirement

In the United Kingdom, the scrutiny to which civil R&T can be subjected can take three forms (in increasing depth of analysis) - technology watching, technology tracking and technology forecasting. Technology watching is defined as a relatively small-scale passive activity to maintain awareness of significant changes in science and technology or of work in a specific area. Technology tracking is a deeper engagement where data is gathered to assess trends with the added value of internal expert knowledge to predict the impact of current and emerging technologies in applications. Technology forecasting is looking for longer-term trends by some formal means. The UK MOD's current requirement lies principally in technology watching although to be useful to MOD the watching must be supplemented by some additional activity to assess relevance. Specifically it may lead to further work in a sub-set of the areas to undertake technology tracking or to assess potential military impact.

The MOD requirement can be regarded as twofold, although there is a close relationship between the two. In the first instance the need is for broadly based, but high level, understanding to permit a technology oriented investment strategy to be put in place. Ideally, broad awareness across

⁽²⁾ *The Financial Times*, 27 Sep 2001.

⁽³⁾ *In the UK MOD, Research and Technology (R&T) is considered – and funded – separately from development, and MOD's strategy for technology and its technology base are seen in R&T terms. In contrast when UK industry refers to research it is usually bracketed with development; for example in company accounts. The so-called R&D Scoreboard for UK companies, prepared by the Department of Trade and Industry (DTI) is based on spending on R&D, as is the Innovation Scoreboard (comparable to DTI's R&D Scoreboard), published by Cordis, the R&D and Innovation service of the European Commission.*



remporter les combats modernes et autres capacités de défense". Dans toutes ces fonctions, le MOD doit tirer le meilleur parti de chaque livre sterling afin "d'assurer que le budget est utilisé le plus efficacement possible, d'encourager la technologie, la science et l'industrie de défense britannique et d'aider à protéger l'environnement naturel". La stratégie technologique vise à soutenir et améliorer les capacités industrielles et de défense par l'exploitation de la technologie avancée selon le meilleur rapport coût-efficacité.

L'objectif principal de cette stratégie consiste à maximiser l'accès du ministère de la Défense au tissu scientifique et technologique disponible à l'échelle mondiale et à développer, grâce à des financements du ministère de la Défense, la base technologique du ministère dans les domaines les plus susceptibles d'améliorer la capacité de défense. La base technologique à laquelle doit accéder le ministère est potentiellement aussi large et profonde que les technologies elles-mêmes. Autrefois, lorsque la guerre froide était à son apogée et que les progrès technologiques étaient tirés par les besoins militaires, la base technologique de défense britannique résidait essentiellement dans ses propres établissements de recherche. Aujourd'hui, en revanche, le secteur civil prime dans de nombreux secteurs technologiques et, d'une certaine manière, "détermine" une part de la base technologique. Cet effet ira probablement croissant : la R&D effectuée par les 300 premières sociétés britan-

niques a augmenté en 2000 de 14 % par rapport à l'année précédente (et de 42 % par rapport à 1997) ⁽²⁾, et si les efforts de nombreuses sociétés ne portent pas sur des technologies de défense, il est plus que probable que les éléments de la base où le secteur civil se montre très actif – une situation dont il va falloir s'accommoder – augmentent en termes relatifs. Par ailleurs, certaines technologies ont pour *leader* des sociétés d'autres pays, pas nécessairement alliés, ce qui constitue un facteur supplémentaire de fracture de la "cohérence" de la base technologique du ministère de la Défense par rapport à la situation en vigueur il y a une vingtaine d'années.

Une fois l'importance de la R&T ⁽³⁾ civile vis-à-vis de la base technologique de défense identifiée apparaît immédiatement le besoin d'assurer l'accès approprié aux technologies d'origine civile.

Le besoin

Au Royaume-Uni, l'examen auquel peut être soumise la R&T civile peut revêtir trois formes par ordre de profondeur d'analyse croissant : l'*observation technologique*, le *suivi technologique* et la *prospective technologique*.

- L'*observation technologique* peut se définir comme une activité passive d'envergure relativement réduite visant à maintenir le degré de connaissance des changements scientifiques ou technologiques ou des activités dans un domaine précis.

- Le *suivi technologique* est un engagement plus profond dans le cadre duquel des données sont recueillies afin d'évaluer les tendances et incorporant le savoir des experts internes en vue de prédire l'impact de la mise en œuvre des technologies actuelles et émergentes.

- La *prospective technologique* vise à identifier les tendances à long terme par des moyens formels. Le besoin actuel du ministère de la défense britannique se situe essentiellement

⁽²⁾ The Financial Times, 27 Sep 2001.

⁽³⁾ Au sein du ministère de la défense britannique, la recherche et technologie (R&T) est considérée – et financée – séparément du développement, et la stratégie du ministère en matière de technologie et sa base technologique sont considérées en termes de R&T. En revanche, lorsque l'industrie britannique parle de technologie, celle-ci est généralement couplée au développement, par exemple dans la comptabilité des sociétés. Le score-board de R&D des sociétés britanniques préparé par le Department of Trade and Industry (DTI) est fondé sur les dépenses de R&D, tout comme l'Innovation Scoreboard (comparable au R&D Scoreboard du DTI) publié par Cordis, le service de R&D et d'innovation de la Commission européenne.



the whole field of defence relevant technologies is desirable but most important is to have warning of any significant movement in civil world science and technology of potential defence interest. This action is the lesser element of the work although requiring a degree of investment not yet in place.

The second requirement is for a more in-depth appreciation of what the civil world is doing in certain areas of technology. Such may be required by a research team that needs to remain sufficiently at the forefront in order to be able to offer advice on new threats or opportunities, while avoiding duplication of work that may be available elsewhere. This *technology watch* activity needs to determine precisely what is happening in some depth and is the major element of the MOD's undertaking. Perhaps the most obvious example is information technology; one cannot simply bolt an advanced C2 system together using commercial off-the-shelf (COTS) components without a fairly thorough knowledge of the working of each. Ideally, MOD would wish to pursue this comprehensively across the whole range of technologies of interest but to be of value it must be undertaken by experts who understand the issues and can differentiate claims from truth. In many instances this may require the experts to conduct some research of their own in a limited aspect of the field to remain credibly current.

Present practice

As indicated above, MOD's concern is with civil technologies that are relevant to defence wherever and whenever they occur in the world, and to make a judgement of their relevance. A number of mechanisms are routinely in use within MOD and the Defence Science and Technology Laboratory that aim to keep abreast of developments in these technologies. Not surprisingly the

emphasis in many of them is upon those civil technologies which are very clearly defence-related, and within this limited set of technologies, the tendency is to be further confined, to what is happening in the UK. But there are exceptions. For example the National Defence Industry Technology Strategy (NDITS), which appeared early last year, draws attention to the opportunity to "pull civil technology into defence applications"⁽⁴⁾ even though the strategy's fundamental aim was concerned with "the importance of defence technology"⁽⁵⁾. Another example is the Higher Education Institutions Database, wherein various UK government funded research councils give details of their programme plans, including via the Internet. This activity is of particular interest because it offers a window on advances in the underpinning civil science base, right across the board, and although national, the trend in technology development world-wide may be expected to be reflected in such programmes.

The Internet provides a considerable amount of material of potential relevance across a broad swath of technological development. In particular, activities in the US Defence research programme can be monitored and in fact an analysis of the major thrusts has already been undertaken as an input to the current technology strategy. Quality is clearly dependent upon what is

⁽⁴⁾ And in doing so, identified some strong technologies in this regard – computing technologies, human sciences, RF and microwave communications, database design and speech processing.

⁽⁵⁾ Just as some technologies are strong in the civil sector, a fact of which MOD needs to take note, NDITS observes that the converse also applies. Specifically, there are a number of technologies which, though traditionally driven to an appreciable extent by defence needs, are highly relevant to the civil field. Examples given in the NDITS report include structural materials, electronic materials and devices, computing technologies, design aspects, integrated systems technology, manufacturing processes, task analysis modelling, gas turbines and microwave communications technology. It is interesting to observe that NDITS uses the same technology taxonomy which is currently in use in the UK MOD.



au niveau de l'*observation technologique*, même si, pour présenter un intérêt aux yeux du ministère, cette observation doit être complétée par quelques travaux d'évaluation de la pertinence. Spécifiquement, elle peut donner lieu, dans un sous-ensemble de domaines, à des travaux supplémentaires relevant du *suivi technologique* ou de l'évaluation de l'impact militaire potentiel.

Le besoin du ministère de la Défense peut être considéré comme double, même s'il existe un lien étroit entre les deux. Dans le premier cas, le besoin porte sur *une compréhension large, mais de niveau élevé, en vue de permettre la mise en place d'une stratégie d'investissement orientée vers la technologie*. Dans l'idéal, une connaissance des grandes lignes des technologies intéressant l'ensemble du domaine de la défense est souhaitable, mais le plus important est ici d'être averti de tout mouvement significatif d'ordre scientifique ou technologique intervenant dans le monde civil et susceptible d'intéresser la défense. Cette action constitue l'élément le moins évolué de la tâche, même s'il exige un niveau d'investissement qui n'est pas encore en place.

La seconde partie du besoin porte sur *une appréciation plus approfondie des activités du secteur civil dans certains domaines technologiques*. Elle peut provenir d'une équipe de recherche devant rester suffisamment en pointe pour fournir un avis sur les nouvelles menaces ou

opportunités tout en évitant la duplication de travaux susceptibles d'être disponibles ailleurs. Cette activité d'*observation technologique* nécessite de déterminer avec précision les événements avec une certaine profondeur et constitue l'élément majeur de la tâche menée par le ministère de la Défense. En la matière, l'exemple le plus évident est probablement celui des technologies de l'information : il est en effet impossible de constituer un système de commandement et conduite avancé à l'aide de composants civils sur étagère sans connaître avec précision le fonctionnement de chacun d'eux. Dans l'idéal, le ministère devrait mener cette activité de manière globale, sur l'ensemble des technologies présentant un intérêt ; cependant, pour qu'elle présente un intérêt, elle doit être effectuée par des experts connaissant les questions et capables de faire la distinction entre arguments de vente et performances réelles. Dans de nombreux cas, cela exigera des experts qu'ils mènent de leur côté quelques recherches afin de conserver leur crédibilité.

Pratique actuelle

La préoccupation du ministère de la défense britannique porte, on l'a vu, sur les technologies civiles intéressant le domaine de la défense quel que soit leur lieu ou leur moment d'apparition dans le monde ainsi que sur l'appréciation de leur pertinence. Le ministère et le *Defence Science and Technology Laboratory* mettent en œuvre, de manière systématique, un certain nombre de mécanismes afin de demeurer au fait des développements de ces technologies. Fort logiquement, l'accent porte, la plupart du temps, sur les technologies civiles les plus clairement liées au domaine de la défense et, au sein de cet ensemble de technologies restreint, on tend à resserrer encore le champ d'investigation à ce qui se passe au Royaume-Uni. Mais il existe des exceptions. Ainsi, la

(⁴) Ce faisant ont été identifiées plusieurs technologies majeures : technologies informatiques, sciences humaines, communications par RF et micro-ondes, conception de bases de données et traitement de la parole.

(⁵) Si certaines technologies sont très puissantes dans le secteur civil, ce dont le ministère doit tenir compte, le NDITS observe que la situation inverse est également vraie. Certaines technologies, traditionnellement "tirées" par les besoins de la défense, revêtent aussi une importance majeure pour le secteur civil. Le rapport du NDITS cite ainsi les matériaux structuraux, les matériaux et matériels électroniques, les aspects de conception, les technologies de systèmes intégrés, les procédés de fabrication, la modélisation des tâches, les turbines à gaz et les technologies de communications par micro-ondes. Il est intéressant de noter que le NDITS emploie la même taxinomie des technologies que le ministère de la défense britannique.



put on to the net and the efficiency of the search engines.

As regards individual technologies, it is the scientist or the scientific team in Dstl who has to be relied upon to be aware of what obtains in the civil sector. There are several possibilities. First the literature search which usually accompanies the early stages of a project. Second journals and conferences whereby scientists and engineers endeavour to remain in touch with the developments in their areas; making use of them is simply a part of good scientific process, and one wherein the Internet can be expected to play an increasingly important role. Third collaboration, both national and international, provides a wider awareness of the activities being undertaken by the collaborative partner as well as a gearing advantage in a technology area. While there are limitations to this, particularly with regard to the extent of world-wide civil contacts, it should again be regarded as sound practice formally to record these activities.

