

COMAERO
COMITE POUR L'HISTOIRE DE L'AERONAUTIQUE

UN DEMI-SIECLE
D'AERONAUTIQUE
EN FRANCE

Ouvrage introductif

Édité par le Département d'histoire de l'armement
du Centre des hautes études de l'armement
2003

SOMMAIRE

<i>INTRODUCTION</i> _____	6
Une interrogation _____	7
Quelques données chiffrées _____	9
Les ingénieurs et leurs témoignages _____	10
La méthode et l'organisation des travaux _____	11
<i>LE CONTEXTE TECHNIQUE DE 1945 À 1985</i> _____	15

PRÉSENTATION DES OUVRAGES DE LA COLLECTION

<i>LES AVIONS MILITAIRES</i> _____	27
Introduction - Présentation _____	27
Grand thèmes abordés _____	31
Conclusion et réflexions _____	34
<i>LES AVIONS CIVILS</i> _____	35
Présentation de l'activité _____	35
Le programme Caravelle _____	39
Le programme Concorde _____	41
Les programmes Airbus _____	46
Le programme Mercure _____	62
Le transport régional _____	64
Les avions d'affaires _____	65
<i>LES MOTEURS AÉRONAUTIQUES</i> _____	67
Généralités _____	67
Quelques éléments de l'histoire des moteurs aéronautiques _____	68
Les moteurs militaires _____	68
Les moteurs civils _____	74
Conclusion _____	79

LES ÉQUIPEMENTS AÉRONAUTIQUES	81
Préambule	81
Introduction	82
Les principaux acteurs	84
L'effet des programmes Mirage IV et Concorde	90
Les conséquences des programmes de missiles balistiques	93
Les relations internationales	94
Conclusion	97
LES TRAINS D'ATERRISSAGE ET LEURS SYSTÈMES ASSOCIÉS	101
Introduction	101
L'industrie française du train d'atterrissage	103
Les développements techniques	106
Le support après-vente	114
Les coopérations internationales	115
Illustrations et témoignages	115
Les prolongements dans les années 1990	116
Conclusion	116
L'ÉLECTRONIQUE	119
LES MISSILES TACTIQUES	123
Avant-propos	123
La création de l'industrie missilière, 1945–1958	124
La maturité, de 1959 à 1980	133
Les missiles intelligents, de 1981 à 1995	140
Épilogue : vers l'eupéanisation des missiles	148
LES MISSILES BALISTIQUES	151
Préambule	151
Structures étatiques et industrielles, moyens et méthodes	152
Programmes d'études et de réalisation des systèmes	155
Champs de tir et essais en vol	172
Quels enseignements pour l'avenir?	177

LES ÉTUDES ET RECHERCHES	179
Les services aéronautiques de l'État et la recherche (1928-1946)	179
SUPAERO et la recherche	181
La recherche institutionnelle en France après 1945 et avant la création de la DMA	182
La création de la DMA et la recherche de défense	183
L'Office national d'études et de recherches aérospatiales	186
Les études et recherches conduites par la DGA	187
Conclusion	196
CONCLUSION	199
La politique industrielle	200
Un environnement économique favorable	206
L'organisation : les grands acteurs	208
L'« aéroculture » française	210
ANNEXE : LES RELATIONS ENTRE L'ÉTAT ET L'AÉRONAUTIQUE	215
La guerre de 1914-1918	217
L'après-guerre, de 1919 à 1928	219
Le ministère de l'Air, de 1928 à 1939	220
La guerre de 1939-1945 et ses conséquences	223
La Délégation ministérielle pour l'armement	227
La période récente	228
Chronologie	232
LISTE DES SIGLES	235

INTRODUCTION

UNE INTERROGATION

La série d'ouvrages que nous présentons ici répond d'abord à une interrogation. Que s'est-il passé ? Pourquoi et comment, à partir de la situation catastrophique où s'est trouvée l'aéronautique française au sortir de la guerre, a-t-elle pu s'inscrire au palmarès mondial, dans les tout premiers rangs, en quelques décennies ?

Le travail effectué sur cette collection répond également à un souci, celui de la disparition progressive des acteurs et, par conséquent, du témoignage vivant de leur travail.

Il y a d'ailleurs là un problème bien connu des historiens, que nous nous contenterons d'évoquer. L'historien travaille sur des documents, écrits ou oraux, si possible authentiques. Il recherche d'abord une vérité objective, en utilisant les recoupements entre sources. L'existence même de cette vérité prête à une discussion que nous laisserons aux philosophes. La recherche de ce qui s'est « réellement » passé – si ce terme a un sens – n'interdit nullement, *a posteriori*, l'interprétation, soit qu'elle replace les faits dans un plus vaste ensemble, soit qu'elle les présente à la lumière des convictions et plus largement de la pensée du chercheur.

La seule considération de témoignages oraux relève évidemment d'une tout autre approche, surtout quand on demande à d'anciens acteurs de dire, près de cinquante ans plus tard, ce qu'ils ont vécu et comment ils l'ont vécu. Cela conduit forcément à une vision subjective des événements, aggravée par l'action de la mémoire, qui décante, mais qui efface aussi.

Ajoutons que les ingénieurs de l'Air – devenus en 1968 ingénieurs de l'armement (IA) – qui sont plus spécialement évoqués dans ce document ne représentent qu'une partie de l'ensemble des ingénieurs, des techniciens et des gestionnaires qui ont cons-

truit notre aéronautique moderne, même si les IA en poste dans l'administration ont joué un rôle spécifique.

Un fait parfois oublié justifie à notre sens cet appel à témoins : l'évolution, de 1945 à nos jours, de la conduite des programmes, petits ou grands. On est passé progressivement, un peu par la force des choses, beaucoup pour des raisons politiques, d'une gestion très dynamique, parfois brouillonne, mais certainement légère, dans une atmosphère d'expansion, à une gestion plus calme, très structurée et devenue lourde – certains diront technocratique –, dans un environnement stagnant ou caractérisé par une croissance lente.

Traduite en termes concrets, cette transition signifie ceci : auparavant, même pour des affaires importantes, peu de papiers, peu de documents écrits, beaucoup de décisions orales convenues ou ordonnées au plus haut niveau. De nos jours, même pour le plus modeste programme, des dossiers épais et fouillés, des réunions nombreuses et des minutes précises, des décisions dûment enregistrées. Bref, on est passé du verbe à l'écrit et d'une gestion empirique à une gestion juridique.

Les historiens de demain trouveront ainsi une matière beaucoup plus abondante sur laquelle fonder leurs travaux. Mais la vérité se cache toujours, et pour cause, avant de sortir du puits. De quel voile scriptural et informatique nos activités d'aujourd'hui se seront-elles revêtues pour cacher le secret des pensées et des cœurs ?

C'est pourquoi, même déformés et subjectifs, les témoignages vécus sont irremplaçables. L'étincelle du vrai peut jaillir de leurs contradictions, voire de la mauvaise foi, consciente ou inconsciente. C'est pourquoi les témoignages des ingénieurs de l'armement restituent un acte important de la saga aéronautique d'après-guerre. De très nombreux ouvrages l'ont contée ; nous espérons y ajouter quelques pages, non sans redondance ni contradiction.

La période retenue s'étend, pour l'essentiel, de 1945 à 1985. Elle dure près d'un demi-siècle, ce qui n'est pas rien. Elle prend fin pendant des années de retournement de tendances budgétaires, caractérisées aussi par une certaine stabilisation et un étalement des programmes, pour déboucher sur les événements qui

ont bouleversé les pays de l'Est et fait disparaître l'URSS, avec l'éclatante victoire de l'OTAN, si peu célébrée, sinon admise.

Le lecteur ne s'offusquera pas de la diversité des textes qui lui sont proposés, certains très didactiques, d'autres à forte coloration historique. C'est parfois voulu et parfois subi. C'est, en tous cas, un signe de vie, et nous souhaitons qu'il soit interprété comme tel.

QUELQUES DONNEES CHIFFREES

Les rapports annuels du GIFAS (Groupement des industries françaises aéronautiques et spatiales), qui ont servi de bases de données, ne sont disponibles qu'à partir de 1958. De plus, un changement de base de recueil est intervenu en 1982-1983, avec l'intégration de l'activité dite « avionique », c'est-à-dire d'électronique embarquée. Les données qui suivent ne doivent donc être lues, paradoxalement, que de façon qualitative.

Le chiffre d'affaires a crû régulièrement et à un rythme élevé. Entre 1960 et 1980, il a quadruplé en francs constants.

Dans le même temps, la part achetée par l'État a décliné, passant des deux tiers à un tiers ; les exportations, tant militaires que civiles, sont donc passées à peu près d'un tiers à deux tiers.

Les ventes de matériel civil ont crû plus vite que celles de matériel militaire, passant de 20 % à 30 % du total de 1960 à 1980. La fin du siècle les voit prendre une place prépondérante, avec 75 % du total en l'an 2000.

En 1985, le chiffre d'affaires consolidé a atteint 72,8 milliards de francs, dont 44 milliards de francs d'exportations, pour un solde net positif de 34 milliards de francs.

L'évolution des effectifs a été nettement plus lente. Elle traduit un fort gain de productivité et une technicité croissante. En 1950, ces effectifs s'élevaient à 85 000 personnes, dont les deux tiers d'ouvriers ; au début des années 1980, ils se montaient à 127 000 personnes, dont seulement un tiers d'ouvriers.

La part de l'activité « avions et missiles » a progressivement décliné : elle est passée de 60 % à 50 %. Les moteurs représentent aujourd'hui un peu plus de 20 %, et les équipements le reste.

LES INGENIEURS ET LEURS TEMOIGNAGES

Au tournant du XXI^e siècle, un grand nombre des « jeunes » ingénieurs qui commençaient à avoir des responsabilités dans les services de la Direction technique et industrielle de l'aéronautique (la DTI) au début des années 1960 sont encore de ce monde, et ils gardent des souvenirs précis de ce que fut cette période et des activités techniques auxquelles ils ont participé. Nés à la fin des années 1920 ou au cours des années 1930, ils étaient alors chef de bureau et avaient, sinon un grand pouvoir de décision, en tout cas un pouvoir certain de proposition... et d'obstruction ! Pour beaucoup d'entre eux, la plus grande partie de leur carrière s'est poursuivie dans l'aéronautique, soit au sein des services officiels, dont ils ont gravi les échelons, soit, à partir d'un certain âge, dans l'industrie – souvent dans le même domaine ou dans un domaine voisin. L'épaisseur du temps leur permet aujourd'hui de voir quelles idées ont conduit à des succès et quelles autres idées, que l'on croyait initialement tout aussi bonnes, n'ont mené qu'à des impasses. Dans tous les cas, leur témoignage est une source originale pouvant servir au travail de l'historien. Si ce témoignage peut parfois (souvent ? toujours ?) être taxé de subjectivité, il est une sorte de fil d'Ariane.

Ces témoignages sont aussi divers que les expériences de leurs rédacteurs l'ont été. Chacun d'entre eux relate les faits dont le souvenir ne s'est pas perdu et cherche à expliquer ce qu'il en est advenu, si les conséquences en ont été favorables ou non. En d'autres termes, les études lancées ont-elles conduit à des succès ou à des échecs ? Les méthodes, et particulièrement les procédures conduisant au choix des recherches, des études et finalement des programmes soutenus par les différents services de la DTI, étaient assez décentralisées, et donc différentes suivant les secteurs. Il est intéressant de se demander si une synthèse de leurs résultats peut aujourd'hui être faite et si on peut en dégager une explication suffisamment commune et générale de nos réussites et de nos difficultés, voire de nos échecs.

LA METHODE ET L'ORGANISATION DES TRAVAUX

La méthode retenue et l'organisation qui en découle n'ont rien d'original, si ce n'est qu'elles font appel à des rédacteurs volontaires et libre de leurs propos.

Nous entendons par là :

- que nul n'a apporté sa contribution à l'ouvrage autrement que spontanément, le plus souvent par devoir agréable de témoignage, quelquefois « sous l'amicale pression de ses amis » ;
- que les travaux ont été menés comme les personnes concernées l'entendaient, ou à peu près ; les partitions ont été l'affaire des auteurs, l'orchestration celle du président et des animateurs de groupes.

La méthode utilisée relève du bon sens, mais aussi de nécessités pratiques. Tous les acteurs sont d'éminentes personnalités, doués de solides caractères qui admettent peu les contraintes, surtout si elles s'exercent sur des témoignages librement consentis.

Le présent document et les ouvrages de la collection correspondante résultent des travaux du Comité pour l'histoire de l'aéronautique (COMAERO). Ce comité, présidé par l'ingénieur général Émile Blanc, ancien délégué général pour l'armement, a été créé au début de l'an 2000, dans le cadre du Comité pour l'histoire de l'armement (CHARME), qui se préoccupe depuis 1998 de promouvoir l'histoire de l'armement français et plus particulièrement celle de la Délégation générale pour l'armement et des organismes qui l'ont précédée. Le Département d'histoire de l'armement du Centre des hautes études de l'armement (CHEAr), dirigé par l'ingénieur général Alain Crémieux puis par l'ingénieur général Jean-Pierre Moreau, anime le CHARME et a assuré le secrétariat du COMAERO depuis sa création. Il organise la diffusion de ses travaux.

La chronologie de la préparation des ouvrages est simple. La première réunion du Comité s'est tenue le 23 mars 2000. Le COMAERO rassemblait alors une vingtaine de personnalités, mais le compte rendu fut adressé à plus de quarante personnes. Le COMAERO est en effet à géométrie variable, en particulier

selon les disponibilités de chacun. Toutefois, la liste de diffusion des comptes rendus s'est progressivement figée. Le COMAERO s'est régulièrement réuni à un rythme environ trimestriel. Ses séances se divisent en deux parties : le point d'avancement des travaux des groupes (difficultés, suggestions...), et les discussions et échanges de vues entre membres présents ; toujours intéressants, parfois passionnants, ces derniers témoignent de l'intérêt que chacun apporte à l'œuvre commune... et aussi de la satisfaction éprouvée à se retrouver ensemble.

Les principales décisions arrêtées par le Comité sont les suivantes. Une collection composée de plusieurs ouvrages est élaborée ; parallèlement, un ouvrage de synthèse, reprenant les résumés des travaux thématiques, est composé. Chaque ouvrage thématique est pris en charge par un groupe animé par un coordinateur. Appartiennent au groupe tous les volontaires qui apportent contribution ou conseil à ses travaux.

La liste des groupes, avec leurs coordinateurs, est la suivante¹ :

LES AVIONS MILITAIRES Jacques Bonnet	LES AVIONS CIVILS Bernard Latreille Georges Ville	LES MOTEURS AERONAUTIQUES Michel Lasserre
LES EQUIPEMENTS AERONAUTIQUES Jean Carpentier	LES TRAINS D'ATTERRISSAGE ET LEURS SYSTEMES ASSOCIES Jacques Veaux	L'ELECTRONIQUE Michel Bergounioux

¹ Des ouvrages issus de groupes concernant les hélicoptères, l'Espace, l'armement et les centres d'essais devraient paraître dans un deuxième temps. Ultérieurement, le COMAERO se penchera sur le sujet de l'après-vente, qui n'est pas traité à ce jour.

<p>LES MISSILES TACTIQUES</p> <p>René Carpentier</p>	<p>LES MISSILES BALISTIQUES</p> <p>Émile Arnaud André Motet</p>	<p>LES ETUDES ET RECHERCHES</p> <p>Jean-Marc Weber</p>
--	---	--

Les caractéristiques de la série d'ouvrages sont pour l'essentiel le résultat de l'esprit, de l'organisation et de la méthode mis en place. Au risque d'une certaine redondance, on est revenu, dans chaque ouvrage, sur la participation personnelle des rédacteurs.

Ces documents ne prétendent pas être des documents « historiques » dans toute la plénitude du terme. Ils ont été rédigés par des ingénieurs, anciens acteurs de l'aéronautique, qui ne sont pas des historiens de profession. Ils ont le souvenir de leurs activités professionnelles dans les services officiels et/ou dans l'industrie et ils ont pu compléter certains de ces souvenirs par l'examen d'archives ; mais la plupart ne peuvent prétendre avoir fait œuvre d'historien, avec tout ce que cela comporte, notamment la recherche la plus exhaustive possible de toutes les archives disponibles.

Par ailleurs, aussi objectifs qu'ils aient cherché à être, ils ne peuvent prétendre avoir été complètement exempts de ce défaut naturel qui consiste à avoir une faiblesse pour ce qui a fait sa vie – ou du moins une partie importante de son expérience professionnelle. Peut-être le lecteur averti trouvera-t-il, çà et là, que la mariée est un peu belle et que tout ne s'est pas passé aussi bien ni aussi harmonieusement que le souvenir le rapporte. Peut-être pourra-t-il souhaiter qu'un autre témoignage vienne compléter, voire corriger ou infirmer les conclusions du rédacteur. Une certaine partialité fait partie de la loi du genre. Nous croyons pouvoir écrire qu'en l'occurrence, elle n'est pas excessive, et nous espérons que ce qui a été réalisé constituera un ensemble de « matériaux pour l'histoire » d'une qualité suffisante pour participer à la construction de l'histoire de la renaissance de l'aéronautique française.

On soulignera enfin une évidence : l'ouvrage s'ajoute à ceux qui traitent du sujet aéronautique. Il ne saurait se substituer à aucun d'eux, et certainement pas aux travaux menés depuis longtemps par le GIFAS et par d'autres organismes professionnels.

C'est un éclairage limité dans le temps et dans l'espace. C'est un éclairage partiel, peut-être partial, qui vise à révéler un pan souvent ignoré d'une réalité complexe.

LE CONTEXTE TECHNIQUE DE 1945 À 1985

À partir de 1945, dans le prolongement des efforts des belligérants de la Deuxième Guerre mondiale, l'aéronautique s'est caractérisée par un progrès technique continu et rapide, ainsi que par de nombreuses innovations et d'importantes mutations.

C'est dans le domaine des moteurs que se produisit la mutation la plus immédiatement visible, avec l'avènement des turbo-réacteurs, qui supplantèrent les moteurs à pistons et permirent d'accéder aux vitesses soniques, puis supersoniques, inaccessibles aux avions à hélices.

De son côté, l'aérodynamique des cellules (voilures et fuselages) fit également de grands progrès. Pour le haut subsonique et le transsonique, les recherches et les essais en souffleries conduisirent aux profils minces et aux ailes en flèche. La découverte, en 1951, de la « loi des aires » permit ultérieurement de réduire l'amplitude de la « bosse de traînée » en transsonique, qui empêchait le passage des avions en régime supersonique en vol horizontal. Les avions de combat purent ainsi atteindre et dépasser Mach 2 en vol horizontal.

Pour les avions de transport, les « profils supercritiques », conçus en 1965, permirent de reculer le Mach de divergence de traînée : il en résulta, pour les Airbus et les Boeing, la possibilité de voler à une vitesse économique plus élevée (Mach de croisière de l'ordre de 0,83 à 0,85).

D'autre part, la maîtrise du concept d'aile delta fut très favorable aux performances du Concorde et de nombreux types de Mirage.

Mais ces éclatantes mutations et innovations ne doivent pas éclipser l'importance des progrès continus. Pour les cellules, l'aérodynamique fit l'objet de recherches incessantes, faisant appel aussi bien à la théorie et au calcul qu'à l'expérimentation. Les grandes nations se dotèrent de souffleries de recherche et

d'essais, particulièrement bien adaptées aux besoins industriels : ce fut le cas, en France, des souffleries de l'ONERA, notamment de celles du centre de Modane, dans lesquelles les maquettes de tous les avions français et de nombreux avions étrangers furent essayées. Dans le domaine des essais en vol, d'importants progrès furent introduits, pour les méthodes et les moyens d'essais, grâce à la technique des enregistreurs photographiques, étudiés et mis au point par le Centre d'essais en vol, très en avance sur les techniques alors disponibles.

Des améliorations continues furent aussi obtenues pour les turboréacteurs ATAR de la SNECMA ; les progrès de leur aérodynamique interne et ceux des matériaux pour disques et aubes de turbine permirent d'obtenir des poussées spécifiques de plus en plus grandes, qui contribuèrent directement au succès des avions de combat Dassault.

Pour les avions de transport, le concept de moteur à haut taux de dilution permit de réduire à la fois la consommation de carburant et le bruit au décollage.

Pour les cellules d'avions, les alliages d'aluminium, qui avaient permis l'essor de l'aéronautique des années 1930, firent l'objet d'études d'améliorations, telles que celles qui conduisirent à l'alliage AU2GN, qui a encore de bonnes caractéristiques mécaniques à 100° C et permet donc le vol de croisière de Concorde à Mach 2.

Les succès des métallurgistes français permirent également d'utiliser des aciers à très haute résistance, tels que le Maraging et le 35 NCD 16, pour les attaches de voilure et pour les trains d'atterrissage ; d'autre part, les capacités de forgeage françaises furent très développées, grâce notamment à la presse de 65 000 tonnes acquise par l'État, puis rétrocédée à l'industrie. Celle-ci maîtrisa l'ensemble des techniques de production, d'usinage et de protection des éléments de structures en acier à très haute résistance, nécessaires aux avions de combat comme aux avions de transport.

Cette remarquable progression de l'aérodynamique, de la propulsion et des structures conduisit certains à prévoir, au cours des années 1960, l'accès des avions de combat à des vitesses supersoniques élevées, supérieures à Mach 3 et allant même jusqu'à Mach 5.

En fait, ces prévisions ne se sont pas vérifiées : les avions en opération depuis 1985 ne volent pas à des vitesses très supérieures à Mach 2. Pour atteindre de telles vitesses, il eût fallu modifier complètement la propulsion et les structures des avions de combat. Du point de vue du rapport coût-efficacité, il était bien préférable de tenir compte des progrès des missiles air-air et air-sol, ainsi que des améliorations des radars de bord. Ces progrès étaient dus à la progression fulgurante de l'électronique, avec les inventions successives du transistor à jonctions (1958), du circuit intégré (1959) et du laser (1960).

Le développement simultané de la microélectronique, de l'optique (notamment en infrarouge) et des techniques numériques eut des conséquences dans tous les domaines : pilotage et navigation des avions, conduite de tir, guidage des missiles, et ce pour toutes les applications du combat aéroterrestre ou aéro-naval. Les missiles air-air de Matra, à autoguidage infrarouge ou à autoguidage électromagnétique, et les armes (bombes et missiles air-sol) à guidage laser équipant les Jaguar de Bréguet et les Mirage 2000 de Dassault démontrèrent à la fois la capacité technologique de l'industrie française, aéronautique et électronique, et l'excellence des choix des états-majors et des services techniques de la DMA, puis de la DGA.

Dans le domaine de la navigation, deux innovations se succédèrent. Le radar Doppler aéroporté permit de mesurer et d'indiquer la vitesse par rapport au sol, en grandeur et direction, fournissant de plus avec précision la force et la direction du vent à l'altitude du vol ; mais son emploi exigeait l'utilisation d'une centrale gyroscopique donnant le cap avec une précision homogène. Par la suite, la centrale à inertie permit de déterminer la vitesse et le cap, sans nécessiter l'emploi d'un radar Doppler aéroporté. Mais, en France, ce fut d'abord pour les missiles balistiques que l'on utilisa le guidage inertiel, avec de brillants succès en ce qui concerne les performances et la fiabilité.

Soulignons aussi l'effort continu des théoriciens et des techniciens de l'électronique pour faire progresser les radars au sol et les radars embarqués. Les progrès techniques dans le domaine des dispositifs émetteurs à l'état solide et des ensembles de commande associés permirent de réaliser le balayage électronique, qui conduisit aux radars multifonctions et multibandes, in-

dispensables pour la défense aérienne, le combat air-air et l'attaque au sol.

L'industrie aéronautique exploita très tôt les possibilités du numérique, que ce soit au stade de la recherche, avec les grands calculateurs scientifiques, ou du bureau d'études, avec la conception assistée par ordinateur (CAO), ou encore de la fabrication, avec la commande numérique des machines-outils. Les bureaux d'études de Dassault et d'Aérospatiale n'ont pas ménagé leurs efforts dans ce domaine ; il faut souligner les succès retentissants du système CATIA (conception assistée tridimensionnelle interactive) de Dassault, qui est largement utilisé, non seulement dans le secteur aéronautique, mais aussi dans de nombreux autres secteurs industriels, en France et à l'étranger.

Le calcul en temps réel a également représenté une avancée très importante, développée dans les applications aéronautiques, tant pour les systèmes embarqués que pour les simulateurs au sol.

L'association de l'aérodynamique et de l'électronique a conduit à des concepts nouveaux, notamment celui de l'avion à stabilité variable, formule qui fut très étudiée au Centre d'essais en vol. L'utilisation des commandes de vol électriques (CDVE) se généralisa, aussi bien pour les avions de combat – qui pouvaient ainsi exploiter pleinement les possibilités aérodynamiques de voilures telles que l'aile delta – que pour les avions de transport. Concorde fut un pionnier mondial pour l'utilisation des CDVE. L'expérience acquise grâce à ce programme fut très précieuse pour la famille des avions Airbus, dont le succès est largement dû à l'excellence des choix techniques des équipes d'Aérospatiale.

La généralisation des postes de calcul permit aux ingénieurs de dialoguer avec le calculateur central, dont les performances, sans cesse accrues, introduisirent un changement radical dans la conception des avions (et autres véhicules aérospatiaux).

Les nouveaux projets aérospatiaux firent appel à un échange permanent entre les modélisateurs numériques et les expérimentateurs, aussi bien pour l'aérodynamique que pour les structures et pour la discrétion électromagnétique : la conception des avions de combat, des bombardiers et des missiles put ainsi être optimisée pour concilier les besoins en matière de performances

et les exigences en furtivité, en infrarouge ou en ondes centimétriques et millimétriques.

