

# S'interroger à la lumière du passé sur comment dynamiser la recherche en France

Daniel Laurent

**D**e même que les grands axes scientifiques explorés par Jacques-Émile Dubois se révèlent encore riches de promesses aujourd'hui, on retrouve tout au long de sa vie et de sa carrière des options d'une grande modernité et particulièrement d'actualité à un moment où la France est en plein débat sur l'innovation et la valorisation de la recherche : prise de risque, pluridisciplinarité et fertilisations croisées de toutes sortes, ouverture sur l'international, un enseignement novateur par des chercheurs transférant leurs découvertes, dépôt de brevets très tôt dans sa carrière, et plus tard avec le CEA, pour valoriser la recherche, sans jamais abandonner la recherche fondamentale.

Nous partageons tous un même objectif : faire en sorte que nos découvertes scientifiques, et en particulier celles de la chimie, continuent d'améliorer les conditions de vie de

l'humanité sur la planète. Comment optimiser et accélérer cet impact ? Aussi, à la lumière de cet hommage, nous vous proposons un regard sur le riche potentiel des fertilisations croisées défense-industrie-recherche publique et sur certaines pratiques de valorisation en cours dans des pays à forte innovation, ainsi que dans certaines institutions bien françaises !



**Daniel Laurent**

est professeur d'informatique et fondateur de l'Université de Marne-la-Vallée\*.

\* Université de Marne-la-Vallée, Cité Descartes, 5 bd Descartes, Champs-sur-Marne, 77454 Marne-la-Vallée Cedex 2.  
Courriel : daniel.laurent@univ-mlv.fr

## Recherche et Défense nationale

### Une collaboration fructueuse (1961-1995) : la DRME

Jean Carpentier

#### Résumé

La Direction des Recherches et Moyens d'Essais (DRME) offre au cours des années 60-80 un modèle de collaboration défense-recherche universitaire-industrie très porteur. Multidisciplinaire et interarmes, dirigée par des universitaires de renom, elle a pour vocation de susciter la découverte de produits ou composants nécessaires à la Défense, de maintenir le pays à l'avant-garde du progrès scientifique et d'agir comme un catalyseur sélectif sur l'évolution de l'économie. Le bilan est une remarquable remise à niveau de la France dans des secteurs de pointe comme les lasers, la mécanique des fluides, les matériaux, l'information scientifique et technique (IST), l'espace ou l'aéronautique. Aujourd'hui, après une interruption de dix ans, la France revient à ce modèle porteur avec la création en 2005 de la MRIS (Mission Recherche et Innovation Scientifique) au sein de la Délégation Générale pour l'Armement (DGA).

#### Mots-clés

**Recherche, défense, pluridisciplinarité, coopération université-industrie.**

#### Abstract

**Research and national Defense, partnering for success (1961-1995): the DRME**

The DRME ("French Defense Agency for research, facilities, and missile testing"), active from the 60s to the 80s, launched a fruitful collaboration between the Defense, Academia and Industry. Cross-discipline, focused on the future needs of the various armed services, and run by renowned scientists, its purpose was all at once to pilot the discovery of products or components for Defense, to maintain the country at the forefront of scientific progress and to act as selective catalyst of the economy. As a result, France became fully competitive in such cutting edge areas as lasers, fluids mechanics, materials, scientific and technical information, aeronautics and space programs. After a ten year hiatus, France's Ministry of Defense resumed this fruitful model with the 2005 creation of the MRIS ("French research and scientific innovation mission").

#### Keywords

**Interdisciplinary research, defense, academia-industry cooperation.**

## Les années 60 : la France face à l'essor de technologies révolutionnaires

La fin des années 50 et le début des années 60 marquent un tournant technologique à l'échelle mondiale : de nombreuses disciplines scientifiques et techniques y prennent un essor remarquable, notamment avec les satellites du programme soviétique et du programme Apollo de la NASA, la micro-électronique – avec les circuits intégrés –, l'optique – avec le laser et les progrès des détecteurs infrarouge –, et les matériaux composites qui inaugurent une ère nouvelle pour les structures de véhicules et les cellules de missiles.

L'information scientifique et technique (IST) devient aussi un enjeu crucial. Comme l'écrit Michel Salaün dans son analyse des politiques de l'IST [1] : « À cette même époque, les États-Unis, aiguillonnés par la concurrence de l'Union soviétique dans la course à l'espace, mettent en place une organisation nationale de la circulation de l'information scientifique et technique, fondée sur un rapport d'expert (Weinberg, 1963), appuyée par le président Kennedy en personne et coordonnée par une structure fédérale le « Committee on scientific and technical information (COSAT) ». Le traitement automatique de l'information a fait des progrès considérables aux États-Unis. La première base de données publique expérimentale accessible en ligne date de 1964 (MEDLARS). Le premier serveur est fondé l'année suivante (DIALOG). Dans le même temps, IBM assure sa suprématie en lançant la gamme des IBM-360. En 1972, l'ouverture de réseaux de télécommunication spécialisés, Tymnet et Telenet, l'accessibilité directe de banques de données sur les deux grands serveurs américains ou encore la création de la banque juridique en texte intégral, Lexis, confirmeront l'avance considérable prise par les Américains. »

En même temps, les États-Unis mettent en place la DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), organisme chargé des programmes à haut risque, mais à fort potentiel, au sein du DOD (« Department of Defense »).

Ainsi, dans de très nombreux domaines techniques et d'information, le début des années 60 voyait-il s'opérer des mutations radicales, auxquelles la France était encore largement étrangère. La Défense nationale, dans l'attente d'armements nucléaires dont l'étude avait été entreprise avec vigueur au CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique), y était encore fondée sur des armements conventionnels basés sur des techniques classiques. Nous n'avions pas de programme spatial et notre informatique comme notre électronique étaient peu développées. La question à l'ordre du jour était donc : comment nous mettre à niveau et assurer une veille et un renouvellement technologiques constants ?

### Une politique gaullienne volontariste

Certes, dès la Libération, le Général de Gaulle avait, comme le rappelle Pierre Lelong<sup>(1)</sup> « fait de la Recherche une mission de l'État. Sous le nom de RST (Recherche Scientifique et Technique), il lui donne une structure interministérielle qui couvre tous les domaines scientifiques et techniques... et marque que la Recherche est devenue facteur de puissance et d'indépendance nationale par son rôle croissant au service des productions, de l'économie et de la défense. »

L'après-guerre voit la naissance du CEA (1945) et la réorganisation du CNRS, créé en 1939, auxquels viendra s'ajouter au cours des années 50 la DGRST (Délégation

Générale à la Recherche Scientifique et Technique), laquelle « utilise son statut de Délégation et un Fonds qui lui est accordé pour créer des « Actions concertées de Recherche », aides données à des coopérations entre services publics et privés ». La recherche spatiale fait, quant à elle, ses premiers pas avec la création en 1962 du CNES (Centre National d'Études Spatiales).

Mais il faut faire plus pour assurer la mise à niveau de la Défense nationale, non seulement en tant que telle, mais aussi comme partie intégrante de la richesse nationale. Car l'une des forces du Général de Gaulle est d'avoir très tôt compris l'inter-connectivité entre les découvertes à portée militaire et celles à portée civile et la nature profondément intégrée d'une économie, d'une défense et d'une recherche florissantes.

Aussi est-ce dans ce contexte d'explosion de technologies nouvelles des années 50-60, et pour répondre au souci des plus hautes instances de la République d'associer toutes les forces vives de la recherche française à la rénovation de la Défense nationale, que s'inscrit, en 1961, la création de la DMA (Délégation Ministérielle pour l'Armement), aujourd'hui DGA (Délégation Générale pour l'Armement), et en son sein, celle de la DRME (Direction des Recherches et Moyens d'Essais), qui en est membre à part entière, aux côtés des Directions techniques.