A strategy for the future

There are two elements. The first concerns how technology watch is to be first initiated and then carried out, with uniformity and coverage in mind. The second follows directly: how should we react to what has been observed, specifically in which domains should we probe further to clarify our observations (to technology tracking or even technology forecasting); and how should civil and defence research be linked, that is to say, how can we manage the latter to take account of what is happening within the former?

If MOD is to be alerted to newly emerging civil R&T as well as to significant changes in existing fields, some oversight of what is happening in the totality of science and technology is necessary. This might be attempted in the first instance by biblio-

metric analysis of citations in the literature with the aim of identifying changes and newly important areas. Such analyses cannot be undertaken without a fair degree of skill and need to be carefully managed. In addition, advances are being made in techniques that statistically analyse the whole of a document rather than the titles and key words traditionally presented in databases. Moreover there is a growing awareness of the need for such activity in the civil world where this type of work is described as a technical intelligence function, a trend which can be expected to benefit MOD in due course.

At this level therefore MOD has put in place a pilot activity to examine the utility of developing bibliometric techniques to the identification of new advances. This analysis can be expected to be used in a number of ways. One example would be to encourage dialogue between MOD's Science and Technology Director and the UK government's research councils (who sponsor significant amounts of civil research) to form a view on emerging science. In parallel research is being undertaken into some of the more intensive statistical techniques being developed, particularly by the US Department of Defense, and some US commercial companies, to determine their utility for further enhancement.

The UK MOD will, in the short term, look principally to the Dstl to achieve the watching task in extant technologies but with the onset of competition will need to task alternative suppliers. Given the scale of the task and the constrained resources that can be applied to it, the emphasis will be upon making civil technology watch as much a routine part of the day-to-day work of researchers as is possible. In particular, strategic guidance and procedures will be formulated to ensure that the Dstl and other research suppliers are mindful of the need for routine literature search and technology watch as a



National Defence Industry Technology Strategy (NDITS), apparue au début de l'an dernier, s'intéresse aux possibilités de "drainer les technologies civiles vers les applications de défense" (4) même si l'objectif fondamental de cette stratégie portait sur "l'importance des technologies de défense" (5). Un autre exemple est constitué par la *Higher Education Institutions Database* dans le cadre de laquelle plusieurs comités de recherche financés par le gouvernement britannique fournissent des détails de leurs plans de programmes, y compris via Internet. Cette activité est particulièrement intéressante dans la mesure où elle représente une fenêtre sur le socle scientifique civil, à tous les niveaux et, même si elle se limite au cadre national, on est en droit de penser que ces programmes reflètent les tendances en matière de développement technologique au niveau mondial.

Internet procure un volume considérable de documents potentiellement intéressants sur un large éventail de développements technologiques. Il permet en particulier de suivre les activités du programme de recherche de défense américain et, en pratique, une analyse de ses éléments majeurs a déjà été effectuée afin de nourrir la stratégie technologique actuelle. La qualité d'une telle démarche dépend clairement de ce qui est injecté sur Internet et de l'efficacité des moteurs de recherche.

En ce qui concerne les différentes technologies proprement dites, la connaissance des résultats enregistrés par le secteur civil repose sur le scientifique ou sur l'équipe en charge de la question au *Defence Science and Technology Laboratory*. Plusieurs possibilités coexistent. On trouve tout d'abord la recherche dans la littérature, qui accompagne généralement les premiers stades d'un projet. Viennent ensuite les périodiques et conférences grâce auxquels les scientifiques et ingénieurs tâchent de rester au fait des développements intervenant dans leur domaine ; leur exploitation ne représente

qu'une part d'un processus scientifique de qualité, et l'on peut s'attendre à ce qu'Internet y joue un rôle croissant. Enfin, la coopération, tant au plan national qu'international, apporte une meilleure connaissance des activités menées par le partenaire ainsi qu'un net avantage dans un domaine technologique. S'il existe des limites, notamment en matière d'étendue des contacts civils dans le monde entier, ceci constitue une pratique raisonnable et fondée en matière de recueil d'information sur ces activités.

Une stratégie pour l'avenir

Elle se compose de deux volets. Le premier concerne le mode de mise en place et d'exécution de l'observation technologique en ayant à l'esprit l'uniformité et l'étendue de la couverture. Le second suit en ligne directe : de quelle manière faut-il réagir aux observations et, en particulier, dans quels domaines faut-il approfondir les investigations (jusqu'à passer au stade du suivi technologique ou de la prospective technologique) afin de clarifier les observations ; par ailleurs, comment faut-il relier les recherches civiles et de défense ou, en d'autres termes, comment gérer les recherches de défense afin de prendre en considération ce qui se passe dans le cadre des recherches civiles ?

Mise en place et exécution de l'observation technologique

Si le ministère de la Défense entend être averti de la R&T civile émergente ainsi que des changements significatifs intervenant dans les domaines existants, il doit suivre ce qui se passe dans l'ensemble des sciences et technologies. Ceci suppose, dans un premier temps, l'analyse bibliométrique des citations dans la littérature afin d'identifier les changements et les domaines importants d'apparition récente. Une telle analyse ne peut avoir lieu sans un degré certain de connaissances et doit être soigneusement gérée. En outre,



normal part of the scientific process. The requirement for such activity is specifically identified in the documentation for research competition: MOD will expect suppliers to organise these watching activities within the context of their technical area strategy to ensure coverage of the area is distributed and harmonised among and within research teams as appropriate. Given the trend for increased competition, we may expect the scrutiny of the civil sector to increase accordingly.

In a very few specifically identified areas it may be appropriate to undertake a distinct, formal, civil technology watch activity. Since this would be in addition to the existing obligation to maintain a sound knowledge of world-wide developments, such activity could only be funded on an exceptional basis. It is not clear what the best approach for this type of activity might be and thus a pilot exercise is being carried out to examine a number of options and determine best practice.

It is essential for information gained through technology watch to be available to those who need it. This will require a clear view on the form that the outputs of technology watch should take. In a number of instances it may well be sufficient for the expert team itself to be appraised in order to provide comprehensive advice when consulted. However a wider dissemination across research teams, among research programme managers, MOD customers and scientific advisors and Defence Procurement Agency staffs will also be essential. Thus, a specific element of the strategy is to ensure that all collated information from technology watch is made readily available to all who need it within MOD, the Dstl and elsewhere.

We began this article with a description of the UK MOD's strategy for technology, and it is by returning to this concept that we shall be able to address the second element

of a future strategy – reacting to what has been observed, in specifically to the results of the various implementations of technology watch which we have described. The current technology strategy was formulated in March of last year. Its successor currently being assembled will feature a new and distinct element, a science and technology review. Although full details are still to be worked out, the present intention is that the review should address the output from the following activities:

- technology watch over the civil sector as well as over research being undertaken in the UK defence industries;
- International Research Co-operation (IRC);
- scientific and technical intelligence gathering;
- research currently being tasked by the UK MOD in the domain itself;
- an assessment of strengths and weaknesses in the Towers of Excellence and Knowledge Foundation which supports them;
- a review of the trends in technology domains of defence interest.

Thus we have the potential to close the loop, to ensure that the UK's strategy is fully informed by research in the civil sector and can thus accommodate itself to it, thereby reaping the benefits of synergy.

The next technology strategy will differ from its predecessor in another respect as well. The National Defence Industry Technology Strategy to which we have already alluded also dates from last year, but slightly later. It was the first such strategy, which means that future versions of MOD's own strategy will be able to take account of industry's views – on the importance of defence technology, future investment and priorities in seeking a competitive level of technology – in its drafting.



on assiste à des progrès dans les techniques chargées de l'analyse statistique de documents complets, et plus seulement des titres et mots-clés traditionnellement présentés dans les bases de données. Par ailleurs, le secteur civil est de plus en plus conscient de la nécessité d'une telle activité, qu'il qualifie de fonction de renseignement technique, et l'on peut penser que le ministère de la Défense bénéficiera, en aval, de cette tendance.

Sur ce plan, le ministère a par conséquent mis en place une activité visant à examiner l'utilité du développement des techniques bibliométriques dans l'identification des nouveaux progrès. Cette analyse devrait porter ses fruits dans plusieurs domaines. L'un des exemples serait d'encourager le dialogue entre le directeur de la science et de la technologie du ministère de la Défense et les comités de recherche étatiques britanniques (qui financent une part importante de la recherche civile), afin d'établir une vision des domaines scientifiques émergents. En parallèle, des recherches sont menées sur le développement de certaines des techniques statistiques les plus intensives, en particulier par le département américain de la Défense et certaines sociétés privées américaines, afin de déterminer leur utilité dans le cadre des améliorations à venir.

Le ministère de la défense britannique se tournera, à court terme, essentiellement vers le *Defence Science and Technology Laboratory* pour mener sa tâche relative aux technologies existantes mais, avec l'instauration de la concurrence, devra également s'orienter vers d'autres fournisseurs. Compte tenu de l'ampleur de la tâche et des moyens réduits qui pourront y être affectés, l'observation des technologies civiles devra, dans toute la mesure du possible, s'intégrer au travail quotidien des chercheurs. En particulier, des directives et procédures stratégiques seront établies, afin d'assurer que le *Defence Science and Technology Laboratory* et les autres fournisseurs de recherches soient conscients du fait que

l'observation technologique et l'examen systématique de la littérature représentent une part normale du processus scientifique. Le besoin relatif à une telle activité est expressément mentionné dans la documentation traitant de la concurrence en matière de recherche : le ministère de la Défense attendra de ses fournisseurs qu'ils organisent ces activités d'observation, dans le cadre de leur stratégie de domaine technique, afin d'assurer la couverture du domaine en répartissant et harmonisant de manière appropriée parmi et au sein des équipes de recherche.

Dans un petit nombre de domaines spécifiquement identifiés, il pourra se révéler pertinent de mener une activité d'observations des technologies civiles formellement distincte. Dans la mesure où elle viendrait s'ajouter à l'obligation existante de maintenir une connaissance solide des développements au plan mondial, cette activité ne pourrait être financée qu'à titre exceptionnel. La meilleure approche de ce type d'activité n'est pas encore clairement identifiée, et c'est la raison pour laquelle un exercice pilote est en cours afin d'examiner plusieurs possibilités et d'en dégager la plus adaptée.

Il est essentiel que les informations acquises dans le cadre de l'observation technologique soient accessibles par ceux qui en ont besoin. Ceci exigera une vision claire de la forme que devront adopter les résultats de l'observation technologique. Dans un certain nombre de cas, il suffira que ces résultats aient pu être évalués par le groupe d'experts afin que ce dernier puisse fournir un avis renseigné lorsqu'il sera consulté. Néanmoins, une diffusion plus large auprès des équipes de recherche, des responsables des programmes de recherche, des clients et conseillers scientifiques du ministère de la Défense et des personnels de la *Defence Procurement Agency* sera également essentielle. Ainsi, un élément spécifique de la stratégie vise à assurer que l'ensemble des informations colligées à partir de l'observation technologique sera aisément



Conclusions.

Battle winning weapon systems rely on the incorporation of world class technology. There was a period – quite a long period of some three or four decades following the Second World War - when one could assume that government research establishments possessed adequate technological capabilities in virtually all domains relevant to the nation's defences. However the limits which have been imposed on defence research

expenditure in recent years which have coincided with a burgeoning of research in the civil sector make it imperative that we look to this sector for an increasing proportion of our technology base. The UK MOD is evolving methods to observe closely what is happening in the civil sector. Armed with this knowledge, we can formulate a strategy for technology which exploits civil sector research to the greatest extent possible; thus maximising the contribution which it makes to the role of MOD and the Armed Forces.



disponible au sein du ministère de la Défense, du *Defence Science and Technology Laboratory* et ailleurs.

La réaction aux observations

Cet article a débuté par la description de la stratégie du ministère de la défense britannique en matière de technologie, et c'est en revenant à ce concept que l'on pourra évoquer le second élément d'une stratégie future : la réaction aux observations et, précisément, aux résultats des diverses implémentations de l'observation technologique qui ont été décrites. La stratégie technologique actuelle a été formulée au mois de mars de l'an dernier. Celle qui lui succédera et est actuellement en cours de constitution présentera un nouvel élément distinct, à savoir un examen scientifique et technologique. Si les détails nécessitent encore d'être affinés, l'intention actuelle est que cet examen, cette *review*, porte sur les résultats des activités suivantes :

- observation technologique du secteur civil ainsi que des recherches menées dans les industries de défense britanniques ;
- coopération internationale dans le domaine de la recherche ;
- recueil du renseignement scientifique et technique ;
- recherches actuellement menées sur le domaine au sein du ministère de la Défense ;
- évaluation des points forts et des faiblesses des *Towers of Excellence* et de la base de connaissances (*Knowledge Foundation*) qui les soutient ;
- examen des tendances dans les domaines technologiques intéressant la défense.