Parallèlement à ces progrès des méthodes et des moyens de calcul numérique, des avancées considérables se produisirent pour l'expérimentation, aussi bien au sol qu'en vol : au sol, avec une instrumentation précise et non intrusive dans les souffleries de l'ONERA et dans la soufflerie transsonique européenne ETW, avec les bancs d'essais de moteurs au CEPr (Centre d'essais des propulseurs de Saclay), de cellules et d'atterrisseurs au CEAT (Centre d'essais aéronautiques de Toulouse), et d'essais d'ambiance à la SOPEMEA ; en vol avec la trajectographie, les mesures à bord et les télémessures, au CEV (Centre d'essais en vol de Brétigny-sur-Orge), au Centre d'essais des Landes et au Centre d'essais de la Méditerranée.

Dans le secteur des turbomachines, il faut citer la place unique de Turboméca, dont le fondateur, Joseph Szydłowski, sut imposer ses concepts pour la motorisation des hélicoptères. La synergie qui s'opéra entre Turboméca et Sud-Aviation, puis Aérospatiale, fut, conjointement avec les innovations concernant l'aérodynamique et les matériaux pour la cellule et le rotor, à l'origine des succès des hélicoptères français, tant pour les besoins nationaux, civils et militaires, qu'à l'exportation.

La France fut aussi au premier rang dans le secteur des statoréacteurs, où René Lorin et René Leduc avaient été les pionniers. Le Griffon II, à turbo-statoréacteur, de Nord-Aviation (qui avait repris les équipes Gozzlan-Flament de SFECMAS) battit, en 1959, le record du monde de 100 km en circuit fermé, à 1 640 km/h (piloté par André Turcat). Puis les innovations apportées par les équipes de l'ONERA et d'Aérospatiale furent consacrées par le succès du missile air-sol moyenne portée (ASMP). Ce missile supersonique est au cœur de la composante aérienne de la Force nucléaire stratégique (FNS), car il donne à l'avion porteur (Mirage IV, Mirage 2000 N, Super Étendard) l'allonge indispensable à son efficacité opérationnelle.

Il faut également souligner l'expansion des équipements français de 1945 à 1985, non seulement dans le domaine de l'élec-

tronique, mais aussi dans ceux de l'hydraulique et de la mécanique. En effet, dans l'immédiat après-guerre, les équipementiers étaient restés essentiellement spécialisés dans les programmes militaires. Pour Caravelle, il fallut acheter des licences de fabrication en Grande-Bretagne.

Cependant, une politique de recherche technologique, menée activement avec le soutien de l'État, permit de proposer des équipements performants sur Concorde, puis sur Airbus, et de conquérir plus de 50 % du marché sur l'Airbus A 300.

Le meilleur exemple est peut-être celui des freins d'avions. Les efforts conjugués de Messier-Bugatti et de SEP aboutirent, dès les années 1984-1985, aux premiers remplacements, sur Airbus, des freins à disques acier par des freins à disques carbone-carbone. Ce saut technologique conduisit à des gains de masse spectaculaires (560 kg sur Airbus A 300-600) et permit à l'industrie française des freins de se hisser aux tout premiers rangs mondiaux.

La qualité des choix, pour les techniques de propulsion et de guidage, permit de concevoir des ensembles (véhicules lanceurs et missiles) optimisés, face aux diverses menaces et dans des conditions d'emploi opérationnel variées. Cela donna lieu à la généralisation d'études de systèmes, dans lesquelles les théoriciens aussi bien que les techniciens français excellèrent. À titre d'exemples, citons les systèmes avion et missiles air-air et air-sol, navire et missiles mer-mer, ou encore porte-avions et avions embarqués.

La réalisation des missiles balistiques de la FNS (SSBS, sol-sol balistiques stratégiques, et MSBS, mer-sol balistiques stratégiques) exigea des progrès techniques et des innovations dans de nombreux domaines : les propergols composites butalanes (avec perchlorate d'ammonium, polybutadiène et aluminium, mis au point par la SNPE), ainsi que les enveloppes de propulseurs et les matériaux ablatifs pour les têtes, furent les clés du succès, pour la propulsion et la rentrée, tandis que les techniques inertielles de haute précision étaient maîtrisées par la SAGEM, aussi bien pour la navigation des SNLE (sous-marins nucléaires lanceurs d'engins) que pour le guidage des missiles stratégiques.

La technologie des propulseurs des missiles balistiques ainsi que les moyens industriels mis en place ont été très utiles pour

réaliser ultérieurement, à plus grande échelle, les moteurs à propulseur solide du lanceur lourd Ariane 5. De même, les centrales inertielles à gyros laser de la SFENA, dont l'étude commença en 1978, avec l'aide de la DRET (Direction des recherches, études et techniques), ont permis d'assurer l'injection très précise, sur orbite de transfert, des satellites géostationnaires par les lanceurs de la famille Ariane.

Les performances des avions, des hélicoptères, des missiles et des lanceurs spatiaux dépendent, non seulement des progrès de l'aérodynamique, de la propulsion, de la détection et du guidage, mais aussi de ceux des matériaux et des structures.

Les alliages de titane, tels que le TA6V, conviennent aux aubes et disques de compresseur, tandis que les superalliages à base de nickel sont très utilisés pour les aubes et disques de turbines. La métallurgie des poudres à grain très fin fit faire de grands progrès aux disques de turbine ; elle fut, avec l'élaboration des aubes monocristallines pour les turbines, à l'origine des performances des moteurs SNECMA les plus récents, tels que le M 88 qui équipe le biréacteur Rafale. La température d'entrée turbine du M 88 (1850 K) constitua un record mondial, obtenu grâce aux recherches conjointes de la SNECMA, de l'ONERA, de l'École des Mines et de la société Imphy.

Dans le domaine des matériaux composites à matrice organique, l'apport de l'industrie aéronautique fut également très important. Les composites résine-fibres de verre furent très tôt développés pour les moyeux et pales de rotors d'hélicoptères. Les composites à fibres de carbone sont utilisés en pourcentage croissant sur les avions civils et militaires. L'industrie aéronautique française fit, dans ce vaste domaine, un effort continu, pendant plusieurs décennies – ce qui eut d'importantes retombées en dehors du secteur aérospatial.

Pour le fonctionnement à plus haute température, l'industrie aéronautique et spatiale française, notamment Aérospatiale et la SEP, entreprit d'importantes recherches sur les composites à matrice métallique, les composites à matrice céramique et les composites carbone-carbone, qui trouvèrent de nombreuses applications, civiles et militaires.

Ainsi, tout en rénovant les techniques « traditionnelles », telles que celles relatives à l'aérodynamique, à la propulsion et aux matériaux, l'industrie française fit appel à un large éventail de techniques nouvelles, comme la microélectronique, l'optronique, l'automatique et le calcul numérique, qu'elle contribua particulièrement à développer. Aux équipements et instruments de bord analogiques des décennies 1950 et 1960 succédèrent des ensembles numériques optimisés, à la base d'une nouvelle branche de l'aéronautique : l'avionique.

Certaines études exigèrent des avancées scientifiques, notamment en ce qui concerne le traitement du signal, la détection électromagnétique, la furtivité, l'analyse des effets atmosphériques, l'instrumentation *in situ* et à distance. La communauté aérospatiale française s'est rapprochée du monde scientifique, auquel elle a fourni non seulement des sujets de recherche inédits, mais aussi de puissants moyens d'expérimentation.

Ce renouveau eut, certes, lieu également ailleurs dans le monde, mais force est de constater que les recherches, études et réalisations entreprises de 1945 à 1985 par l'industrie aéronautique française, aussi bien pour les applications civiles que pour les besoins militaires, la placèrent aux tout premiers rangs mondiaux.

PRESENTATION
DES OUVRAGES
DE LA COLLECTION

LES AVIONS MILITAIRES

Coordinateur d'ensemble : Jacques Bonnet

INTRODUCTION - PRESENTATION

L'histoire de l'aéronautique a déjà été écrite par de nombreux historiens. Notre but n'a donc pas été de la réécrire, mais d'apporter un certain nombre de témoignages d'acteurs étatiques de cette histoire.

La période considérée a été le théâtre d'une évolution considérable et très rapide de la technique et, parallèlement, des coûts de développement et de construction. Parmi les facteurs qui ont eu une influence marquante sur l'histoire de l'aéronautique de cette période, il faut citer les plus importants.

Le développement considérable et très rapide des techniques de mise au point

Au début de la période, la composition et les formes des machines volantes se déduisaient d'un prototype à l'autre par l'expérience et une grande part d'intuition – ou de génie. On construisait, on montait quelques instruments de vol, puis on réalisait des essais en vol, et l'avis du pilote était prépondérant dans le jugement porté sur les qualités de l'appareil réalisé.

Petit à petit, on a su réaliser des installations d'essais de plus en plus complexes, mais qui fournissaient aux ingénieurs et aux instances de décision des éléments de jugement plus scientifiques et moins subjectifs.

Puis les moyens de mise au point du projet préalables au vol se sont considérablement développés et sophistiqués : moyens d'essais en soufflerie, bancs d'essais des structures statiques et dynamiques, bancs d'essais des systèmes de servitudes hydrauliques, électriques, radioélectriques, simulateurs d'abord mécaniques ou électrohydrauliques, puis simulateurs sur ordinateurs de plus en plus complexes, permettant de connaître, avec une certitude de plus en plus grande, toutes les caractéristiques essentiel-

les de l'appareil, dès sa conception et avant son premier vol. Le développement de ces moyens a permis de réduire les risques encourus lors des essais en vol, mais également de s'engager avec moins d'aléas dans les phases ultérieures de développement des matériels, présérie ou série. Parallèlement, les délais et les coûts des travaux préalables aux vols ont, petit à petit, augmenté dans des proportions non négligeables.

Le développement des systèmes d'armes

L'avion des années cinquante était un véhicule équipé d'un moteur, d'un circuit hydraulique, d'un circuit électrique, d'un circuit de conditionnement d'air et sur lequel on avait monté des instruments de pilotage et de radionavigation, en nombre limité en général, et qui avaient été développés, la plupart du temps, indépendamment des avions auxquels ils étaient destinés.

Les avions actuels sont des systèmes d'armes complexes dans lesquels toutes les fonctions interagissent les unes sur les autres : les commandes de vol, le pilotage, la navigation, le suivi de terrain, la détection et la poursuite des objectifs, la préparation du tir, le tir, le compte rendu de tir, l'autoprotection, les relations au sol, la préparation de mission, la maintenance, l'entraînement des équipages...

L'ensemble forme un tout où tous les éléments constitutifs sont interdépendants, et cet ensemble, le système d'armes, est développé comme tel dès le départ. Bien sûr, l'informatique joue un rôle éminent dans le développement et la constitution de cet ensemble. Ce concept de système d'armes s'est d'abord développé à l'occasion du Mirage IV, puis des Mirage III E et R, et est devenu systématique pour tous les avions d'armes.

Le développement de la coopération

La période qui nous intéresse a vu la mise en place de coopérations internationales, d'abord timides et difficiles, vu l'expérience inégale des différents coopérants potentiels. Puis, petit à petit, cette coopération est devenue une nécessité incontournable : on ne conçoit plus, maintenant, qu'un aéronef soit développé par un État seul, ou un industriel seul, sans une coopération internationale ou, au moins, nationale.

Les premières coopérations internationales dans le domaine des avions militaires ont été mises en place à l'occasion du développement du Bréguet Atlantic et du Transall.

Elles nécessitent une volonté politique des pays coopérants, une organisation étatique et une organisation industrielle définissant clairement les responsabilités, les pouvoirs et les prérogatives de chaque participant. Elles nécessitent également la définition claire d'un besoin commun pour le matériel à développer, les engagements financiers, les besoins en matériels de série, les délais souhaités, le partage industriel. Des accords intergouvernementaux, signés au plus haut niveau de chacun des États participants, formalisent les décisions prises dès le départ et les précisent éventuellement au cours des phases ultérieures du développement.

Les acteurs, étatiques et industriels, ont donc dû s'adapter et adapter les façons de faire nationales aux contraintes de la coopération internationale.

Parmi celles-ci, l'application des règlements administratifs, différents dans chacun des pays européens en cause, ainsi que les us et coutumes, fruits des habitudes plus que de l'application stricte des règlements, ont créé des incompréhensions ou même des climats de méfiance. Le climat de confiance dans les relations habituelles entre représentants de l'État et de l'industrie, qui était de mise en France dans le domaine aéronautique, a dû faire place, petit à petit, à plus de rigueur et plus de formalisme. Cela a nécessairement conduit à plus de lourdeur et à une augmentation sensible des délais et des coûts.

L'utilisation d'une langue différente de la langue nationale, pas toujours bien maîtrisée par les acteurs nationaux et nécessitant l'emploi quasi systématique d'interprètes, a également constitué une cause d'incompréhensions, de retours en arrière et de délais. Les concepts administratifs, liés aux habitudes et cachés derrière les termes utilisés, ont quelquefois créé des difficultés. Ainsi, le terme de compromis, utilisé pour définir un partage de responsabilité, était beaucoup plus péjoratif chez nos partenaires allemands que chez nous.

La coopération internationale ne s'est pas toujours faite, comme ce fut pratiquement le cas pour l'Atlantic, sur un matériel défini par une fiche programme unique. Les besoins divergeaient dès le début, ou bien ont divergé au bout d'un certain

temps, pour les programmes Jaguar et Alphajet. Et, même dans le cas d'une définition unique au départ (celui du Transall), les interprétations, au cours des discussions de détails ou lors de maquettages, par exemple, ont fait apparaître des divergences, qui ont singulièrement compliqué les prises de décisions. Par ailleurs, le souvenir encore relativement proche des réalisations allemandes de la dernière guerre a conduit les services allemands à préconiser et à défendre des solutions techniques qui se sont avérées inacceptables, après de longs et coûteux essais au banc.

Le partage industriel est également une des difficultés majeures, consommatrice de coûts et de délais, de la coopération internationale. Le partage se fait traditionnellement au prorata des commandes ou des intentions de commandes de série. Ces dernières n'ont pas toujours été respectées, et des compromis ont dû être élaborés, nécessitant des efforts de part et d'autre. La coopération industrielle étendue à la plupart des équipements, même relativement mineurs, a été une solution permettant d'éviter l'adoption quasi systématique d'équipements d'origine américaine.

L'ouvrage dont le plan détaillé est donné ci-dessous n'est ni encyclopédique ni exhaustif. Il s'attarde plus particulièrement sur certains matériels représentatifs de la période considérée, susceptibles d'illustrer le fonctionnement des services. Certains matériels qui ont existé sur le papier ou même dans la réalité peuvent ne pas faire l'objet d'exposés, et certains pourront y trouver à redire. Nous le regrettons bien sûr.

Les opinions émises sont celles des auteurs/acteurs. Ils se sont passionnés pour leur métier dans l'aéronautique et leurs opinions ont, nécessairement, une part de subjectivité que nous n'avons pas cherché à estomper ou à cacher. D'aucuns, trop occupés, n'ont pas pu participer à ces travaux, et nous ne pouvons que le regretter. Ce document paraîtra peut-être un peu décousu et déséquilibré : il a en effet été rédigé par différents auteurs, qui ont donné leurs points de vue personnels.

GRAND THEMES ABORDES

Réflexions sur la période 1945-1985 Le plan quinquennal aéronautique, 1951-1955

Après une analyse des causes des nombreux échecs rencontrés dans les développements aéronautiques français de l'immédiat après-guerre, le général Gallois donne des détails sur l'élaboration et le contenu du plan quinquennal 1951-1955 qui fut, en quelque sorte, à l'origine du renouveau de l'industrie aéronautique française au sortir de la guerre.

La conduite des programmes d'aéronefs militaires, 1944-1985

Sous ce titre figure une analyse du fonctionnement des services – ceux de la Délégation ministérielle pour l'armement et ceux de l'état-major –, en ce qui concerne le développement des aéronefs militaires (avions et hélicoptères) : partage des responsabilités, processus et méthodes, moyens de contrôle.

Détermination du prix d'achat des avions et hélicoptères militaires, 1960-1990

On trouvera là une analyse détaillée des méthodes appliquées par les services pour la négociation du prix d'achat des avions et hélicoptères militaires, avec de nombreux exemples. Ce chapitre expose la « loi de Wright », couramment utilisée dans les industries de construction mécanique, et donne, pour information, une liste de prix (ordres de grandeur) des principaux matériels en cours d'approvisionnement en 1990.

Réflexion sur le concept de systèmes d'armes

C'est dans la période 1960-1990 que se sont mises en place progressivement, en fonction des progrès de la technologie des capteurs, de l'électronique et de l'informatique, les méthodes de définition, de conception et de développement des systèmes embarqués dans les avions de combat, destinés à aider les équipages à remplir leurs missions avec la meilleure efficacité.

Grâce à la mise en œuvre systématique de l'approche « système », déjà appliquée au système d'armes Mirage IV et à la coopération des avionneurs et des équipementiers au sein d'équipes dites « de coordination », les progrès de la technologie ont pu être appliqués en continu sur tous les programmes successifs d'avions de combat, destinés à la France ou à l'exportation.

La numérisation des systèmes et leur intégration au moyen d'interfaces homme-système évoluées ont vu le jour dans les années 1970-1975 et se sont généralisées, peu à peu, dans tous les domaines : capteurs, calculateurs, visualisations, transmissions d'informations, commandes, armements, moyens de stockage de données, maintenance intégrée, préparation de mission, etc. – mais aussi tous les autres équipements de l'avion : commandes de vol, propulsion, équipements avion.

Cette application de la numérisation des systèmes a permis de faire face à l'explosion de la charge de travail des équipages d'avions de combat, due à la complexité des armements air-air et air-sol et à la mise en œuvre des moyens de contre-mesures actives et passives (indispensables pour la pénétration en territoire ennemi).

En parallèle, les moyens de développement et de mise au point au sol et en vol, en particulier pour la production des logiciels embarqués, se sont modernisés et multipliés pour aboutir à un véritable « atelier », global et multipartenaires, opérationnel dans le programme Rafale.

L'industrie française des équipements, en utilisant les techniques et composants disponibles aux États-Unis, a peu à peu acquis la capacité de concevoir, développer et produire les matériels correspondants dans toutes les catégories : radars, communications, calculateurs, capteurs électro-optiques, autodirecteurs, etc. Tel était l'aboutissement constaté au moment de la production du Rafale.

Avions de combat

L'aperçu historique, largement inspiré d'un texte de Jean Cuny¹, couvre la période 1948-1958, allant du Vampire à l'avènement du Mirage III, en passant par le Mistral, l'Aquilon, l'Ouragan, le Mystère II, le Mystère IV, les Super Mystère, les chasseurs tous temps, avec le Vautour, les chasseurs tactiques légers du concours NATO, qui ont finalement donné naissance à l'Étendard IV de la Marine nationale, et finalement les intercepteurs légers, puis les chasseurs polyvalents, dont les études permirent d'aboutir au développement du Mirage III.

Le Mirage III, le Mirage F1 et le Jaguar, ainsi que tous les travaux qui ont permis d'aboutir au Mirage 2000 en passant par la période « décollage vertical » et la période « géométrie variable », font l'objet de développements particuliers. La naissance du Rafale, elle, est simplement évoquée.

Avions de transport militaires

Ce chapitre analyse les travaux liés à trois programmes qui ont donné lieu à des réalisations de série (éventuellement minimales) : le Nord 262, le Bréguet 941 et le Transall C 160.

Avion-école

Le programme Alphajet fait l'objet d'une analyse détaillée par ceux qui ont été ses premiers ingénieurs de marque ou directeurs de programme.

Le Mirage IV

Ce programme important fait l'objet d'un chapitre à part, constitué d'un document dû à l'ingénieur général Forestier, « Le Mirage IV raconté par son ingénieur de marque » (synthèse de deux conférences), et d'un document sur le système de navigation et de bombardement du Mirage IV, écrit par ceux qui ont

¹ Jean CUNY, *Les avions de combat français, 1944-1960*, éd. Larivière, 1988.

été parmi les principaux acteurs étatiques du développement de cet ensemble.

Avions de la Marine

À un historique, dû à Michel Mosneron Dupin et couvrant la période allant de 1955 jusqu'à l'Alizé, s'ajoutent deux autres documents évoquant le Bréguet 1150 Atlantic et l'Atlantique II, dus en grande partie à Marcel Berjon.

Autres avions

D'autres programmes, pourtant importants, ne sont pas étudiés dans ce document (Nord 2501, Dassault 312, Fouga Magister...) : à leur propos, on se reportera utilement à l'ouvrage publié par le GIFAS².

CONCLUSION ET REFLEXIONS

Il est très difficile, et sans doute trop ambitieux, de recueillir les opinions et les sentiments de tous les principaux acteurs étatiques des développements aéronautiques de cette période prolifique. Certains ne sont plus parmi nous ; certains ne se sentent pas de talents d'écrivains ; certains sont trop occupés pour pouvoir consacrer suffisamment de temps à cette sorte de pensum ; d'autres n'ont pas conservé assez de souvenirs précis de leurs travaux dans l'administration et n'ont pas, alors, pris ou conservé les notes qui auraient aujourd'hui été utiles ; certains n'ont pu être contactés. L'ensemble un peu disparate qui en résulte pourra tout de même, nous l'espérons, intéresser les lecteurs indulgents.

² Groupement des industries françaises aéronautiques et spatiales, *L'industrie aéronautique et spatiale française : 1907-1982*, Paris, GIFAS, 1984, 3 vol.

LES AVIONS CIVILS

Coordinateurs d'ensemble : Bernard Latreille et Georges Ville

Le rôle des services officiels dans la conduite des programmes d'aéronefs civils se distingue de leurs missions habituelles dans le domaine de l'armement, ce qui rend nécessaire une présentation de l'activité, avant l'exposé des programmes.

PRESENTATION DE L'ACTIVITE

Le marché du transport aérien

Le marché du transport aérien, de dimension mondiale, fait intervenir trois acteurs :

- le passager et son besoin de transport, exprimé sous la forme du trafic aérien ;
- la compagnie aérienne et la mise en œuvre opérationnelle du transport ;
- le constructeur d'avions de transport et la réalisation des produits.

Le développement du trafic aérien est lié à l'exploitation des avions équipés de turboréacteurs à la fin des années 1950. La croissance élevée constatée au cours de la période 1950-2000 a tendance à se réduire : elle n'est plus que de 5 % par an vers 2000, contre 15 % vers 1960. L'évolution fait aussi apparaître de fortes variations cycliques, en corrélation avec les fluctuations de l'économie.

La flotte des avions exploités dépend des besoins de transport, mais elle est aussi affectée par le comportement des acteurs. En particulier, l'attitude aventureuse de certaines compagnies aériennes a eu pour conséquence une évolution des livraisons nettement plus chahutée que les fluctuations du trafic.

La construction des avions civils

Les caractéristiques propres de l'activité découlent directement des particularités du transport aérien et de la nature du produit « avion », compte tenu :

- du coût d'une présence mondiale sur tous les créneaux d'utilisation (en termes de capacité et de rayon d'action) ;
- du fort impact des progrès technologiques sur l'efficacité des produits, réclamant une expérience et un savoir-faire reconnus : Aérospatiale les a acquis grâce au développement de la Caravelle et du Concorde, SNECMA et les équipementiers français grâce aux programmes militaires et au Concorde ;
- du niveau des frais associés au développement des produits, exigeant de grandes ressources financières pour entrer et se maintenir sur ce marché.

L'ensemble des coûts liés à la commercialisation et l'amortissement des frais de développement conduisent à un volume de frais fixes déterminant dans l'économie de la compétition. Une analyse macro-économique de leur couverture par les marges de production montre que seuls deux constructeurs se partageant également le marché peuvent rentabiliser et pérenniser leur activité. Ces considérations permettent de mieux comprendre la situation actuelle du duopole Airbus-Boeing.

L'administration et ses missions

En France, la tutelle de l'industrie aéronautique a, dès le début de la période étudiée, été dévolue au ministère responsable de la Défense – dont la désignation a souvent changé. Dans ce cadre, mais aussi pour des raisons de compétences, les services de ce ministère ont été conduits à suivre les programmes aéronautiques civils.

Au sein du ministère chargé de l'aviation civile (Transports, Travaux publics ou Équipement selon les périodes), les questions relatives au transport aérien étaient traitées par le SGAC (Secrétariat général à l'aviation civile), devenu en 1976 DGAC (Direction générale de l'aviation civile).

Parmi ses attributions figurent des sujets dont le traitement demande une certaine spécialisation en technique aéronautique, comme la certification des aéronefs, ou conduit à des échanges assez techniques avec des services du ministère des Armées, comme l'évaluation par le STAé (Service technique aéronautique) de la qualité des projets d'avions civils présentés par les industriels pour obtenir le soutien du budget de l'aviation civile.

Pour éviter une coûteuse duplication des moyens, il fut décidé de mettre un petit nombre de personnels de la DTIA à la disposition du SGAC.

Vers 1960, ces personnels étaient affectés à la sous-direction technique de la Direction des transports aériens, dans un Bureau du matériel volant, responsable à la fois des questions de certification et de développement des projets d'avions civils (validité des programmes, estimation des dotations budgétaires à inscrire au budget de l'aviation civile ou à l'article 5 : cf. *infra*).