### La DRME : une Direction originale

Dès sa création, la DRME se démarque de manière originale et voulue des autres directions de la DMA. Elle est pluridisciplinaire, avec une vocation interarmes unique en France, voire au monde, et dirigée, non uniquement par des ingénieurs de l'Armement ou des officiers, mais également par des universitaires de renom pour faciliter une coopération optimale avec la recherche universitaire.

### Des universitaires pour piloter la DRME

Son premier directeur, de 1961 à 1965, en est le professeur Lucien Malavard, avec pour directeur scientifique Pierre Aigrain. Tous deux sont mondialement connus pour leurs travaux, respectivement en mécanique des fluides et en physique des semi-conducteurs. Le professeur Dubois, éminent spécialiste de la cinétique rapide et pionnier mondial de l'informatique chimique, succède au professeur Malavard en 1965. Il pilotera la DRME pendant douze ans, sous la tutelle de cinq ministres successifs, dont Pierre Messmer, Michel Debré et Yvon Bourges. Il aura longtemps pour directeur scientifique le professeur Jean-Loup Delcroix, expert renommé des plasmas.

Le choix de ces personnalités du monde universitaire et le mariage de leurs compétences complémentaires permit à la DRME de jouer le rôle de catalyseur et d'investisseur sur le long terme, que souhaitait le Général de Gaulle.

### Un fonctionnement pluridisciplinaire en équipe, fondé sur l'écoute et le partenariat

Dès la création de la DRME, les professeurs Malavard et Aigrain avaient constitué autour d'eux une petite équipe d'officiers, d'ingénieurs militaires, d'ingénieurs civils et de personnels du Service de Santé des Armées, médecins et pharmaciens, ainsi que d'universitaires à temps partiel.



Figure 1 - Lancement de la fusée Diamant A, le 26 novembre 1965, qui mit en orbite le premier satellite exclusivement français à partir du champ de tir d'Hammequig.

Il s'agit à l'époque d'une double première car la fusée Diamant est également le premier lanceur spatial à être réalisé par un pays autre que les États-Unis ou l'URSS. La France devient la troisième puissance spatiale mondiale.

J.-E. Dubois et J.-L. Delcroix surent, à leur tour, constituer de remarquables équipes de direction, avec une structure en binôme, représentée par deux adjoints, un officier général et un ingénieur général de l'armement, équilibrant ainsi l'opérationnel et la recherche.

Le rôle de l'officier général était de piloter les relations avec les États-Majors pour établir leurs besoins à long terme, d'assumer la supervision du CIRO (Centre Inter-armées de Recherche Opérationnelle) et celle des Moyens d'Essais, dont le CEL (Centre d'Essais des Landes). Le volet Moyens d'Essais de la DRME offrait à la Recherche le complément précieux des Essais d'où sortaient souvent de nouvelles pistes de recherche. Ce fut la grande époque de l'aventure spatiale française (figure 1) qui culmine avec le lancement d'Ariane de Kourou en 1979 (figure 2).



Figure 2 - Premier lancement d'Ariane, le 24 décembre 1979, depuis le Centre spatial guyanais.

L'ingénieur général assurait, pour sa part, le contrôle de l'exécution de tout le volet recherche scientifique et technique de la DRME, tant par les conventions et contrats de recherche passés avec les laboratoires universitaires et les centres de recherche de l'industrie que par le soutien des établissements sous tutelle ONERA (Office National d'Études et de Recherches Aérospatiales) et ISL (Institut franco-allemand de recherches de Saint-Louis).

Ce binôme – officier général et ingénieur général – formait, avec les professeurs Dubois et Delcroix, un petit groupe riche en échanges ouverts et fructueux, aux apports et aux compétences très complémentaires. Ceci assurait la crédibilité de la DRME auprès de ses différents interlocuteurs, états-majors, universitaires ou ingénieurs généraux des autres grandes directions de la DMA. Un des modes de fonctionnement était d'ailleurs le pilotage, par Dubois et Delcroix, de réunions technico-opérationnelles mêlant ingénieurs et officiers, dont certains avaient le souci d'une véritable politique industrielle, indispensable pour garantir le passage de la recherche aux applications.

Se maintenant toujours au fait des plus récentes avancées scientifiques et techniques dans les domaines les plus variés, J.-E. Dubois et J.-L. Delcroix donnaient à leurs collaborateurs les orientations les plus judicieuses. Leur action contribua très largement aux remarquables percées de la recherche de Défense sous la conduite de la DRME, puis sous celle de la DRET, qui succéda à cette dernière en 1977, percées qui permirent de remettre la France en phase avec les États-Unis.

### Une vocation amont encore renforcée avec la DRET

La DRME assurait l'amont des développements décidés, avec une composante Recherche plus que Développement. Son implication allait jusqu'aux démonstrateurs, la faisabilité opérationnelle étant ensuite du ressort des Directions techniques. Son action propre en Développement était de nature exploratoire. Deux grands programmes structuraient son action :

- le PPRE (programme pluriannuel de recherches et d'études), dans lequel la DRME jouait un rôle de chef d'orchestre et d'exécution ;
- le PPDE (programme pluriannuel de développement exploratoire), où la DRME était seulement chef d'orchestre de la mise en œuvre.

Avec le départ du professeur Dubois en 1977, la DRME confia la gestion de ses volets plus opérationnels à d'autres Directions de la DGA et devint la DRET (Direction des Recherches, Études et Techniques), nom qui précisait bien sa vocation « amont » en matière de veille et de recherche. Les Moyens d'Essais furent rattachés à la Direction des Engins tandis que l'ETCA (Établissement Technique Central de l'Armement à Arcueil), établissement à vocation de recherche appliquée, abritant entre autres le NBC chargé des recherches ayant trait à la protection contre d'éventuelles attaques de nature nucléaire, biologique ou chimique, réintégra totalement la DRET.

Les recherches de Défense continuèrent à se placer à l'avant-garde des connaissances scientifiques et techniques dans un très vaste domaine, avec des applications militaires, mais aussi avec de nombreuses retombées civiles qui étaient facilitées par l'esprit d'ouverture que les responsables de la DRME avaient su instaurer.

### Au programme : imagination et ouverture d'esprit

La vision imaginative du futur et l'ouverture d'esprit figuraient parmi les caractéristiques frappantes de J.-E. Dubois et comptaient parmi les qualités qu'il encourageait le plus chez ses collaborateurs. Elles devaient permettre de déceler les voies les plus prometteuses dans le vaste horizon des recherches susceptibles d'intéresser la Défense et d'accueillir les propositions de chercheurs n'ayant pas toujours une renommée de longue date, mais désireux de défricher des voies hors des sentiers battus.

C'est ainsi que malgré les problèmes apparemment insolubles de sensibilité et de découplage dans les gyroscopes lasers, la DRME encouragea à la SFENA (Société Française d'Équipements pour la Navigation Aérienne, qui fait aujourd'hui partie de Thalès), les efforts de recherche de Georges Bonfils. Ces efforts sur les gyroscopes lasers leur permirent de se généraliser grâce à leurs excellentes performances ainsi qu'à leur miniaturisation (figure 3).



Figure 3 - Gyroscopes lasers Thalès.

### La DRME : une vocation et une mission bien déterminées

Dans un article paru dans le *Bulletin de l'Armement* de février 1972, J.-E. Dubois présente ses réflexions sur la DRME et les recherches de Défense. Celles-ci demeurent, selon l'ingénieur en chef Pierre Schanne (l'actuel directeur adjoint de la MRIS, organisme successeur de la DRET), d'une surprenante actualité (voir encadré 1).