Nous disposons ainsi de la possibilité de refermer la boucle afin d'assurer que la stratégie britannique est informée de l'intégralité des recherches menées dans le secteur civil et, partant, en mesure de s'y adapter et de tirer profit de la synergie existante.

Mais la prochaine stratégie technologique se distinguera également par un autre point. La *National Defence Industry Technology Strategy*, déjà évoquée, date également de l'an dernier, mais est légèrement plus récente. Elle fut la première du genre, ce qui signifie que les prochaines versions de la stratégie du ministère de la Défense seront à même de tenir compte des points de vue de l'industrie – sur l'importance des technologies de défense, les investissements futurs et les priorités en matière de recherche d'un niveau technologique concurrentiel – dans le cadre de leur rédaction.

Les systèmes d'armes capables de remporter la victoire reposent sur l'incorporation de technologies de premier ordre. Il fut un temps – les trois ou quatre décennies ayant suivi la Deuxième Guerre mondiale – où l'on pouvait considérer que les établissements de recherche étatiques disposaient des capacités technologiques appropriées dans, virtuellement, tous les domaines liés à la Défense nationale. Cependant, les contraintes imposées aux dépenses de recherche de défense au cours des dernières années, et qui ont coïncidé avec l'essor des recherches dans le secteur civil, obligent à se tourner de manière croissante vers ce secteur dans le cadre du socle technologique. Les méthodes du ministère de la défense britannique évoluent afin d'observer de près les progrès du secteur civil. Armés de cette connaissance, nous pouvons formuler une stratégie technologique exploitant dans toute la mesure du possible les recherches du secteur civil et maximisant ainsi sa contribution à la mission du ministère et des forces armées.



Technologies duales et défense, entre politique et management

par Jean-François DAGUZAN, Maître de recherche à la Fondation pour la recherche stratégique
Rédacteur en chef de la Revue Géoéconomie - Professeur associé à l'Université de Paris II Panthéon-Assas

This paper aims to analyse the true place of dual technologies as new and efficient trend to get best value for money. It tries to explain the different scale of analysis from the politico-strategic level (Dual use as a mean for influence) to a technology strategy for the State (developing a comprehensive policy with other ministries and companies) and, last but not least, proposes a virtuous framework in order to develop a progressive spill over from military to civil technology. But the main purpose at the very end is to reach the market. This step is the most difficult to attempt. On the other hand, this paper stresses on the necessity for the Ministry of Defense to enhance a strong strategy (inspired by the U.S. model) at the research level as well as the ministerial scale itself than at co-operative level. At last, the paper proposes some way for a more incentive management for dual technology push.

Les technologies duales sont apparues peu à peu dans le discours sur la défense au début des années 80. Initié par les Etats-Unis, ce débat est devenu récurrent en Europe quelques années plus tard.

La question des technologies duales traverse donc, peu ou prou, le discours des acteurs ou analystes des questions de recherche et technologies depuis une quinzaine d'années. Mais une fois énoncée cette problématique, *a priori* pertinente, à savoir qu'il existe un chevauchement d'un certain nombre de technologies, composants, sous-systèmes ou procédés qui peuvent indistinctement s'appliquer dans l'ordre civil et l'ordre militaire, peut-on aller plus loin ? ⁽¹⁾. Mise "à toutes les sauces", la notion de dualité est devenue floue ; on est même en droit de se demander si le terme *technologie* duale est, aujourd'hui, encore pertinent et s'il n'en fausse pas immédiatement le sens de toute démarche positive, tout chargé qu'il est de sous-entendus politiques ou perçus comme tels ⁽²⁾.

Technologies duales : un enjeu essentiellement politico-stratégique ?

Trois aspects peuvent être mis en évidence concernant la nature politico-stratégique de la dualité. Il s'agit du contrôle des technologies, du financement de la recherche et des normes.

De nombreux entretiens de l'auteur avec des responsables civils et militaires de l'industrie de défense renvoient souvent la question des technologies duales à une problématique non technologique. Le terme "technologie duale" est souvent connoté comme un terme politique renvoyant à des sous-entendus financiers ou tactiques de la part de celui qui l'emploie. Il est perçu également comme un vecteur, une arme stratégique dans la lutte économique que se livrent les principales nations industrialisées ⁽³⁾.

⁽¹⁾ Les éléments de cet article s'appuient sur une étude réalisée par Jean-François Daguzan, Dominique Foray et Renelle Guichard, Recherche appliquée et technologie duales : quelles stratégies pour la France ? Secrétariat d'Etat à l'Industrie (DIGITP), novembre 2000, publication prévue pour décembre 2001.

⁽²⁾ On trouvera une très intéressante analyse du flou sur la notion de dualité dans Jacques Aben, Conséquences d'un choc budgétaire sur la recherche de défense : le cas des composants électroniques, ADES, contrat DRET n° 951207 1997, pp. 21-57.

La prolifération par la dualité

La séparation civil-militaire étant de plus en plus floue, les Etats proliférants cherchent à exploiter la dualité pour développer des systèmes d'armes (ainsi l'exploitation par la Chine des composants de consoles de jeux vidéos très performants). Les Etats avancés ont senti le danger et, après l'effondrement de l'Union soviétique, ils ont organisé un système de contrôle des technologies sensibles, dit "accord de Wassenaar". Mais si ce système de contrôle assure un suivi légitime de produits technologiques duaux par les Etats dont ils ressortent, il peut aussi se révéler une arme économique quand il est manipulé par tel Etat qui souhaitera voir les technologies d'un autre non exportées sous couvert d'un risque supposé de prolifération.

Le contrôle des technologies duales est donc une arme commerciale que savent parfaitement utiliser les Etats-Unis dans la guerre économique qu'ils mènent vis-à-vis de leurs alliés/partenaires/concurrents ⁽⁴⁾.

La gestion stratégique de la dualité par les Etats-Unis

Anticipant la baisse des crédits de R&D des années 90, les analystes américains ont vu dans la dualité le moyen de faire baisser les coûts des programmes d'armement. Mais ce

fut également perçu comme un moyen légal de financer la recherche civile par les crédits de défense. En fait, les programmes nommément désignés comme relevant de la dualité sont financés par le DoD (environ un milliard de dollars/an) ⁽⁵⁾. Cette subtilité sémantique permet de contourner les règles de l'OMC.

Il convient de rappeler cependant que le programme SEMATECH fut lancé sous couvert de dualité par le DoD pour rattraper le retard américain dans le domaine des semi-conducteurs. Cet objectif fut atteint au-delà de toutes les espérances. Finalement, l'utilisation de la dualité est inscrite dans la politique générale américaine mise en place dès la fin de l'administration Bush *senior* et systématiquement appliquée pendant les deux mandats Clinton, de suprématie économique avec pour point d'orgue la création du *National Economic Council*, NEC ⁽⁶⁾.

Les normes : enjeu dual et enjeu stratégique

Pendant très longtemps, les normes et standards ont été présentés comme le frein principal à la dualité. Un très gros effort d'harmonisation a été entrepris, du côté militaire essentiellement, pour essayer de se rapprocher, chaque fois que cela était possible, des normes civiles. Il y a quelques années, les Etats-Unis, toujours en pointe, ont adopté la directive dite "Perry", du nom du sénateur qui l'a initiée, laquelle oblige le DoD à substituer à une norme militaire, une norme civile si celle-ci est équivalente et à justifier l'emploi des normes militaires résiduelles. La France, quelques années plus tard, a implicitement adopté ce schéma.

En parallèle, les normes civiles ont évolué vers plus de qualité et de sécurité. Elles peuvent parfois être aussi sévères que les normes militaires ⁽⁷⁾. D'une certaine manière, certains observateurs n'hésitent pas à dire que la norme duale, c'est la norme civile. Cependant, son utilisation systématique par les industriels (et sous la pression de l'admi-

⁽³⁾ Voir Reinhardt Rummel, *Technology trends: the security/economic challenge*, rapport pour la Commission européenne DG1 septembre 1996, 24 p.

⁽⁴⁾ Voir les études dirigées par J-F Daguzan : Les enjeux des contrôles internationaux des technologies, CREST, octobre 1997, 115 p., et Le contrôle des technologies nucléaires, FRS décembre 1999, 36 p.

⁽⁵⁾ Voir Renelle Guichard, La gestion de la dualité sous l'administration Clinton, *Working Paper IMRI - WP2000/06*, Université de Paris Dauphine, mai 2000, 41 p.

⁽⁶⁾ Voir notre article, Les Etats-Unis à la recherche de la supériorité économique, *Revue française de Géoeconomie* n° 2, été 1997, pp. 69-85.

⁽⁷⁾ Ainsi la norme automobile dite "Arizona" garantit la sécurité du moteur jusqu'à une chaleur extérieure de 105 °F (40,5 °C) à l'ombre. La norme ISO 9000 n'est donc pas la seule, les certifications spécifiques de certains secteurs industriels (automobile ou parapharmacie, par exemple) vont encore plus loin. Les normes civiles dominent également l'Electronic Business (logistique, commandes numériques, DAO, etc.).

nistration) pourrait conduire, dans une certaine mesure, à une forme de nivellement technologique. Le systémier doit donc trouver, dans la réalisation de son système d'arme, un équilibre subtil entre l'introduction de technologies civiles et le maintien de la performance. A ce stade, le dialogue avec le donneur d'ordre militaire est décisif.

Quoi qu'il en soit, l'utilisation politico-stratégique de la dualité ne veut pas dire qu'il n'existe pas de rationalité technique et industrielle de cette notion. La gestion de la dualité par l'Etat et par l'entreprise est au cœur de la compétitivité économique de demain et du maintien de la supériorité des armes françaises. La question est de savoir comment la gérer et l'optimiser.

La gestion de la dualité par l'Etat : une mission à organiser

Avec la croissance des secteurs civils de très haute technologie, le militaire spécifique joue de moins en moins et, au niveau des technologies élémentaires, seul demeure un noyau dur de technologies exclusivement militaires, mais par essence, également évolutif (détonique de haute précision, furtivité, aciers spéciaux, verres, etc.). Les vrais caractéristiques du militaire se jouent en fait dans la maîtrise des systèmes d'armes et des systèmes de systèmes. C'est dans la conception/développement des architectures complexes intégrant des champs scientifiques et technologiques multiples que s'établit, le plus souvent, la différence avec les technologies civiles. C'est dans le maintien de ces compétences que réside la clé de l'avenir.

Est-ce à dire que la Défense ne doit s'intéresser qu'à ce qui est spécifiquement militaire et affirmer que, pour le reste, on recourt à la dualité ? Cette attitude passive ne suffit pas. Le recours à la dualité pose en effet un certain nombre de problèmes aux instances en charge de la conception des armements.

La dualité a, d'abord, un coût, car elle ne s'improvise pas. L'insertion d'un certain nombre de technologies civiles dans des systèmes militaires implique parfois de les modifier ou de modifier le système lui-même pour s'y adapter. Si le concepteur est censé rentrer dans ses frais à l'issue, ce processus n'est pas gratuit.

D'autre part, se posent aussi des problèmes importants de sécurité. En effet, certains composants ou logiciels sont souvent d'origine étrangère. Il peut y avoir des risques de bogues possibles, fruit de la malveillance programmée de tel ou tel vendeur. La sécurisation de ces composants a également un prix.

Ces réserves légitimes posées, il faudrait dépasser une approche trop souvent limitée à l'achat et l'exploitation de produits ou de services civils par les militaires. Il serait nécessaire d'avoir une approche plus dynamique, en s'attachant à "gérer" la dualité et à maximiser ses effets. On peut suggérer les pistes suivantes pour la défense.

➤ L'identification en amont de l'éventuelle application militaire d'une technologie civile (ou l'inverse), et ce qui est le plus crucial – sa prise en compte au moment adéquat dans le cycle de développement de ladite technologie civile, sont des actes décisifs pour le recours efficace à la dualité ; mais ils ne vont pas de soi. Ils supposent la mise en place de mécanismes "d'intermédiation" permettant, par exemple, d'alerter les équipes de R&D civiles sur des domaines militaires porteurs (ou, au contraire, porteurs de risques éventuels, comme aujourd'hui, le risque biologique). Cet "acheteur intelligent" (le *smart buyer* des Anglo-Saxons) de l'administration doit être capable de maintenir une interface active et un dialogue avec l'industrie. Un organisme *ad hoc* associant un "comité des sages de l'industrie" pourrait jouer ce rôle qui avait longtemps présidé aux succès de la DGA par le passé.