En 1966, les difficultés constatées dans la gestion du programme Concorde conduisirent le gouvernement à nommer un ingénieur de l'armement de compétence reconnue (initialement l'IC Forestier) comme chargé de mission auprès du directeur des transports aériens et du directeur technique des constructions aéronautiques, en vue d'améliorer la coordination des actions des deux ministères sur ce programme. Cette mission fut étendue au programme Airbus en octobre 1967.

En 1970, le volume des affaires augmentant dans les domaines de la certification et des programmes d'avions civils, un Bureau des programmes aéronautiques (hors Concorde et Airbus) fut créé dans la sous-direction technique, à côté du Bureau du matériel volant qui se concentra alors sur la certification.

En 1976, la structure trouva sa forme cohérente actuelle avec la création de la Direction des programmes aéronautiques civils, longtemps confiée à des ingénieurs de l'armement.

Depuis 1953, les opérations de développement¹ de matériels civils sont inscrites au budget du ministère des Transports – initialement pour des financements en régie et de plus en plus, à partir de 1965, sous la forme d'avances remboursables forfaitai-

¹ Études, fabrications prototypes, essais et constitution des outillages de série.

res. Les crédits ainsi ouverts sont transférés pour emploi au ministère des Armées.

Cette organisation a été retenue pour ne pas doubler les moyens et pour tirer le meilleur parti des compétences et expériences des services du ministère des Armées.

En dehors du budget de l'aviation civile, les programmes aéronautiques (cellules, moteurs ou équipements) purent profiter d'avances remboursables grâce à une procédure instaurée par l'article 5 de la loi de finances rectificative pour 1963 « pour faciliter la présentation en temps utile de matériels aéronautiques ». La procédure interministérielle d'attribution, tenant particulièrement compte des perspectives à l'exportation, faisait appel entre autres aux avis du SGAC et de la DTIA.

L'organisation bicéphale des services a probablement contribué à rendre plus difficile la perception des insuffisances des services français en matière de certification, et par là à empêcher de prendre les mesures (y compris financières) qui auraient permis à la France de tenir, dans la création d'une Europe de la navigabilité, une place à la hauteur de ses responsabilités dans les grands programmes aéronautiques.

Que ce soit pour l'établissement de la réglementation ou pour les travaux de certification d'un produit nouveau, la DGAC doit se reposer sur un travail considérable des experts et techniciens du STAé (ou de ses successeurs).

À l'occasion de deux opérations exceptionnellement importantes (rédaction des TSS Standards pour la certification de Concorde et préparation de l'édition originelle des JAR, *Joint Airworthiness Requirements*), le STAé a fait un très gros effort, qui a pourtant montré la limite des moyens que la France pouvait consacrer à cette activité peu spectaculaire, mais essentielle.

TSS Standards, JAR et certification de type de plusieurs avions simultanément mirent en évidence le fait que, plus que de problèmes d'organisation, l'administration française souffrait d'un manque de moyens en personnel spécialisé dans la navigabilité.

L'Europe de la sécurité des avions civils se fera sans doute finalement. Beaucoup d'entre nous regretteront que la France ne se soit pas donné les moyens d'y prendre une plus grande part, digne de la participation de son industrie dans Airbus.

LE PROGRAMME CARAVELLE

Lancée par le gouvernement en avril 1953, Caravelle permet la première présence française sur le marché international des avions de transport civil. Commandée par Air France, puis SAS, en février et juin 1956, après qu'un premier prototype eut volé le 27 mai 1955, certifiée le 2 avril 1959, Caravelle entra en service commercial le 6 mai 1959. La dernière Caravelle fut livrée le 19 mars 1973.

La série de 280 Caravelle produites est honorable par rapport aux 101 Comet de tous types, 54 VC-10 et Super VC-10, 117 Trident et même 232 BAC 1-11. Mais quand on la compare aux scores des deux produits américains (de l'ordre de 2500 DC-9 et dérivés et 5000 Boeing 737 de tous modèles), on constate que le succès commercial n'a pas atteint ce qu'on aurait pu espérer.

La Caravelle aux États-Unis

United Airlines (UAL) est la seule compagnie aérienne des États-Unis à avoir commandé (en février 1960) et exploité une flotte de vingt Caravelle IV R, de juin 1961 à octobre 1970. Elle s'en est toujours déclarée satisfaite.

En septembre 1961, trois mois après la mise en service par United Airlines, TWA commandait vingt Caravelle XA à réacteurs double-flux GE CJ-805.23C. L'avion comportait quelques améliorations par rapport au type VII A, alors objet depuis plus d'un an d'un accord avec Douglas pour sa commercialisation aux États-Unis et pour une possible production en série. Douglas, après avoir tiré tout ce qui l'intéressait de ses discussions avec Sud-Aviation, lança finalement le DC-9, que TWA acheta après avoir résilié sa commande de Caravelle. Le marché américain se fermait pour Sud-Aviation.

Les acquis du programme

Sud-Aviation et l'industrie aéronautique française dans son ensemble ont retiré des acquis considérables du programme Ca-

ravelle, qui contribua à familiariser Sud-Aviation avec la culture du transport aérien international et ses exigences.

Sud-Aviation se forgea une image de fournisseur sérieux et crédible pour l'industrie du transport aérien. Cette image, encore renforcée par la qualité technique reconnue du Concorde, fut un argument extrêmement favorable pour Airbus.

La certification de Caravelle a entraîné la formation d'un noyau de généralistes et de spécialistes formés à la philosophie et à la pratique de la certification (à Sud-Aviation, mais aussi dans les services officiels). C'est en partie grâce à cet acquis qu'a pu être mené à bien l'extraordinaire travail d'établissement de la réglementation applicable à la certification de Concorde, en étroite coopération avec l'ARB britannique (*Air Registration Board*).

La Caravelle en service chez Air Inter fut le premier avion de ligne à être autorisé à pratiquer des approches automatiques en conditions de visibilité « catégorie III a », le 2 mars 1967. La réalisation de ce système plaça la France en position de pointe pour l'étude des futurs systèmes d'atterrissage automatique.

Le programme Caravelle montra qu'il ne peut pas y avoir de large succès commercial sans une pénétration du marché nord-américain.

La défaillance commerciale

Les raisons du relatif échec commercial ont fait l'objet de nombreuses analyses, qui s'avéreront précieuses lors du lancement des futurs produits Airbus.

Caravelle s'est rapidement trouvée dépassée en performances économiques par ses concurrents plus récents, en raison en particulier d'une section du fuselage non adaptée au transport de fret en conteneurs de soute.

Les dirigeants de Sud-Aviation qui ont succédé à Georges Hérel, jusqu'à l'arrivée d'Henri Ziegler en 1968, n'ont pas attaché suffisamment d'importance ni d'urgence à l'évolution de Caravelle. Le lancement de la Caravelle 12 (premier vol le 29 octobre 1970) a été beaucoup trop tardif.

Au départ, Sud-Aviation n'était pas reconnu comme un fournisseur expérimenté du transport aérien, comme Douglas, Lock-

heed et Boeing aux États-Unis, ou Vickers (Viscount), de Havilland, Hawker Siddeley et Bristol au Royaume-Uni.

Le processus de décision en matière financière, entre l'entreprise et l'État-actionnaire, n'était pas favorable à une gestion souple du programme de production.

LE PROGRAMME CONCORDE

La genèse

Dès 1955, dans le monde entier, les experts aéronautiques prenaient conscience que la maîtrise des problèmes du vol à Mach 2 était à portée de main. Il semblait alors aller de soi que le transport aérien devrait bénéficier de ce progrès, qui allait diviser par deux les temps de déplacement.

Au Royaume-Uni et aux États-Unis, l'initiative fut prise par des organismes gouvernementaux sous forme d'assez larges concertations, incluant des représentants des compagnies aériennes. Les conclusions du STAC (*Supersonic Transport Aircraft Committee*) britannique et du programme SCAT (*Supersonic Commercial Air Transport*) américain laissaient penser que le transport supersonique pouvait être économiquement viable.

En France, l'initiative ne vint pas des services officiels, même si l'ONERA travaillait depuis 1950 sur l'aérodynamique des voilures élancées avec tourbillons d'apex, qu'on retrouva dans le projet Sud-Aviation (voilures delta à bords d'attaque aigus et bouts d'ailes tronqués à forme parabolique). En 1957, le président de Sud-Aviation demanda d'étudier le concept d'un moyen courrier supersonique, successeur de Caravelle, devant pouvoir transporter 80 passagers sur 3 000 à 4 500 km. Le président Héreil voulait éviter d'attaquer de front l'industrie américaine, dont il était persuadé qu'elle se lancerait dans le supersonique long courrier.

L'équipe de Sud-Aviation parvint dès la fin de 1958 à des conclusions fermes. Il ne fallait pas dépasser Mach 2,2 pour la croisière et la voilure delta à forte flèche était la seule capable de loger le carburant nécessaire, tout en ayant les caractéristiques aérodynamiques compatibles avec la croisière supersonique.

À la fin de 1959, la DTIA adressa une demande d'étude de faisabilité à Sud-Aviation, Nord-Aviation et Dassault. L'objectif

fixé était de transporter à vitesse supersonique 60 à 80 passagers sur 3 500 km, en décollant sans post-combustion d'une piste de 2500 m. Le nombre de Mach de croisière était laissé au libre choix des industriels. Les réponses étaient demandées pour la fin de 1960, mais aucune concertation n'était prévue avec les compagnies aériennes nationales.

C'est le projet Super Caravelle de Sud-Aviation qui fut retenu. Parti d'un delta pur avec canard et trois (!) dérives, il était progressivement devenu très proche de ce qui devint Concorde, avec trim supersonique par transfert de carburant du volumineux apex de la voilure ogivale vers un fuselage arrière allongé. Il était aussi très proche des Bristol 198, puis 223, auxquels les Britanniques étaient arrivés en 1961. BAC (dont l'ancien Bristol Aeroplane faisait alors partie) et Sud-Aviation parlaient donc des langages très proches, à ceci près que les Français parlaient d'un moyen courrier, les Anglais d'un long courrier.

Le programme franco-britannique

Le 29 novembre 1962, la France et la Grande-Bretagne se sont donc engagées dans un programme commun, sur la base d'un partage 50/50 équilibré année par année, avec l'espoir d'un marché de l'ordre de 150 appareils. En fait, seize Concorde de série ont été fabriqués (huit sur chacune des deux chaînes de montage, requises pour satisfaire la notion du prestige de chaque pays), après deux prototypes et deux avions de présérie. Quatorze ont été exploités par les deux compagnies nationales, qui ne les avaient pas vraiment souhaités et ne les ont payés que symboliquement ou pas du tout. En 2002, douze étaient toujours en service.

L'accord portait sur deux versions bénéficiant du même niveau de priorité : un moyen courrier et un long courrier pour cent passagers. En fait, la version moyen courrier a été, heureusement, abandonnée en 1964 et les avions de série ont été des longs courriers capables de transporter cent passagers sur Paris-New York en croisant à Mach 2,05.

Des masses maximales au décollage respectives de 90 et 100 tonnes étaient envisagées. En fait, elle est de 185 tonnes.

L'accord prévoyait un premier vol au deuxième semestre 1966. En fait, le premier vol du prototype 001 a eu lieu à Toulouse le 2 mars 1969, quatre ans après que la définition de l'avion eut déjà subi une évolution majeure (opération Espace de mai 1965), dont les prototypes ne tenaient évidemment pas compte. Le premier avion vraiment conforme à la définition de série (avion 203) ne vola qu'en janvier 1975.

La certification était prévue pour le deuxième semestre 1969. En fait, la certification française a été obtenue en octobre 1975. Les vols commerciaux commencèrent en janvier 1976, mais la *Port of New York Authority* réussit à retarder l'accès à JFK Airport jusqu'au 19 octobre 1977.

L'accord estimait le coût du programme à 1 865 millions de francs de 1962 pour les deux pays, soit environ 14,5 milliards de francs de 2000 ou, pour la France seule, 7,25 milliards de francs plus taxes (20 %) et dépenses annexes. En fait, à la date de la certification, et en exprimant les chiffres en francs de 2000, avec les approximations que cette transformation et l'effet des dévaluations comportent, les dépenses budgétaires françaises pour le programme de développement (hors prêts du Trésor, mais avec taxes et investissements annexes) ont été à peine inférieures à 44 milliards de francs². On peut estimer que le coût du programme de développement pour les deux nations a été, hors toutes taxes, de l'ordre de deux fois 36, soit environ 70 milliards de francs de 2000, à comparer aux 14,5 milliards de francs de 2000 correspondant au devis annoncé en 1962.

La dérive des coûts de développement a eu de multiples causes.

Les estimations de départ étaient irréalistes, la sous-estimation étant en partie due à la méconnaissance des difficultés qu'il faudrait surmonter.

On a « refait l'avion » au moins deux fois, sinon « deux et demie », comme le disait l'IGA Jean Forestier. Dans les premières années, beaucoup trop de travaux, et donc de dépenses, n'ont

² Voir à ce sujet C.-A. SARRE, *Le dossier-vérité du Concorde*, éditions Aéronautiques, 2002, pp. 233 et 349. Cet ouvrage, malgré quelques erreurs et quelques interprétations subjectives, comporte de nombreuses informations intéressantes.

pas concouru de façon efficace à la réalisation du programme final, parce qu'ils ont dû être repris en tout ou partie, à cause de changements majeurs de la définition.

Jusqu'à la certification, le programme a duré treize ans, au lieu des sept qu'on estimait au moment du lancement. L'augmentation de durée à pleins effectifs est évidemment une cause directe d'augmentation des coûts.

L'absence d'une instance de haut niveau chez les industriels, unique et stable, fixant une stratégie claire, a certainement entraîné des retards considérables. Le caractère politique de l'entreprise et les considérations de prestige³ conduisirent à des structures de management complexes, qui ne donnaient pas le pouvoir de décision à un responsable unique, et dont sir James Hamilton, l'alter ego britannique de Forestier à la tête du CMB (*Concorde Management Board*), créé en 1967 pour améliorer l'efficacité de l'action officielle, déclara « qu'il n'y avait aucun doute que ce processus de décision était incroyablement tortueux »⁴.

Trop d'équipements ont été choisis en fonction des contraintes imposées par la notion de prestige national et par la nécessité de respecter l'équilibre des dépenses dans les deux pays, et non pas sur la base de la qualité ou de l'expérience.

La conduite du programme en régie n'a pas incité les constructeurs à contrôler énergiquement les dépenses.

Malgré tout, la définition de Concorde de série constitue une réussite technique. Cette réussite a été laborieuse, car, finalement, le défi était plus difficile que les experts ne le pensaient au départ. L'objectif fixé était vraiment à la limite des possibilités technologiques de l'époque. Il a fallu modifier la définition très profondément par deux fois, et de façon importante une troisième⁵, gagner du poids en permanence, augmenter la poussée et

³ Ce fut surtout le cas chez les avionneurs dont chacun pouvait, souvent à juste titre, prétendre maîtriser tous les domaines de la conception de la cellule et de ses organes aussi bien que son partenaire.

⁴ James HAMILTON, *Concorde, Story of a Supersonic Pioneer*, Owen, Science Museum, 2001, p. 128.

⁵ Mai 1964 : voilure +15 %, poussée +10 %, autorisant le décollage à 138 tonnes, 100 passagers sur Paris-New York, abandon du moyen courrier. Mai 1965 (Espace) : capacité de 130 passagers, par allonge-

changer la conception de la tuyère, améliorer l'aérodynamique des extrémités de voilure, le contrôle des entrées d'air, etc. Les ingénieurs du STAé ont suivi ces processus en détail, dialogué avec les industriels dans un esprit critique positif, et parfois en les poussant à des évolutions qui ont finalement permis d'atteindre le difficile objectif (opérations Espace et PanAm B2, augmentations de la masse au décollage).

Comme l'industrie, qui a fait la preuve d'une compétence technique supérieure – qui joua plus tard dans la crédibilité de l'Airbus européen face à Boeing –, le corps des ingénieurs d'armement a retenu beaucoup de leçons de sa participation à l'opération Concorde. Ces leçons, il les a mises à profit pour éviter aux hommes politiques de répéter à propos de l'Airbus – qui risquait de naître lui aussi comme un programme politique, même si ses bases économiques et commerciales étaient autrement solides – les erreurs qui ont tant nui au déroulement du programme Concorde.

Le programme Concorde a fait progresser l'ensemble des industries du secteur aérospatial européen, en particulier en France. Certains équipementiers français n'auraient pas pu être retenus sur l'Airbus s'ils n'avaient pas fait leurs preuves sur Concorde.

Beaucoup pensent, tout simplement, qu'on n'aurait pas réussi l'Airbus si on n'avait pas fait Concorde.

ment du fuselage et de la cabine, augmentation de la capacité de carburant, décollage à 150 tonnes, avec possibilité d'aller à 163 tonnes. Enfin, 1967 (PanAm B2) : reprise importante de la structure du fuselage due à l'agrandissement de deux issues de secours, exigé par les certificateurs.

LES PROGRAMMES AIRBUS

L'histoire d'Airbus nous conduit à distinguer sept périodes :

- la gestation d'Airbus, de 1965 à 1968, se terminant par la signature, le 26 septembre 1967, du protocole d'accord entre les gouvernements français, anglais et allemand, lançant une phase préliminaire de définition ;
- la naissance d'Airbus, de 1968 à 1970, marquée par le retrait du gouvernement britannique, la signature de l'accord intergouvernemental du 29 mai 1969 entre la France et l'Allemagne et la création d'Airbus Industrie, le 18 décembre 1970 ;
- l'enfance d'Airbus, de 1970 à 1974, révélant la pertinence des organisations techniques et industrielles mises en place, tous les objectifs du programme de développement de l'A 300 B étant atteints ;
- la jeunesse d'Airbus, de 1974 à 1978, consolidant ces premiers résultats, malgré un environnement peu favorable, avec l'apprentissage du marché et la mise en place des organisations administratives et financières ;
- l'adolescence d'Airbus, de 1978 à 1984, marquée par la reconnaissance du produit par le marché, par le retour des Britanniques et par le lancement de l'A 310 ;
- l'âge adulte d'Airbus, de 1984 à 1998, associé à une nouvelle équipe de direction, au lancement et à la mise en service des familles A 320 et A 330-A 340, et à la réussite sur l'objectif de partage du marché mondial avec Boeing ;
- la maturité d'Airbus, à partir de 1998, concrétisée par le maintien d'une pénétration commerciale égale à celle de Boeing, le lancement de l'A 380 et la mise en place d'une nouvelle organisation industrielle, plus classique.

Chacune de ces phases est présentée plus bas, avec une insistance particulière sur les trois premières, qui ont davantage impliqué les services officiels.

La gestation, de 1965 à 1968

La forte croissance du trafic et l'arrivée des réacteurs à grand taux de dilution (offrant une consommation réduite de 20 %) constituent un environnement favorable pour le transport aérien et la construction d'avions civils. Pour répondre à cette demande, les constructeurs américains sont dans une position privilégiée. Boeing, avec la commande de PanAm le 13 avril 1966, lance le B 747 en version long courrier quadriréacteur, équipé du moteur Pratt & Whitney JT 9 D. Douglas (absorbé par McDonnell le 28 avril 1967) et Lockheed s'engagent en janvier 1968 dans deux programmes triréacteurs concurrents, destinés aux lignes intérieures américaines : le DC 10, équipé du moteur General Electric CF 6, et le L 1011 Tristar, équipé du moteur Rolls Royce RB 211.

En France, les services du SGAC, et plus précisément les ICA Jean Delacroix et Bernard Latreille, sont les premiers à s'impliquer dans cette démarche. Dans le domaine technique, ils s'appuient au STAé sur ses experts et sur l'IPA Georges Ville, responsable de la marque Airbus à partir de 1967.

La concertation européenne se révèle être le moteur essentiel pour faire avancer une telle opération, même si les objectifs de chacun diffèrent :

- en France, seule une telle voie peut permettre de sortir des insuffisances du budget de l'aviation civile ;
- au Royaume-Uni, le dessein prioritaire est de maintenir Rolls Royce dans son marché, malgré le choix de Pratt & Whitney pour le B 747 ;
- l'épanouissement industriel de l'Allemagne et l'efficace implication de Franz Joseph Strauss poussent à une participation à un domaine d'avenir.

Les discussions pour réunir les éléments permettant le lancement d'un programme adapté au besoin européen (capacité de 250 sièges et rayon d'action de 2 000 km) conduisent à la signature, le 26 septembre 1967, d'un protocole d'accord pour le lancement d'une première phase, s'étendant du 25 juillet 1967 au 31 juillet 1968 et couvrant les travaux de développement :

- de la cellule, sous maîtrise d'œuvre de Sud-Aviation et avec la participation d'Hawker Siddeley Aviation (HSA) et de Deutsche Airbus comme associés ;
- du moteur Rolls Royce RB 207, de conception et sous maîtrise d'œuvre de Rolls Royce, assisté de la SNECMA et de MAN.

Avec la signature du protocole d'accord tripartite, l'organisation des services officiels français se met en place, avec les nominations de l'IGA Jean Forestier comme directeur de programme chargé de la gestion officielle pour les deux ministères concernés (Transports et Défense) et de l'IPA Georges Ville, désigné comme responsable de l'Airbus au STAé et investi des missions d'agence exécutive gouvernementale cellule (coordination des travaux des administrations et interface avec le maître d'œuvre industriel).

Dès le début de l'année 1966, les constructeurs français et anglais se regroupent dans deux structures, constituées l'une de Sud-Aviation, Dassault et BAC, l'autre de Bréguet, Nord-Aviation et HSA – avec un *leadership* de ce dernier. En s'inspirant des choix retenus par Boeing pour le B 747, les formules techniques du projet européen convergent en mai 1966 vers deux propositions proches : le Galion pour le groupe Sud et le projet appelé HBN 100 pour le groupe HSA.

Les décisions gouvernementales de juillet 1966 conduisent à un redéploiement de la coopération industrielle entre Sud-Aviation, désigné par le gouvernement français, HSA, désigné par le gouvernement britannique, et *Deutsche Airbus* (DA), société commune créée par l'industrie allemande pour ce programme.

L'organisation industrielle se met en place sous la forme d'une structure informelle ayant pour objet la réalisation d'un produit baptisé A 300 (A pour Airbus, 300 pour 300 places). Roger Béteille est désigné en juillet 1967 comme directeur du programme pour Sud-Aviation et coordinateur du programme pour l'ensemble des constructeurs. Jim Thorne, directeur de l'usine de Hatfield, est son correspondant chez HSA. Enfin, le partenaire allemand choisit Félix Kracht pour représenter DA.

Les grandes lignes du partage des travaux sont établies dès cette époque sous la responsabilité de Félix Kracht, en tenant

compte du principe de la source unique, des compétences de chacun et des interfaces les plus judicieuses :

- à Sud-Aviation, maître d'œuvre et architecte industriel, reviennent l'assemblage final, la partie centrale du fuselage et le cockpit ;
- à HSA, la conception et la production de la voilure ;
- à DA, le fuselage et les aménagements commerciaux.

En dépit de ce bon démarrage, l'avenir d'Airbus semble bien compromis à la fin de l'année 1968. D'une part, la remise en cause du concept d'un confort spartiate conduit, pour satisfaire les critères de coûts d'exploitation, à des augmentations de capacité et de taille du produit allant à l'encontre des besoins du client. D'autre part, le choix par Lockheed, au début de 1968, du moteur Rolls Royce RB 211 pour son produit L 1011 répond aux attentes stratégiques du gouvernement britannique, lequel, ne trouvant plus le même intérêt à la coopération européenne, s'en retire au début de 1969. Enfin, du côté français, l'Airbus n'étant plus considéré comme une priorité, le gouvernement décide en avril 1969 son désengagement de ce programme et sa participation au programme Mercure de Dassault.

La naissance, de 1968 à 1970

Le trafic continue à évoluer favorablement, avec une croissance annuelle revenue au niveau de 12 %. Le comportement aventureux de certaines compagnies conduit toutefois à un excès de livraisons en 1968 (740 avions). Les constructeurs américains terminent les développements de leurs produits de grande capacité suivant les programmes prévus :

- le B 747 obtient son certificat de navigabilité le 31 décembre ;
- le DC 10-10 effectue son premier vol le 29 août 1970 et se développe dans la nouvelle version long courrier DC 10-30, lancée en mars 1969 et équipée du moteur renforcé CF 6-50 ;
- le L 1011 réalise son premier vol le 16 novembre 1970, malgré les difficultés de Rolls Royce.

La coopération Airbus est considérée comme moribonde à la fin de 1968, avec un programme A 300 rejeté tant par les utilisateurs que par les administrations. Heureusement, au début de 1969, cette tendance s'inverse, grâce à une nouvelle proposition due à Sud-Aviation et à son président, Henri Ziegler. Ce dernier, nommé en juillet 1968, obtient que le gouvernement revienne sur la décision d'arrêt du programme Airbus. Henri Ziegler, bien épaulé par Roger Béteille, réussit alors à convaincre ses partenaires, les compagnies et les gouvernements du bien-fondé d'un nouveau produit nommé A 300 B, équipé de réacteurs existants et de capacité réduite à 250 sièges. Ces caractéristiques de l'A 300 B arrêtées en février 1969 sont à l'origine des succès ultérieurs des produits Airbus : formule biréacteur, section du fuselage, adaptation de la voilure et architecture des systèmes.

Cette approche, bien reçue en France et en Allemagne, conduit à la coopération bilatérale franco-allemande, concrétisée par l'accord intergouvernemental signé le 29 mai 1969. Cet acte, pierre angulaire de la coopération Airbus, d'inspiration française (négociateurs : Alain Bruté de Rémur et l'IPA Georges Ville), est remarquable dans son souci de répondre aux objectifs d'efficacité : gestion confiée aux industriels, société commune chargée de la maîtrise d'œuvre et du commerce, pas de contraintes strictes de retour géographique, financement du développement à partir d'avances remboursables forfaitaires.