### Bilan général : une remise à niveau, voire une avance de phase de la France dans des domaines de pointe

Les douze années pendant lesquelles J.-E. Dubois dirigea la DRME furent marquées par d'importants progrès techniques des matériels de Défense dont une part notable était due aux avancées scientifiques résultant des recherches suscitées par la DRME. Avec des moyens relativement modestes, la DRME assura ainsi à la France une position mondiale de premier plan, comme pour le Jaguar, premier avion d'appui tactique à être équipé d'un dispositif de désignation d'objectif et de guidage laser autonome, ou dans le domaine de l'infrarouge par sa coopération avec le LETI (voir encadré 2). Dans le domaine, toujours en expansion, de l'électronique et de l'informatique, aussi bien que dans les secteurs plus proches de ses propres recherches, le professeur Dubois faisait preuve d'une vaste

compétence et d'une ouverture d'esprit doublée d'une appréciation pertinente, voire visionnaire, de l'avenir.

De manière générale, tout au long de son existence, la DRME s'est investie dans tous les domaines de pointe et y apporta un concours déterminant. Citons à titre d'exemples :

- **Les lasers** : ceux de faible énergie trouvèrent très vite de multiples applications (télémétrie, désignation d'objectifs, guidage de grande précision). Pour ceux de moyenne et forte énergie, la DRME lança un vaste programme, notamment aux laboratoires de la CGE à Marcoussis, en partenariat avec le CEA (figure 4). Celui-ci étudiait les sources à très grande puissance crête, la DRME s'intéressant surtout aux sources fournissant une énergie élevée pendant un temps suffisant pour pouvoir détruire les dispositifs de guidage des avions ou des missiles attaquants.



Figure 4 - Laser à gaz carbonique LEDA IV, à haute énergie (CGE).

- **Les progrès en microélectronique numérique**, qui permirent de remplacer de nombreux matériels d'armement par d'autres réalisant les mêmes fonctions, avec une précision et une facilité accrues, dans de bien meilleures conditions d'encombrement et de consommation, et avec des fonctionnalités et des systèmes nouveaux.

- **La mécanique des fluides** qui, avec ses deux composantes majeures, l'aérodynamique et l'hydrodynamique, fut pour la DRME un champ de recherches privilégié. Le rôle de l'ONERA fut essentiel pour résoudre les problèmes du transsonique, du supersonique et de l'ypersonique. Des techniques nouvelles d'instrumentation non intrusives, souvent à base de lasers, furent mises au point, avec des applications aussi bien en aérodynamique qu'en hydrodynamique (figure 5). À cet égard, la DRME était particulièrement bien placée puisqu'elle était pluridisciplinaire et chargée aussi bien du domaine aérospatial que du domaine naval.

- **L'énergétique** : les turboréacteurs et les moteurs-fusées furent grandement améliorés grâce aux progrès en aérodynamique interne et à ceux sur les matériaux, ainsi que sur la combustion des ergols.

### Une approche pluridisciplinaire d'une grande souplesse

Ces exemples que l'on pourrait aussi trouver dans de nombreux autres domaines scientifiques et techniques montrent bien la vertu de l'approche pluridisciplinaire et multi-applications qui fut la caractéristique primordiale de la



## Encadré 1

**Extraits de l'article « Réflexions sur les recherches de Défense »  
(L'Armement, Bulletin d'Information et de liaison n° 19, février 1972)**

La création, en 1961, de la Délégation Ministérielle pour l'Armement (DMA) qui regroupait les différentes Directions Techniques marquait la volonté du gouvernement français de fonder désormais la défense du pays sur le développement d'un armement faisant une large place aux technologies les plus avancées.

Une telle politique ne pouvait se concevoir sans le soutien d'une politique de la recherche scientifique orientée pour satisfaire les besoins de la Défense. La création de la DRME, au sein de la DMA, répondait à cette nécessité. Après dix années d'expérience, il nous paraît opportun de tenter de dégager un corps de pensée cohérent sur le rôle des recherches scientifiques de Défense et de tirer quelques conclusions sur les méthodes mises en place pour la planification et la programmation des recherches et des études au sein des armées.

#### S'adapter à l'évolution continue de la menace

Depuis quelques années, nous sommes entrés dans une ère d'évolution continue des techniques d'armement qui modifie profondément l'environnement des problèmes de défense. Les performances des nouveaux systèmes d'armes dépassent de très loin celles des matériels de la génération précédente. La supériorité d'un système par rapport aux moyens d'un adversaire éventuel peut toujours être remise en cause, car un retard technique apparemment insurmontable peut être comblé par le hasard d'une découverte heureuse ou d'un raccourci technique, comme la science nous en a fourni quelques exemples.

**La marge de sécurité sur laquelle se fonde toute politique de dissuasion reste toujours très étroite, alors qu'elle devrait être d'autant plus large que les conflits risquent d'être plus courts.** Jamais n'a été aussi tendu le choix des États-Majors, entre la décision d'engager le développement de systèmes complexes et coûteux, susceptibles d'être rapidement surclassés, et celle de poursuivre les recherches en vue de nouveaux progrès.

En même temps que se poursuit l'escalade des performances des armements, **de nouvelles formes d'agression plus globales ou plus subtiles déplacent les risques jusqu'en temps de paix** et obligent les nations à prendre conscience que leur sécurité dépend de nouvelles contingences techniques, économiques et politiques, qui réclament une vigilance de tous les instants.

Alors même que les grandes puissances hésitent à s'engager directement sur le plan militaire, elles s'affrontent de plus en plus sur le terrain économique. Cette compétition a pour enjeu la conquête des marchés extérieurs pour écouler leur production ou pour assurer leur fourniture en matières premières indispensables, autant que le contrôle des industries-clés des adversaires éventuels.

Du fait des relations d'interdépendance, des contraintes d'approvisionnement en pétrole, gaz, métaux rares, etc. qui les lient aux autres nations, les économies modernes sont relativement plus fragiles que celles qui ont soutenu la Seconde Guerre mondiale. Pour ne citer que deux exemples, il suffit de rappeler les conséquences de la crise de Suez sur l'économie de l'Europe de l'Ouest, ou de mentionner que certains métaux rares peuvent s'avérer indispensables au développement de technologies nouvelles. Ainsi la rareté et le coût des métaux platinoides ont constitué jusqu'à présent un handicap certain à une large exploitation des premières piles à combustible mises au point. D'autres métaux, tels que le tungstène, le molybdène, etc. doivent faire l'objet de stocks stratégiques, dans la mesure où les minerais n'étant pas abondants sur notre sol, ces métaux sont devenus indispensables pour améliorer les alliages spéciaux utilisés pour les turbines d'avions à hautes performances.

Dans cet environnement nouveau, l'ensemble de l'économie est concerné et il convient de repenser en conséquence les missions traditionnelles des armées.

#### Les missions de la DRME

La DRME doit, d'abord, assurer une **veille scientifique et technique**, de façon à :

- **évaluer, en permanence, la menace** que le progrès technique fait peser sur notre société,
- **éclairer le gouvernement**, tant sur l'évolution de cette menace que sur les moyens de l'endiguer ou sur les contre-mesures éventuelles,
- **déceler, à cette fin, les recherches** pouvant orienter la politique d'armement de la nation.

Mais cette mission de veille et d'information ne saurait suffire. Elle doit être complétée par un **programme de recherches dans les domaines jugés**

**importants pour notre politique de défense à long terme.** Il convient, notamment :

- **de découvrir les produits, matériaux ou composants** nécessaires au développement de moyens modernes de défense,
- **de vérifier le bien-fondé de nouveaux principes** pouvant conduire à des applications défensives ou à l'amélioration des systèmes d'armes actuels,
- **de maintenir le pays à l'avant-garde du progrès scientifique**, en permettant aux laboratoires de l'Université et de l'Industrie de s'équiper, de former le personnel spécialisé et d'acquérir les connaissances et le savoir-faire pour la maîtrise des techniques avancées indispensables aux armements modernes,
- **d'agir comme un catalyseur sélectif** sur l'évolution de notre économie, de façon que les capacités de défense de notre pays soient toujours à la mesure de sa puissance.