➤ L'action sur les normes doit être poursuivie par une meilleure présence des militaires, d'une part, dans les comités de normalisation civils, d'autre part, dans les organismes adéquats de l'OTAN. Dans le même esprit, il faudrait travailler au rapprochement des processus de qualification militaire et de certification civile de manière à éviter au maximum les duplications de procédure pour les matériels à usage dual (hélicoptères, par exemple).

➤ Enfin, l'utilisation des centres d'essais pour tirer parti au mieux de la dualité devrait être une piste prometteuse, en particulier pour les technologies de l'information, comme elle l'est pour la dimension aéronautique. La dimension européenne de cette question devrait être prise en compte.

A l'heure actuelle, une véritable politique de la dualité n'existe pas au niveau national. Par-delà un discours volontariste des décideurs, on ne trouve réellement que des initiatives dispersées : on peut citer le domaine des composants et du génie électrique pour lequel la DGA contrôle le milieu de production et gère finement l'anticipation des besoins au STTC. La Direction générale de l'aviation civile (DGAC) joue aussi un rôle important d'harmonisation et d'incitation dans ce domaine.

La seule expérience volontariste interministérielle lancée dans le domaine dual fut le programme *Syredice* ; créé en 1996 entre le ministère de la Défense et celui en charge de la Recherche, mais qui n'a pas résisté aux changements ministériels. Cette initiative représentait pourtant une expérience intéressante de ce qu'il était possible de faire au niveau de l'Etat.

La gestion de la dualité par l'entreprise

La gestion de la dualité n'est pas la même pour tous les industriels. Elle n'est pas "naturelle" pour les PME. Il faut distinguer les niveaux et les capacités d'intervention des opérateurs :

- les grands groupes sont ceux qui vivent la dualité en continu et ont développé à cet égard les techniques managériales les plus avancées (anticipation, réseaux dits "brochants" ⁽⁸⁾, transversalité, filialisation des activités duales, ateliers ou chaînes flexibles, etc.) ;
- les groupes "monocolores", souvent d'anciens arsenaux comme le GIAT ou la DCN éprouvent des difficultés à sortir de leur métier de base en dépit des efforts ;
- les PME sont de deux ordres, celles qui ont la possibilité de se raccrocher à un marché et celles qui restent rivées à leur métier de base en raison des coûts de conversion ;
- les laboratoires de recherche et les centres d'essais publics ou privés sont liés aux décisions de financement et à l'intérêt que portent à tel ou tel domaine leurs donneurs d'ordres. Le risque d'une recherche trop orientée est d'éliminer en amont des pistes duales non directement liées à l'activité planifiée et aux résultats attendus par le donneur d'ordre. Il faut trouver l'équilibre entre une recherche "éthérée" qui serait déconnectée des besoins industriels et une recherche trop finalisée qui s'épuiserait par l'absence de renouvellement des idées et le manque d'imagination.

Aucune de ces entités ne vit la dualité de la même façon. Des réponses doivent être apportées par l'Etat à chacune, en fonction de ses spécificités : aux grands groupes dans le travail sur l'harmonisation des normes et standards et l'insertion des technologies militaires dans les cycles de conception/production civils ;

⁽⁸⁾ On appelle "réseau brochant" un réseau assurant la connexion entre entités de nature différente et/ou connectant des fonctions ou des domaines techniques différents.

aux PME, dans l'intermédiation pour l'accès aux marchés et les incitations à la créativité ; aux laboratoires en rétablissant le dialogue scientifique et technique avec l'industrie et l'administration.

Les succès en matière de dualité sont difficiles à évaluer. Certains grands groupes, comme EADS, considèrent qu'on ne peut pas citer d'exemples puisque le travail de dualité est permanent et que l'entreprise est organisée comme cela et pour cela. Par ailleurs, il faut tenir compte de la fluidité technologique qui fait que certaines technologies sont issues du civil, passées dans le militaire, pour revenir au civil (dans le nucléaire, notamment, dans le spatial aussi).

Militaire versus civil

Le principal facteur de succès en dualité du militaire au civil est la rencontre d'une technologie avec un produit et d'un produit avec un marché. On peut citer, entre autres, les succès commerciaux civils obtenus par la SNPE et ses filiales dans les pyromécanismes de précision pour les *airbags*, et désormais produits à des millions d'unités. D'autres transferts réussis ont concerné les cosmétiques ou la nitruration et la phosgénation pour la chimie. Les matériaux de type carbone/carbone de la SNECMA/SEP ont connu des applications exceptionnelles dans l'aéronautique puis dans l'automobile. D'autres applications ont été développées avec succès sur les qualités de résistance et d'inertie chimique des composites thermostrostructuraux (verreries, plateaux et soles de fours, support de pièces, prothèses, etc.) et les composites à matrice céramique. Sextant Avionique s'est diversifié vers les visualisations à cristaux liquides et la lecture tête haute pour l'automobile. Dassault, enfin, est devenu le *leader* mondial des logiciels pour boîtes noires et en CAO/CFAO pour l'aéronautique, et le CNES a imposé sa norme ECSS pour les coopérations spatiales européennes.

Toutes les diversifications dualisantes ne réussissent pas. Une entreprise comme Matra a payé durement, en son temps, des tentatives de diversification imprudemment engagées sur des marchés mal connus (horlogerie, équipements automobiles), malgré le succès du nouveau concept automobile que représente l'*Espace* développé avec Renault.

En réalité, les succès du militaire vers le civil ne sont pas si nombreux, même s'ils correspondent à une réalité. Le vrai succès de la dualité réside dans l'application systématique de technologies civiles aux produits militaires qu'effectuent les grands groupes, et qu'ils souhaiteraient faire encore davantage. On peut dire, à ce niveau, que la conception et la production flexible est une réalité dans les entreprises françaises. Le seul problème qui se posera à l'avenir sera que celles-ci veuillent bien continuer à développer des activités militaires peut-être de moins en moins rentables.

Civil versus militaire

Actuellement, dans le monde de la haute technologie, le contexte technologique ne favorise pas le domaine militaire. Les petites séries, la lenteur, explicable, de la décision décalent progressivement les deux univers qui se retrouvent en déconnexion croissante. Par ailleurs, les liens traditionnels noués par la DGA avec les entreprises *high tech* françaises tendent à se distendre. La culture des nouveaux dirigeants les pousse à aller vers les marchés les plus porteurs (dans le domaine des TIC, le ratio en terme de chiffre d'affaires peut aller de 1 à 1 000) de même que les ingénieurs suivent la tendance technologique la plus forte, celle que la défense ne représente plus.

Par ailleurs, la corrélation des cycles des produits civil et militaire devient de plus en plus difficile à réaliser, les cycles de développement des produits civils pouvant être de quelques mois seulement en matière d'informatique, électronique et télécommu-

nications. L'anticipation du besoin militaire au plus tôt de la conception et son calage sur le produit civil devient une nécessité absolue, faute de quoi l'effet d'éviction des nouvelles technologies, si la "vitesse" des séries civiles se maintient, jouera à plein.

Le risque à terme serait de voir disparaître des pans de recherche et de production de défense spécifiques traditionnellement exécutés dans des sociétés à dominante civile. De plus, on pourrait craindre également que le reliquat ne demeure plus qu'entre les mains de quelques sociétés essentiellement américaines. Ce scénario ne laisse pas de demeurer inquiétant pour l'autonomie de la défense nationale mais aussi européenne.

Quelques pistes de management des technologies duales

Pour nous, le caractère dual d'une technologie, d'un procédé (ou d'une recherche) n'est pas une propriété "intrinsèque" ou une condition de départ. C'est beaucoup plus le résultat d'un ensemble de décisions organisationnelles et économiques, qui permettent la réalisation (ou non) des potentialités de dualité, associées à une technologie. La dualité se révèle être le produit (intentionnel ou, parfois, inintentionnel) d'organisations et de réseaux. C'est pourquoi on peut parler de "gérer la dualité".

Or, la gestion et la recherche de la dualité posent avant tout des problèmes de marché et d'organisation. Il est possible de suggérer quelques pistes.

➤ Dans le domaine de la R&D duale, tout est question, pour l'Etat, d'organisation. La DGA dispose depuis 1985 d'un modèle de recherche duale très performant dans le domaine du génie électrique : le GIRSEP.

Mais il ne s'agit que d'un exemple très isolé. Cette approche implique en effet un considérable travail en amont, à la fois sur la recherche et les études, accompagné d'une véritable politique de dualisation anticipante⁽⁹⁾. Cependant, dans la mesure où, contrairement aux Etats-Unis, la France a fait le choix d'une réduction drastique des études et recherches amont au niveau national, la recherche d'une meilleure organisation paraît absolument nécessaire.

➤ Dans le domaine de la production manufacturière, il est plus difficile pour l'Etat d'aider l'entreprise à organiser la production duale. Aux Etats-Unis, les programmes sur "l'entreprise agile" ont été réduits ou abandonnés. Il règne un certain scepticisme dans ce domaine, même si les perspectives de production flexible sont considérées comme encourageantes voire très opérationnelles chez certains industriels.

➤ Le développement des technologies civiles à partir de développements militaires constitue un domaine où l'action des pouvoirs publics pourrait avoir un effet de levier important. La recherche de transition du militaire au civil, par exemple le domaine des infrarouges, ne se limite pas à "rendre disponible" une technologie militaire⁽¹⁰⁾. Il faut pouvoir aider l'industrie à développer la faisabilité de l'usage commercial (accélérer le développement industriel, financer les technologies de production, susciter l'émergence de la demande commerciale) ce qui, en retour, rendrait moins onéreux l'utilisation des technologies militaires. On voit que, aux Etats-Unis, il s'agit d'un axe central de politique industrielle. En France de nombreux domaines seraient susceptibles de ce genre d'intervention publique.

➤ Un autre domaine est également crucial : l'insertion des composants civils dans les matériels militaires. Cela implique l'évalua-

⁽⁹⁾ Voir A. Quenzer, Les études amont et la dualité, *L'ARMEMENT* n° 56, mars 1999, pp. 36-41.

⁽¹⁰⁾ Voir Robin Cowan, Dominique Foray et Pierre Monben, The relationship between military R&D and the civilian innovation system, *Working Paper - IMRI 1998/06*, Université de Paris Dauphine, 49 p.

tion et la spécification des composants civils ainsi que la conception de systèmes d'armes "préparés" aux impératifs de l'insertion de ces composants.

Le domaine des télécoms est évidemment un domaine exemplaire de ce type de démarche, comme l'est celui des composants informatiques et électroniques. La question de la gestion des longs cycles de développement, et surtout de la longévité des matériels militaires face à l'évolution ultrarapide des composants civils, est une question-clé qui appelle une maîtrise approfondie de la modularité. Celle-ci milite donc pour des systèmes à architecture ouverte mais implique aussi d'accepter le risque d'une certaine "désoptimisation" des capacités requises.

➤ Quel mode d'organisation faut-il favoriser pour permettre à une entreprise d'armement d'accéder au marché civil ? Un certain nombre d'éléments de base peut être précisé :

- trouver un partenaire maîtrisant le marché visé et bien implanté ;
- adapter les techniques de production à la réalité commerciale (production à coût objectif) ;
- disposer d'une réactivité plus séquentielle (le produit doit pouvoir être modifié en fonction du retour commercial et de la conception des lignes) ;
- modifier le management des équipes en fonction de l'objectif ;
- maîtriser l'ingénierie simultanée (réduction du nombre de pièces, suppression de l'usinage, automation, etc.) ;
- avoir une capacité d'investissement significative.

Tous ces éléments mis bout à bout montrent que la démarche duale est loin d'être simple et naturelle, en particulier pour les PME. Elle procède d'un engagement politique et financier lourd de la part des dirigeants de l'entreprise. C'est peut-être dans l'assistance à cette démarche que l'Etat peut jouer un rôle important, car ces choix stratégiques et industriels ont peu de chance d'être réalisés s'ils ne répondent pas, aux yeux de la direction de la plupart des entreprises à dominante civile, à un retour financier significatif. Tout renvoie désormais à la logique impitoyable des marchés.