La direction des opérations incombant aux gouvernements associés est assurée par un comité intergouvernemental et un comité exécutif utilisant une agence exécutive mise à leur disposition par la République française.

L'organisation des services officiels français prend alors sa forme définitive, avec la nomination en juin 1969 du nouveau directeur de programme, l'ICA Gérard Guibé, succédant à l'IGA Jean Forestier, démissionnaire depuis le 1^{er} mars. La représentation française au comité intergouvernemental est conduite par Bernard Lathière (directeur des transports aériens) et le comité exécutif est présidé par Gérard Guibé.

L'agence exécutive, constituée des services de la DTCA (Direction technique des constructions aéronautiques), est placée

sous la responsabilité de son directeur, l'IGA Jean Soissons ; l'IPA Georges Ville en est la cheville ouvrière.

Un groupe certification, formé d'experts du SGAC (le TEFSTA Mascard), du STAé (l'IPA Jean-Paul Le Gall) et de la *Luftfahrtbundesamt* allemande se met en place pour fixer le cadre réglementaire applicable à la certification de l'A 300 B.

Du côté industriel, les décisions et la mise en place des organisations se succèdent à un rythme soutenu.

En avril 1969, le principe du groupement d'intérêt économique (GIE) pour la société commune est adopté, sous le nom d'Airbus Industrie (AI).

Le 24 juillet 1969, le maintien de HSA dans le programme, en tant que sous-traitant associé, est confirmé par un accord industriel approuvé par les gouvernements associés, sur la base d'un financement assuré en partie par l'Allemagne.

En octobre 1969, le choix du moteur General Electric CF 6-50 (modèle développé pour la version DC 10-30), proposé par les industriels, est approuvé.

Le 1^{er} janvier 1970, la Société nationale industrielle aéronautique et spatiale (SNIAS) est constituée par fusion de Sud-Aviation, Nord-Aviation et SEREB.

Le 18 décembre 1970 se tient l'assemblée constitutive du GIE Airbus Industrie, qui désigne Franz Joseph Strauss comme président du conseil de surveillance, Henri Ziegler comme administrateur gérant, Roger Béteille comme directeur général et Félix Kracht comme directeur général adjoint.

L'enfance, de 1970 à 1974

Les conditions d'environnement, tout en restant favorables, laissent présager des lendemains difficiles : baisse de la croissance du trafic, conséquences de la guerre du Kippour et dévaluation du dollar.

Les constructeurs américains maintiennent leur emprise, avec la mise en service de leurs nouveaux et efficaces avions de grande capacité. Toutefois, l'emballement excessif des livraisons entraîne pour eux un très fort repli industriel et financier et se traduit par de grandes difficultés pour les compagnies aériennes (avec un excès d'avions livrés proche de 1 000 appareils).

L'élargissement de la coopération Airbus à d'autres partenaires européens reste un enjeu fort.

Les discussions se poursuivent pour un retour du Royaume-Uni, mais la confirmation de la commande de L 1011 par British Airways, en 1974, ferme la porte pour de nombreuses années.

Avec les Pays-Bas, les négociations aboutissent à l'accord intergouvernemental tripartite signé le 28 décembre 1970, fondé sur une participation de 6,6 % au programme A 300 B : Fokker n'accepte toutefois qu'une position de sous-traitant associé.

La Belgique, elle, attend 1979 et le lancement de l'A 310 pour participer à l'Airbus.

L'Italie repousse les nombreuses offres présentées tout au long de l'histoire d'Airbus. Il est difficile d'en définir les raisons, soit par absence de volonté politique, soit en raison des liens forts existant entre l'industrie italienne et les constructeurs américains.

Dans le cas de l'Espagne, l'attrait pour l'Europe conduit à l'accord intergouvernemental quadripartite signé le 23 décembre 1971, fondé sur une participation de 4,2 % (en contrepartie d'un engagement d'achat par les compagnies espagnoles de 30 avions), et à l'entrée de la CASA dans AI, à hauteur de 4,2 %, le 23 juin 1972.

L'organisation générale du développement entre administrations et industriels fait intervenir une structure centrale de maîtrise d'œuvre, comprenant AI et l'agence exécutive, et des réseaux nationaux, chargés des travaux et des procédures nationales avec les gouvernements. La convention-cadre conclue en 1971 en constitue la colonne vertébrale et a pour objet l'application aux industriels des dispositions des accords intergouvernementaux. Parmi ses points caractéristiques, citons :

- la définition des règles de financement par avances remboursables ;
- le calcul des remboursements et les modalités de versement ;
- le suivi de l'avancement des travaux au cours de réunions d'avancement ;
- une grande liberté dans la répartition des travaux affectés ;

- une procédure de choix des équipements conduisant à une promotion remarquable de l'industrie française (plus de 50 % en production série).

Dans le domaine de la navigabilité, le produit Airbus doit satisfaire les exigences techniques des autorités françaises et allemandes, regroupées dans le BOCA (Bureau officiel de certification Airbus). Sa première tâche est la définition des conditions de certification, sur la base du règlement américain complété par des conditions complémentaires spécifiques. La justification de la conformité du produit à ce règlement est enregistrée dans le « grand livre », base de la certification. Le 15 mars 1974, après 17 mois d'essais en vol, les autorités franco-allemandes signent le CDN (certificat de navigabilité) de type de l'Airbus A 300 B2, certificat validé le 30 mai 1974 par les autorités américaines de la FAA (*Federal Aviation Administration*).

Les services officiels se préoccupent aussi de la production en série et de la commercialisation et élaborent les procédures à mettre en place pour :

- le déblocage des tranches de production en série ;
- les mécanismes de financement des ventes ;
- les modalités de couverture des risques économiques et monétaires liés à la chute du dollar et au flottement des monnaies.

L'efficacité des services officiels français fut exemplaire, en raison de la qualité des personnels en charge du programme, de leur motivation et de leur continuité tout au long de la construction de la coopération et du développement du produit.

L'organisation industrielle du système Airbus repose sur les ressources des partenaires ; la coordination est assurée par AI, structurée en quatre directions constituées de personnels détachés par les partenaires :

- une direction technique, confiée à Roger Béteille (assurant en plus la direction générale du GIE), s'appuie sur les bureaux d'études des partenaires et sur ses propres équipes (essais en vol, après-vente et formation des équipages) ;

- une direction de la production, confiée à Félix Kracht, planifie la production, coordonne les partenaires et assure les transports entre sites de production ;
- une direction commerciale totalement opérationnelle, confiée à Didier Godechot, puis à Frederich Feye, reprend les responsabilités et les moyens de la société Airbus International, créée en 1968, avant la mise en place d'AI ;
- une direction administrative et financière, confiée à Krambeck (de 1971 à 1972), puis à Frederich Feye, a pour mission la tenue des comptes du GIE et l'établissement des règles administratives et financières régissant la coopération.

Le transfert d'AI – installé dans un premier temps à Paris – dans des locaux neufs situés à Blagnac, près de l'aéroport et de la chaîne d'assemblage, est effectif en 1974.

Dans le domaine commercial, de longues négociations se traduisent par quelques commandes de produits A 300 B2 (version court courrier) et A 300 B4 (version moyen courrier), différant du projet initial A 300 B par une capacité et un rayon d'action accrus. Cette évolution, qui s'avéra par la suite opportune au plan commercial, a pour origine une requête d'Air France rendue possible par l'augmentation de poussée du moteur requise pour le DC 10-30.

Les systèmes et le poste de pilotage sont de leur côté profondément influencés par les demandes des compagnies européennes, qui cherchent à harmoniser l'utilisation de l'Airbus avec celle du DC 10-30, qu'elles ont commandé en grande quantité.

Le nombre de clients au cours de la période reste malgré tout faible (représentant 4 % environ du carnet mondial des commandes) ; il s'agit majoritairement de commandes des compagnies de pays participants :

- Air France, le 9 novembre 1971, pour six B2 fermes et dix options ;
- Iberia, le 15 janvier 1972 (annulation en 1974), pour quatre B4 fermes et huit options ;
- Lufthansa, le 7 mai 1973, pour trois B2 fermes et quatre options.

Les présentations de l'avion 1 aux Amériques (septembre 1973), en Afrique et Moyen-Orient (novembre 1973) et en

Asie et Océanie (mai 1974) font connaître le produit Airbus, aident sa promotion commerciale et conduisent à la commande de Korean Airlines, en septembre 1974, pour six B4 fermes. D'autres discussions, commencées à cette occasion, aboutirent ultérieurement (Indian Airlines, South African Airways, Air Inter et Germanair) ou firent long feu (Transbrasil, Sterling, Sa-ta...).

Dans le domaine technique, les compétences des partenaires et l'efficacité de l'organisation conduisent à un produit de qualité, particulièrement innovant en matière d'architecture et d'intégration de systèmes, grâce au savoir-faire de la SNIAS enrichi par l'expérience du Concorde. Tous les objectifs sont réalisés en termes de performances, masses, coûts et délais, malgré le changement de définition du produit intervenu à la fin de 1971 (versions B2 et B4).

Dans le domaine industriel, au-delà de la fabrication de quatre avions de développement (trois furent réutilisés) et des cellules d'essais structuraux, la préparation efficace de la production en série est le souci majeur d'AI, avec en particulier la mise en place d'un système original et efficace de transport, fondé sur les avions Super Guppies. Au début de 1974, l'outil industriel est en ordre de marche pour atteindre les objectifs prévus en matière de livraisons. Le premier avion de série est livré à jour, le 10 mai 1974, à Air France.

Dans les domaines administratifs et financiers, tout reste en revanche à faire en matière de relations avec les partenaires et de gestion financière ; seules les relations avec l'agence exécutive sont traitées par la convention-cadre conclue en juin 1971.

L'environnement devient défavorable avec l'arrivée de la crise, la hausse du prix du pétrole, la baisse du trafic et la chute des commandes : le niveau des livraisons annuelles mondiales chute de 740 avions en 1968 à 200 en 1977.

Une telle situation met en difficulté les constructeurs américains, confrontés à une forte baisse d'activité et dans l'incapacité financière de lancer les produits concurrents de l'Airbus A 300 B. Boeing tente d'occuper le terrain avec un « projet papier », B 7X7, et un dénigrement continu de l'organisation d'AI. Le refus de croire à l'efficacité du consortium fut pour ce constructeur une profonde erreur stratégique. À la fin de la décennie 1970, avec la remontée du trafic et le retour des ressources, Boeing lance le B 767, mais il est trop tard pour écarter l'A 300.

Airbus a aussi souffert de cette crise ; mais elle lui a été fondamentalement bénéfique. En retardant le lancement du produit de Boeing, elle permet à AI de démontrer la crédibilité de son organisation et les qualités opérationnelles de l'A 300 : en 1978, lors du retournement favorable de la conjoncture, l'avion est disponible et reconnu par le marché.

Au cours de cette période délicate, AI se trouve confronté à plusieurs tentatives de déstabilisation venant de son propre camp :

- une première tentative de coopération américaine, dite ATMR (*Advanced Technology Medium Range Aircraft*), est initiée avec MDC par le camp français (officiels, AMD et SNIAS), autour d'un projet d'avion bi-CFM 56 de 150 sièges équipé d'un nouveau moteur CFM 56, développé par General Electric et la SNECMA. Par chance pour l'avenir d'Airbus, MDC rompt les discussions et lance le DC 9-80 ;
- une deuxième tentative (encore une initiative française, mais intégrant cette fois Airbus dans les discussions) pour une coopération avec Boeing intégrant AI se prolonge jusqu'à 1978, mais n'a heureusement pas plus de succès ;

- la constitution par les constructeurs d'un groupe de travail appelé JET (*Joint European Team*) a pour but de travailler, indépendamment d'AI, sur les futurs projets à réaliser en coopération, tel le produit bi-CFM 56 ;
- la décision unilatérale du partenaire allemand de réduire la cadence de production à un avion par mois, au début de 1977, est malencontreuse, alors que le marché montre ses premiers signes de reprise.

Dans le domaine commercial, l'année 1975 est un bon cru (10 commandes émanant de Germanair, Indian Airlines, South African Airways et TEA). Mais elle est suivie par une longue traversée du désert (avec un seul avion commandé par Lufthansa), qui se prolonge jusqu'au salon du Bourget de 1977. La reprise du trafic conduit alors à une remontée des commandes en Europe, dans le sud-est de l'Asie et aux États-Unis (Eastern Airlines) ; avec 16 commandes en 1977 et 69 en 1978, la part d'AI atteint 8 % du carnet mondial.

Dans les domaines technique et industriel, AI et les partenaires font face à la mise en service des produits et aux conséquences des fluctuations du marché sur l'emploi. Avec les premiers succès, une nouvelle version équipée de moteurs JT 9D est lancée le 8 juin 1977, avec une participation financière de Pratt & Whitney.

L'organisation interne d'AI se consolide, avec les arrivées :

- en mai 1974, de l'ICA Georges Ville, détaché à AI pour prendre en charge la direction administrative et financière, avec pour objectif premier l'établissement des règles contractuelles internes du système industriel de coopération : trois années de négociation sont nécessaires pour aboutir à un système original et efficace ;
- en février 1975, de Bernard Lathière, remplaçant Henri Ziegler au poste d'administrateur gérant ;
- en 1975, de Dan Krook, détaché par Fokker, et de George Warde, d'American Airlines, respectivement directeurs du commerce et de l'après-vente.

L'environnement général se présente moins bien à partir de 1980, avec le point bas du cycle économique et une chute brutale du trafic ; cette période est aussi marquée par une montée du dollar, culminant en 1985 à un taux de change supérieur à 10 francs français.

Deux évolutions du contexte réglementaire aux États-Unis ont un impact important sur les activités de transport aérien et de construction aéronautique :

- le *Deregulation Act*, voté le 24 octobre 1978, ouvrant à la concurrence le domaine du transport aérien, se traduit par une sévère compétition dans le domaine des fréquences et un fort besoin d'avions de capacité réduite ;
- les nouvelles dispositions ETOPS (*Extended Range Twin-engined Operations*), agréées progressivement par la FAA à partir de 1985, élargissent les capacités d'exploitation des avions biréacteurs vers les longs rayons d'action.

Les constructeurs américains, confrontés à ces perturbations, se trouvent dans des situations différentes. Boeing augmente sa pénétration au-delà de 50 % et prépare l'avenir en lançant de nouveaux produits ciblés par rapport aux besoins et aux évolutions réglementaires : B 767 en juillet 1978, B 757 en mars 1979, B 737-300 en mars 1981. MDC tente de se maintenir sur le marché en rajeunissant ses produits existants : le MD 80 remplace le DC 9 en 1980, puis le MD 11 remplace le DC 10 en 1985. Enfin, Lockheed se retire du marché des avions de transport civil en 1982.

La politique de produits d'AI tente de répondre aux nouveaux besoins et à la concurrence de Boeing en s'orientant vers la protection de son créneau, au détriment d'un élargissement de la gamme – et ce bien qu'AI et le camp français aient déjà affiché leur préférence pour l'avion de 150 places. Sont lancés :

- l'A 310, le 6 juillet 1978 : avion optimisé pour les spécifications court courrier de Lufthansa, innovant dans le domaine des systèmes et du pilotage et certifié le 11 mars 1983 (l'avion n'offrant pas suffisamment de capacité de développement ETOPS, son succès commercial reste limité) ;

- l'A 300-600, en janvier 1980, dérivé de l'A 300 B par allongement du fuselage et modernisation des systèmes et certifié le 9 mars 1984.

En 1984, confrontée à la crise, AI décide l'arrêt de la production des A 300 B, avec plus de vingt avions invendus, ou « queues blanches » : ceux-ci sont bradés, mais le taux de change très élevé du dollar sauve les industriels d'une banqueroute certaine.

Un des événements majeurs est l'accord signé le 29 novembre 1978 pour l'entrée à hauteur de 20 % dans le GIE de British Aerospace (BAe), inscrivant le retour du Royaume-Uni dans la coopération. BAe, issu de la fusion des trois industriels BAC, HSA et Scottish Aviation, le 29 avril 1977, a préféré poursuivre la coopération avec AI plutôt que de s'allier avec Boeing, comme le recommandait l'administration du Royaume-Uni. Cet engagement britannique ne perturbe en rien la compagnie publique British Airways, qui passe commande le 31 août 1978 de dix-neuf B 757, concurrent direct de l'A 310. À titre de compensation, Laker passe commande de dix A 300 B le 18 avril 1979, peu d'années avant une faillite très coûteuse pour AI.

L'âge adulte, de 1984 à 1998

Les conditions d'environnement suivent les cycles habituels de crises et reprises économiques, avec toujours des conséquences amplifiées sur l'activité des constructeurs. Boeing souffre particulièrement de ces variations au niveau de son outil industriel alors que, pour AI, la croissance de la part de marché et l'arrivée des nouveaux programmes en production atténue ces effets.

La chute suivie d'une faible valorisation du dollar (15 % en moyenne au-dessous de sa valeur économique) pénalise durablement la compétitivité et la rentabilité des industriels d'Airbus et les oblige à de grands efforts de productivité.

Cette période est marquée par la mise en place, en juin 1985, d'une nouvelle équipe à la tête d'AI, représentant les trois partenaires principaux :

- Jean Pierson, venu d'Aérospatiale, est nommé administrateur gérant, en remplacement de Bernard Lathière, et reste dans cette position jusqu'en juin 1998 ;
- Johann Schäffler, venu de DA, est nommé directeur général en remplacement de Roger Béteille (qui prend sa retraite) ;
- Robert Whitfield, venu de BAe, est nommé directeur financier en remplacement de Georges Ville (qui revient à d'Aérospatiale, pour continuer à suivre les affaires Airbus).

Dans le domaine stratégique, la politique d'AI a pour objectif d'atteindre la parité avec Boeing, grâce à l'élargissement de sa gamme.

Poussé par AI et Aérospatiale mais freiné par le partenaire allemand, l'avion A 320 est enfin lancé le 2 mars 1984 et certifié le 26 février 1988. L'A 320, aîné de la famille des *standard body* (fuselage étroit), est décliné dans plusieurs versions : A 321, A 319 et A 318, lancées en 1989, 1993 et 1999. Grâce aux avancées techniques apportées dans le domaine des systèmes et à une grande efficacité opérationnelle, ces produits ont un grand succès commercial (920 avions livrés à la fin de 1998).

Avec l'objectif de défier Boeing dans le domaine d'exclusivité des avions longs courriers, les produits tri- et quadriréacteurs A 330 et A 340, fondés sur une même cellule, sont lancés le 5 juin 1987 et certifiés en décembre 1992 et octobre 1993.

L'avion A 300-600 évolue vers le transport de fret, domaine dans lequel il rencontre un grand succès, alors que l'A 310 est virtuellement arrêté depuis 1995.

Les premières réflexions sur un avion de très grande capacité, l'A 3XX, sont présentées au salon du Bourget de 1993 et conduisent au lancement du programme A 380 en 2000.

La prise en compte de la dimension industrielle de l'activité conduit à un changement radical des processus de production, pour répondre à une multiplication par cinq du nombre d'avions produits et à une compétition exacerbée sur les prix de revient. Le système industriel Airbus réussit magnifiquement dans ce domaine, grâce à son organisation décentralisée, séparant judicieusement les activités opérationnelles du domaine commercial – et ce bien que son caractère non classique ait conduit le

monde médiatique à en suspecter l'efficacité. Le meilleur élève est celui que l'on attendait le moins, l'entreprise publique Aérospatiale (AS). Ce résultat n'a pas été obtenu sans effort, et il faut reconnaître à la Division avions d'AS, dirigée par Jacques Plenier, puis Claude Terrazzoni, le mérite de cette performance.

Boeing réagit vigoureusement, en œuvrant dans plusieurs directions. Il élargit sa gamme de produits :

- le B 747-400 est lancé en juillet 1985 et certifié le 10 janvier 1989 ;
- le B 777-200 est lancé en octobre 1990 et certifié le 19 avril 1995 ;
- le B 737-700 NG (*New Generation*) est lancé en janvier 1994 et certifié le 7 novembre 1997 ;
- le B 767-400 est lancé en avril 1997 et certifié en 2000.

Il restreint les ressources d'AI, apportées sous la forme d'avances remboursables par un accord conclu en 1992 sous sa pression entre les États-Unis et la CEE. L'appui politique de l'administration américaine permet en outre de renverser le cours de plusieurs négociations mal engagées pour Boeing, aux États-Unis, au Japon et en Arabie Saoudite.

Plusieurs tentatives de déstabilisation de la coopération Airbus sont aussi menées : jamais auprès d'AS (considéré par Boeing comme son véritable adversaire), mais auprès de BAe et surtout du partenaire allemand, DA. Ce dernier, sensible au chant de la sirène Boeing, entraîne Airbus dans la coopération transatlantique VLCT (*Very Large Commercial Transport*) avec Boeing et retarde ainsi d'une année les efforts sur l'A 3XX.

Boeing restructure aussi ses activités industrielles, avec l'absorption en 1997 de son concurrent américain MDC. Enfin, en se fixant un objectif de réduction des coûts de 30 %, l'entreprise lance en 1994 une guerre des prix de vente pour contraindre Airbus, déjà en difficulté du fait de l'environnement monétaire défavorable ; AI décide pourtant de suivre Boeing à la fois sur les prix de vente et sur les objectifs de réduction des coûts.

Le bilan à la fin de l'année 1998 permet de mesurer le résultat des diverses actions menées par les deux compétiteurs. AI atteint son objectif de part de marché, garant d'une certaine pé-

rennité dans son domaine d'activité : 30 % en 1989, 40 % en 1994 et 50 % en 1999. Boeing n'obtient pas, et de loin, le niveau prévu de réduction des coûts et doit, de ce fait, afficher en 1997 les premières pertes de son histoire. Dans le même temps, les partenaires Airbus réalisent les gains attendus.

Que peut-on conclure d'une telle aventure, qui a permis à l'industrie européenne d'atteindre une maturité aussi brillante qu'inattendue dans le domaine très concurrentiel de la construction d'avions civils ?

Bien sûr, il est clair que les erreurs de nos concurrents ont beaucoup aidé, mais cela ne doit pas conduire à minimiser les trente années d'efforts, d'intelligence et d'imagination qui ont permis d'atteindre un résultat inespéré dans le cadre d'une organisation en coopération. Pourtant, combien de fois cette dernière a-t-elle été critiquée, à l'extérieur comme à l'intérieur du système, alors qu'elle a démontré son efficacité tout au long de son histoire.

La France peut être fière de son apport à la coopération Airbus, dont elle a été le concepteur, le moteur, le fournisseur de savoir-faire et toujours le meilleur élève, que ce soit par les actes de son industrie ou ceux des services officiels.

LE PROGRAMME MERCURE

Marcel Dassault, créateur avant-guerre du MB 161, qui fut exploité par Air France après la guerre sous le nom de Languedoc, a ensuite toujours désiré produire un avion de transport public. Il a passé plusieurs accords avec Sud-Aviation pour établir des partenariats ou des partages d'activité : Super Caravelle en 1960, Galion/Mercure en 1965. L'évolution multinationale de l'Airbus et l'organisation trop lourde du comité des directeurs Concorde ont conduit Dassault à se retirer de ces accords et à jouer sa propre carte, avec le projet d'un avion bénéficiant des tout derniers progrès de cette société en matière d'aérodynamique grande vitesse, d'hypersustentation et d'optimisation des masses de structure.

S'appuyant sur une étude de marché mettant en évidence le très fort pourcentage de liaisons ville à ville de moins de

1 500 km – mais ignorant le fait que les compagnies aériennes veulent des appareils qui couvrent aussi le faible pourcentage de distances supérieures –, Dassault convainquit les instances gouvernementales qu'un appareil optimisé pour la desserte rapide de ces courtes étapes rencontrerait un large marché. Le 9 avril 1969, l'État s'engageait à accorder une avance remboursable forfaitaire correspondant à 56 % de l'estimation présentée, sous réserve que Dassault réunisse des coopérations étrangères totalisant 30 % du programme. Fiat avait déjà donné son accord le 19 juillet 1968 ; puis vinrent l'Espagnol CASA, le Suisse Emmen, Canadair et le Belge SABCA.

Le Mercure 01 fit son premier vol le 28 mai 1971. L'avion reçut son certificat de navigabilité de type le 12 février 1974.

Il ne fut commandé que par Air Inter, le 30 janvier 1972, par un contrat pour dix appareils capables d'approches catégorie III. Air France refusa très publiquement de commander l'appareil. À la fin de 1971, puis au début de 1973, deux importantes dévaluations du dollar mirent à mal la compétitivité du Mercure par rapport à ses deux concurrents, le Boeing 737 et le Douglas DC-9. La production fut arrêtée au dixième exemplaire de série. Un onzième avion fut exploité par Air Inter à partir du 8 mars 1985, sous la forme du deuxième prototype amené au standard de série par un très important chantier – ce qui montre à quel point le transporteur était satisfait des services de son avion. Le Mercure était en effet totalement réussi, tenant tous ses objectifs de performances, d'économie et de régularité en service. Aucun incident sérieux ne survint au cours des 360 815 vols effectués jusqu'au 29 avril 1995.

Dassault essaya ensuite sans succès de donner une suite au programme avec le projet Mercure 200, puis avec des CFM 56, dans le cadre d'opérations en coopération nationale, européenne ou transatlantique.