Aux progrès des systèmes d'armes doit correspondre une évolution comparable des moyens d'essais. La DRME a donc reçu une mission de coordination du développement des moyens d'essais à caractère général, tels que le Centre d'Essais des Landes et le Centre d'Essais de Méditerranée. L'ONERA, placé sous la tutelle technique de la DRME, contribue puissamment à cette mission, notamment par l'importance de ses souffleries et de ses bancs d'essais de propulseurs. C'est aussi le cas de l'ISL qui a une importante activité de recherche en métrologie aérodynamique et balistique.

Plus généralement, dans l'ensemble du domaine des mesures de précision, la DRME joue un rôle primordial dans la création du Bureau National de Métrologie (BNM).

#### Un cadre favorable à la planification des recherches

Bien qu'opérant en étroite symbiose avec l'économie nationale, l'action du ministère de la Défense se distingue de celle des autres départements ministériels par le fait que les crédits de recherche de défense ne sont pas soumis à l'arbitrage général des crédits de « l'enveloppe recherche », mais sont inscrits au budget général des armées, approuvé lors du débat parlementaire sur la loi-programme militaire. Là où, dans le cadre d'une économie libérale, les indicateurs ne permettent qu'une action sectorielle incitative, le choix des programmes de recherche de défense peut s'ordonner en fonction d'un nombre limité de critères, notamment :

- **l'utilité militaire du projet**,
- **la probabilité d'aboutir** à une échéance donnée,
- **la cohérence économique** du projet.

Pour évaluer cette cohérence économique, il convient de préjuger si le projet peut avoir des retombées industrielles dans d'autres secteurs ou de renforcer l'économie nationale. Comment y parvenir et établir des priorités ?

#### Une approche stratégique de la recherche

L'expérience prouve que l'amélioration des performances ou du rapport coût-efficacité d'un système n'est jamais due à l'intégration d'une innovation technique unique et décisive, mais toujours à la juxtaposition de plusieurs, voire de plusieurs dizaines d'innovations.

Rétrospectivement, si l'on prend un recul suffisant par rapport à un programme de recherche multisectorielle de grande ampleur, l'on peut faire apparaître **une matrice Innovation-Systèmes** (figure a) qui met en évidence l'impact et l'effet cumulatif des recherches sur telle ou telle catégorie de systèmes ou dans un domaine scientifique.

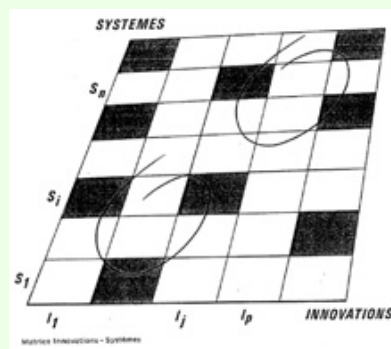


Figure a - Matrice Innovations-Systèmes pour analyser les domaines d'investissement en recherche.

Cette matrice ne peut se concevoir *a priori* et l'on doit s'en remettre à l'intuition des scientifiques ou aux informations fournies par la veille scientifique pour centrer l'effort sur des sujets représentant des créneaux techniques éventuels et susceptibles de servir à notre défense ou au renforcement de notre économie. Faute de pouvoir couvrir tous les domaines de la recherche exploratoire, on est amené à faire des choix.

Sur certains sujets importants mais de nature fondamentale, comme la physique des particules élémentaires par exemple, on adoptera une attitude de veille scientifique en faisant attention que ces thèmes ne soient pas délaissés par les organismes nationaux de recherche exploratoire. Dans d'autres domaines, au contraire, comme celui des lasers, les Armées joueront un rôle de pilote actif en passant des contrats avec des laboratoires de l'Université ou de l'Industrie.

**La stratégie de la recherche s'apparente donc à celle d'un joueur d'échecs** qui, sur une matrice innovations-systèmes en gestation, s'efforcera de placer ses pièces maîtresses à bon escient pour pouvoir contrôler l'évolution de certains domaines scientifiques et être en mesure de les élargir très rapidement si cela s'avère nécessaire pour couvrir les besoins d'un système engagé.

#### **Une politique de partenariat et de contrats éclairés avec l'Université et l'Industrie**

Un souci d'efficacité et d'économie a conduit à développer une politique de recherche sous contrats, passés avec les laboratoires de l'université et des industries de pointe. Pratiquant très largement cette formule pour son propre programme de recherches, la DRME a contribué à faire admettre par tous le bien-fondé de cette politique éclairée de contrats.

Les recherches de défense bénéficient ainsi rapidement des découvertes faites dans les laboratoires de recherche fondamentale, tandis que ceux-ci y trouvent des facilités pour s'équiper sans que pour autant leur fonctionnement soit dépendant de ces contrats. Les chercheurs confient d'autant plus volontiers leurs idées qu'ils savent que la DRME pourra éventuellement les aider à les réaliser, sans les concurrencer dans ses propres laboratoires. Quant aux industries, elles tirent profit d'être associées aux programmes dès le stade des études. Elles y acquièrent un savoir-faire fort appréciable des techniques avancées et, fortes de cette compétence, elles peuvent passer plus rapidement aux stades du développement et de la fabrication quand les décisions en sont arrêtées.

L'industrie française a ainsi pu développer, à partir des centrales de navigation et de guidage par inertie réalisées pour les engins balistiques ou les avions de l'Armée de l'Air, un programme complet d'appareils de navigation pour les avions de transport civil.

Cette aide apportée à l'industrie va dans le sens d'une action des Armées visant à assurer la cohérence de notre économie ou à réduire les insuffisances apparues au cours de sa croissance. Certaines sociétés, parmi les plus importantes dans les secteurs de pointe, ont à ce point compris l'intérêt mutuel de cette coopération qu'elles confrontent régulièrement leurs programmes de recherche à long terme avec celui des Armées. D'où, en permanence, échanges et concertations.

#### **Un rôle d'animation et de concertation**

La DRME se trouvant placée, de par sa mission, au point de rencontre des besoins et des idées est amenée à jouer un rôle d'intermédiaire et d'animateur des différentes phases de toute une série de dialogues aux aspects divers, menant aux choix d'incitations et de contrats (figure b).

L'ouverture sur des mondes différents apparaît primordiale pour son action, qui est par essence pluridisciplinaire. Aussi la DRME a-t-elle été conçue dès ses origines comme un carrefour où se rencontreraient des officiers des trois Armées, capables d'apporter l'expérience des utilisateurs sur les théâtres d'opérations et susceptibles aussi d'apprécier les futurs besoins militaires, des ingénieurs ayant acquis la connaissance des problèmes posés par la conception et la mise en œuvre de systèmes d'armes complexes, des scientifiques, des médecins et pharmaciens pouvant discerner les tendances et le sens de l'évolution des recherches (notamment en biologie et en physiologie) et dialoguer avec les chercheurs des laboratoires concernés.

La DRME ouvre encore cet éventail en faisant appel au concours de personnalités de l'Université ou de l'Industrie, à travers un collège d'experts, présidé par le Directeur Scientifique, pour éclairer de leurs conseils les différents groupes du Service des Recherches.