Pour le moment, la question de la gestion de la dualité n'a qu'une importance relative pour l'Etat, et le ministère de la Défense notamment. En effet, les entreprises de défense et les civiles sollicitées pour travailler dans certains domaines vivent sur le considérable stock de technologies développé à l'époque des vaches grasses. Or, cette période ne durera pas. Déjà, l'accélération des rythmes et cycles des TIC font que les technologies militaires éprouvent des difficultés à trouver leur place dans ce secteur qui draine aussi les meilleurs cerveaux. Ailleurs, des pans entiers de recherche sont abandonnés faute de moyens. Le risque est donc de voir le ministère de la Défense ne plus disposer du vivier de technologies nécessaire à la sécurité et à l'autonomie de la France. L'euro-péanisation des industries de défense renforce ce processus. La mise en œuvre de stratégies pour anticiper ce phénomène devient une nécessité absolue. 

Le sens des mots

par Doubinine

Mission à l'étranger

Que sa mission à l'étranger soit préparée de longue date ou déclenchée dans l'urgence, le missionnaire reçoit ses billets, devises et indications de réservation d'hôtel au dernier moment. Il a bien sûr anticipé pour faire sa valise et arrive donc sur place juste à temps pour l'ouverture de la réunion ou de la négociation. Dans le meilleur des cas il a pu obtenir une place en classe business et arriver assez frais pour ne pas somnoler en réunion. Il dispose sur place d'un temps limité par l'obligation de revenir à temps pour une réunion parisienne de la plus haute importance : les réunions compressées laissent juste le temps nécessaire aux repas officiels et autres réceptions nécessaires à l'entretien, en langue étrangère, des bonnes relations avec les partenaires. Heureusement l'organisation du transport aérien, surtout long courrier, laisse en général quelques minutes pour se précipiter dans la boutique hors-douane et acheter pour sa secrétaire le souvenir qui la confortera dans l'idée que l'Etat est bien généreux d'offrir à ses cadres méritants tant de vacances à l'étranger.

Ressources humaines

La parution récente d'un film éponyme peut faire réfléchir sur ce que signifie l'expression « Ressources humaines », et surtout la nécessité que l'on a d'appeler ainsi ce que l'on appelait autrefois le personnel. Il y a longtemps que l'on a oublié les pratiques paternalistes justement critiquées, qui amenaient le patron à s'ingérer dans la vie privée des travailleurs. Mais l'expression de « Direction du personnel » laissait encore planer le doute. La nouvelle expression signifie clairement que le collaborateur est promu à sa juste place d'outillage intelligent contribuant à la bonne marche de l'entreprise et à la création de valeur. *Homo sapiens sapiens* sans doute, mais d'abord *homo faber*.

L'honneur perdu d'Eugène Turpin

par Gabriel GALVEZ — BEHAR, allocataire-mondeur - Université Lille III

In the 1880s, the French Army developed melinite, an explosive that was central to the modernisation of French artillery. This discovery was based on the work of a private inventor, Eugène Turpin, who increasingly saw his (debatable) rights as originator contested. In retaliation, the inventor published details of his invention and was then accused of espionage. Thus began a great scandal through which one can identify the tensions resulting from the armament problems of France at the end of 19th century. Amongst other things the Turpin affair illustrates the complexity of the relationships between the military and inventors, on whom it relies to keep up to date.

Aux lendemains de la défaite de 1870, la France entreprend sans retard de bâtir un outil militaire rénové et efficace. Dans le domaine de l'artillerie, dont le rôle avait été fondamental durant la guerre, cet effort de redressement porte notamment sur la mise au point de nouveaux explosifs. En 1878, le succès tardant à venir, le ministère de la Guerre met en place une Commission des substances explosives dirigée par un chimiste de renom : Marcellin Berthelot (1). Chargée d'éclairer l'administration de la Guerre sur les besoins des divers services intéressés à la fabrication des poudres, la Commission des substances explosives a aussi pour mission de se prononcer sur les nombreuses inventions soumises au ministère par des particuliers.

Eugène Turpin, fabricant de jouets, propose aux services de l'artillerie ses premiers explosifs qui mèneront, quelques années plus tard, à l'adoption de la *mélinite* dans les obus. Ce "progrès considérable pour l'Artillerie" est salué, un demi-siècle plus tard, par le général Challéat dans son *Histoire technique de l'artillerie de terre en France* (2). Utilisée pour le chargement des obus de canon de 75 mm, la mélinite jouera un rôle non négligeable dans le renouveau de l'artillerie française et dans ses succès au cours du premier conflit mondial.

L'histoire d'Eugène Turpin aurait donc dû constituer une *success story* à la française où l'inventeur fait figure de héros du redressement militaire français. Pourtant, il n'en est rien. Accusé d'avoir enfreint la loi contre l'espionnage de 1886 en publiant un ouvrage intitulé *Comment on a vendu la mélinite*, Eugène Turpin fut arrêté et condamné à cinq ans de prison en 1891. Radié de l'ordre de la Légion d'honneur, emprisonné, Turpin était voué à l'indignité nationale avant d'être grâcié, deux ans plus tard, par le président de la République et de se voir reconnaître, dès le début du XX^e siècle, le rôle qui fut le sien.

Le parcours d'Eugène Turpin, acteur du réarmement de la France sous la troisième

C'est précisément d'un inventeur indépendant que vient l'amorce d'une innovation fondamentale dans le domaine des poudres. En 1881,

(1) Sur ce point et ce qui suit, voir Challéat (Général J.), *Histoire technique de l'artillerie de terre en France pendant un siècle, tome I, Paris, Imprimerie Nationale, 1933, p. 176 et sq.*
(2) *Idem*, p. 185.



République, fut donc loin d'être linéaire. Il mérite, de ce fait, d'être suivi dans la mesure où il illustre les différents mécanismes qui ont pu présider à l'adoption d'une innovation d'importance par l'artillerie française, à leurs ratés et à la réaction de l'opinion publique contemporaine.

Du jouet à l'explosif

Fils de petits artisans peu fortunés, Eugène Turpin est né en 1848 à Paris. Sous le second Empire, il entre comme assistant chez un dentiste parisien tout en suivant des cours de médecine et les cours du soir du Conservatoire national des arts et métiers et de l'Association polytechnique. Touché par la guerre de 1870, qui l'oblige à quitter son emploi, Turpin s'intéresse à la chimie et à la mise au point de machines qu'il propose au ministère des Travaux publics. En 1873, il ouvre une usine, rue de Charonne, spécialisée dans la fabrication du caoutchouc à usage dentaire. Peu à peu, il diversifie son activité et se lance dans la mise au point de jouets d'enfants.

Son goût pour la chimie et son activité industrielle le conduisent à s'intéresser à la mise au point de peintures inoffensives pour colorer les jouets. La démarche de Turpin est loin d'être celle d'un autodidacte isolé : en effet, il n'hésite pas à consulter des chimistes réputés, appartenant au monde académique, pour mettre au point ses inventions, qui se voient récompensées par l'Académie des sciences (1878) ou par la Société pour l'encouragement à l'industrie nationale. Son usine, quant à elle, fonctionne bien : Turpin emploie alors une cinquantaine d'ouvriers et d'ouvrières.

Les raisons qui amenèrent le fabricant de jouets à se lancer dans des recherches sur les

explosifs sont complexes. En premier lieu figure sans doute le traumatisme de la guerre, qui cause la mort de ses parents : c'est du moins l'hypothèse que retiendront les (rares) biographes de Turpin. Par ailleurs, les liens de Turpin avec l'administration de la Guerre expliquent ce tournant dans l'activité inventive de ce dernier. A l'instar d'un grand nombre de fabricants ou d'industriels pour qui l'armée représente un marché considérable, source d'hypothétiques mais substantiels revenus, Turpin propose au ministère de la Guerre, dès le début des années 1880, un système de cartes en relief en caoutchouc. Il expérimente alors les relations avec les différentes instances d'évaluation des fournitures ou des inventions au sein de l'armée⁽³⁾. Mais c'est sans doute sa passion pour la chimie qui explique le mieux ces recherches chez un homme qui aurait souhaité poursuivre ses études que la guerre a interrompues.

Les investigations de Turpin en matière d'explosifs tentent de répondre au problème suivant : « *trouver un explosif puissant, de bonne conservation, de toute sécurité dans les manipulations et les transports, assez peu sensible pour résister au choc au départ, tout en l'étant assez pour pouvoir être amorcé pratiquement [et] détoner au moment voulu* »⁽⁴⁾. Les premiers essais de Turpin le conduiront à proposer en 1881 une série d'explosifs, les panclastites, qui se révéleront d'emploi trop difficile pour être adoptés par l'armée.

Face à l'échec, Turpin ne se décourage pas. Il entreprend d'approfondir ses recherches qui lui permettent d'établir des relations inédites entre maximum de force, minimum de sensibilité et quantité d'oxygène. Cette découverte sur le plan théorique le conduit à se pencher sur un composé déjà connu, l'acide picrique, qui présente les meilleures qualités de force et de stabilité. Reste alors à résoudre un certain nombre de problèmes, plus techniques, comme le chargement des obus. Turpin les résout et, dès le mois de novembre 1883, il soumet ses nouvelles poudres au

⁽³⁾ Sur ce point, voir Roussel (Yves), "L'histoire d'une politique des inventions, 1887-1918", Cahiers pour l'histoire du CNRS, 1989, n° 3, p. 19-57.

⁽⁴⁾ Challéat (Général J.), Op. cit., p. 176.



directeur des Poudres et Salpêtres, Maurouard, qui les renvoie à l'étude de la Commission des substances explosives.

C'est le début d'une série d'expériences où Turpin remet aux services de l'artillerie des échantillons de poudre explosive sans en préciser, semble-t-il, la composition. Devant le succès de ces expériences, et sentant qu'il ne pourrait garder longtemps le secret de sa découverte, Turpin prend en février 1885 un brevet pour "l'application des propriétés explosives de l'acide picrique", croyant être ainsi protégé contre toute spoliation de son invention. Les soucis de l'inventeur commencent...

Les tribulations d'Eugène Turpin

Confronté au brevet Turpin, le ministre de la Guerre interroge le Comité de l'artillerie pour savoir quelles peuvent être les revendications de l'inventeur. Le président du Comité de l'artillerie répond le 4 septembre 1885 que ces dernières lui paraissent loin d'être justifiées dans la mesure où un certain nombre d'auteurs ont déjà eu l'occasion de souligner le caractère explosif de l'acide picrique. Et de citer les différents savants à l'appui de sa démonstration en soulignant, de ce fait, la nullité du brevet ⁽⁵⁾.

Turpin répond point par point aux conclusions du Comité de l'artillerie en réaffirmant ses prétentions sur l'emploi de l'acide picrique et en soulignant que les auteurs invoqués à son encontre ne se sont jamais souciés de l'emploi industriel ou militaire du produit. Le Comité de l'artillerie campe sur ses positions mais introduit l'idée d'une récompense et d'une transaction avec l'inventeur. Elle aboutit, le 22 décembre 1885, à la signature d'une convention entre l'Etat et Turpin, par laquelle ce dernier s'engage à renoncer « à toute réclamation au sujet de l'emploi que l'administration de la Guerre et celle de la Marine et des Colonies pourraient faire de l'acide picrique, pour tous usages militaires ». En outre, Turpin s'inter-

dit, pendant dix mois, de révéler l'existence de la convention ; en contrepartie, il reçoit la somme de 251 000 francs et se voit décorer le 7 janvier 1886 de l'ordre de la Légion d'honneur.

Pour le ministère de la Guerre, l'affaire était entendue et le dossier Turpin était clos. Libre d'utiliser l'acide picrique qui prit alors, pour les besoins du secret, le nom de *mélinite*, le ministère de la Guerre perfectionne les dispositifs utilisant le nouvel explosif et croit en avoir fini avec Eugène Turpin. Mais ce dernier ne l'entend pas de cette oreille. Passé les dix mois qui l'astreignent au silence et jugeant que son invention est mal rétribuée, il décide de proposer son procédé à d'autres puissances européennes, dont l'Allemagne, en mars 1887.