LE TRANSPORT REGIONAL

La première tentative sur ce marché concerne l'avion Nord-Aviation N 262 (ou Frégate) biturbopropulseur de 26 passagers, lancé en 1961 et développé à partir du démonstrateur Super Broussard, conçu à la fin des années 1950 par Max Holste. Certifié le 15 mars 1965, il pénètre difficilement le marché des avions régionaux, en raison de maladies de jeunesse (éclatements de turbines). Il est construit à 110 exemplaires lorsque son arrêt est décidé en 1974, ce programme n'entrant pas dans la stratégie de la nouvelle société SNIAS. Cependant, en 1967, une demande de relance de la production arrive, de la part d'utilisateurs américains satisfaits du produit ; la SNIAS ne donne pas suite.

Forte de ce savoir-faire et de cette expérience, la SNIAS s'intéresse de nouveau au marché régional à la fin des années 1970, afin de pallier les difficultés des activités avions et de maintenir les compétences non couvertes dans l'Airbus. L'avant-projet étudié, l'AS 35, est à l'origine du programme ATR 42 (avion de transport régional de 48 places), lancé le 4 novembre 1981 à la suite d'un accord gouvernemental franco-italien. Une coopération avec le partenaire Aeritalia se met en place dans le cadre du GIE ATR, constitué le 5 février 1982. Le développement conduit à la certification de l'avion le 24 septembre 1985. Le produit étant le plus efficace de sa catégorie, les ventes progressent, sur un marché pourtant soumis à une large concurrence, et en dépit d'un accident dramatique dû au givrage en octobre 1987. La cadence de production dépasse trois avions par mois en 1989.

Confrontés à une demande du marché réclamant des avions de plus grande capacité et à la concurrence de l'ATP de BAe, les partenaires annoncent en 1985, au salon du Bourget, le lancement du programme ATR 72 (68 places), équipé d'une nouvelle voilure réalisée en fibre de carbone. L'ATR 72, bien accueilli par le marché, en raison de coûts d'exploitation par siège compétitifs, est certifié le 25 septembre 1989, et sa cadence de production dépasse celle de l'ATR 42 dès 1992 ; son développement est toutefois entravé par un tragique accident aux États-

Unis, à la suite d'un givrage sévère, hors norme, rencontré dans des conditions opérationnelles particulières.

À partir du début des années 1990, les turbopropulseurs subissent une forte concurrence de la part des petits *jets* régionaux de 30 à 70 places, tels ceux des familles CRJ, de Bombardier et ERJ, d'Embraer. ATR étudie alors un projet de biréacteur, l'AJ 200, mais n'obtient pas l'autorisation de lancement. ATR, ainsi limité aux avions turbopropulseurs, maintient sa position grâce à la mise en service des nouvelles versions performantes, ATR 42-500 et ATR 72-500, et à un certain assainissement du marché (limité aujourd'hui à deux modèles : l'ATR et le DHC-8 de Bombardier).

LES AVIONS D'AFFAIRES

Falcon

Le succès des avions Dassault dans le domaine de l'aviation d'affaires peut être résumé par les chiffres suivants, établis au 31 octobre 2002 :

- 1 706 Falcon de tous types vendus et 1 596 produits depuis 1965 ;
- 1 466 Falcon en service, immatriculés par 848 opérateurs différents dans 60 pays – dont près des deux tiers en service aux États-Unis ;
- 10 298 800 heures de vol, dont plus de 5 millions par les 476 Falcon 20 produits de 1965 à 1982 (407 sont encore en service à ce jour).

Les produits actuels de Dassault (Falcon 50, 900 et 2000) détiennent la même part de marché que ceux de chacun de ses deux grands concurrents sur le segment haut de gamme : Bombardier (Challenger 601 et 604 et Global Express) et Gulfstream (G IV, G IV SP et G V).

La pénétration du Falcon 20 sur le marché américain est à l'origine de ce succès. Elle a été liée aux qualités de robustesse de la structure, à l'excellence des qualités de vol, à l'efficacité de l'aérodynamique du prototype Mystère XX (premier vol le 4 mai 1963) et enfin aux modifications imposées par PanAm, qui firent en quelque sorte de l'avion de série (premier vol le

1^{er} janvier 1965) la référence des avions d'affaires de sa catégorie, pendant près de quinze ans – jusqu'à ce que la technologie dépassée de son moteur CF 700 et celle, trop originale, de l'ATF-3, malheureusement choisi pour lui succéder, constituent un trop important handicap commercial. Deux tiers des 514 Falcon 20/200 furent vendus dans la zone d'action commerciale de la division *business jet* de PanAm. Lorsque ce client prestigieux rencontra des difficultés, Dassault sut préserver, puis développer aux États-Unis l'outil commercial et industriel devenu aujourd'hui Dassault Falcon Jet.

L'étape suivante consista à élargir la clientèle en créant une famille : le Falcon 10/100, vers le bas de gamme (premier vol avec réacteurs Garrett en octobre 1971, 226 avions vendus), puis, vers le haut, un triréacteur d'une grande souplesse opérationnelle, le Falcon 50, largement transcontinental (premier vol de la configuration de série avec voilure optimisée le 16 février 1978, 327 avions vendus, toujours en production).

Dassault se concentra ensuite sur le haut de gamme, où la qualité de ses produits est plus facilement valorisable, avec le triréacteur Falcon 900, alliant un long rayon d'action et le confort d'un large fuselage (premier vol en septembre 1984, 322 avions vendus, toujours en production), puis le biréacteur à fuselage large Falcon 2000 (premier vol en mars 1993, 291 avions vendus, toujours en production).

En décembre 1976, Marcel Dassault avait décidé d'équiper le Falcon 50 d'une voilure optimisée, fruit des travaux les plus récents des aérodynamiciens de la société. C'est toujours la voilure de tous les Falcon en production aujourd'hui, en attendant le Falcon 7X, dont la voilure appartiendra à une nouvelle génération.

Corvette

Dérivé du projet commun SN 600, objet d'un accord entre Sud- et Nord-Aviation en 1968, le SN 601 (premier vol le 20 décembre 1972) n'a pas rencontré un accueil favorable du marché. Quarante appareils furent produits par l'Aérospatiale jusqu'en 1978 ; ils furent surtout utilisés en Europe, et plus particulièrement en France.

LES MOTEURS AÉRONAUTIQUES

Coordinateur d'ensemble : Michel Lasserre

Cet ouvrage donne un historique succinct des moteurs aéronautiques aérobies français – certains étant réalisés en coopération – entre 1945 et 1990, en mettant l'accent sur les relations entre les industriels et les services officiels.

Il comporte des témoignages directs d'acteurs sur certaines opérations et une analyse plus synthétique des principaux programmes réalisés.

GENERALITES

Les moteurs aéronautiques français de la période ont présenté quelques caractéristiques particulières, qui les différencient des autres matériels aéronautiques (la même différenciation existant entre les motoristes et les avionneurs, équipementiers...).

Tout d'abord, les techniques à mettre en œuvre dans les moteurs sont très spécifiques : les motoristes sont des industriels distincts – ou du moins très isolés dans les groupes – des autres industriels aéronautiques.

D'autre part, le nombre des industriels motoristes français s'est continuellement réduit au fil du temps (pour arriver à un seul, le groupe SNECMA, en 2000) et, très tôt, la compétition a été très limitée, voire nulle : pour les moteurs d'avions de combat, un unique industriel responsable a été désigné dès 1951, et le partage des types de moteurs entre sociétés a été à peu près figé en 1960.

Par ailleurs, au cours de la période étudiée, compte tenu de l'insuffisance des connaissances et des moyens de calcul et d'essais, les moteurs ont été largement conçus par continuité et en s'appuyant sur des études amont : le niveau – assez élevé – de celles-ci a joué un grand rôle dans la qualité et la compétitivité des moteurs réalisés. Au cours de cette période, le progrès a

eu lieu essentiellement dans le domaine militaire, les moteurs civils bénéficiant des avancées militaires.

Enfin, l'homologation des moteurs militaires – qui, par ailleurs, étaient fournis directement par l'État aux avionneurs – et la certification des moteurs civils ayant lieu à l'issue d'épreuves qui ne mettent en jeu que des spécialistes de la propulsion, les motoristes industriels et officiels ont toujours formé un groupe très soudé, faisant preuve d'une grande solidarité (en particulier pour se défendre contre les reproches, voire les attaques, des avionneurs !). Ces liens ont participé à la qualité des programmes de moteurs.

QUELQUES ELEMENTS DE L'HISTOIRE DES MOTEURS AERONAUTIQUES

En 1944, l'industrie française des moteurs était en situation particulièrement mauvaise : elle devait être totalement reconstruite et abandonner le moteur à pistons pour la turbomachine, ce qui constituait une remise en cause à peu près totale.

L'ouvrage donne, avec des approches très variées, des témoignages sur quelques opérations parmi les plus importantes ou significatives : les moteurs militaires de SNECMA (hors M 88) ; le moteur Larzac ; le moteur de l'avion de combat européen ; le moteur M 88 ; les moteurs de Turboméca ; les moteurs de Microturbo ; SNECMA et la famille CF 6 ; l'Olympus 593 (Concorde) ; le moteur CFM 56 ; l'arrière-corps de l'avion Mercure.

LES MOTEURS MILITAIRES¹

Les services officiels

Les acteurs officiels, dans ce domaine, appartenaient pour la plupart à la Délégation générale pour l'armement. Il s'agit en premier lieu du Service technique aéronautique/moteurs et du Service de la production aéronautique/moteurs, réunis en 1981

¹ On y inclut les versions dérivées civiles : de ce fait, la majeure partie de l'activité de Turboméca est traitée sous cette rubrique.

en un Service technique des programmes aéronautiques/moteurs. Les autres acteurs principaux, outre les états-majors, étaient :

- le Centre d’essais des propulseurs (CEP), qui possédait la totalité des installations d’essais en altitude simulée en France (ainsi que quelques installations spécifiques), et qui intervenait donc largement dans les développements ;
- le Centre d’essais en vol/moteurs (CEV), qui avait un rôle essentiellement officiel, les motoristes possédant leurs propres moyens de mise au point en vol sur avions porteurs ;
- les circonscriptions aéronautiques régionales, intégrées par la suite dans le Service industriel de l’armement ;
- les ateliers industriels de l’Air ;
- mais aussi l’Office national d’études et de recherches aéronautiques, puis aérospatiales (ONERA).

S’étendant sur toute la vie du programme – des études amont jusqu’au retrait du service –, les financements pour les moteurs ont été importants, souvent plus larges que pour les cellules et les équipements. Ils couvraient le développement plusieurs années après l’entrée en service, ainsi que, jusqu’en 1970, des moyens d’essais et de production spécifiques.

Pour le suivi des moteurs, les services officiels ont modifié leur position dans le temps : très interventionnistes jusque dans les années 1960, ils ont ensuite normalisé leur action, se limitant au contrôle et à l’accompagnement des industriels, leur rôle normal.

Les premiers turbomoteurs

Dans l’immédiat après-guerre, pour équiper les avions fabriqués alors, les motoristes ont produit des moteurs à pistons (anciens ou sous licence) et fait, jusqu’en 1950, quelques développements sur ceux-ci. Par la suite, le moteur à pistons a été pratiquement abandonné.

Dès 1945, le domaine des turbomachines avait, lui, été abordé, d’abord par la fabrication sous licence de turboréacteurs étrangers, éventuellement adaptés ou améliorés : ce fut le cas pour Hispano-Suiza (sur des licences de Rolls Royce) avec les

turboréacteurs Nene, Tay et Verdon, qui ont équipé de nombreux prototypes et les premières séries d'avions de combat (Ouragan, Mystère IV...).

Parallèlement avait lieu l'étude de turbomachines particulières, à partir d'avant-projets préparés clandestinement pendant la guerre (ces travaux n'ont pas débouché) et, surtout, avec l'aide importante de spécialistes allemands. Ces projets étaient souvent ambitieux. Chez Turboméca, les études concernaient un très gros turboréacteur ; il fut abandonné en 1949, et une partie de l'équipe allemande quitta alors l'entreprise. Mais l'expérience acquise fut largement utilisée pour concevoir les petites turbomachines qui firent, par la suite, le succès de la société. Auprès de SNECMA, c'est le programme ATAR qui était étudié : il concernait une famille de turboréacteurs d'avions de combat, utilisant des techniques avancées – universellement retenues par la suite. Il était dirigé par le Pr. Hermann Östrich, qui avait réalisé le réacteur de l'avion He 162, chez BMW, pendant la guerre². Ce fut le point de départ du succès ultérieur de SNECMA.

SNECMA

Dès 1951, au vu des résultats obtenus et pour des raisons financières, les services officiels décidèrent de retenir la filière ATAR pour équiper les futurs avions de combat français – décision concrétisée en 1955 par le choix des ATAR E et G pour le Vautour et le Supermystère B2. Les conséquences de cette décision étaient importantes : la compétition pour la propulsion des avions de combat était abandonnée, et SNECMA devenait un motoriste majeur, tandis que l'avenir d'Hispano-Suiza était compromis (la société rejoignit finalement le groupe SNECMA en 1968).

La famille ATAR a eu une longue descendance, les performances s'améliorant avec le temps de manière importante : ATAR 8 pour l'Étendard, ATAR 9C pour le Mirage III (1958),

² La famille de turboréacteurs ATAR fut créée par un groupe d'ingénieurs allemands réunis par H. Östrich à l'Atelier aéronautique de Rickenbach (près de Lindau, sur le lac de Constance), sous contrat du ministère de l'Air français.

ATAR 9K pour le Mirage IV (1960), ATAR 9K50 pour le Mirage F1 (1967), ATAR 8K50 pour le Superétendard (1973).

L'ATAR étant, par sa constitution, mal adapté aux avions de pénétration, SNECMA a, avec le soutien des services officiels, passé des accords avec Pratt et Whitney pour adapter des moteurs avancés, double corps, double flux, de ce constructeur, qui étaient plus susceptibles de satisfaire le besoin. Ainsi ont été étudiées les versions TF 104 (1964), TF 106 (1965) et TF 306 (1966). Ces moteurs n'ont été utilisés que sur des avions prototypes et les programmes ont été arrêtés, pour des raisons financières, à partir de 1970.

Le turboréacteur SNECMA M 53 a été développé pour prendre la succession des ATAR. Il fut lancé en 1966, sur un rythme lent et incertain, le programme d'un nouvel avion de combat français – successeur des diverses versions du Mirage – n'étant alors pas arrêté. La version M 53-5 a été retenue en 1975 pour le Mirage 2000. Ce moteur a été développé par la suite (version M 53-P2, à partir de 1979).

Le turboréacteur SNECMA M 88 a pris la relève du M 53 pour équiper l'avion Rafale. Il a été lancé – formellement à partir de 1985 – de manière très méthodique et rigoureuse, après une étude très complète du besoin avec les utilisateurs, et en s'appuyant sur un volume considérable et gradué d'études amont :

- recherches associant de nombreux laboratoires ;
- développements exploratoires des divers composants, pour valider, pas à pas, les technologies nouvelles utilisées ;
- corps haute pression – le cœur du moteur –, puis moteur de démonstration, intégrant l'ensemble des composants.

Le développement du M 88 a été particulièrement réussi (premier essai du moteur complet en 1989) et très peu de problèmes ont été rencontrés au cours de la mise au point. Malheureusement, la mise en production de série du M 88 a pris très longtemps et a été faite à un rythme très lent, peu propice à l'efficacité.

Parallèlement à ces grands programmes, d'autres opérations ont été réalisées :

- turboréacteur Adour pour le Jaguar, associant Turboméca (ce qui était une entorse au monopole accordé en principe à SNECMA) et Rolls Royce à partir de 1965. Le moteur a eu d'autres applications et a fait preuve d'une grande longévité ;
- turboréacteur Larzac, associant SNECMA et Turboméca, avec la participation de constructeurs allemands, retenu pour l'Alphajet en 1969.

D'autres programmes n'ont en revanche pas abouti :

- le turboréacteur M 45, entrepris en 1964 par SNECMA et Bristol Siddeley : il a été éliminé au bénéfice de l'Adour pour l'avion Jaguar ; il a ensuite été proposé, dans une version adaptée, pour motoriser le projet d'avion de combat à géométrie variable franco-britannique, mais celui-ci ne s'est pas concrétisé (1967) ; une version civile a été retenue pour l'avion allemand VFW 614, mais n'a été produite qu'à une soixantaine d'exemplaires ;
- le turboréacteur pour l'avion de combat européen, entrepris en 1984, associant SNECMA, Rolls Royce, MTU et Fiat : ce programme a échoué en 1985 pour de nombreuses raisons, dont la difficulté de partager les responsabilités entre les motoristes britannique et français. Le moteur M 88 a alors été retenu pour satisfaire le besoin français.

Turboméca

La société Turboméca – créée avant la guerre par J. Szydowski et A. Planiol pour la réalisation de compresseurs de suralimentation – s'est orientée dès 1948, avec le soutien des services officiels (A. Vialatte), vers les petites turbomachines d'une structure très simple. Ont ainsi été conçus les turboréacteurs Orédon et Piméné, celui-ci ayant été le premier petit réacteur au monde monté sur un avion (planeur Sylphe, en 1949). Le turboréacteur Marboré (1950) a eu un très grand succès, équipant l'avion Fouga Magister et l'engin cible CT 20, ainsi que divers programmes américains. Les turboréacteurs qui ont suivi – Gabizo (1954), Aubisque (1962), Astafan (1969) – eurent un succès très limité. En dehors de l'Adour et du Larzac, Turbomé-

ca n'a plus participé à d'autres programmes de turboréacteurs pour aéronefs.

En revanche, cette entreprise, sous la présidence très active de J. Szydowski, a eu un succès éclatant dans le domaine des turbomoteurs pour hélicoptères. En 1953, le générateur de gaz Palouste a équipé l'hélicoptère Djinn (premier hélicoptère à turbine au monde). Puis le turbomoteur Artouste a équipé l'Alouette, qui a rencontré un très grand succès, faisant de Turboméca un des grands motoristes sur ce créneau. Par la suite, le Turmo (Superfrelon, Puma) et l'Astazou dans ses multiples versions (Gazelle, Dauphin...) furent produits en grand nombre.

À partir de 1973, sous la direction de G. Pertica, la gamme des turbomoteurs fut entièrement renouvelée : Arriel en 1974 (qui se révéla excellent), Makila en 1976 (Superpuma), TM 333 (1976) et TM 319 (1983), qui furent associés aux hélicoptères d'Aérospatiale-Eurocopter ou de constructeurs étrangers. Deux programmes en coopération furent réalisés pour les hélicoptères NH 90 et Tigre : le RTM 322 (essentiellement avec Rolls Royce) et le MTR 390 (avec MTU).

Le succès éclatant de Turboméca dans le domaine des moteurs d'hélicoptères peut s'expliquer par la réunion d'un hélicoptériste et d'un motoriste tous deux très novateurs, qui ont travaillé dans la durée, mais aussi par la très grande adaptabilité du motoriste aux besoins et aux contraintes du marché.

Dans le domaine des turbopropulseurs, en revanche, Turboméca n'a guère eu de succès : le Bastan (1955) a été utilisé sur le Nord 262, l'Astazou (remarquable sur beaucoup de points) a eu plusieurs applications, mais chacune en faible nombre, le Turmo III D a équipé le Bréguet 941 (abandonné après trois appareils) et le TM 319 n'a pas percé.

Autres réalisations

La nécessité de disposer de turbodémarrateurs a été à l'origine de la création de la société Microturbo, dont les productions de ce type ont équipé les ATAR (Noëlle), le M 53 puis, dans une architecture différente, les avions Jaguar, *Hawk*, Rafale (Rubis) et des programmes étrangers.

Quelques turboréacteurs pour missiles ont été développés :

- par Turboméca, à partir de 1950 : Marboré (pour engins cibles CT 20 et Ryan Firebee, en plus des avions), Arbizon (pour Otomat, de l'italien Ottomelara associé à Matra) ;
- par Microturbo, pour diverses applications et surtout, à partir de 1970, le turboréacteur TRI 60 (dit “consommable”) pour l'engin cible C 22 et, après diverses améliorations, pour des missiles de croisière (SCALP...).

LES MOTEURS CIVILS

Les acteurs officiels principaux ont été les mêmes que pour les moteurs militaires, ainsi que la Direction générale de l'aviation civile (responsable des programmes aéronautiques civils).

Après le programme Concorde, entièrement financé par les gouvernements, les soutiens financiers ont été apportés par des procédures spécifiques : conventions d'avances remboursables, prêts, aides ponctuelles forfaitaires de faible ampleur...

Olympus 593

Pour le programme franco-britannique Concorde, qui a commencé en 1962, la propulsion était assurée par le groupe propulsif Olympus 593, réalisé par Bristol Siddeley (moteur proprement dit) et SNECMA (ensemble arrière assurant les fonctions de réchauffe, d'adaptation des géométries, d'atténuation de bruit et d'inversion de poussée). Le développement, conduit avec des soutiens financiers analogues à ceux utilisés pour les moteurs militaires, a comporté un volume énorme d'études et d'essais (justifié par le caractère très novateur de l'opération). Les objectifs – de performances, de fiabilité et autres – ont été suffisamment approchés pour que l'avion puisse accomplir sa mission de base. Pour l'ensemble arrière, trois versions ont dû être développées, équipant respectivement les avions prototypes, le premier de présérie et les autres appareils.

Le programme Concorde a été un succès technique, mais un échec commercial. Par sa participation à l'opération Olympus 593, SNECMA a développé son expertise technique dans des domaines de pointe, acquis une capacité de gérer des pro-

grammes complexes et de participer à une coopération internationale majeure, et a eu accès au monde du transport aérien civil (constructeurs, compagnies aériennes). Il est indéniable que, si SNECMA n'avait pas eu cette expérience, sa participation au programme CFM 56 aurait été très différente, voire impossible.

Le moteur de l'Airbus

Pour ce programme, initié dans la deuxième partie des années 1960, le moteur envisagé était le RB 207, réalisé par Rolls Royce, associé à SNECMA et à un constructeur allemand. Les difficultés techniques, puis financières, rencontrées par Rolls Royce sur le moteur RB 211 (pour l'avion Lockheed 1011), ont conduit à l'abandon du RB 207.

Trois solutions de remplacement ont été envisagées : une version développée du RB 211 (peu crédible), une version développée du JT 9D de Pratt et Whitney (qui avait la faveur des motoristes industriels et officiels français), et une version du CF 6 de General Electric. Les avionneurs ont fortement poussé en faveur de la dernière solution, qui a été acceptée. En 1969, SNECMA s'est associée à General Electric – en compagnie de MTU – pour fabriquer le CF 6-50. L'opération s'est remarquablement déroulée et a été poursuivie pour les versions suivantes (CF 6-80 A, C puis E).

Le CFM 56

À partir de 1960, la réalisation d'un turboréacteur civil était recherchée par SNECMA et fortement soutenue par les services officiels. Ceux-ci demandaient que le programme soit réalisé en association avec un des grands motoristes déjà bien implantés sur le marché civil : Pratt et Whitney, General Electric, Rolls Royce. Un moteur de taille moyenne – avec une poussée de l'ordre de 100 kN – a été retenu. Après avoir pris contact avec les partenaires envisagés, SNECMA a proposé en 1971 une alliance avec General Electric. Le programme CFM 56-2 a été lancé sur ces bases au début de 1972, avec un partage égalitaire entre les deux sociétés. L'État français apportait à SNECMA son soutien par des avances remboursables ; General Electric, en

utilisant le corps haute pression du moteur militaire F 101, déjà développé, réduisait l'importance de son effort financier.

Réalisé dans d'excellentes conditions – avec une remarquable entente entre les présidents R. Ravaud (SNECMA) et G. Neumann (GE) –, le programme a toutefois été ralenti par des problèmes de sécurité de défense posés par le gouvernement américain (réglés en 1973) et par l'attente d'une première commande par une compagnie aérienne. Celle-ci n'est intervenue qu'en 1979, avec la remotorisation de DC 8-61 pour United Airlines. D'autres commandes ont suivi pour remotoriser des avions ravitailleurs (KC 135 et C 135 F français) et des avions de surveillance (AWACS).

Malgré l'arrivée après 1985 d'un moteur concurrent (V 2500, réalisé par Pratt et Whitney, Rolls Royce et divers autres motoristes), les commandes se sont enchaînées :

- en 1980 : CFM 56-3 pour le Boeing B 737 modernisé, qui eut un énorme succès (plus de 4 500 moteurs produits) ;
- en 1982-1984 : CFM 56-5A et 5B pour les Airbus A 320, A 321, A 319 ;
- en 1987 : CFM 56-5C pour l'Airbus A 340 ;
- en 1993 : CFM 56-7 pour le Boeing 737 de nouvelle génération...

À la fin de 2001, près de 13 000 moteurs CFM 56 avaient été produits, qui avaient accumulé près de 200 millions d'heures de vol, avec des performances très brillantes. Les premières avances financières avaient été remboursées.

Ce succès éclatant paraît dû – en dehors du marché très porteur des avions moyens courriers de 150 places – à l'excellence du produit, à la qualité des relations entre les industriels, mais aussi à leur grande adaptation aux besoins (avec les nombreuses variantes du CFM 56).

La certification

Entre 1944 et 1990, les opérations de certification, en France, des moteurs civils ont été conduites par la Direction de l'aviation civile, avec le soutien technique de la Direction des constructions aéronautiques.

La compétence des spécialistes de certification, tant industriels qu'officiels, a dû être fortement accrue :

- pour l'Olympus 593 (avec la rédaction de nouveaux règlements adaptés) : l'autorité britannique – *Civil Aviation Agency* – a été un formateur exceptionnel des Français ;
- pour les hélicoptères (qui posaient des problèmes spécifiques).