Un tel mode de fonctionnement nécessite une structure de concertation à la fois très organisée et très souple, où chacun est appelé à jouer un rôle de

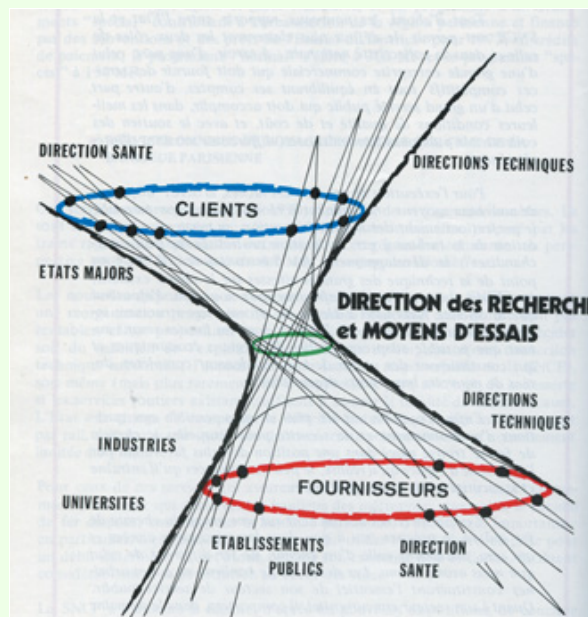


Figure b - Représentation schématique de la position et donc du rôle d'animation de la DRME au confluent des relations entre « fournisseurs » et « clients » en matière de recherche.

pilote dans telle situation et de coopérant dans telle autre.

C'est en outre à la DRME qu'a été confiée l'organisation de la planification des activités de recherche et d'étude, entreprises au sein de la DMA ou sous la conduite des Directions Techniques et du Service des Recherches de la DRME, ainsi que dans les organismes placés sous la tutelle du ministère de la Défense (ONERA et ISL). Chaque Direction Technique conserve toutefois l'entière responsabilité de l'exécution de son programme de recherche dans le cadre de la politique de planification qui, tout en étant centralisée, laisse une grande autonomie à chaque unité opérationnelle.

#### **La méthodologie de planification**

La planification des recherches de Défense repose sur une méthodologie des flux de concertation qui a été mise en place en 1968 au sein de la DMA. Cette planification et cette programmation s'appuient sur une très large concertation, sous l'égide de la DRME qui organise, très en amont, des réunions thématiques sur les sujets scientifiques et techniques les plus divers : l'informatique, la microélectronique, la détection sous-marine, les lasers, l'aérodynamique hypersonique, la propulsion avancée, les matériaux composites, les facteurs humains, etc. À ces réunions sont conviés des personnalités extérieures à la DMA, des universitaires, des industriels choisis pour leur compétence, qui sont invités à confronter leur expérience et leurs idées sur le thème traité. Toutes les méthodes de germination de l'invention y sont utilisées. Ce travail de réflexion permet de dégager, peu à peu, des nouveaux sujets de recherches ou des propositions de modifications et d'inflexions des recherches en cours.

En outre, une méthodologie de l'information a été mise en place, avec le Bureau de l'Information Scientifique créé au sein de la DRME, et le Centre de Documentation de l'Armement (CEDOCAR) qui a été rattaché à la DRME.

#### **Conclusion**

L'action menée, au sein du ministère de la Défense, par la DRME, en étroite liaison avec les États-Majors, le CPE et les Directions Techniques de la DMA, permet de tirer le meilleur parti du potentiel scientifique et industriel national, avec des moyens financiers limités. La mise en œuvre de ces méthodes a instauré une concertation généralisée qui a tissé des liens entre les utilisateurs et les chercheurs des organismes étatiques, universitaires, industriels et a suscité chez tous ces participants une grande motivation à l'égard des programmes envisagés.

Professeur Jacques-Émile Dubois

**Encadré 2****Le domaine de l'optronique**

En optronique, c'est la coopération exemplaire entre la DRME-DRET et le CEA qui permit en 1968 la création, au sein du Centre d'Études Nucléaires de Grenoble (CENG), fondé par le professeur Louis Néel (futur prix Nobel), du LETI (Laboratoire d'Électronique et de Technologie de l'Informatique). Le LETI, dont le premier directeur fut Michel Cordelle, développa des circuits intégrés silicium à grande densité pour mémoires et microprocesseurs et conçut, au sein du LIR (Laboratoire InfraRouge), des matrices de détecteurs dans les bandes de transparence atmosphérique 3 à 5 et 8 à 12 micromètres, avec circuits de lecture CCD (dispositifs à transfert de charges). Cette nouvelle technologie IRCCD fut retenue pour les caméras thermiques utilisées sur les missiles. Un pôle de détection infrarouge fut ainsi créé comprenant le LIR et la société SOFRADIR qui assure l'industrialisation des composants mis au point par le LIR.

L'imagerie infrarouge a apporté un progrès majeur dans l'aviation des systèmes d'armes aéroportés. L'optronique secteur frontal (OSF) de l'avion Rafale a été développée, de 1991 à 1997, par Thomson-CSF et SAT/SAGEM. C'est le seul dispositif au monde à regrouper, dans un faible encombrement, les fonctions de veille infrarouge, d'imagerie infrarouge et TV, avec poursuite et télémétrie laser, en modes air-air, air-sol et air-mer. Ces brillants résultats sont dus à la perspicacité et à la compétence des équipes du CENG/LETI qui ont constamment entretenu des relations très étroites avec la DRME/DRET et les laboratoires universitaires et industriels.

DRME, puis de la DRET qui lui succéda en 1977. Comme souligné par J.-E. Dubois, la DRME ne disposait pas de laboratoires propres et l'effort de recherche animé par la DRME était réalisé par des laboratoires de l'Université ou du CNRS sur la base de conventions, par des centres de recherche de l'État ou de l'industrie avec laquelle des contrats étaient passés. Toutes ces instances pouvaient être forcées de proposition, comme le fut par exemple la CGE (Compagnie Générale d'Électricité) pour les lasers, avec ses laboratoires de Marcoussis.

Les conventions et contrats de recherche passés avec ces laboratoires et centres de recherche étaient sources de moyens et de personnel sous contrat, ce qui procurait une souplesse précieuse aux laboratoires, et permettait la réactivité indispensable pour se lancer dans des voies nouvelles. Ce fonctionnement se retrouve d'ailleurs aux États-Unis, dans le modèle de la US Navy, qui travaille même avec des laboratoires étrangers.

Cette philosophie du « faire faire » au lieu de développer ses propres laboratoires évitait la tentation de pérenniser ses moyens et le risque d'être juge et partie sur des projets, permettant au contraire à la DRME une appréciation de ces derniers en toute indépendance. Enfin, comme l'a souligné le professeur Dubois, cela encourageait la transparence chez les partenaires industriels ou universitaires, qui partageaient d'autant plus volontiers leurs idées qu'on ne les concurrencerait pas dans leur exécution.

**Une pépinière de talents : les scientifiques du contingent**

Une autre activité de la DRME et de la DRET fut la constitution et la gestion d'un ensemble, dit « des scientifiques du contingent ». Il s'agissait de recruter des thésards ou des jeunes diplômés des écoles d'ingénieurs, choisis pour leurs spécialités. Ceux-ci pouvaient effectuer la majeure partie de leur service militaire dans des laboratoires de recherche, évitant ainsi une rupture de leur cursus. L'intérêt avait ainsi la possibilité d'élargir son domaine de connaissances scientifiques et techniques et de trouver des applications qu'il n'avait pas envisagées. En outre, le laboratoire d'accueil pouvait nouer des relations nouvelles



Figure 5 - Visualisation par liquides colorés, au tunnel hydrodynamique, de l'écoulement sur Concorde à basse vitesse (ONERA).

avec le laboratoire d'origine du chercheur. En effet, la règle était d'affecter le scientifique du contingent à un autre organisme que son laboratoire d'origine. Des tissus de relations très fructueuses furent ainsi créés et des carrières, souvent très brillantes, d'anciens scientifiques du contingent en ont résulté, soit dans le public, soit dans le privé.