C'est à ce moment que Turpin entre en relation avec Emile Triponé, officier de l'armée territoriale et représentant du fabricant d'armes britannique Armstrong. Avec l'aide de Triponé, Turpin tente de vendre son procédé à la maison Armstrong qui organise une série d'expériences au cours de l'année 1888. Mais au cours des essais, le système d'amorçage des obus ne paraît pas sûr. Triponé use alors de sa relation avec un employé des Ateliers d'artillerie de Puteaux pour obtenir les plans du détonateur détenus par l'armée. Il n'est pas aisé de savoir si Turpin savait que les documents fournis par Triponé émanaient des bureaux de l'armée : l'inventeur a toujours affirmé ignorer quelle pouvait être l'origine des documents qui lui furent fournis et, dès la fin de l'année 1888, les deux associés se brouillent. Au point que Turpin informe le Procureur général des actions douteuses de son partenaire de la veille. Cette démarche, pas plus que les autres dénonciations, n'aboutira.

Furieux de se voir déposséder de ce qu'il juge être son invention, amèrement déçu,

⁽⁵⁾ Selon la loi sur les brevets de 1844, un brevet d'une invention dont la nouveauté n'était pas réelle était entaché de nullité.



sans doute, de voir disparaître autant d'occasions de profit, Turpin décide de révéler au public les dessous de ce qui commence à devenir l'affaire Turpin. En publiant son ouvrage, *Comment on a vendu la mélinite*, Turpin entend dénoncer les manœuvres qui ont abouti à la captation de son invention par les maisons d'armement qui commencent à s'intéresser de près au nouvel explosif. Loin de s'en tenir à la publication d'un pamphlet, Turpin reproduit dans le cœur de son ouvrage différents documents touchant à l'affaire ainsi que des plans de son invention.

Dès l'annonce de la parution de l'ouvrage, en mai 1891, les autorités font arrêter l'inventeur et saisir tous les exemplaires du *Comment on a volé la mélinite*. Volonté de couvrir ce qui reste du secret de la *mélinite* ou volonté d'étouffer une affaire gênante pour le pouvoir ? Il n'est pas aisé de répondre dans l'état actuel des recherches. Turpin est toutefois déféré immédiatement auprès des tribunaux, jugé à huis clos (mais en présence d'officiers du ministère de la Guerre, contre laquelle protestent les avocats de l'inventeur) et condamné. Voué à la vindicte populaire pour avoir voulu marchander un secret si utile à la défense nationale, radié de la Légion d'honneur, Turpin commence toutefois à intéresser le monde politique.

L'affaire Turpin

Dès les lendemains de l'arrestation de Turpin, le gouvernement est interpellé à la Chambre et l'affaire prend une autre dimension. La droite parlementaire et une partie de l'extrême gauche reprochent à Freycinet, président du Conseil, ministre de la Guerre, d'avoir négligé les accusations portées par l'inventeur-chimiste. Le ministre se défend alors en rappelant qu'il avait soumis ces allégations à

l'examen d'une commission spéciale qui les considéra comme infondées.

D'un problème quasiment commercial entre un inventeur et le ministère de la Guerre, l'affaire Turpin devient une remise en cause du gouvernement opportuniste. Ainsi, le député Le Senne déclare « *qu'il [existe] dans l'administration de la Guerre, une incurie, un désordre absolus [que] le ministre de la Guerre ne [peut] pas ne pas ignorer* » ⁽⁶⁾ et stigmatise la négligence du ministre qui menace alors de démissionner.

Le gouvernement n'est pas renversé par les soubresauts parlementaires, mais ces derniers débordent l'enceinte de la Chambre. Entre 1891 et 1894, près de 300 articles sont consacrés à Eugène Turpin. La presse, et avant tout les journaux nationalistes, s'empare donc de Turpin en qui elle commence à voir un héros malheureux, un inventeur de génie victime de manipulations obscures. C'est d'ailleurs à la presse que ce dernier doit en large partie sa libération rendue possible par une grâce présidentielle en 1893. La Nation écrit alors : « *Il subsistera un doute dans cette affaire dont tout le secret consiste en ceci : les habitudes [...] d'indélicatesse de la direction de l'artillerie à l'égard des ingénieurs civils.* » ⁽⁷⁾

L'affaire Turpin ne finit pas avec la libération de l'inventeur. Durant toute l'année 1894, la presse s'intéresse aux projets d'armement soumis par Turpin au ministère de la Guerre, qui n'y voit d'ailleurs aucun intérêt. Là encore, les accusations fusent à l'encontre d'un ministère à qui l'on reproche de ne pas tenir compte des propositions d'un personnage soutenu par l'opinion publique. Le ministère de la Guerre fait à nouveau l'objet de vives critiques et son corporatisme, prétendument entretenu par les polytechniciens, est dénoncé.

En fait, la conclusion de l'affaire revient précisément à un ministre de la Guerre, polytechnicien et artilleur de surcroît, le général André. Dans ses mémoires, le général André retrace l'entretien qu'il eut avec Turpin, le 13 juillet 1900 : « *A ma grande surprise, dès ses*

⁽⁶⁾ Chambre des députés – Séance du 22 juin 1891.

⁽⁷⁾ La Nation, 28.4.1893.



premiers mots, à l'exposé de ses recherches sur la mēlinite, je me rendis compte que nous avions tous été trompés, qu'il avait le droit d'être considéré comme un véritable inventeur » et, plus loin, « M. Turpin continue aujourd'hui, si je suis bien informé, ses expériences au service de la Guerre » (8). En 1914, Eugène Turpin figurait parmi les membres de la Commission supérieure des inventions : l'inventeur de l'usage pratique de l'acide picrique obtenait par là une reconnaissance tardive (9).

L'affaire Turpin permet d'éclairer un certain nombre de points concernant l'histoire de l'armement aux lendemains de la guerre de 1870. Elle montre combien les services de la guerre, et en particulier ceux de l'artillerie, étaient attentifs aux propositions faites par les inventeurs civils. En matière d'armement, il n'était pas question de se cantonner aux recherches menées par le ministère lui-même. Toutefois, force est de constater que la gestion des liens entre l'Etat et les inventeurs civils restait largement problématique. Le général Challéat déclare

à ce propos, en 1933 : « On peut observer [...] que les représentants de l'Etat vis-à-vis des tiers [...] à prendre un peu trop étroitement les intérêts dont ils ont la charge, dans la crainte de ne pas les prendre assez » (10).

L'affaire souligne, en outre, l'importance que prennent les questions d'armement dans la France de la fin du XIX^e siècle. Dans le contexte des fortes poussées nationalistes, le renouvellement de l'outil militaire français constitue un enjeu politique majeur et sert parfois de prétexte à des menées partisans diverses. L'agitation occasionnée autour du cas Turpin sèmera d'ailleurs sur l'armée un doute que l'affaire Dreyfus ne fera qu'aggraver (11).

(8) "Cinq ans de ministère" (fragments de mémoires) par le Général André, Le Matin, 26.6.1906.

(9) Sans une recherche plus approfondie dans les archives de l'artillerie, il n'est pas possible de savoir si la mēlinite et le procédé Turpin d'utilisation de l'acide picrique sont une seule et même chose.

(10) Challéat (Général J.), Op. cit., p. 184.

(11) Durant l'affaire Dreyfus, Turpin sera présenté par la presse anti-dreyfusarde comme un contre-modèle du prisonnier de l'île du Diable : autodidacte, d'extraction populaire, il est alors dépeint comme la "véritable" victime d'une erreur judiciaire.

De la DRME à la DRET

par Jean CARPENTIER*, ingénieur général de l'armement (2S)

The 1957-1962 period was marked throughout the world by many scientific and technical breakthroughs: the dawn of the space age as well as the dramatic growth of microelectronics and digital processing are the most outstanding examples. In 1961, inside the French Ministry of Defence, the DRME was created in order to raise the military research to the right level. DRME and its successor DRET obtained great results which paved the way to many successful military programs.

La création, en 1961, de la Délégation ministérielle pour l'armement (DMA) avait pour principal objectif, en regroupant l'ensemble des Directions et Services chargés de la conception et de la réalisation des matériels d'armement, de mieux traiter les problèmes communs à l'ensemble des Armées.

Dans cette optique, il convenait d'apporter une attention particulière à la Recherche, source de tous les progrès techniques essentiels pour la Défense. C'est dans ce but que fut créée, en 1961, la Direction des recherches et moyens d'essais (DRME), dont la mission principale était de « suivre et soutenir les recherches susceptibles d'orienter à terme la politique de défense de la nation ». D'autre part, étant alors la seule direction technique interarmes de la DMA, la DRME fut aussi chargée de l'étude et de la réalisation des moyens d'essais de missiles, d'où le "ME" (moyens d'essais) du sigle initial.

Le contexte national et international

Rappelons brièvement quelques-uns des aspects de la situation en 1961.

Au plan national, pour la Défense, le fait fondamental était la décision de constituer la Force nucléaire stratégique (FNS), avec ses trois composantes : bombes, puis missiles aérobies lancés d'avions ; missiles balistiques sol-sol stratégiques : SSBS, lancés du plateau d'Albion ; missiles balistiques lancés de sous-marins à propulsion nucléaire (MSBS).

Un autre fait majeur était la nécessité d'intensifier notre effort dans le domaine des missiles tactiques, en créant des familles d'engins dont certaines versions étaient destinées au théâtre opérationnel terrestre (missiles sol-sol) ou aéroterrestre (missiles air-sol lancés d'avions ou d'hélicoptères) ou naval (missiles mer-mer ou air-mer). La défense sol-air et la défense mer-air avaient, elles aussi, de nombreux points communs.

Il s'agissait, en fait, d'une double mutation destinée à faire de la France une puissance nucléarisée, et à donner au chef d'Etat-major un outil global optimisant l'emploi des moyens modernes des trois Armées. Cette double mutation ne pouvait être réussie qu'en présentant au chef de l'Etat, au ministre de la Défense et au chef d'Etat-major des Armées, un interlocuteur technique unique, le Délégué ministériel pour l'armement.

Au plan international, la période 1957-1962 fut celle des grandes innovations scientifiques et techniques. Dès le 4 octobre 1957, le lance-

* Ingénieur à la DRME de 1961 à 1977.
Directeur de la DRET de 1977 à 1984.



ment par l'URSS, du *Sputnik*, premier satellite au monde, démontrait la maîtrise soviétique dans le domaine des missiles balistiques intercontinentaux. Cette maîtrise, s'ajoutant à celle de la bombe thermonucléaire, constitua un choc psychologique majeur aux Etats-Unis, une sorte de *Pearl Harbor* technologique.

La réaction américaine fut une mobilisation générale des services et des cerveaux :

- tout d'abord, parer au plus pressé avec le "feu vert" donné à Werner Von Braun pour réaliser et lancer "*Explorer*" le 31 janvier 1958 ;
- ensuite, confier à la *National Aeronautical and Space Agency* (NASA) succédant au NACA, organisme purement aéronautique, un vaste programme spatial dont le programme *Apollo* : un Américain sur la Lune avant 1970 (pari de J.F. Kennedy, gagné en juillet 1969, avec la puissante fusée *Saturn V*) ;
- enfin, créer, en 1958, l'ARPA, agence devenue ensuite la DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*) par son rattachement au *Department of Defense* où elle est chargée du front avancé de la recherche, avec des programmes "à haut risque, mais à fort potentiel".



Le professeur Lucien MALAVARD,
1^{er} directeur de la DRME

C'est dans un contexte en pleine mutation, aussi bien au plan national qu'au plan international, que fut créée la DRME en 1961. Il fallait aussi rapprocher deux collectivités qui, en France, avaient peu d'échanges : l'Université et le CNRS, d'une part, les services de la Défense, d'autre part.

Cette mission fut confiée au professeur Lucien Malavard, mondialement connu pour ses travaux en mécanique des fluides, et au professeur Pierre Aigrain, pionnier de la physique des semi-conducteurs. Ils furent respectivement nommés Directeur et Directeur scientifique de la DRME. La recherche technique fut confiée à l'ingénieur général Edouard Billion qui apportait sa vaste compétence en aéronautique. L'équipe de direction comprenait aussi l'ingénieur général Maurice Natta, placé à la tête de la Sous-direction des moyens d'essais et l'ICA Hughes de l'Estroile qui fut chargé du bureau "Prospective et Orientation".

Le BPO servit de support à un comité de prospective, présidé par le professeur Aigrain, qui rassemblait des représentants des Etats-majors et d'éminentes personnalités scienti-

La création de la DRME Missions et organisation

L'ouverture de l'ère spatiale en 1957 constitua un puissant soutien pour les disciplines en pleine mutation : l'électronique, l'optique et l'informatique.