La certification du CFM 56 – conjointe, américaine et française – a été particulièrement rigoureuse (pour les essais d'ingestion ou d'intégrité des composants, pour la validation des durées de vie cyclique...), ce qui a participé à la qualité du moteur et à la crédibilité des certificateurs français, industriels ou officiels.

L'inversion de jet

SNECMA a été pionnier dans le domaine de l'inversion de jet (qui permet le freinage des avions, au sol ou en vol), avec la première réalisation expérimentale au monde, en 1950, sur un avion Vampire. La première réalisation concrète de la société a concerné le Concorde, avec l'ensemble Olympus 593. Puis SNECMA a équipé l'avion Dassault Mercure (limité à une dizaine d'exemplaires).

Les sociétés Hispano (dans le groupe SNECMA depuis 1968) et Hurel-Dubois (qui a rejoint le groupe en 2001) ont réalisé des inverseurs de jet et des éléments de nacelle.

Moteurs pour avions légers

En matière de propulsion d'avions légers, la France a été assez présente dans les premières années de la période, avec des moteurs à pistons (développés antérieurement ou sous licence). Par la suite, l'industrie française a dû abandonner devant le monopole des motoristes américains.

Dans le domaine des turboréacteurs, Turboméca, qui avait été pionnier avec Piméné, sur le planeur Sylphe, n'a pas poursuivi ses efforts. Microturbo a cherché à pénétrer le marché (TRS 18), mais n'a réussi que de façon marginale.

Groupes auxiliaires de puissance

Les groupes auxiliaires de puissance (fournissant de l'énergie aux aéronefs lors de l'arrêt des propulseurs) auraient dû être un sujet de prédilection des motoristes français. En fait, Turboméca avait fait son entrée dans le domaine des turbomachines sur ce créneau en 1948, mais il n'a pas poursuivi. Quant à Microturbo, il a occupé quelques niches du domaine, mais de très faible importance.

Dans les années 1980, devant l'ampleur du marché civil, Turboméca a essayé de s'y replacer en opérant des alliances avec des équipementiers (ABG-Semca, Sundstrand), voire avec Garrett, le grand spécialiste américain. Jugeant l'effort financier trop important, l'entreprise a toutefois abandonné cette stratégie dans les années 1990.

Hélices

Le seul hélicier français qui ait subsisté sur la période 1944-1990 a été Ratier – qui s'est aussi très largement diversifié. Il a été progressivement repris par la société américaine Hamilton Standard.

Ratier a couvert une partie des besoins français (sous licence pour les avions Transall et Atlantic). En 1989, avec le soutien des services officiels, Ratier a développé des hélices en composite qui apportaient des avantages importants, en particulier pour le Transall.

Autres applications

Les applications industrielles des moteurs aéronautiques français ont été limitées, contrairement aux réalisations de certains motoristes étrangers, tels que General Electric et Rolls Royce. Une certaine activité a toutefois été développée, surtout au début de la période couverte :

- pour SNECMA à partir de l'ATAR ;
- pour Hispano Suiza avec la turbine THM (à partir d'un réacteur abandonné), avec un certain succès ; mais l'opération a été reprise par une société étrangère ;
- pour Turboméca à partir de l'Astazou, du Bastan, des Turmo (trains, bateaux...), puis avec quelques applications originales pour les systèmes terrestres (comme le char Leclerc) ;

- pour Microturbo avec de petites machines terrestres.

CONCLUSION

En 1990, l'industrie française des moteurs avait atteint un statut tout à fait éminent. Comme beaucoup d'autres secteurs industriels, elle s'était fortement concentrée : elle était en route vers le groupe unique qui a prévalu en 2000.

Elle était présente, au tout premier plan mondial, seule ou en coopération, sur des créneaux fondamentaux : turboréacteurs d'avions de combat (M 88), turboréacteurs d'avions de transport civils (CFM 56), turbomoteurs pour hélicoptères (la gamme de Turboméca). Les progrès accomplis depuis 1944 ont été considérables !

Ces résultats remarquables sont à mettre à l'actif des industriels qui ont su concevoir des moteurs performants et fiables, les produire de manière compétitive, les vendre... mais aussi aux services officiels qui ont su accompagner ces actions de manière efficace, en apportant des financements selon les modalités les mieux adaptées, en guidant et en encadrant les sociétés avec un grand pragmatisme.

LES ÉQUIPEMENTS AÉRONAUTIQUES

Coordinateur d'ensemble : Jean Carpentier

PREAMBULE

L'ouvrage ne traite que d'une partie de ce que l'on nomme « équipements », selon la terminologie du GIFAS. Il concerne les appareils et instruments nécessaires au fonctionnement de l'avion, de l'hélicoptère, du missile et du lanceur en tant que véhicules aériens ou aérospatiaux, ainsi qu'au fonctionnement de leurs organes de propulsion.

Plus précisément, il s'agit des équipements suivants :

- instruments de planche de bord ;
- commandes de vol directes ou assistées et calculateurs associés ;
- pilotes automatiques, calculateurs et postes de commande associés ;
- simulateurs de vol ;
- moyens de navigation autonome et calculateurs associés ;
- instruments de contrôle moteur, de jaugeage et de débit de carburant ;
- générateurs de puissance (électrique, hydraulique, pneumatique), avec les appareils de distribution et de régulation associés ;
- moyens de pressurisation et de climatisation ;
- moyens de secours et de survie.

Le train d'atterrissage, parfois considéré comme faisant partie de la cellule, n'est pas traité. Sont aussi exclus tous les moyens radio, radar, contre-mesures ainsi que les conduites de tir des armes. En revanche, on a mentionné les instruments d'observation spatiale, en soulignant leur filiation avec les appareils d'observation aérienne.

En outre, une rubrique plus générale sur les systèmes a été incluse, pour tenir compte de l'importance qu'ils ont prise dans la période considérée, à partir du Mirage IV.

L'ouvrage comprend des annexes sectorielles et des annexes thématiques. Les premières évoquent les instruments de bord, les commandes de vol, les pilotes automatiques pour avions et pour hélicoptères, les simulateurs de vol, la navigation autonome pour l'aéronautique et l'Espace, le guidage-pilotage des missiles balistiques et des missiles tactiques, la photographie aérienne et l'observation par satellite, les questions de sécurité, sauvetage et oxygène et l'alimentation électrique. Les annexes thématiques reviennent sur les relations internationales, donnent des statistiques sur les sociétés du secteur aérospatial, évoquent la filiation des équipements de l'aéronautique à l'Espace, l'histoire des équipements spatiaux, résument l'évolution des équipements des avions et des hélicoptères français de 1945 à 1985, citent le rapport du groupe de travail des équipements aérospatiaux de décembre 1975 et développent de façon détaillée le passage des équipements aux systèmes. Enfin, des monographies évoquent des pionniers et des firmes caractéristiques du secteur.

INTRODUCTION

Les avions de la Première Guerre mondiale n'étaient équipés que de quelques instruments : indicateurs de vitesse, d'altitude, compte-tours du moteur, jauge de carburant. Progressivement, la planche de bord s'est remplie : horizon gyroscopique, compas magnétique et gyroscope directionnel, indicateur de virage, indicateur de pression d'oxygène... À mesure que le domaine de vol des avions s'étendait en vitesse et en altitude, les performances exigées des instruments de bord s'accroissaient.

Il en résulta une profusion d'appareils très variés, installés non seulement sur les planches de bord, de plus en plus encombrées, mais aussi sur une partie sans cesse croissante des parois du cockpit.

Alors apparurent des besoins de sources de puissance, électrique, hydraulique, pneumatique, assorties de réseaux de distribution et de contrôle et destinées à des organes tels que servo-commandes, vérins, moteurs, dégivreurs. La course à l'augmentation des puissances installées à bord fut lancée, avec

le recours à des architectures redondantes pour la sécurité ; les indicateurs de surveillance et de conduite se multiplièrent.

La définition, par « approche système », des équipements embarqués, amplifiée par l'application des techniques numériques à partir des années 1960, fut à l'origine d'une triple révolution qui aboutit, à terme, à des changements radicaux tels que :

- le remplacement des instruments de bord fonctionnant isolément par les indicateurs d'informations élaborées par calculateurs, à partir de capteurs sensibles aux données de base : pression statique, pression dynamique, température, incidence, dérapage, accélération, etc. ;
- la réalisation d'un système global de conduite du vol, avec dialogue entre l'équipage et l'avion par l'intermédiaire du calculateur de bord ;
- l'optimisation de l'exécution de la mission, avec les possibilités offertes par les commandes de vol électriques (CDVE) et le contrôle actif généralisé (CAG) – optimisation prise en compte dès la conception de l'avion grâce, notamment, à la conception assistée par ordinateur (CAO).

Tout cela permet d'optimiser l'ensemble du vol, tant du point de vue des performances que de celui de la sécurité et du respect de l'environnement. Ainsi, partant de rien ou presque, naquit une discipline nouvelle, l'avionique, désormais inséparable de l'aéronautique.

Plus encore que les industries des cellules et des moteurs, celle des équipements était, en 1945, à réorienter très profondément. Elle héritait de la situation d'avant 1939, qui ne donnait aux équipements que peu de place sur les avions.

L'évolution des équipements dans la période qui a suivi a donc été marquée à la fois par un énorme défi, pour sortir de cette situation et pour s'imposer face à la concurrence étrangère, et par la nécessité de s'adapter à des changements techniques et technologiques très importants. On est passé d'instruments simples, de type mécanique ou électromécanique, à des appareils de plus en plus complexes, comprenant une grande part d'électronique, puis à des systèmes regroupant, de façon très intégrée, de nombreuses fonctions, grâce notamment à la géné-

ralisation des techniques numériques et aux performances des composants.

Il faut noter à ce propos qu'outre le grand désir qui régnait alors en France, à tous les niveaux, de reconquérir en matière d'aéronautique une place malheureusement perdue depuis des années, le contexte politique a joué un grand rôle.

Cette politique de choix nationaux a connu, par la suite, un autre moteur avec la prise de conscience, très tôt en France, de la nécessité de débouchés internationaux. La recherche de tels débouchés a pris des formes diverses, mais a constitué une caractéristique très importante dans les comportements des différents acteurs.

L'exportation des avions militaires en donne un bon exemple, dans la mesure où elle a conduit à disposer, pour satisfaire les clients, de l'ensemble des équipements nécessaires, notamment, dans certains cas, pour ne pas tomber sous le coup d'un embargo américain.

Dans le domaine des avions civils, le programme Concorde a poussé les sociétés impliquées, avec les exigences d'un support mondial des compagnies aériennes, à évoluer vers un débouché civil international, ce qui a été consacré par le succès de la famille Airbus.

LES PRINCIPAUX ACTEURS

Les utilisateurs

Les utilisateurs sont, dans le domaine militaire, les armées, représentées par leurs états-majors. Dans le domaine civil, il y a une plus grande diversité : aviation de transport commercial, aviation d'affaires, aviation légère, sécurité civile, Espace.

Les états-majors définissent le besoin opérationnel, d'abord en termes de programme d'ensemble (avion, par exemple), ensuite éventuellement en termes d'équipements particuliers, surtout lorsqu'ils concernent directement la mission ou la sécurité.

Les compagnies de transport aérien sont des utilisateurs, mais aussi des clients directs de l'industrie aéronautique. Pour dialoguer avec les fournisseurs, avionneurs, motoristes et équipementiers, les compagnies ont créé des organismes qui ont été à

l'origine d'un arsenal réglementaire. Celui-ci permet de maintenir un niveau de concurrence élevé entre les fournisseurs, au moyen de normes et de standards très élaborés.

Les services officiels

Dans le domaine militaire, pour les aéronefs et leurs systèmes, ces organismes sont, pour la plus grande partie de la période étudiée, le Service technique aéronautique (STAé – associé au Service de la production aéronautique, SPAé, précédemment appelé Service des marchés et de la production aéronautique, SMPA), et le Service technique des télécommunications de l'air (STTA).

A l'intérieur du STAé, la section Équipements rassemblait la plus grande partie des techniques concernées. Elle a donc joué un rôle très important. Son organisation, par branches techniques, reflétait la diversité des équipements et celle des industriels. Cette organisation était efficace. Mais lorsque se sont développées, dès 1960, les notions de systèmes, elle s'est révélée moins bien adaptée. La responsabilité des systèmes d'armes s'est déplacée vers les ingénieurs de marque et, plus tard, vers les directeurs de programme, qui ont eu logiquement la charge du système complet constitué de l'avion et de son système d'armes.

Cette évolution, amplifiée par l'arrivée des techniques numériques, a été marquée, à partir du 1^{er} janvier 1980, par le changement d'organisation des services de la DTCA, qui a conduit à renforcer le rôle des directeurs de programme à l'intérieur du Service technique des programmes aéronautiques (STPA), alors que l'ensemble des équipements, aussi bien pour la technique que pour la production, relevait d'un seul service, le Service technique des télécommunications et des équipements aéronautiques (STTE).

Pour les missiles et l'Espace, les responsables étatiques étaient les services techniques de la Direction technique des engins (DTEN), créée en 1965 à partir du département Engins :

- le Service technique des engins balistiques (STEN), avec son Bureau guidage-pilotage, soutenu par le laboratoire inertiel du LRBA ;

- le Service technique des engins tactiques (STET), créé en 1970 ;
- le groupe Espace-Satellites du STEN, créé en 1977.

La DTEN a porté, à partir de 1972, le nom de Direction des engins (DEN) puis, à partir de 1990, celui de Direction des missiles et de l'Espace (DME). En 1990, le STEN est devenu Service technique des systèmes stratégiques et spatiaux (ST3S) et le STET Service technique des systèmes de missiles tactiques (STSMT).

Dans le domaine de l'aviation civile, les mêmes services ont été actifs pour tous les aspects liés aux interventions de l'État dans les programmes, et particulièrement pour tout ce qui concerne la réglementation et la certification, en étroite liaison avec les services de la Direction générale de l'aviation civile, qui, jusque vers 1985, sous-traitait largement à la DGA les actions techniques et la politique industrielle.

Dans le domaine spatial, les instances de concertation entre la DGA (principalement la DTEN) et le CNES (Centre national d'études spatiales) ont permis une bonne coordination et une synergie des études, réalisations et essais, pour les besoins militaires et pour les besoins civils. C'est ainsi que le ministère de la Défense a contribué financièrement au développement du lanceur Ariane et de la plate-forme des satellites d'observation civils SPOT.

En matière d'études amont, la Direction des recherches et des moyens d'essais (DRME), créée au sein de la DMA en 1961, et devenue Direction des recherches, études et techniques (DRET) en 1977, fit participer les laboratoires universitaires à la résolution des points durs technologiques, ainsi qu'à la préparation du futur.

De 1945 à 1965, le domaine des équipements n'a pas donné lieu, sauf exceptions, à une activité de recherche significative, la plupart des innovations étant dues à l'amélioration des techniques et à l'emploi de technologies plus performantes.

En revanche, par la suite, l'appel à la recherche se fit plus pressant, et de nombreuses branches firent l'objet, en amont, de travaux scientifiques, par exemple dans le domaine de l'optique (laser, optiques adaptatives...) ou du magnétisme (aimants, détection des anomalies magnétiques...), ou encore de l'électrotechnique.

C'est ainsi que l'ONERA mena différents types de recherches, par exemple sur les accéléromètres ultrasensibles, les oscillateurs de grande stabilité et sur les équipements de télémétrie et de trajectographie des missiles expérimentaux.

Cependant, il faut regretter qu'il n'y ait pas eu, en France, l'équivalent d'un centre de recherche spécialement consacré aux équipements aéronautiques, du type de ceux qui existaient aux États-Unis, en particulier au MIT, avec, notamment, le laboratoire du D^r C. S. Draper, qui fut à l'origine de la navigation par inertie pour avions.

En revanche, le besoin en moyens d'essais a très tôt conduit à mettre sur pied des centres d'essais dotés d'installations appropriées, aussi bien au sol qu'en vol.

Il faut noter, en particulier, le rôle éminent du Service méthodes du Centre d'essais en vol, qui fut une pépinière de créateurs d'instruments de mesure et d'enregistrement, notamment à la SFIM, créée à l'initiative du CEV. Il faut aussi rappeler que les laboratoires du STAé, implantés à la Cité de l'Air, essayaient, dans les années 1950, les équipements de bord, appareils électriques inclus.

A ces moyens s'ajoutaient ceux de la SOPEMEA, qui étaient mis à la disposition des industriels par l'État pour le développement de leurs matériels.

Dans le domaine spatial, les installations d'essais d'Intespace, filiale commune de la SOPEMEA et du CNES, et celles des industriels ont été très utilisées pour les équipements aérospatiaux, à finalité militaire aussi bien que civile.

Les industriels

Juste après la guerre, le secteur des équipements est, non pas à reconstituer, comme ceux des cellules et des moteurs, mais à rebâtir très profondément. Un effort considérable de remise à niveau est alors lancé, grâce à de nombreux contrats d'étude financés par le budget et destinés à permettre aux industriels d'acquérir les connaissances issues de la guerre, de maîtriser, au besoin par prise de licence, la production de nouveaux produits, et de former les ingénieurs et les techniciens pour le futur.

La période est particulièrement féconde en créations d'entreprises, souvent à l'initiative des services officiels ou avec leur accord, surtout dans les domaines inconnus. Ainsi sont nées Auxilec, pour la fourniture et la distribution de l'énergie électrique à bord, la SFIM, qui se consacre, à l'origine, aux capteurs et enregistreurs, la SFENA, dont les études portent sur le pilotage automatique et les instruments gyroscopiques, Intertechnique, spécialiste de l'oxygène et des appareils de survie, et la SEMCA, pionnier de la pressurisation et du conditionnement d'air.

En 1971, alors que l'industrie des avions, des hélicoptères et des missiles a entrepris un vaste mouvement de concentration et de restructuration, avec notamment la naissance, en 1970, d'Aérospatiale, à partir de Nord-Aviation, Sud-Aviation et SEREB, le groupe Équipements du GIFAS compte encore une centaine de membres.

Cette situation ne correspond plus à l'évolution des besoins, constatée pourtant dès 1960, avec l'apparition des systèmes de plus en plus intégrés, qui imposent une nouvelle approche des problèmes. Il y a bien des tentatives de restructuration du secteur, mais soit elles sont insuffisantes, soit elles se soldent par des échecs (ainsi du GIE ISPENA).

Le groupe de travail des équipements aérospatiaux, animé par la DPAI (Direction des programmes et des affaires industrielles), indiquait, dans son rapport de décembre 1975, que le secteur comprenait en 1974 environ 60 entreprises, employant au total 20 000 personnes. Leur chiffre d'affaires global était de 2 200 MF. Les sociétés d'équipements, généralement de petite taille, étaient peu diversifiées.

Le groupe de travail constatait des points forts, notamment pour les pilotes automatiques, les instruments de bord et l'appareillage électrique embarqué, mais aussi certains points faibles, auxquels il fallait remédier en rééquilibrant les crédits d'étude en faveur du secteur des équipements.

Il fallait aussi promouvoir la compétence « systèmes » et réduire la dispersion. Les pionniers de cette promotion des systèmes furent les avionneurs, qui étaient les mieux placés pour connaître les besoins des utilisateurs et pour optimiser l'ensemble du système et qui, en outre, abritèrent dans leurs structures des activités d'équipementier.

Ainsi, le département Équipement de Dassault étudia et fabriqua tous les éléments des commandes de vol électrohydrauliques de ses avions et fut étroitement associé à la recherche de la performance d'ensemble. De même, le labo 35, à Sud-Aviation, puis à Aérospatiale, définit et élaborait les calculateurs pour la conduite des Airbus. D'autre part, Matra fut le plus important fabricant de gyroscopes pour ses missiles air-air, et SNECMA créa en son sein ELECMA, lorsque l'électronique supplanta la mécanique et l'hydraulique pour la régulation des réacteurs.

Depuis les réorganisations de 1945, le marché le plus important du secteur venait des contrats passés par l'État, dont les services avaient réparti les équipements en trois catégories :

- catégorie A : développement et intégration sous responsabilité de l'État, correspondant à l'armement opérationnel (munitions, canons, missiles, gérés par les entrepôts militaires) ;
- catégorie B : développement sous responsabilité de l'État, intégration par l'avionneur, correspondant à des équipements pouvant se retrouver sur diverses séries d'avions et qui étaient gérés par le SPAé ou le STTA, dans des marchés globaux, et redistribués par eux aux constructeurs et utilisateurs ;
- catégorie C : développement et intégration sous la responsabilité de l'avionneur, pour des équipements moins susceptibles d'être regroupés, dont l'approvisionnement était laissé au constructeur d'ensemble et compris dans ses marchés.

Les crédits d'étude étaient alors attribués en fonction du produit, de ses performances intrinsèques, plutôt qu'en fonction de son emploi sur un avion ou hélicoptère donné. Par la suite, c'est

essentiellement dans le cadre du développement des programmes (vecteurs et systèmes d'armes) que les crédits ont été alloués.

Avec l'approche « système », on rechercha une réponse globale en termes de fonctions, opérationnelles ou techniques, aux problèmes posés par l'exécution d'une mission. Il ne s'agissait plus d'une juxtaposition d'équipements mais d'un ensemble organisé en vue de son optimisation, pour les performances, la sécurité de fonctionnement et le coût.

L'avionneur s'est vu le plus souvent confier, au titre d'un contrat de coordination, en association avec les principaux équipementiers et missiliers, le rôle d'ensemblier, chargé d'assurer la cohérence et l'harmonisation du système. Il a dû, pour cela, se doter de moyens de conception, de développement et de mise au point, au niveau système.

De leur côté, les équipementiers ont dû s'adapter à un nouveau type d'organisation, lié à l'intégration de plus en plus grande des systèmes, mais aussi développer, à leur propre initiative, de nouvelles capacités techniques et industrielles.

Ainsi, au fur et à mesure des programmes successifs, une évolution profonde a eu lieu.

Le rôle des équipements s'est accru considérablement, depuis la période où deux grands programmes, le Mirage IV et le Concorde, avaient mis en lumière l'importance qu'ils allaient prendre dans l'aéronautique militaire et dans l'aviation civile.

L'EFFET DES PROGRAMMES MIRAGE IV ET CONCORDE

Le programme Mirage IV, premier d'une lignée de systèmes d'armes

Vecteur de l'arme atomique, le Mirage IV imposait que sa conception et sa mise en œuvre soient totalement libres de toute limitation étrangère. Pour la première fois, les équipementiers français purent bénéficier de crédits d'étude et de développement d'un montant à la hauteur de la priorité politique donnée à l'ensemble du programme. Ainsi, au début des années 1960, lorsque les premiers Mirage IV sortent en série, ils sont, à quelques ex-

ceptions près (comme les pompes hydrauliques), dotés d'équipements français : instruments de bord, pilote automatique, génération électrique, conditionnement d'air..., sans oublier les commandes électriques de vol, fournies par le département Équipement de Dassault.

Le Système de navigation bombardement (SNB) du Mirage IV fut le premier cas d'application d'une approche « système » à un avion français : de nombreux éléments, dont seule la performance globale était fixée, devaient intervenir de manière intégrée. Une très large maîtrise d'œuvre fut accordée à l'avionneur et, pour le SNB, au département Électronique de Dassault – qui devint ensuite Électronique Marcel Dassault et joua un grand rôle dans le domaine des autodirecteurs électromagnétiques, des radars aéroportés, des calculateurs et des logiciels associés.

La gestion du programme, destiné à la première composante de la Force nucléaire stratégique (FNS), bénéficia de moyens très importants fournis par les services officiels – en particulier, pour les essais et la mise au point, de nombreux avions de servitude au CEV. Grâce à ces moyens et à la grande rigueur exigée par les services officiels, le maître d'œuvre et les équipementiers tinrent les délais, très courts (recette du système complet au début de 1964), avec des spécifications techniques très contraignantes.

Depuis le programme Mirage IV, qui a ouvert la voie, les équipes « systèmes » de l'industrie aéronautique française (avionneurs et équipementiers) ont produit plus de 4 000 systèmes, dans plus d'une centaine de versions différentes, pour satisfaire à la fois les besoins français et ceux de l'exportation.

Après le Mirage IV, l'avionneur a exercé, de plus en plus, un rôle d'architecte industriel, avec, dans le cas du Rafale, la responsabilité des appels d'offres et un engagement sur les performances. Cette formule, fondée sur des méthodes et moyens sans cesse perfectionnés, a permis d'obtenir d'excellents résultats et de faire face à la complexité croissante des systèmes (matériels et logiciels).

La maîtrise des techniques numériques a conduit à des progrès considérables chez tous les industriels concernés. Le pre-

mier système numérique centralisé a été réalisé sur Mirage 2000, en plusieurs versions mettant en œuvre, dans les années 1980, de très nombreuses innovations.

Puis, avec le programme Rafale, dans les années 1990, on a abouti à un système d'armes d'une exceptionnelle polyvalence, capable de remplacer, à lui seul, tous les types précédents d'avions de combat de l'armée de l'Air et de l'aéronautique navale.

Le programme Concorde

On pourrait penser que le programme Concorde, dont le lancement se situe à la fin de 1962, reprendrait en majorité des équipements du Mirage IV. La réalité est tout autre et permet de mesurer les limites de la dualité civil-militaire. Les différences étaient nombreuses et essentielles :

- des avionneurs maîtres d'œuvre différents (Sud-Aviation et British Aerospace pour le Concorde et Dassault pour le Mirage IV) ;
- des normalisations qui s'ignoraient : normes ARINC pour le civil, normes nationales pour le militaire ;
- des concepts opérationnels étrangers l'un à l'autre (par exemple, pour l'approche, l'utilisation de l'ILS, *Instrument Landing System*, avec responsabilité du bord pour le civil, alors que les militaires utilisaient le radar GCA, avec autorité du sol) ;
- des compagnies aériennes réticentes à changer leurs relations avec des fournisseurs américains ou britanniques bien connus.