À titre d'exemple, le logiciel CATIA (Conception Assistée Tridimensionnelle Interactive) fut élaboré au sein des équipes de la société des Avions Marcel Dassault avec le concours d'un jeune scientifique du contingent, Jacques Perriaux, envoyé par le professeur Maurice Bouix, directeur du CETHEDC (Centre d'Études Théoriques de la Détection et des Télécommunications), relevant du directeur de la DRME. Ce logiciel, initialement développé dès 1975 par Francis Bernard pour les maquettes de soufflerie, fut très vite appliqué au dessin des cellules d'avions et des pièces de structure et à l'implantation des équipements à bord (figure 6). « La France a été pionnière dans l'application de l'électronique à la conception des avions avec le système CATIA mis au point par la société Dassault Systèmes en 1977 », écrit Jacques Mousseau dans *La Conquête du Ciel* [2].

CATIA a depuis connu un développement mondial dans le domaine aérospatial et dans bien d'autres domaines. Par un retour ironique des choses, l'on peut lire dans Wikipédia : « il est à noter que CATIA est maintenant utilisé par Boeing, qui avait pourtant développé CADAM, le principal logiciel concurrent de CAO (Conception Assistée par Ordinateur). »

Quant à l'histoire de la filiale Dassault Systèmes, créée en 1981 pour exploiter le logiciel CATIA, elle n'est plus à écrire. Elle est aujourd'hui leader mondial en matière de conception de produits et d'usines, avec plus d'un milliard d'euros de chiffre d'affaires. Brillant exemple de mise en œuvre du cercle vertueux que préconisait le Général de Gaulle.



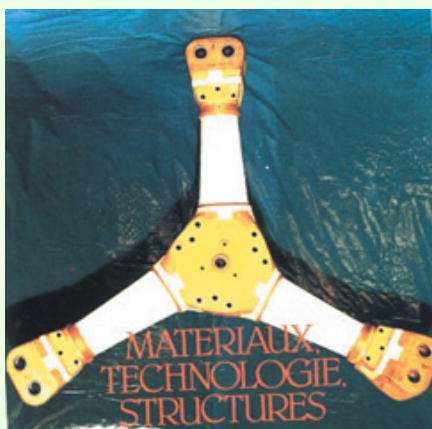
Figure 6 - Cockpits  
a) Caravelle (Sud-Aviation) en 1955 ; b) Falcon 900 B Primus (Dassault) en 2003.



**Encadré 3****Le domaine des matériaux**

Dans le domaine des matériaux, on peut mentionner les matériaux composites thermostructuraux en carbone-carbone ultra-légers, créés en 1958 dans un laboratoire américain. En France, dès la fin des années 1960, la DRME et la DTEN (Direction Technique des Engins) entreprennent avec la Société Européenne de Propulsion (SEP) des recherches sur ces matériaux pour remplacer les métaux réfractaires au feu, trop lourds, dans des pièces de tuyères de moteurs fusée du programme de missile mer-sol balistique stratégique (MSBS) M4. Après les tests de différents procédés de fabrication, les composites thermostructuraux en carbone-carbone deviennent une réalité à la fin des années 1970 pour le M4.

Ces matériaux, comprenant aussi le verre-époxy (figure) sont aussi utilisés pour d'autres éléments comme les freins d'avions militaires. Ainsi en 1979, le Mirage 2000 était équipé de freins en carbone-carbone fabriqués par les sociétés Messier-Bugatti et la SEP. Le Rafale a par la suite bénéficié lui aussi de ces mêmes freins. Dès 1987, des pièces en carbone-carbone de très grande dimension sont réalisées par Snecma Propulsion Solide pour équiper les boosters du lanceur civil Ariane 5. Par la suite, l'introduction du procédé d'aiguilletage, inspiré des textiles non tissés, rendit le procédé compatible avec la production industrielle du freinage civil. Actuellement, l'essentiel des avions passagers de plus de 100 places sont équipés de freins en carbone-carbone, et non plus de freins en acier.



Moyeu Triflex, en verre-époxy, de rotor tripale d'hélicoptère (Aérospatiale).

**Un fonctionnement en réseau, ouvert sur le monde**

Il convient enfin de souligner l'important effort de coopération internationale que J.-E. Dubois, qui maîtrisait parfaitement l'anglais et l'allemand, sut intensifier, au bénéfice tant des laboratoires universitaires que des centres de recherche de l'État ou de l'industrie. Les relations de la DRME avec les organismes de recherche français et étrangers étaient grandement facilitées par la renommée internationale qu'il s'était acquise par ses travaux sur les banques de données, notamment sur le système DARC qui constituait, comme l'a fait remarquer Pierre Aigrain dans *Simplex propos d'un homme de science* [3] « une première mondiale ».

La DRME entretint également des relations suivies avec la DARPA, participa à l'AGARD (Advisory Group for Aeronautical Research and Development) dans le cadre de l'Alliance Atlantique, et avec les centres de recherche militaires des autres pays européens, notamment ceux de Grande-Bretagne et d'Allemagne (figure 7). En outre, elle assura avec l'Allemagne, le financement et le pilotage de l'Institut franco-allemand de recherches de Saint-Louis.

**Au bilan : des réussites très concrètes, illustrant le succès de partenariats publics-privés, avec la DRME en chef d'orchestre, et des retombées tant civiles que militaires (voir encadrés 2-4)**

**Encadré 4****La révolution de l'information scientifique et technique (IST) et des banques de données : une politique pour positionner la France en première ligne**

Jacques-Émile Dubois, assisté du professeur Jean-Loup Delcroix, lui-même engagé dans la constitution d'une vaste banque de données en physique des plasmas, généralisa les applications du système DARC, de façon à faciliter l'exploitation de l'information scientifique et technique dans les domaines de pointe, ce qui projetait la France au premier plan de la révolution de l'IST des années 60-80. En chimie, l'apport d'un logiciel plus évolué et performant que ce qui existait alors aux États-Unis (aux dires du professeur Johann Gasteiger, patron de la chimie informatique à l'Université d'Erlangen et chef de file allemand du domaine : « *The revolution of the DARC system cannot be overstated. Nowadays, as everybody represents chemical structures by connection tables, the structure coding of the DARC system seems quite obvious; at the time of its inception, it was revolutionary!* ») [4], permettant d'interroger et d'exploiter de manière novatrice la base américaine du CAS (Chemical Abstract Society), non encore directement accessible en ligne, fait passer la France du statut de client du CAS à celui de partenaire. Reste à se doter en Europe « d'un serveur et d'un réseau », et « le marché de l'information en chimie, qui paraît l'un des plus prometteurs, est à portée de main » conclut Michel Salaün [1].

Là encore, la DRME a joué un rôle de catalyseur important. Selon Michel Salaün toujours, l'un des accélérateurs en la matière fut « *la rencontre des informaticiens et des scientifiques par la création et l'intermédiaire du BIS (Bureau d'Information Scientifique)* » au sein de la DRME. Le BIS, ajoute-t-il « *permettra à bien des acteurs clés de la période de prendre conscience des problèmes et de tester certaines techniques ou organisations. C'est au BIS que se forment les arguments pour une politique nationale.* » Une des premières réalisations importantes françaises, THERMODATA, date de cette époque. Dans la foulée, l'INRIA (Institut de Recherche d'Informatique et d'Automatique) et l'ANVAR (Association Nationale pour la Valorisation de la Recherche) verront aussi le jour dans les années 60.