- En *microélectronique*, les circuits intégrés faisaient leur apparition et donnaient très vite un nouvel élan à l'*informatique*, grâce à la miniaturisation des composants des ordinateurs (circuits logiques, mémoires, entrées-sorties).
- En *optique*, l'invention du laser ouvrait des perspectives toutes nouvelles à une discipline qui passait pour avoir atteint ses limites.



fiques et techniques. La qualité du travail accompli fut telle que M. Messmer, ministre des Armées, décida, en 1964, de créer le Centre de prospective et d'évaluation (CPE) directement rattaché au Ministre.

La politique d'ensemble en matière d' "études amont" devint du ressort du Conseil des recherches et études de défense (CRED), créé en juin 1976. Il fixa le montant global des moyens financiers à affecter aux études amont, non pas en valeur absolue, mais par son rapport au montant total des crédits d'équipement de la Défense (titre V et titre VI du budget de la Défense). L'objectif retenu pour ce ratio était de 6 %. Le CRED donnait aussi des directives quant à la répartition de l'effort :

- répartition entre recherches et études, d'une part, et développements exploratoires, d'autre part. Ceux-ci devaient rester dans la limite de 25 % des études amont ;
- répartition entre les sections budgétaires (section commune et sections d'armes).

Les recherches conduites par la DRME puis par la DRET

Depuis sa création en 1961 jusqu'à 1968, la DRME organisa la conduite de ses recherches en distinguant les recherches scientifiques et les recherches techniques qu'elle confia à deux sous-directions distinctes. Le regroupement s'opéra en 1968 avec la création du Service des recherches qui, lui-même, s'organisa en neuf groupes :

- Le Service des recherches présentait ainsi des caractéristiques originales :
- totalement interarmes,
- activité simultanément à long terme et à moyen terme,
- couplage étroit avec les Directions techniques, les Etats-majors et le Service de santé des armées. Cette dernière caractéristique était due au groupe 9, Biologie et Sciences humaines, qui était dirigé par un médecin

- 1 Informatique - Automatique
- 2 Télécommunications - Détection
- 3 Physique générale et Environnement
- 4 Lasers
- 5 Semi-conducteurs et Composants
- 6 Mécanique et Physique des fluides
- 7 Chimie - Energie - Propulsion
- 8 Matériaux - Technologie - Structures
- 9 Biologie et Sciences humaines.

en chef, assisté d'autres médecins militaires, de pharmaciens militaires et d'un vétérinaire militaire.

L'un des mérites, et non le moindre, de la DRME fut d'associer, d'une façon intime, les réflexions de prospective et les orientations des recherches scientifiques et techniques. C'est ainsi que le Bureau Prospective et Orientation (qui devint, en 1964, le Centre de prospective et d'évaluation) joua, pour la DRME, puis pour la DRET, un rôle essentiel en facilitant les échanges entre les opérationnels, les scientifiques et les ingénieurs. Il fallait dégager les besoins à long terme des armées, les exprimer sous forme de plages de spécifications à atteindre grâce à des recherches à entreprendre dans les voies les plus fructueuses.

A cet égard, il fallait se méfier d'un penchant naturel que constituait l'extrapolation technique dans les voies connues. *En aéronautique*, au début des années 60, des experts proclamaient que l'avenir dépendrait des avions hypersoniques : selon eux, les avions de combat voleraient à Mach 5 vers 1970-1975. Cette prévision ne s'est pas réalisée à cette époque, ni même en l'an 2000 ! Les avions d'armes actuels ne volent pas plus vite que ceux des années 70, leur vitesse maximale n'excède que de peu Mach 2. Ce n'est pas sur le plan de la vitesse que les progrès de l'Aéronautique militaire ont été accomplis, mais sur le plan de l'efficacité opérationnelle, grâce à la manœuvrabilité et à la furtivité des avions de combat ainsi qu'aux performances du radar et du système de conduite de tir et des armements.



Un autre exemple pourrait être cité, celui des avions à décollage vertical, dont l'emploi opérationnel est resté très limité et sans comparaison avec les espoirs qu'ils avaient fait naître au début des années 60.

Dans le domaine naval, les perspectives offertes par des navires non conventionnels, du point de vue des performances en vitesse pure, avaient fait évoquer des futures flottes à 60 nœuds, voire à 80 nœuds ! En fait, les navires militaires actuels ne sont pas, dans leur grande majorité, plus rapides que les navires des années 60. Les progrès ont été acquis du point de vue de l'efficacité opérationnelle grâce à la synergie entre la plate-forme navale, la détection optique ou radar et les matériels d'attaque ou d'autodéfense à base de missiles autoguidés.

L'architecture des navires modernes s'inspire autant des progrès nécessaires en furtivité radar que des exigences en hydrodynamique et en propulsion navale. Certes, des débouchés existent pour certaines formules (navires à coussin d'air pour les forces d'intervention au sol, navires à effet de surface à quilles latérales pour lutte ASM en tant que plates-formes d'hélicoptères, hydroptères lance-missiles) mais, ici encore, le nombre des réalisations ne sera pas à la hauteur des espoirs que ces formules nouvelles avaient suscitées vers 1960.

Pour les véhicules terrestres, le traditionnel duel entre l' "obus" et la "cuirasse" a, certes, conduit à concevoir, à la fois, des obus-flèches et des missiles antichars à charge creuse, d'une part, et des blindages de performances élevées sous forme "passive" ou sous forme "active". Mais les blindés modernes disposent d'une électronique très élaborée permettant le tir en marche. L'architecture de ces blindés est, elle aussi, conditionnée par les exigences de vulnérabilité réduite et de furtivité. Le coût des blindés modernes tels que le char *Leclerc* est lié à celui des systèmes électroniques

embarqués autant qu'au coût du véhicule lui-même.

Si l'extrapolation technique pure et simple est à éviter, c'est notamment en raison de l'évolution continue des armements vers les systèmes. Les véhicules (avions, navires, chars) sont devenus des composants majeurs de systèmes d'armes et leurs performances doivent être fixées (et atteintes) en fonction de celles de l'ensemble du système. Il faut que celui-ci soit optimal grâce à l'harmonisation des différents composants, dont la conception doit conduire à une parfaite synergie.

L'impact de l'électronique et de l'informatique

Cette généralisation de la conception des matériels de Défense, au sein de systèmes d'armes ou de systèmes de commandement, qui correspondait à un besoin fondamental des états-majors, a été grandement facilitée par la croissance exponentielle de l'informatique et des dispositifs de visualisation.

Le développement foudroyant de la microélectronique à partir des premiers circuits monolithiques, intégrés sur une puce de silicium en 1960, a eu des conséquences aussi bien pour les industriels que pour les forces armées. Pour la Défense et pour l'Espace, la microélectronique intégrée apportait des possibilités totalement insoupçonnables dans les années 50.

Une véritable révolution en découla, avec des conséquences à tous les niveaux. Citons l'exemple des équipements embarqués sur les avions. Jusqu'en 1960, ils étaient conçus séparément, avec, pour chacun, des spécifications particulières. La présentation de leurs informations était individualisée sur la planche de bord qui fourmillait de cadrans à aiguilles, parfois multiples, et à compteurs. Il appartenait à l'équipage, notamment au pilote, d'analyser ces indications et d'en faire la synthèse fondée notamment sur son expérience et son intuition des éventualités et des risques.



Le choix des instruments de bord intervenait tard dans la conception de l'avion et n'influaient aucunement sur celle-ci. Le terme "équipements" avait une connotation restrictive qui pouvait conduire à les considérer comme des matériels d'importance secondaire. L'arrivée des calculateurs numériques embarqués modifia radicalement ce point de vue en apportant à l'équipage des possibilités nouvelles lui permettant d'exécuter sa mission avec une efficacité accrue en toutes conditions.

Le calculateur numérique réalisé en microélectronique intégrée devenait le "cerveau" du système d'armes dont l'avion était un élément certes essentiel, mais qui ne pouvait être conçu sans tenir compte de l'ensemble du système.

La place de l'homme dans les systèmes

La présentation des informations à l'équipage devait, pour exploiter pleinement les possibilités du calculateur, être faite par panneau intégré avec tubes cathodiques ou affichage par cristaux liquides, avec dispositifs de dialogue d'entrée-sortie. Ces nouvelles possibilités d'échange entre "l'homme et la machine" mettaient l'accent sur l'importance de l'ergonomie de conception. Le rôle de la DRME, puis de la DRET, pour l'étude de la charge mentale du pilote, et plus généralement de l'opérateur humain dialoguant avec un système complexe, a été déterminant. L'analyse des tâches perceptives, psychomotrices, mentales, contrôlées par le recueil des paramètres électrophysiologiques, a eu des conséquences très favorables, non seulement pour la conception des nouveaux systèmes aéronautiques, terrestres ou navals, mais aussi pour la réalisation des simulateurs appropriés ainsi que pour l'élaboration des protocoles de sélection des personnels.

Simultanément, l'étude systématique des contraintes du milieu et des nuisances impli-

quées ou subies par les matériels et par les armes (conditions atmosphériques locales, ambiances particulières, vibrations, chocs, effets des impacts et des explosions, etc.) a permis d'évaluer les limites de tolérance et les degrés de détérioration des performances. En conséquence, des dispositifs de protection des postes de combat et des équipements individuels (revêtements antichocs, anti-vibrations, casques antibruit, etc.) furent réalisés.

L'ergonomie, ainsi prise en compte dès la conception des matériels (armes et véhicules), aboutit à optimiser les systèmes et à utiliser au mieux les capacités humaines. La DRME et la DRET n'ont cessé d'approfondir la connaissance du comportement de l'homme placé dans des conditions difficiles, voire extrêmes, et d'étudier les moyens de protection nécessaires ainsi que les procédés prophylactiques et thérapeutiques appropriés.

La veille scientifique et technologique

En biologie et sciences humaines, comme dans les autres domaines, s'impose une veille scientifique active, fondée sur une documentation étendue. Le Centre de documentation de l'armement (CEDOCAR), établissement qui relevait de la DRET, est, après le Centre de documentation du CNRS, le Centre d'information scientifique et technique le plus important en France. Par la diversité de ses sources d'information, françaises et étrangères, le CEDOCAR facilite la fertilisation croisée entre techniques différentes. Il favorise aussi les échanges entre les chercheurs et les ingénieurs et crée les conditions propices à l'invention et à l'innovation.

La documentation engendre aussi la veille scientifique active qui consiste essentiellement à détecter, dès qu'ils se produisent, les événements susceptibles de faire naître des développements nouveaux et des applications innovatrices, qui modèleront l'avenir de la Défense.



Une veille scientifique et technique active doit pouvoir conduire à des recherches et expérimentations, d'ampleur limitée mais suffisante pour déceler les limites des possibilités du nouveau concept, du nouveau matériau, de nouveau procédé. Il peut arriver qu'un important programme de recherche exploratoire ne puisse aboutir dans les délais espérés, en raison de butées techniques. Faut-il, pour autant, arrêter complètement la recherche ? Il est préférable de soutenir une veille scientifique active pour pouvoir reprendre des opérations de plus grande envergure lorsque les butées techniques seront éliminées ou encore lorsqu'une nouvelle voie aura permis de les contourner.

Science et Défense

Un grand mérite de la DRME et des organismes qui lui ont succédé a été d'organiser avec la communauté scientifique française un vaste ensemble d'échanges permanents sous la forme de journées thématiques et de colloques et de congrès organisés en commun. Les Entretiens "Science et Défense" sont la meilleure illustration de ces échanges ; ils constituent un carrefour, annuel ou bisannuel, entre les scientifiques, les ingénieurs, les opérationnels et les décideurs, sous l'égide du ministre de la Défense et du Délégué général pour l'armement.

Ces Entretiens "Science et Défense" font suite aux Journées nationales "Science et Défense" dont les premières furent organisées par la DRET les 26 et 27 avril 1983 à l'Ecole polytechnique à Palaiseau. Dès cette époque, tous les grands sujets étaient abordés, et en particulier ceux relatifs aux facteurs

humains, avec les conséquences, pour le combattant :

- de l'accroissement du pouvoir de destruction des armes (énergie et précision) ;
- de l'augmentation de la mobilité, avec les nuisances liées aux accélérations, chocs et vibrations ;
- de la variété des théâtres d'opérations, avec les déplacements rapides de grande amplitude en longitude et latitude ;
- de la polyvalence tout temps et tout milieu, avec le combat de nuit, la pénétration tout terrain, les situations extrêmes ;
- de la déshumanisation du combat pour lequel le caractère imprévisible et permanent du danger exige une dimension psychique du combattant à la hauteur de ses qualités physiques et de ses capacités intellectuelles.