Toutes ces différences conduisaient à des approches système, des conceptions et des produits très différenciés.

Mise à hauteur technologique, apprentissage de la coopération, confrontation avec le monde de l'aviation commerciale et ses exigences pour l'après-vente, la gestion des rechanges, les délais de livraison et de réparation, les normes et procédures de qualification des organisations américaines : toutes ces contraintes du programme Concorde ont conduit les équipementiers à un effort considérable d'adaptation, dont les fruits se sont retrouvés, au prix d'investissements supplémentaires, dans l'équipement des avions de la famille Airbus.

LES CONSEQUENCES DES PROGRAMMES DE MISSILES BALISTIQUES

Les deux autres composantes de la Force nucléaire stratégique étaient fondées sur des missiles balistiques, pour lesquels il fallait réaliser, avec des moyens purement français, des centrales de guidage inertiel de grande précision. Il fallait aussi réaliser des centrales de navigation inertielle de haute qualité pour les sous-marins nucléaires lanceurs d'engins (SNLE).

À partir de 1958, la volonté gouvernementale s'exprima rapidement par la constitution d'organismes étatiques (Département, puis Direction des engins, ou DTEN) et industriels (SEREB, Société d'études et de réalisations d'engins balistiques), par la création du Centre d'essais des Landes (CEL) et par l'attribution de crédits importants. La SEREB joua le rôle d'ensemblier et de systémier et les solutions techniques furent très vite élaborées.

Sur proposition de la SEREB et du Service technique des constructions et armes navales (STCAN), la SAGEM fut retenue à la fois pour le guidage des missiles et pour la navigation des SNLE. Cette décision créa les conditions d'une complète cohérence dans l'effort industriel que SAGEM assumait, avec succès, dans un domaine où les États-Unis avaient prédit l'échec de la France. Maître d'œuvre des systèmes d'armes, la SEREB prit aussi la responsabilité directe des logiciels de dialogue et d'alignement entre la centrale du SNLE et les centrales des missiles.

Le contrôle technique par les services étatiques fut confié aux équipes du LRBA, qui avaient des compétences dans le domaine du guidage grâce à l'expérience acquise avec les fusées à ergols liquides, qui aboutirent au programme Diamant. Ces équipes furent renforcées par celles du Centre d'essais en vol de Brétigny, très compétentes pour les essais de composants inertiels (gyroscopes et accéléromètres) pour avions. Le LRBA créa des moyens d'essais uniques en France pour mesurer au sol, avec un niveau de précision suffisant, les performances qui devaient être atteintes en opérations.

Il faut souligner que si, pour les avions, les crédits « cellules » et les crédits « moteurs » dominaient largement ceux destinés aux équipements, les programmes des missiles sol-sol balis-

tiques stratégiques (SSBS) et mer-sol balistiques stratégiques (MSBS) donnèrent au contraire un rôle de premier plan aux systèmes de guidage inertiel.

LES RELATIONS INTERNATIONALES

Les importations d'équipements et le renouveau technique et industriel

Immédiatement après la Seconde Guerre mondiale, les achats d'équipements à l'étranger se sont imposés. Des importations indirectes d'équipements ont été générées par les importations d'avions ou d'hélicoptères dans lesquels ils étaient intégrés.

En parallèle avec les premiers achats « sur étagère » d'avions de combat américains, le ministère de l'Air suscita des prises de licence par la SNCASE d'avions britanniques, tels que le Vampire Mk 5, suivi de Mistral et d'Aquilon – soit plus de 500 chasseurs à réaction. Cette fabrication d'avions sous licence permit aux équipementiers français de développer leurs propres capacités.

Dès le lancement des programmes français d'avions de combat à réaction, tels que l'Ouragan, cette situation se confirma et se développa. Ainsi, les instruments anémométriques furent fournis par l'Appareillage aéronautique (Badin) et Jaeger, la centrale gyro-magnétique par Bézu, le contrôle moteur par AMA et Faure Herman, les inhalateurs par SFIM ou Intertechnique. La génération électrique, les circuits carburant et oxygène, la pressurisation cabine, les viseurs et autres instruments furent réalisés par Labinal, Dinin, Aviac, Le Bozec, Bronzavia, Superflexit, SEMCA, Derveaux, Vinot. Un horizon électrique SFENA fut utilisé dès le SMB 2.

À partir des séries de Mirage, l'approvisionnement en équipements étrangers pour les avions de combat français ne s'est plus imposé, à l'exception d'éventuelles obligations d'achats dans le cadre de programmes de coopération internationale. Cependant, l'autonomie d'approvisionnement et la compétitivité retrouvées n'exclurent pas quelques achats « sur étagère ». Ce fut le cas notamment lors de la commande des avions ravitailleurs Boeing KC 135, des avions de combat embarqués Crusader

(dans les années 1960), des avions de transport C 130, des avions de détection lointaine Boeing AWACS et Grumman Hawkeye (dans les années 1980-1990). Ces achats d'avions militaires entraînent l'importation directe de leurs équipements, dont la haute technicité ouvrait des perspectives nouvelles.

Les exportations d'équipements

Dès 1966, Boeing décida d'équiper tous les B 707, et, par la suite, tous ses avions 727, 737, 747, 757, 767, d'horizons de secours SFENA. Douglas, Lockheed et Airbus firent de même pour leurs avions. Ces horizons de secours furent aussi produits sous licence aux États-Unis et en Allemagne.

La liste d'équipements d'avionique français ayant remporté un grand succès à l'exportation s'étend aussi aux servocommandes (AMD, Air Équipement), aux pilotes automatiques pour avions et hélicoptères (SFENA, SFIM), aux centrales de navigation et de guidage (Sextant, SAGEM), aux dispositifs de visualisation (Thomson-CSF, Sextant, SAGEM), aux batteries (SAFT) et aux autres systèmes de génération électrique (AUXILEC) et de génération hydraulique, ainsi qu'aux ensembles de conditionnement d'air (ABG-SEMCA, Intertechnique).

Sextant et SAGEM, mettant en œuvre les technologies les plus récentes, ont acquis des positions remarquables au niveau mondial. C'est ainsi que Sextant a vendu des équipements de pilotage et de navigation par inertie pour de nombreux avions, hélicoptères et missiles étrangers, et que SAGEM est devenue le premier constructeur européen (et le troisième mondial) de systèmes inertiels.

La coopération internationale

La coopération franco-britannique, très active dans les années 1960 sur les avions Concorde et Jaguar, les hélicoptères Puma, Gazelle et Lynx, s'est ralentie ensuite, pour connaître une nouvelle embellie vers la fin des années 1980.

Sur le plan technique, Concorde fut une brillante réussite des équipes, française et britannique. Elle marqua la percée de techniques nouvelles en aérodynamique et en propulsion, mais aussi en avionique, avec l'utilisation, pour la première fois au monde

sur un avion de transport civil, de commandes de vol électriques (avec secours mécanique). Le programme Concorde a permis aux équipes du Sud-Aviation de se hisser au tout premier plan pour l'aviation de transport et d'aborder dans les meilleures conditions le programme Airbus.

Au cours des années 1950, le retour de la République fédérale d'Allemagne dans l'activité aéronautique mondiale permit d'instaurer une coopération avec les industriels allemands, notamment les nouveaux équipementiers, tels que Bodenseewerke et BGT. Cette coopération franco-allemande s'amplifia dans le cadre des programmes d'avions Transall et Alphajet, de missiles air-sol, et plus récemment de l'hélicoptère de combat Tigre et de l'hélicoptère de transport et de lutte anti-sous-marine NH 90.

À ces coopérations bilatérales, il faut ajouter de grands programmes multilatéraux :

- Bréguet Atlantic, dans les années 1960, étudié, réalisé et utilisé par la France, l'Allemagne, les Pays-Bas et l'Italie, brillamment conduit par René Bloch ; ce fut un remarquable succès, auquel de nombreux équipementiers français apportèrent leur contribution ;
- Airbus, à partir des années 1970, dont la conception technique doit beaucoup à Roger Béteille, est devenu la figure de proue de l'aéronautique européenne. Dans la famille Airbus, les innovations en avionique se succédèrent : commandes de vol électriques, pilotage numérique, tableau de bord cathodique, etc. ;
- Ariane, programme auquel les équipementiers français ont puissamment contribué, en liaison étroite avec Aérospatiale et Arianespace. Citons notamment le système de guidage inertiel à gyros laser de Sextant-Avionique, qui assure la précision de la mise en orbite des satellites géostationnaires.

Entre 1963 et 1999, en moyenne annuelle, le chiffre d'affaires annuel d'exportations directes de la branche Équipements a été de l'ordre de 50 % du chiffres d'affaires global (qui était voisin de 20 milliards de francs 1995).

Les effectifs de la branche Équipements étaient évalués, en 1999, à 21 500 personnes. En moyenne, entre 1956 et 1999,

ces effectifs ont représenté 25 % de ceux de l'industrie aérospatiale française.

CONCLUSION

L'énorme effort qu'il fallut entreprendre, de 1945 à 1950, pour reconstruire l'aéronautique française fut principalement centré sur l'industrie des cellules et sur celle des moteurs. Les instruments de bord et les autres équipements des avions étaient conçus et fabriqués par de très petites entreprises, dont certaines venaient d'être créées par des ingénieurs dynamiques, plus aptes à concevoir des appareils mécaniques ou électromécaniques nouveaux qu'à développer et à gérer une firme industrielle devant s'implanter sur un marché ouvert à une concurrence étrangère.

Avec le recul et même si, à l'époque, cela n'avait pas été pleinement perçu par les principaux acteurs et décideurs, 1955-1960 fut une période charnière. Avec la transistorisation et les circuits intégrés, qui apparurent dans les années 1960, l'électronique devenait fiable et pouvait remplacer avantageusement la mécanique dans de nombreux équipements. Ce fut aussi le début des techniques numériques, avec les études de calculateurs digitaux embarqués. Ce fut encore le lancement, dès 1957, des premières études françaises sur la navigation par inertie, qui prirent un remarquable essor lors du lancement des grands programmes de missiles SSBS et MSBS de la Force nucléaire stratégique.

Deux grands programmes, le Mirage IV et le Concorde, mirent en lumière l'importance que les équipements commençaient à prendre, dans l'aéronautique militaire comme dans l'aéronautique civile, ainsi que la nécessité, pour l'industrie des équipements, de procéder à une restructuration.

Celle-ci, commencée en 1970, s'est poursuivie jusqu'aux années 1990 pour aboutir à la situation actuelle, où quelques grands groupes, tels que Thales et SAGEM, s'appuyant sur une compétence technique pluridisciplinaire et sur une vaste production duale (civilo-militaire), peuvent anticiper sur les besoins du

marché mondial. Ces grands groupes sont ainsi devenus des systémiers, aptes à concevoir avec l'ensemblier, qui reste maître d'œuvre, le système de conduite du véhicule (avion, missile ou lanceur).

Cette approche globale fut très bénéfique, non seulement du point de vue des performances techniques et opérationnelles, mais aussi pour les prix et délais, tant en ce qui concerne les industriels que les services étatiques. C'est ainsi que les essais en vol d'avions de combat, les tirs et les lancements nécessaires à la mise au point des missiles tactiques ou stratégiques furent, grâce à l'approche système, effectués dans de bien meilleures conditions de sécurité et d'efficacité qu'auparavant.

Certes, la constitution de grands groupes industriels à vocation internationale est une tendance commune à tous les secteurs industriels. Mais elle correspond aussi, pour le secteur de l'avionique, à une impérieuse nécessité, liée à la multiplicité des disciplines scientifiques et des techniques mises en œuvre.

Les créateurs de l'avionique du XXI^e siècle seront très différents des pionniers des équipements aéronautiques du XX^e siècle. Cependant, ils devront faire preuve du même souci de créativité que les Alkan, Badin, Bézu, Bonfils, Chombard, De Crémiers, etc., qui ont conçu des instruments de bord et des équipements qui se sont imposés mondialement, tels que :

- les horizons gyroscopiques et les synthétiseurs SFENA, les pilotes automatiques SFENA et SFIM, qui ont une renommée internationale ;
- les dispositifs d'atterrissage automatique tous temps (avec radioaltimètre TRT), certifiés dès 1965 sur Caravelle, en catégorie III A, puis sur Concorde et Airbus, en catégorie III B ;
- les centrales de navigation et de guidage par inertie SAGEM et SFENA ;
- les appareils de photographie aérienne : les sociétés OMER, Kinoptic, Matra-SFOM, Sopelem, Cerco ont été particulièrement actives dans ce domaine ;
- les simulateurs d'entraînement de Thales (ex-LMT), qui se sont imposés sur le marché mondial de l'aviation civile.

Décrire, même succinctement, l'histoire des instruments de bord et des équipements aéronautiques de 1945 à 1985, c'est accomplir un devoir de mémoire envers les acteurs de cette renaissance indispensable aux « ailes françaises », mais c'est aussi souligner que l'évolution des techniques de ce qui constitue maintenant l'avionique procède à la fois par continuité et par mutations.

La continuité est indispensable pour bénéficier de l'expérience acquise par des équipes attentives à l'amélioration des performances et de la fiabilité des matériels (mécaniques, électromécaniques, hydrauliques, électroniques). La continuité exige du temps, de la patience et de la confiance envers les équipes de conception.

Cet effort de longue haleine permet aussi les mutations, comme celle qui a conduit au succès mondial de l'Airbus A 320, où est réalisée l'intégration numérique complète du pilotage et des instruments de conduite du vol.

Variété des disciplines, extension du domaine d'application, mais aussi optimisation du dialogue avec l'utilisateur : telles sont les caractéristiques essentielles des équipements. Depuis plusieurs décennies, ils ont quitté leur rang de matériels secondaires pour devenir progressivement le « cerveau » de tous les grands systèmes aérospatiaux.

En prenant pleinement en compte ces caractéristiques et cette évolution, l'industrie française des équipements aéronautiques, puis des systèmes aérospatiaux, a su se hisser brillamment au tout premier plan mondial.

LES TRAINS D'ATTERRISSAGE ET LEURS SYSTÈMES ASSOCIÉS

Coordinateur d'ensemble : Jacques Veaux

INTRODUCTION

L'ouvrage traite des trains d'atterrissage, de leurs systèmes associés et de l'industrie française qui s'y consacre. Il se donne pour but d'apporter un éclairage sur la contribution de l'État à leur développement, entre 1945 et 1990.

Le train d'atterrissage, compris au sens large du terme, c'est-à-dire dans la totalité de ses fonctions, est à la fois :

- un élément structural intimement lié à la structure de l'avion, mais avec la particularité d'être à géométrie variable, pour lui permettre d'une part d'absorber, par des amortisseurs, l'énergie verticale résiduelle de l'avion à l'atterrissage, d'autre part de s'escamoter en vol. Cet élément est formé par les atterrisseurs ;
- un ensemble de systèmes et d'équipements répondant aux différents besoins lors des manœuvres au sol et des transitions sol-vol et vol-sol de l'avion : les pneumatiques, les roues et freins, la commande et le contrôleur de freinage (qui, avec les roues et freins, forment le système de freinage), le système d'orientation des roues avant (et parfois principales), et enfin le système de manœuvre et de verrouillage du train et des trappes à leur rentrée et sortie.

De plus, ces systèmes doivent être alimentés en puissance par la génération hydraulique de bord.

Tous ces éléments doivent être optimisés en termes de performances, masse, encombrement et coût, ce qui nécessite un savoir-faire affirmé de la part des bureaux d'études, mais aussi des méthodes de conception élaborées. En outre, les domaines concernés sont souvent particuliers et complexes, comme les cinématiques de relevage, l'absorption d'énergie à l'impact, ou

encore les éléments structuraux tridimensionnels. Ces méthodes doivent être constamment perfectionnées.

Il faut aussi utiliser les meilleurs matériaux, technologies et procédés disponibles, tout en s'efforçant d'introduire des améliorations, voire des innovations : d'où l'impératif vital de mener sans relâche des travaux de recherche technologique.

De même, de gros moyens d'essai, tout à fait spécifiques, sont nécessaires à la mise au point et à la certification. Ce sont essentiellement les machines de chute pour les atterrisseurs, les dynamomètres pour les freins et les machines de roulage pour les roues et les pneumatiques.

Des essais dédiés sur avion sont également nécessaires. Systématiques pour la vérification du bon fonctionnement du train dans les conditions réelles d'utilisation, ils sont même obligatoires pour la certification du freinage. Enfin, des essais sur avion ont été consacrés à l'évaluation de nouveaux matériels et systèmes ou à l'appréhension de problèmes particuliers.

D'un autre côté, les matériaux utilisés et la géométrie des pièces exigent des moyens de production adaptés et performants (et de grande taille pour les trains des gros avions commerciaux).

Tous ces travaux n'ont pu être menés et tous ces moyens n'ont pu être réunis sans une politique volontariste et de gros efforts d'investissement de la part des industriels.

Ils ont pu mener ces efforts avec d'autant plus de conviction qu'ils se sentaient soutenus par l'État, à travers les programmes aéronautiques, bien évidemment, mais aussi et plus spécifiquement par l'incitation, la participation et l'aide financière de ses services aux travaux de recherche et de mise au point amont, ainsi que par l'accès à ses gros moyens d'essais. Tout cela entrait dans le cadre de la volonté de l'État de promouvoir l'utilisation d'équipements français sur ces programmes.

Enfin, et d'une manière plus générale, l'État a toujours appuyé le développement en France d'une industrie du train d'atterrissage tout à fait apte à répondre aux besoins des avionneurs. C'est dans cet esprit qu'il a favorisé la restructuration de cette industrie dans les années 1970.

L'INDUSTRIE FRANÇAISE DU TRAIN D'ATTERRISSAGE

Rappel historique : naissance et premier essor de l'industrie française du train d'atterrissage

L'industrie du train d'atterrissage est née en France à la fin des années 1920, à un moment où les performances des avions arrivaient à un niveau exigeant une évolution de la technologie du train d'atterrissage (adoption progressive des amortisseurs oléopneumatiques, intérêt pour les trains escamotables et pour les commandes hydrauliques). Cette évolution ouvrait la voie à des entrepreneurs qui revendiquaient l'optimisation des matériels par la spécialisation des compétences.

Le pionnier en la matière fut George Messier, qui, après avoir réalisé des suspensions oléopneumatiques pour automobile, fonda en 1928 la Société française de matériels d'aviation (SFMA). Au même moment, un mouvement identique s'ébauchait aux États-Unis. Il se produisit quelques années plus tard au Royaume-Uni.

La SFMA équipa les avions les plus prestigieux, tels les Farman, Latécoère, Potez, Dewoitine, Fokker, Bloch. Sa notoriété franchit vite nos frontières. En 1931, George Messier avait conçu un avion, démonstrateur de ses novations en matière de train escamotable et de commandes hydrauliques. L'entreprise avait été un succès, couronnée par des vols officiels, ce qui montrait déjà l'implication de l'État.

D'autres sociétés apparurent : Olaer pour les amortisseurs, SAMM et Charles pour les commandes hydrauliques, Dhainaut pour les freins. Cependant, en dépit de la mort accidentelle de son fondateur en 1933, la SFMA (qui devint en 1937 la société Messier) continua son essor, sous l'impulsion de M^{me} G. Messier et de René Lucien. À la fin des années 1930, sa part sur le marché français était de 85 % et la cadence de production atteignait 25 à 30 trains par mois. Les effectifs montèrent à 2 000 personnes. Malheureusement, cet essor fut stoppé brutalement : en juin 1940, les usines fermèrent.

Toutefois, Messier poursuivit une activité industrielle à travers Rubery Owen-Messier, sa filiale anglaise créée en 1937,

qui, durant la Seconde Guerre mondiale, fabriqua le train d'atterrissage Messier des bombardiers Handley-Page Halifax.

La renaissance de l'après-guerre

En France, après la victoire des Alliés, l'industrie du train d'atterrissage redémarra tous azimuts. Messier rouvrit ses usines dès l'été 1945. La SAMM reprit aussi ses activités, avec Pierre Lallement, ancien de Messier. De nouvelles sociétés arrivèrent sur le marché : la Société aéronautique du Centre, Air-Équipement, MAP, DOP. Cette dernière société, fondée par Georges Renollaud, autre ancien de Messier, développa le train du quadrimoteur de transport Armagnac. Enfin, Jean Varay fonda ERAM en 1946.

Au début des années 1950, le paysage s'éclaircit. La Société du Centre fut dissoute, SAMM et Air-Équipement se retirèrent du train d'atterrissage. Hispano-Suiza accueillit Pierre Lallement et les spécialistes de la Société du Centre pour créer un département atterrisseurs, en 1951. Ensuite, ERAM absorba DOP.

Les avions équipés d'un train Hispano-Suiza furent le Bréguet Alizé, le Vautour, la Caravelle, l'Atlantic, le Falcon 10 et le Concorde (train principal et contrôleur de freinage). Pour ERAM, ce furent le Max Holste Broussard et l'Embraer Bandeirante.

Messier, qui restait l'acteur prépondérant, a, pendant cette période, étudié et produit les trains d'une bonne vingtaine d'avions, dont ceux des Ouragan, Mystère IV, SM B2, Mirage III, Mirage IV, Étendard IV M, Mirage F1, Falcon 20, Nord 2501, Bréguet 765 Deux Ponts, Fouga Magister, Transall C160, Super Frelon, Puma, Jaguar et Concorde (atterrisseur avant).

Au Royaume-Uni, Messier avait changé de partenaire et fondé British Messier avec Bristol Aeroplane, en 1947. Les trains British Messier équipèrent l'English Electric P-1, le Folland Gnat et le Bristol Britannia. Dowty reprit cette société en 1960.

La restructuration française

Pour l'industrie du train d'atterrissage, Concorde, avec son train de 4 m de haut, en acier à très haute résistance, fut un événement majeur. Il fallait investir pour se procurer les moyens adéquats de traitement thermique et d'usinage. Ce besoin s'accrut avec l'arrivée en 1968 de l'Airbus A 300, pour lequel Messier fut retenu pour l'ensemble du train et Hispano-Suiza pour les roues, les freins et le contrôleur de freinage.

La perspective de programmes aussi importants donna une impulsion au mouvement de restructuration de l'industrie française du train d'atterrissage. Ce mouvement avait été précédé en 1968 par une opération en apparence éloignée de l'industrie des trains : la prise de contrôle par SNECMA d'Hispano-Suiza et de sa filiale Bugatti, et ce à la demande de l'État, soucieux de conforter l'activité moteurs d'Hispano-Suiza. L'opération incluant le département atterrisseurs de cette société, Jacques Bénichou, directeur général de Messier depuis 1968, convainquit l'État et SNECMA qu'il était industriellement pertinent de rattacher ce département à Messier.

Les activités aéronautiques de Messier et les activités train d'atterrissage d'Hispano-Suiza furent donc regroupées, au début de 1972, dans Messier-Hispano, où SNECMA prit une part de 34 %, avant de devenir majoritaire à la fin de 1973. Peu après, René Lucien, qui dirigeait Messier depuis quarante ans, se retira. Jacques Bénichou devint président de Messier-Hispano et également de Bugatti, où l'activité freinage d'Hispano-Suiza avait été transférée. Il orchestra le rapprochement progressif des deux sociétés, qui finirent par fusionner, à la fin de 1976, sous le nom de Messier-Hispano-Bugatti.

Cinq ans plus tard, la restructuration française s'acheva quand ERAM devint une filiale de Messier-Hispano-Bugatti.

L'essor, au fil des nouveaux programmes

Ce regroupement était porteur de nouveaux succès pour Messier-Hispano-Bugatti : d'abord sur l'A 310, en 1979, pour l'ensemble du train et du freinage ; ensuite sur l'A 320, en 1984, puis sur l'A 340, en 1988, pour l'atterrisseur avant, les roues et

freins (à puits de chaleur en carbone), le contrôleur de freinage et la commande d'orientation de roues. Pour ces deux programmes, Dowty avait obtenu les atterrisseurs principaux.

Parallèlement, d'autres succès importants étaient aussi remportés pour les trains des Alphajet, Super Étendard, Mirage 2000, Rafale, Falcon 50 et 900, ATR 42 et 72, Super Puma et Eurocopter Tigre. ERAM, quant à lui, se plaça sur les trains du Dauphin, de l'Embraer Brasilia, de l'avion italo-brésilien AMX et du Dornier 328.

LES DEVELOPPEMENTS TECHNIQUES

Le caractère spécifique du train d'atterrissage

Les atterrisseurs sont conçus sur mesure pour répondre aux besoins d'un avion donné. Leur conception, intimement liée à celle de l'avion, commence très tôt dans le processus de définition de celui-ci. En effet, le nombre de roues et la dimension des pneumatiques est fonction de la masse de l'avion au décollage. Train sorti, la position des roues est imposée par les conditions de centrage et d'assiette longitudinale. Train rentré, le logement attribué aux roues, avec les contraintes qui s'y rattachent, détermine la géométrie de l'atterrisseur et sa cinématique de relevage.

De même, les freins sont dimensionnés par les distances d'arrêt requises et les caractéristiques de l'avion – dont les masses. Quant aux systèmes, la plupart sont propres à un avion donné.

Pendant le vol, le train et ses systèmes sont inactifs et doivent « se faire oublier », d'où de fortes contraintes sur la masse et l'encombrement. C'est le défi à relever par l'optimisation de la conception et les hautes performances des technologies et matériaux utilisés.