Salaün poursuit : « *Un petit groupe d'hommes sera le fer de lance de cette politique. Ceux-ci passent successivement d'un poste de responsabilité à l'autre, marquant de leur empreinte les décisions, directement ou indirectement, pendant plus d'une dizaine d'années. Ils ont en commun d'être de bons connaisseurs de la situation américaine, d'avoir transité pour la plupart par la DRME au ministère des armées, d'être des scientifiques, physiciens et surtout chimistes... et enfin d'avoir une forte personnalité. Les plus célèbres s'appellent Pierre Aigrain, physicien nucléaire, Jacques-Émile Dubois, chimiste, ou Jacques Michel, chimiste.* »

**Quels enseignements tirer de l'aventure de la DRME pour une stratégie de recherche ?**

**Une première dimension essentielle : le mariage de recherches multi-domaines et d'approches expérimentales et numériques pour une innovation de fond**

Dans bien des domaines, les innovations résultent de l'association de résultats de recherches dans des disciplines



Figure 7 - Le professeur Dubois avec le ministre de la Défense allemand Herr von Hassel en mars 1966, suite à une rencontre au sommet du Général de Gaulle et du Chancelier Erhard.



différentes. C'est ainsi que sont nés de nombreux systèmes « hybrides », comme le système Inertie-GPS en navigation par exemple, qui associe deux dispositifs parfaitement complémentaires, le GPS permettant de recalculer l'indication de position fournie par la centrale inertielle, qui donne aussi l'information de vitesse du véhicule, ce qui améliore la précision de position élaborée par le GPS.

Plus généralement, la « révolution du numérique » a conduit à associer des capteurs variés et à optimiser le traitement des données en temps réel en fonction des besoins des utilisateurs. Un véritable dialogue homme/système est ainsi possible dans de multiples applications, civiles ou militaires. Le succès commercial des Airbus A 320 et des avions d'affaires Falcon les plus récents est dû, en grande partie, à l'interactivité entre l'équipage et le système de commande de l'ensemble de l'avion pour le pilotage, la navigation, le contrôle des moteurs et des autres équipements. Ce sont bien les résultats des recherches en microélectronique, en informatique et en optronique qui ont rendu possible cette conception des avions modernes. Ceux-ci ont beaucoup gagné en fiabilité, en économie de carburant, et en réduction des nuisances, tout en allégeant la charge de travail des équipages (voir encadré 5).

**Deuxième élément clé à intégrer : l'évolution, à la fois continue et discontinue, de la recherche**

Ces exemples montrent que l'évolution de la recherche procède à la fois de façon continue, ce qui exige de la part

**Encadré 5**

**Le choc novateur de l'interaction entre le numérique et l'expérimental : exemple de l'aérodynamique**

En aérodynamique, la réduction de la traînée est un objectif permanent, aussi bien pour les avions que pour les hélicoptères, militaires ou civils. Les recherches en vue de réduire le Cx n'ont cessé de porter sur la réduction de la traînée de frottement qui constituait une part importante de la traînée : 30 % pour le Concorde, 45 % pour un avion type Airbus, 70 à 80 % pour un avion d'affaires type Falcon. Les efforts pour réduire la traînée de frottement ont été orientés dans deux voies : l'extension du domaine d'écoulement laminaire, la diminution du frottement turbulent.

L'aérodynamique à grande incidence a aussi fait l'objet d'importantes recherches, en vue :

- d'accroître la supériorité en combat aérien, pour les avions militaires ;
  - de garantir la sécurité des avions civils lors de situations extrêmes dues soit aux phénomènes météorologiques (rafales, cisaillements de vent), soit aux manœuvres volontaires (éviter de justesse d'autres avions ou d'obstacles fixes) ou dangereuses (effectuées par des pilotes inexpérimentés).
- La maîtrise du vol à grande incidence résulte d'une parfaite connaissance de l'aérodynamique de l'avion et de l'efficacité des gouvernes, dans des conditions d'écoulement très différentes de celles du vol normal (vol de croisière nominal).

Pour toutes ces recherches, c'est l'association étroite et interactive entre le calcul numérique, les essais en soufflerie (figure) et les essais en vol qui permet d'accélérer l'étude et la mise au point de nouveaux prototypes, tout en améliorant notablement la sécurité des essais.



Maquette d'Airbus A 320 dans la soufflerie S1 MA (ONERA).

des chercheurs patience et persévérance, et par sauts brusques, qui conduisent à rompre avec les habitudes acquises par les utilisateurs. Ces ruptures interviennent lorsque le résultat d'une recherche est suffisamment sûr et important pour qu'il conduise à concevoir un matériel très différent des matériels en service et qu'il puisse les remplacer en offrant à l'utilisateur des performances meilleures et des possibilités nouvelles. À titre d'exemple, le laser a permis de réaliser des télémètres et des dispositifs de guidage entièrement nouveaux et beaucoup plus performants.

La rupture est souvent d'autant plus importante que sont associés les résultats de recherches dans des domaines variés. De véritables innovations naissent alors. Ce fut le cas pour les systèmes d'armes stratégiques associant la propulsion nucléaire et la centrale de navigation par inertie pour concevoir les sous-marins nucléaires lanceurs d'engins, ou encore pour la composante aérienne de la FNS, avec l'association des possibilités d'avions supersoniques et de missiles à propulsion par statoréacteur (ASMP). Un autre exemple d'innovation majeure est celui de l'association de vedettes rapides à des missiles antinavires, tels que l'Exocet. Ce missile mer-mer peut détruire un bâtiment naval important en l'attaquant par surprise, à la fin d'un vol à très basse altitude au-dessus de la mer. Complètement autonome après son lancement, ce missile dispose d'une centrale inertielle pour effectuer un guidage initial suffisamment précis pour que l'autodirecteur ne soit déclenché qu'en phase terminale. Joint à la possibilité de voler à très basse altitude au-dessus de la mer grâce à un radioaltimètre de grande précision, ceci rend le missile quasi invulnérable. C'est grâce à l'association des résultats de recherches sur les propulseurs à poudre, sur les centrales inertielles, les altimètres et les autodirecteurs qu'une telle innovation a pu intervenir conduisant à une véritable rupture dans le combat naval.

**Troisième facteur clé : recherche fondamentale et recherche appliquée forment une boucle inséparable**

Il est souvent tentant de vouloir délaissier la recherche fondamentale et de se confiner à la recherche appliquée, plus ciblée et axée sur des résultats tangibles. Mais l'une se nourrit de l'autre et l'on ne peut faire l'économie ni de l'une, ni de l'autre. De la recherche fondamentale jaillissent des possibilités que l'on ne pouvait prévoir ; de la recherche appliquée, et même du stade des essais, naissent des questions qui renvoient souvent à la recherche fondamentale ou à la recherche appliquée. Le système fonctionne en boucle (tableau I) : aussi faut-il être ouvert et prêt à investir dans les deux.

Tableau I - L'ONERA : exemple d'une intégration réussie des efforts et du financement.

Type d'approche	Recherche fondamentale	Recherche appliquée	Essais en soufflerie
Durée	10-15 ans	5 ans	Immédiat
Répartition des crédits*	25 %	50 %	25 %

**Bouclage permanent grâce au retour d'idées nouvelles provoquées par les essais**

\* L'ONERA ne réalise que les essais en soufflerie et non ceux en vol, qui représentent la part la plus onéreuse du cycle.

## Encadré 6

**L'innovation, un investissement sur la durée : exemple de l'énergétique**

En énergétique, les recherches ont eu essentiellement pour but d'améliorer les performances des organes propulsifs : turboréacteurs pour les avions, statoréacteurs pour les missiles et moteurs-fusées pour les lanceurs spatiaux.