Dès cette époque, on a conclu qu'il fallait porter les efforts de recherche sur la perception et l'identification de la menace ; la décision rapide, gage d'une action efficace ; la protection, par la conception de structures d'équipements et de comportements permettant la survie dans un environnement hostile.

Le professeur A. Coblentz, dans son exposé aux journées "Science et Défense" de décembre 1985, a parfaitement indiqué la voie de la recherche :

« L'homme est-il un élément limitatif dans l'utilisation des systèmes d'armes ? »

« On exige beaucoup du combattant moderne. Chaque nouveau matériel un peu plus... Mais l'homme ne peut être limitatif de systèmes qui sont conçus à son usage exclusif. Il doit faire l'objet d'études à l'échelle de ce que l'on attend de lui. »





Le gâchis des généraux

Les erreurs de commandement pendant la guerre de 14-18

par Pierre Miquel,
Editions Plon, 2001

Parmi les œuvres historiques de Pierre Miquel, *Le gâchis des généraux* (qui ne dépasse pas les 240 pages) se distingue par un élément d'écriture peu habituel ; il n'est pas exagéré de dire : « Voilà un livre écrit au mode **interrogatif** ! » Le ton est donné dès les premières phrases où, par ailleurs, est posée, avec fermeté et dans toute son ampleur, la question centrale :

Les généraux peuvent-ils être tenus pour responsables des quatre millions de morts allemands et français de la longue guerre de 1914-1918 ? Incapables d'obtenir la décision par des mouvements stratégiques, comment se sont-ils résignés à la "guerre d'usure" qui a saigné les deux nations, jusqu'à les laisser exsangues en novembre 1918, dans

une Europe déséquilibrée, vidée de ses forces vives ? Comment ont-ils pu croire et faire croire qu'ils obtiendraient la percée miraculeuse, la victoire décisive ? (page 7).

On remarque le ton "européen", avec le souci de prendre en considération les pertes de l'ancien adversaire dans cette "première guerre civile européenne", comme on a pu la désigner. Bien sûr, Pierre Miquel axe ses réflexions sur le cas français, sans pourtant hésiter à jeter des coups d'œil de l'autre côté de la colline, chez les combattants d'en face, avec lesquels les "poilus" se sont confrontés en un duel mortel pendant quatre interminables années. Avant d'examiner d'autres aspects du livre, et pour rester un moment dans ce parallèle avec l'adversaire, l'historien souligne de manière très convaincante une différence importante entre les relations généraux – pouvoir politique, d'un côté comme de l'autre :

L'évolution des rapports de force entre militaires et civils est donc en Allemagne exactement à l'opposé du cas français. Elle va dans le sens d'une dictature de guerre, où les civils sont directement soumis aux militaires alors qu'en France les hommes politiques finissent par prendre la responsabilité totale de la guerre, y compris le droit de regard sur les opérations et les nominations d'officiers supérieurs. (p. 15)

Le sous-titre de l'ouvrage, **Les erreurs de commandement pendant la guerre de 14-18**, ne doit pas être oublié un instant pendant la lecture. Pierre Miquel, après d'autres commentateurs de ce moment historique, reprend comme un *leitmotiv* wagnérien cette question : pourquoi les généraux en chef et les autres chefs de guerre qui ont fait des fautes répétées, et surtout en cherchant à n'importe quel prix en vies humaines de "percer" le front ennemi – en dépit des plus criantes évidences : manque de supériorité suffisante sur la défense, manque d'artillerie, ciel dominé par les autres d'où renseignements peu fiables, etc. – pourquoi ces gaspilleurs du sang français n'ont connu que des "limogeages", sans qu'on puisse les juger autrement que par les leurs ?

Pierre Miquel pose cette question et bien d'autres, mais il se garde bien de servir des réponses – tout en indiquant ce qu'il en pense lui-même ; l'auteur vise un but plus ambitieux : amener ses lecteurs à s'informer et à s'interroger à leur tour. Et il les aide à bien réfléchir en tenant compte de l'état de choses à tel ou tel moment, du début à la fin du conflit ; des millions d'hommes se sont lancés en août 1914 les uns contre les autres dans une guerre que tous prévoient courte, toute en offensive ; le feu industriel les a obligés à se terrer dans des tranchées, la guerre de mouvement s'étant transformée très vite en une épouvantable **guerre de siège**...

Force nous est de prendre en considération, en même temps que leurs erreurs de commandement, les raisons des généraux qui s'acharnaient dans la tentative de rompre le front ennemi, pour que le peuple en uniforme s'arrache à sa stagnation meurtrière par une paix de victoire.

Comme dans les grandes tragédies, les parties qui s'opposent peuvent avoir raison en même temps. Tout comme l'auteur de cet ouvrage, nous devons surtout songer à ces millions de morts et d'estropiés, dont certains sont tombés au combat à cause des nombreuses et graves fautes de commandement.

Comme d'autres historiens, Pierre Miquel fait preuve d'une étonnante capacité de travail. Le lecteur qui passe en revue les seize titres "du même auteur" - le plus souvent, des tomes importants ! - est déjà rempli de considération, d'autant plus s'il a lu le crayon à la main certains d'entre eux : c'est toujours "du solide", l'auteur argumente pas à pas ses assertions, ses différences d'appréciation par rapport aux idées généralement admises, avec une obstination positive, infatigable. Son écriture est limpide.

Ilic CONSTANTIN

L'arme chimique

Claude Meyer

L'arme chimique

par Claude Meyer

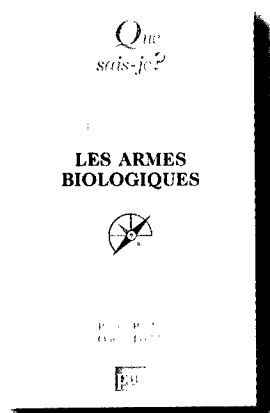
Editions Ellipses

Collection Perspectives stratégiques, 2001

L'efficacité des armes chimiques modernes, bien supérieure à celle des toxiques "traditionnels", continue de laisser planer sur le monde une menace terrifiante. Si le risque d'une guerre chimique en Europe s'est atténué du fait de la disparition des blocs et de l'entrée en vigueur, en 1997, de la Convention d'interdiction des armes chimiques, le potentiel mortel reste intact. La menace n'a pas disparu : elle a seulement changé de nature. Un pays réfractaire à la Convention d'interdiction des armes chimiques et qui n'aurait aucune chance de s'imposer sur ses adversaires par les moyens convention-

nels pourrait en effet être tenté par un passage à l' "acte chimique". Des tentatives terroristes récentes au Japon ont montré que la menace chimique pouvait être brandie par des acteurs non étatiques. La lutte entre la prolifération est le désarmement, déjà engagée, a été ravivée par l'actuel conflit entre les Etats-Unis et les intégristes islamiques.

Claude Meyer, fort des responsabilités qu'il a assumées dans ce domaine auquel il a consacré la majeure partie de sa carrière, retrace l'histoire des armes chimiques en un ouvrage de référence remarquablement documenté. Il montre, à la lumière de considérations historiques, stratégiques et géopolitiques, les étroites imbrications qui peuvent unir la science, la politique et l'éthique, et souligne à cet égard l'évolution des esprits au fil du temps. On y trouvera aussi des éléments de réflexion et une mise en garde sur les dangers résiduels de l'arme chimique ainsi que sur la nécessité de ne pas baisser la garde prématurément, ni en matière de protection, ni en matière de contrôle des transactions commerciales internationales de produits et d'équipements qui pourraient, en étant détournés de leur usage premier, alimenter des programmes clandestins.



Les armes biologiques

par Patrice Binder et Olivier Lepick
Editions PUF, 2001

Cet ouvrage, écrit conjointement par un docteur en médecine, Patrice Binder, et un docteur en histoire et sciences politiques, Olivier Lepick, respecte la vocation encyclopédique de la collection à laquelle il appartient, en proposant une étude historique et prospective destinée à un large public. Il apporte en effet une synthèse sur le sujet des armes biologiques, après leur retour sous les projecteurs dans les années 90 et, bien entendu, avant les attaques actuelles à l'anthrax. Ce type d'armes apparaît dès lors comme la "dissuasion du pauvre" face aux puissances étrangères.

Les principaux agents biologiques "militarisables" sont présentés, classifiés selon leur niveau de risque et en considération de leur capacité de reproduction. Les auteurs évaluent ensuite les nouveaux risques liés au développement des biotechnologies puis les conséquences opérationnelles d'agression par armes biologiques.

Le second chapitre concerne la défense contre les armes biologiques. Une agression biologique ayant toutes les chances de pouvoir être perpétrée dans la plus grande discrétion, il est fondamental de pouvoir identifier les premiers cas et de différencier l'apparition d'une maladie liée à une agression d'une maladie d'origine naturelle ; c'est le but de l' "alerte épidémiologique". La protection contre les agents biologiques passe alors par des mesures de prévention ou de protection passive et par l'adoption de mesures prophylactiques et thérapeutiques adaptées. Le rôle des autorités et des acteurs des systèmes de santé civil et militaire est donc primordial pour faire face à un risque d'agression biologique.

L'histoire des armes biologiques est retracée à travers de nombreux exemples de procédés relevés dès l'Antiquité. A la suite de l'utilisation massive de toxiques au cours de la Première Guerre mondiale, la Société des Nations adopta, en 1925, le protocole de Genève, qui décrète la condamnation de « l'emploi à la guerre de gaz asphyxiants, toxiques ou similaires, ainsi que de tous liquides, matières ou procédés analogues ayant été à juste titre condamné par l'opinion générale du monde civilisé ».

Ce protocole ne constitue qu'un engagement moral, et se révèle un faible instrument en cas de conflit, chaque nation se réservant le droit d'utiliser les armes biologiques en cas d'attaque ; un constat confirmé tout au long du XX^e siècle, jusqu'au spectre d'une menace biologique émanant d'entités non étatiques planant sur la communauté internationale.

La menace est aujourd'hui confirmée par une sérieuse tendance à la prolifération des armes biologiques ; le cas le plus inquiétant de suspicion est celui de la Russie, mais il n'est pas isolé : l'Irak mena avant la guerre du Golfe un programme militaire biologique ambitieux, et de nombreux pays sont suspectés de disposer d'un programme militaire biologique à caractère offensif (Egypte, Inde, Iran, Israël, Libye, Corée du Nord, Pakistan, Syrie, Chine, Taiwan). Aujourd'hui, le risque de prolifération provient de pays qui, ne pouvant se doter d'armes nucléaires, se tournent vers des armes moins onéreuses à leur portée.

De mythe, le terrorisme biologique devient une réalité. L'attentat au gaz sarin perpétré par une secte à Tokyo, en 1995, marque l'avènement d'une nouvelle ère du terrorisme avec l'attaque chimique terroriste contre des populations civiles. Si des précédents en matière de terrorisme biologique existent, les auteurs se demandent si le risque du bioterrorisme est crédible : ce genre

d'arme est difficile à maîtriser, il présente néanmoins de nombreux avantages aux yeux des terroristes. La prévention d'un tel risque passe par l'identification de l'agression afin d'orienter les décideurs, mais aussi par un processus de "défense globale", que ce soit pour l'entraînement des personnels d'intervention ou pour la mise en œuvre d'une logistique de prise en charge des victimes.

Le caractère problématique du contrôle international de la prolifération biologique s'exprime à travers la signature en 1972 de la Convention d'interdiction des armes biologiques, ratifiée par 142 Etats. Elle interdit le développement, la production, le stockage, l'acquisition ou le transfert d'agents « microbiologiques ou à toxines de types et en quantités qui n'ont pas de justifications pour des utilisations en prophylaxie, protection et autres applications pacifistes » (art. 1^{er}). Cette Convention repose donc essentiellement sur la conscience et la bonne volonté des pays qui l'ont ratifiée, car elle est avant tout basée sur la confiance mutuelle. Néanmoins, elle prévoit des conférences d'examen, afin de revoir tous les cinq ans son texte pour contrôler la manière dont il est appliqué et, éventuellement, de proposer des mesures propres à renforcer son efficacité, ainsi qu'un protocole de vérification qui se veut outil de dissuasion.

Cet ouvrage est donc l'occasion pour ses auteurs de souligner la vulnérabilité de notre société face aux armes biologiques, en raison de leur facilité d'accès et de leur capacité à disperser des substances infectieuses ou des toxines, ainsi que la difficulté à contrôler leur prolifération.

Aurélie OUTTRABADY