Les progrès des turboréacteurs reposent sur ceux des compresseurs, des chambres de combustion, des turbines, ainsi que, pour les moteurs des avions de transport, sur les soufflantes de très grand diamètre. Celles-ci donnent accès aux taux de dilution élevés qui sont avantageux, à la fois pour réduire la consommation de carburant et pour diminuer le bruit.

À titre d'exemple, citons les recherches sur les aubes de turbine pour les turboréacteurs d'avions de combat. Ceux-ci doivent avoir une poussée spécifique (rapport poussée sur poids) aussi élevée que possible. Elle est égale à 8 pour le moteur SNECMA M 88 qui équipe le Rafale de Dassault Aviation. Les recherches en cours visent 10 à 15 à l'horizon 2015. Pour atteindre de telles valeurs, il faut des taux élevés de compression par étage, des températures et des pressions de combustion importantes et de hauts taux de détente par étage de turbine. Ceci impose, pour les aubes de turbines, des matériaux ayant une excellente tenue mécanique sous contraintes thermiques élevées. La température d'entrée turbine (TET) du moteur SNECMA M 88 est de 1 850 K (environ 1 580 °C). Ce record mondial a été obtenu grâce aux recherches menées conjointement par l'ONERA, la SNECMA, les laboratoires de l'École des Mines de Paris et la société Imphy. Ces recherches ont permis de réaliser des aubes monocristallines, donc sans joints de grains qui faciliteraient la rupture, en superalliages réfractaires AM 1. Conjointement avec ces progrès sur les matériaux, l'amélioration du refroidissement des aubes de turbine a permis de les faire fonctionner avec

une TET de 1 850 K qui correspond à une température moyenne de sortie de chambre de combustion de 2 000 K, avec une température crête proche de 2 300 K. Dans les turboréacteurs, outre les aubes, les disques de turbines ont à subir des contraintes thermiques et mécaniques élevées. La métallurgie des poudres et le forgeage isotherme ont conduit à mettre au point de nouveaux superalliages base nickel, pour disques de turbines.

Dans ce domaine également, la coopération ONERA-SNECMA-École des Mines-Imphy a abouti à un brillant succès, avec l'alliage N 18 qui offre un excellent compromis entre la résistance mécanique et la sensibilité à la propagation des fissures, dans les conditions de fonctionnement des disques de turbines (650 à 700 °C).

Ces recherches sur les matériaux pour aubes et disques de turbines sont essentielles pour les turboréacteurs militaires ou civils. Elles exigent persévérance et continuité. Il peut s'écouler dix ans avant qu'une recherche sur un nouveau matériau aboutisse au stade du développement. Pour raccourcir ce délai, il est impératif de créer un couplage étroit entre les organismes de recherche et les industriels.

Cet effort de recherche doit s'accompagner de la réalisation de bancs d'essais spécialisés dotés de moyens d'instrumentation fine et non intrusive et conduire à des développements exploratoires et à des moteurs de démonstration. Pour le moteur M 88, des développements exploratoires se sont succédés de 1976 à 1989 et des moteurs de démonstration ont tourné au banc d'essai dès 1984. Ces dates sont à comparer avec celle du premier vol du prototype du Rafale C 01, équipé de deux moteurs M 88-2, le 19 mai 1991. Vingt ans se sont donc écoulés entre le début des recherches sur les matériaux pour le turboréacteur et le premier vol Rafale.

**Dernier élément indispensable à la réussite : une vision à long terme**

Sous l'égide de J.-E. Dubois, la recherche a constitué pour le ministère de la Défense une activité primordiale. L'aboutissement des travaux de recherche se situant entre cinq et dix, voire quinze ans, son action a continué de produire des fruits sur une très longue période (encadré 6).

**Conclusion**

Il faut souligner qu'en 1978, l'effort de R & D pour la Défense était de 140 F par habitant en France. La contribution financière de chaque Français était légèrement supérieure à celle de chaque Britannique, le double de celle de chaque Allemand de l'Ouest, mais seulement la moitié de celle de chaque Américain. En valeur globale, comparé à l'effort américain, l'effort français était donc huit à neuf fois plus faible. Néanmoins, grâce à la qualité des travaux de recherche et d'études amont et aux judicieuses orientations qui leur avaient été données, cet effort financier a permis d'aboutir aux remarquables succès des décennies suivantes.

Le partenariat Défense nationale-Recherche fut, comme on l'a vu au travers des exemples cités, une source de richesse et de progrès pour tous les partenaires. Selon Jacques Mousseau, qui ne couvre que le domaine de l'aviation dans son livre [2] : « *L'aviation militaire, outre son importance technologique dont les progrès rejaillissent sur d'autres secteurs.* » Et de constater : « *L'évolution technique de l'aviation a été dominée par la mise au point de nouveaux matériaux, l'ordinateur et l'électronique* », tous trois domaines de recherche privilégiés sous l'égide de la DRME, dont les retombées civiles ne se comptent plus. Sans se lancer dans des listes fastidieuses, si l'on s'en tient au domaine de l'aéronautique, que ce soit avec Airbus Industrie, aujourd'hui seul réel concurrent de Boeing, ou avec SNECMA, qui se place parmi les plus grands motoristes et équipementiers au monde, ou encore avec Dassault Systèmes, leader mondial en logiciels de conception 3D et de gestion de cycle de vie de produits de tous genres, la France a largement récolté les fruits d'un partenariat Recherche-Défense-Industrie ouvert et intelligemment mené.

La préparation de l'avenir exige un effort continu. Elle ne doit jamais être sacrifiée à des objectifs plus immédiats, mais doit être entreprise méthodiquement, sans pour autant s'interdire une large ouverture d'esprit. Il faut donner toutes leurs chances aux équipes les plus innovantes et faire preuve d'un souci permanent de concertation et de coopération. C'est bien de cette manière que Jacques-Émile Dubois œuvra, pendant ses douze années à la tête de la DRME, et qu'il dégagera des perspectives nouvelles, dans un domaine en évolution très rapide, avec de multiples applications, aussi bien civiles que militaires. Le plus bel hommage qu'il soit possible de lui rendre est de poursuivre son œuvre, en associant science et défense, avec le CNRS, l'Université et l'Industrie, de façon à constamment adapter notre pays à un monde en continue mutation.

Pour conclure, l'ouverture d'esprit, qui prévalait chez les responsables de la DRME et de la DRET et de leurs successeurs et qui les a amenés à travailler en étroite liaison avec des équipes pluridisciplinaires de chercheurs et d'ingénieurs, doit perdurer.

À cette exigence d'ordre qualitatif, il faut adjoindre l'impérieuse nécessité d'adapter les moyens budgétaires aux exigences du contexte international, si l'on veut maintenir le niveau, au plan mondial, de la recherche française de Défense.

**Note et références**

- [1] Pierre Lelong, membre de l'Académie des sciences, professeur honoraire à l'Université Paris 6, ancien conseiller technique au Secrétariat général de la Présidence de la République et ancien président du Comité consultatif de la recherche scientifique.
- [2] Salaün M., La fin de l'IST ? Histoire des politiques publiques françaises en matière d'information scientifique et technique, *Rapport de Recherche*, CERSI, 1991.
- [3] Mousseau J., *La Conquête du Ciel*, Perrin, Paris, 2003.
- [4] Aigrain P., *Simple Propos d'un Homme de Science*, Hermann, Paris, 1983.
- [5] Gasteiger J., *Bulletin 13*, Chemical Structure Association, 2005.

**Jean Carpentier**

est ingénieur général\*. Il fut directeur adjoint scientifique et technique de la DRME (1972-77), directeur de la DRET (1977-84), puis de l'ONERA (1984-91).

\* 5 avenue de la Porte de Sèvres, 75015 Paris.  
Courriel : jean.carpentier@dga.defense.gouv.fr