Les avancées technologiques majeures de la période

Entre 1945 et 1990, le développement du train d'atterrissage et de ses systèmes a été marqué par cinq évolutions technologiques majeures :

- l'introduction, au début des années 1950, sur les pièces structurales d'atterrisseurs d'avions militaires (Gerfaut en 1953, Mirage III en 1956), de l'acier à très haute résistance, qui a apporté un gain de 50 % sur la résistance à la rupture ;
- l'apparition, au milieu des années 1960, d'un acier à très haute résistance et caractéristiques métallurgiques améliorées, grâce à un processus spécial d'élaboration (acier refondu), en vue d'une application aux grandes pièces de train de gros avions commerciaux (Concorde, Airbus) ;
- la conception et la mise au point, au cours des années 1960, du SPAD (Système perfectionné anti-dérapant), contrôleur de freinage mettant en œuvre un nouveau principe : l'asservissement en glissement (écart de vitesse entre roues freinées et non freinées). Les distances de freinage, à conditions égales, sont alors réduites de 15 % ;
- la sélection, en 1980, après plus de dix ans de recherches, des freins à disques en carbone-carbone sur Mirage 2000. Les premiers essais ont lieu sur A 310 en 1983, déclenchant une adoption rapide sur la flotte Airbus. La masse du frein carbone est de l'ordre de 50 % de celle du frein acier équivalent. De plus, la sécurité est accrue en cas de freinage à énergie élevée, en raison du très bon comportement du carbone aux hautes températures ;
- les premiers vols d'avions équipés de pneus radiaux Michelin AIR X : Mirage III en 1981, Airbus A 300 en 1983. La technologie radiale appliquée à l'aviation permet, par rapport aux pneus conventionnels, d'augmenter la sécurité (meilleure adhérence, moindre échauffement), le nombre d'atterrissages et le ratio charge/vitesse, tout en offrant une masse plus faible ;

Pour être les plus spectaculaires, ces avancées ne furent pas les seules à cette époque dans le domaine qui nous intéresse. On peut aussi citer :

- l'utilisation d'alliages légers à haute résistance sur certaines pièces structurales d'atterrisseurs ;
- le remplacement du magnésium par des alliages légers pour la réalisation des roues ;

- l'introduction d'un système électro-hydraulique de séquences train-trappes sur avion militaire (Fouga Magister), puis, plus tardivement, son adoption sur un avion civil (A 320) ;
- le développement de pompes hydrauliques auto-régulatrices à grande vitesse de rotation ;
- l'introduction du freinage à commande électrique et de la commande électro-hydraulique d'orientation de roues, sur Concorde ;
- le développement de calculateurs numériques pour la commande et la surveillance du freinage et de l'orientation de roues.

La recherche - Les marchés d'études et d'essais

Toutes ces avancées n'ont été rendues possibles que par la mise en œuvre permanente d'actions de recherche. Généralement initiées par les industriels, qui en ressentaient la nécessité pour préparer les programmes à venir et pour assurer leur compétitivité, ces actions ont souvent bénéficié d'un soutien actif des services de l'État, sous forme d'aide financière, d'évaluations techniques et même, dans certains cas, d'incitation.

Ainsi, de nombreux programmes d'études, de recherches, d'essais ou de mise au point ont été favorisés par l'attribution par les services de l'État de marchés visant des objectifs bien définis. La passation de tels marchés commença à se développer à partir du milieu des années 1960 et prit un rythme annuel plus soutenu au début des années 1970. Sur une période de 30 ans, de 1962 à 1992, on a pu identifier plus de 200 marchés, dits d'études et d'essais, passés par :

- le STPA/Ma (Service technique des programmes aéronautiques – Matériaux), relatifs à l'évaluation et la caractérisation de matériaux (aciers, alliages légers, alliages de titane), de traitements et protections de surface ; à des investigations sur des pièces matriquées et sur des pièces en composite ; à l'influence des processus de fabrication ; à des études de base (corrosion sous tension, propagation de criques) ; à des essais sur les joints d'étanchéité ;

- le STPA/CIN (Circuits intégration), relatifs à l'évaluation de matériaux carbone-carbone pour freinage, à la mise au point de freins carbone, à des études sur le contrôle du freinage (le SPAD, son architecture, ses constituants, sa technologie), au développement de pompes hydrauliques autorégulatrices à grande vitesse ou haute pression, à l'étude de nouveaux boîtiers d'accrochage ;
- le STPA/Études générales, relatifs au développement de méthodes de calcul et de simulation appropriées aux atterrisseurs, dont le calcul du shimmy (avec validation sur avion en liaison Dassault), le calcul de la tolérance aux dommages des pièces de train, l'évaluation par calcul et essais d'amortisseurs à contrôle actif.

Le Département matériaux du CEAT (*cf. infra*) intervenait également dans le cadre des marchés du STPA/Ma, de concert avec les constructeurs.

Rappelons aussi l'aide financière de la DMA aux travaux de recherches technologiques entrepris par la SEP, à partir de 1969, sur les matériaux composites à matrice carbone, en vue d'applications aux parties chaudes des tuyères de missiles : ils eurent ensuite des retombées pour le freinage des avions.

L'apport des nouveaux outils de conception

L'introduction et le perfectionnement continu des outils modernes de conception ont permis des progrès très significatifs, parfois même spectaculaires, dans le processus d'étude et d'optimisation des atterrisseurs.

Ainsi, jusqu'à la fin des années 1950, la détermination d'un réglage convenable d'amortisseur demandait plusieurs semaines, pour la résolution itérative d'un système d'équations non-linéaires. À cette époque, les calculs sur ordinateur commencèrent : progrès énorme, qui fit tomber le temps d'un calcul à quelques heures et celui d'une fine optimisation du réglage à quelques jours.

Il en alla de même pour la géométrie de l'atterrisseur et sa cinématique. Jusqu'à la fin des années 1960, les épures de relevage étaient tracées à la main, sur la planche à dessin : travail qui demandait compétence et patience, car il fallait souvent recommencer pour trouver la solution la mieux adaptée au besoin.

Bien qu'il y eût des champions de la géométrie descriptive dans les bureaux d'études, cela demandait du temps. L'introduction de la conception assistée par ordinateur (CAO) apporta non seulement un gain de temps appréciable, mais aussi une précision accrue et surtout une facilité d'optimisation, rendue possible par l'aisance des nouveaux outils à effectuer des itérations.

Un troisième domaine de progrès fut le calcul de la résistance des pièces à la rupture, et surtout à la fatigue. En 1971, le premier calcul par la méthode des éléments finis fut effectué chez Messier. La puissance de ce nouvel outil le rendit vite indispensable à la prédiction de la tenue en fatigue des atterrisseurs. En effet, les pièces structurales d'atterrisseur sont souvent tridimensionnelles et comportent localement des formes complexes. La prédiction des contraintes dans ces zones échappe aux méthodes classiques : seul le calcul par éléments finis peut en rendre compte. Ce progrès fut déterminant à un moment où les nouveaux avions commerciaux exigeaient des garanties sur la durée de vie des matériels (tenue en fatigue).

Enfin, en ce qui concerne les systèmes, des outils nouveaux dédiés à leur développement sont également apparus. À titre d'exemple, on peut citer les outils d'aide à l'écriture et à la validation des logiciels introduits dans les calculateurs numériques de freinage au début des années 1980. De même, la simulation analogique des systèmes a fait place à la simulation numérique.

Dès cette époque, les logiciels de CAO utilisés provenaient du commerce, à l'exception du premier logiciel d'aide à l'étude des cinématiques, développé par Messier en collaboration avec l'IRIA (Institut de recherche en informatique et automatismes). En outre, comme on l'a vu plus haut, l'État a apporté une aide dans la recherche de nouvelles méthodes de calcul utilisant ces outils.

Les moyens de production

Au sortir de la guerre, les industriels français bénéficièrent, pour faire redémarrer leurs usines, de l'attribution par l'État de machines-outils usagées, récupérées de l'industrie de guerre allemande. Puis, au début des années 1950, au titre du plan Marshall, ils reçurent des machines-outils plus modernes, pour la plupart américaines.

Cependant, pour faire face aux programmes sur lesquels ils avaient été sélectionnés, les industriels durent mettre en place des moyens de production spécifiques et importants.

Ainsi, les élaborateurs de matériaux se sont donnés la capacité de réaliser la refusion sous vide ou sous laitier des aciers à très haute résistance, pour leur conférer la qualité nécessaire à l'homogénéité de leurs caractéristiques.

De même, la réalisation de grandes ébauches matricées de précision, indispensables à la production des grands trains d'atterrissage modernes, a été notablement facilitée par la mise en service en 1976, à Issoire, de la presse de 65 000 tonnes achetée par le gouvernement français aux Soviétiques et rétrocédée aux forgerons français selon un plan de paiement étalé sur vingt ans.

De leur côté, les fabricants de train ont dû investir lourdement en moyens :

- d'usinage : fraiseuses multi-têtes et multi-axes, grands tours spéciaux, rectifieuses ;
- de traitement thermique : grands fours à bain de sel ou sous vide ou à atmosphère neutre ;
- de traitement de surface : cadmiage des aciers, protection anodique des alliages légers, chromage des aciers sur pièces coulissantes.

Il faut souligner que la combinaison de ces moyens de production et des nouveaux outils de conception a permis de faire évoluer la technologie des atterrisseurs. Le nombre d'articulations internes a diminué lorsqu'on a su fabriquer et calculer de grands éléments structuraux tridimensionnels conçus en une seule pièce.

Enfin, il faut rappeler les investissements industriels réalisés à partir de 1973 par la SEP, puis par sa filiale Carbone Industrie, pour la réalisation de matériaux carbone-carbone pour tuyères de propulseurs de missiles et pour disques de freins d'avions : chaîne de production de tissus de carbone, fours de densification par voie gazeuse par craquage, puis par CVD (*Carbon Vapor Deposition*). L'État contribua fortement à ces investissements de 1974 à 1978.

Les moyens d'essais spécifiques - Le rôle du CEAT

De gros moyens d'essais, tout à fait spécifiques, sont nécessaires pour la mise au point et la certification du train d'atterrissage et des systèmes associés. En France, à l'issue de la Seconde Guerre mondiale, l'essentiel de ces moyens était regroupé dans un établissement de l'État situé à Toulouse, d'abord appelé EAT, puis CEAT (Centre d'essais aéronautiques de Toulouse). Cette situation a quelque peu évolué au début des années 1970, lorsque Messier-Hispano a commencé à se doter de gros bancs d'essais pour les roues et freins, d'une part, et d'un banc d'essais pour pompes hydrauliques autorégulatrices de grande puissance, d'autre part. De même, dans les années 1980, Michelin a eu ses propres moyens d'essais de pneumatiques aéronautiques. Cependant, certains moyens n'existent qu'au CEAT, par exemple pour les essais de chute des atterrisseurs – même si de nos jours, la dernière machine implantée, dite MEGA (machine d'essai des grands atterrisseurs, tels ceux de l'A 380), a été l'objet d'un cofinancement de l'État et de Messier-Dowty.

L'aide apportée aux constructeurs par l'accès à un ensemble de moyens unique en Europe a été historiquement un élément essentiel au redémarrage, puis à l'essor, de l'industrie française du train d'atterrissage. Elle a favorisé les constructeurs français par rapport à leurs concurrents européens et elle demeure essentielle de nos jours, notamment pour les essais de certification. Pour s'en convaincre, il suffit de rappeler les moyens d'essais les plus significatifs mis en place au CEAT dans le domaine et pendant la période qui nous intéressent :

- quatre machines de chute pour essais dynamiques d'atterrisseurs. La plus grosse, conçue et construite au CEAT au milieu des années 1960, était capable de recevoir les atterrisseurs principaux de Concorde et d'Airbus A 300. Jusqu'en 1990, une centaine d'atterrisseurs d'une dizaine de constructeurs sont passés sur ces machines ;
- des machines de roulage et des dynamomètres (quatre machines au total) permettant de faire subir aux pneumatiques, roues et freins tous les essais statiques, dynamiques et d'endurance requis pour leur certification. L'une d'elles permet des essais de pneus avec simulation de l'ambiance thermique, des angles de ripé et de carrossage ;

- quatre bancs d’essais pour circuits de génération hydraulique, capables d’entraîner en rotation les pompes à vitesses et accélérations contrôlées, tout en simulant les conditions d’ambiance réelles.

Les essais sur avions - Le rôle du CEV

Les essais en laboratoire sont complétés par des essais sur avion, effectués par l’avionneur avec l’assistance des constructeurs de matériels. Le but de ces essais est d’abord de vérifier le bon fonctionnement du train dans les conditions réelles d’utilisation : par exemple la manœuvre rentrée-sortie sous accélération et vitesse élevées, ou bien les performances du contrôleur de freinage. Ils sont même obligatoires pour la certification des distances d’arrêt, tout particulièrement le freinage de détresse couvrant le décollage avorté.

En outre, des essais sur avion peuvent être menés pour appréhender des problèmes particuliers ou évaluer de nouveaux matériels ou systèmes. Ainsi, le Centre d’essais en vol de Brétigny a eu une grande activité, entre 1955 et 1970, sur des problèmes concernant les atterrisseurs, le freinage et les pneumatiques. Sa contribution a été fructueuse, comme en témoignent les quelques exemples suivants :

- mise en évidence, à la rotation au décollage du Mirage III, d’une surcharge importante sur les pneus principaux, non prise en compte auparavant et amenant la révision de la réglementation ;
- campagne de freinages d’une Caravelle Stade III sur piste mouillée artificiellement sur une longueur de 500 mètres, mettant en évidence des hydroplanages et blocages de roues et conduisant au remplacement des pneus pratiquement lisses, alors d’usage courant, par des pneus à rainures ;
- roulages d’avions de plusieurs types, sur un bassin à bords souples donnant une hauteur d’eau de 25 mm sur 500 m de long, afin de simuler une piste inondée et de reproduire l’ingestion d’eau par les réacteurs. Démonstration de l’efficacité de pneus à déflecteurs incorporés, dits pneus à bavettes, sur les atterrisseurs avant ;

- comparaison, sur Étendard IV M, de deux dispositifs anti-blocage de roues, par freinages sur un chemin en tôle simulant le pont du porte-avions, conduisant à l'adoption du Maxaret ;
- évaluations préliminaires du SPAD, en 1963-1964 sur SM B2, puis en 1965 sur Caravelle 116, conduisant à son adoption sur Concorde, puis à sa généralisation sur Airbus.

Il faut souligner que les avions les plus récents, civils comme militaires, font toujours leurs essais sur piste inondée au CEV de Brétigny.

LE SUPPORT APRES-VENTE

L'effort de mise à niveau

La mise en œuvre d'organisations de support après-vente de haute qualité – en tout cas comparables à celles des fournisseurs anglo-saxons – se fit progressivement chez les industriels français du train d'atterrissage, confrontés, comme leurs collègues équipementiers, à des difficultés résultant d'un lent démarrage du programme Airbus, suivi d'alternances d'accroissement rapide et de ralentissement des ventes.

Le développement en France et à l'international

À la fin des années 1980, des structures efficaces avaient néanmoins été mises en place en France et à l'international (aux États-Unis principalement) pour la distribution des pièces de rechange, l'assistance technique aux opérateurs, la réparation et l'entretien des matériels. Elles se développèrent fortement, à travers le monde, dans les années suivantes.

LES COOPERATIONS INTERNATIONALES

Les coopérations européennes

Dans le sillage des accords gouvernementaux franco-allemand et franco-britannique de coopération aéronautique, Messier a très tôt noué des coopérations industrielles avec Liebherr Aerotechnik (LAT) et, un peu plus tard, avec Dowty, pour les atterrisseurs des programmes concernés : Transall, Alphajet et A 300 pour le premier, Jaguar pour le second, A 310 et A 320 pour les deux.

Citons également la coopération franco-italienne avec Magnaghi pour l'atterrisseur principal des ATR 42 et ATR 72, ainsi que les cessions de licence à cette société pour la fabrication des trains des Fiat G 91 et Aeritalia G 222.

Autres coopérations

Au cours des années 1980, une coopération franco-brésilienne s'était développée. ERAM avait en effet établi des accords avec EDE, filiale d'Embraer, pour le train de l'avion de transport régional Brasilia et l'atterrisseur principal de l'avion de combat italo-brésilien AMX.

Par ailleurs, pour l'atterrisseur avant de l'A 340, Messier-Bugatti avait commencé une coopération avec l'américain Menasco, qui s'étendit par la suite au B 777.

ILLUSTRATIONS ET TEMOIGNAGES

Dans ce chapitre, on développe et on illustre les propos précédents à travers des documents et des témoignages recueillis auprès d'hommes, de sociétés et d'organismes ayant participé, dans leur domaine, aux développements des trains d'atterrissage, de leurs systèmes associés et de leur industrie, entre 1945 et 1990.

LES PROLONGEMENTS DANS LES ANNEES 1990

Les actions menées et les développements technologiques accomplis entre 1945 et 1990 ont préparé l'industrie française du train d'atterrissage et des systèmes associés à poursuivre son essor, notamment sur le plan international.

La conquête de nouveaux clients

En 1991, une percée aux États-Unis est réussie : Boeing retient, pour les atterrisseurs avant et principaux du B 777, l'équipe formée par l'américain Menasco et Messier-Bugatti (qui, en 1990, a simplifié sa raison sociale).

À la fin des années 1990, Messier-Bugatti réussit à placer ses freins à matériaux carbone-carbone Sepcarb III sur l'avion commercial B 767 et sur l'avion de transport militaire C 17 de Boeing.

La restructuration industrielle européenne

En juillet 1994 était créée Messier-Dowty, filiale à parts égales de SNECMA et TI (maison-mère de Dowty), dédiée spécifiquement aux atterrisseurs. Messier-Bugatti conservait ses activités freinage, hydraulique et réparation. Messier-Dowty, avec ses filiales en France, au Royaume-Uni et au Canada et des clients sur tous les continents, accédait à un statut mondial.

En juillet 1998, SNECMA (présidée depuis juin 1996 par Jean-Paul Béchat) racheta les parts de TI dans Messier-Dowty, ainsi que l'activité réparation de Dowty-Aerospace. Le groupe SNECMA maîtrise donc tous les métiers du train d'atterrissage, hormis les pneumatiques.

CONCLUSION

En un demi-siècle, de 1945 aux années 1990, l'industrie française du train d'atterrissage est passée d'une position purement nationale à une position d'acteur primordial sur le marché mondial. Les grands programmes aéronautiques lancés ou soutenus par l'État, militaires et civils, ont été les vecteurs indissociables

de son développement. Cependant, elle doit aussi sa réussite à sa capacité de restructuration, à l'échelle nationale puis européenne, et à ses efforts permanents de mise en œuvre de progrès technologiques. En favorisant ces restructurations et en accordant son aide aux travaux d'études et de recherches, l'État a, de plus, joué un rôle spécifique et important dans le développement de cette industrie.

L'ÉLECTRONIQUE

Coordinateur d'ensemble : Michel Bergounioux

Ce document a été élaboré à partir du travail de mémoire réalisé par d'anciens ingénieurs de l'Air (devenus ingénieurs de l'armement à partir de 1968) dans le domaine de l'électronique, sur la période 1945-1985.

Dans cette discipline, qui a « explosé » au cours de la période, envahissant progressivement toutes les activités de l'armement, la plupart de ces ingénieurs ont travaillé au Service technique des télécommunications de l'Air (STTA), à la création duquel ils ont participé et dont ils ont assuré le développement.

Dans leurs contributions, les rédacteurs relatent leur expérience personnelle, en décrivant leurs relations avec leurs correspondants :

- les ingénieurs du STTA, de la Direction technique et industrielle dont ils dépendaient et des autres directions ;
- les officiers des armées ;
- les industriels directement impliqués dans les actions relatives.

Dans le domaine et la période considérés, l'action de l'ingénieur général Francis Pénin doit être particulièrement soulignée. Venant du Centre d'essais en vol, il fut à l'origine de l'essor du STTA, en tant que sous-directeur, puis directeur. Son très long séjour comme directeur, de 1955 jusqu'à sa retraite à la fin de 1970, a contribué très fortement au développement des activités du service et à celui de l'industrie électronique française. Il sut s'entourer d'ingénieurs de l'armement dont les compétences furent reconnues tant par les officiers des armées que par les industriels, et développer leur dynamisme comme leur enthousiasme par une délégation de responsabilités importante.

Il faut également signaler l'intérêt qu'il a toujours porté à développer l'enseignement de l'électronique à l'École nationale supérieure de l'aéronautique, y faisant créer une option particulière. Lui-même et de nombreux ingénieurs du service ont pro-

fessé à l'ENSA (École nationale supérieure de l'aéronautique), puis à l'ENSTA (École nationale supérieure des techniques avancées), et rédigé des cours.

Pour décrire les expériences vécues dans ce domaine de l'électronique de communication, il a fallu choisir. Par chance, il s'est trouvé, au moins pendant la période qui nous intéresse, que la plus grande partie des moyens humains du domaine était rassemblée au STTA. Aussi pouvons-nous considérer que cette histoire présente un caractère « classique ». Elle se conforme en effet à peu près à la règle des trois unités :

- unité de lieu, le 129, rue de la Convention, à Paris, dans le quinzième arrondissement ;
- unité d'action, par le souvenir d'une pensée cohérente des ingénieurs et techniciens et leur concours à des projets finalement convergents ;
- unité de temps, qu'on voudra bien admettre, car la partie s'est jouée sur une période relativement courte (10 à 15 ans) au regard du temps écoulé depuis.

Dans ce cadre, quels sujets retenir et quel plan arrêter ?

Il a d'abord paru utile de dire quelques mots de l'électronique, science et technique singulière, si proche de la physique fondamentale, à laquelle elle emprunte la rigueur et dont elle revêt les difficultés mathématiques... et en même temps si commune dans notre vie quotidienne : radio, télévision, vidéodisques, radars, puces, satellites... liste sans cesse renouvelée depuis quarante ans.

Le STTA, son organisation, son évolution, sa vie sont ensuite décrits : c'est le théâtre principal de l'action, de la nôtre comme de celle de nos interlocuteurs, militaires ou industriels. Créé en 1947 par l'armée de l'Air pour assurer les études et la réalisation de ses matériels de télécommunications, il est intégré en 1948 à la Direction technique et industrielle de l'aéronautique (DTIA) et trouve rapidement son domaine d'activité à côté du Service technique aéronautique (STAé), avant de regrouper en 1980 les activités de presque tous les équipements aéronautiques.

On ne peut parler de l'électronique de communication sans évoquer également les composants et les matériaux de base :

leurs histoires se confondent. Les composants sont bien plus que les briques élémentaires de l'électronique : ils en sont l'essence, quand ils ne sont pas à eux seuls le système – ce qui est le cas des puces quand elles se font calculateurs, modulateurs-démodulateurs (modems), mémoires, récepteurs radio... – ou quand ce sont eux qui fixent les performances recherchées, ce qui est le cas des tubes utilisés dans les dispositifs hyperfréquences.

Les cinq chapitres suivants de l'ouvrage survolent l'électronique de communication par grandes fonctions, désormais familières d'un grand public et traduites dans l'organisation interne du STTA, comme dans celle de l'industrie.

Il s'agit d'abord de la fonction de détection, celle qui est assurée par les radars : radars sol ou radars aéroportés.

Les radars sol s'intègrent dans les systèmes de défense aérienne, dont ils constituent, avec les matériels de traitement de leurs informations, un composant majeur. Il nous fallait donc relater l'histoire du programme NADGE (*NATO Air Defense Ground Environment*), grand programme OTAN de défense aérienne. Cette histoire illustre celle du développement des techniques radar en France et de l'introduction de l'informatique dans les organes de traitement de l'information – équipements qui ont donné une réputation mondiale aux systèmes de défense français.

Quant aux radars aéroportés, ils s'intègrent – s'intégraient – avec peine dans le système d'armes « avion ». Le cinquième chapitre relate ainsi une difficile cohabitation, avant que les avionneurs n'acceptent de prendre en compte les contraintes inévitables et incompressibles imposées par le radar, et que l'utilisateur n'accepte les délais indispensables au développement d'un matériel répondant à une mission parfois très fluctuante. Dans ce domaine où les programmes « avion » sont devenus de plus en plus rares et où les progrès techniques sont continus, il apparaît très nécessaire de mener en temps utile les actions de préparation de l'avenir, c'est-à-dire de recherche.

Le chapitre suivant (radiocommunications et radionavigation) comporte deux parties distinctes, liées par le fait que toutes deux font appel aux techniques radio.

Les radiocommunications assurent les liaisons entre avions, entre bases (surtout lointaines), entre bases et avions, et réciproquement. Sont utilisées les grandes ondes, les ondes moyennes, les ondes courtes ou très courtes, et la réflexion sur les couches ionisées de l'atmosphère, qui permettent les très longues distances. Les modulations classiques (amplitude, fréquence, bande latérale unique) permettent d'économiser les spectres.

La radionavigation, elle, permet au pilote de se situer dans l'espace, soit qu'il émette des signaux et qu'une ou plusieurs stations au sol les relèvent, soit qu'il se repère en azimuth, et parfois en distance, par rapport à des balises fixes, ou dans des systèmes plus complexes installés à terre.

Lorsque les besoins en capacité excèdent l'équivalent d'une à quelques voies téléphoniques, les moyens radio évoqués ci-dessus deviennent insuffisants. Il faut alors augmenter les puissances, utiliser des antennes directives, des matériels plus lourds : bref, il faut passer aux faisceaux hertziens. Le réseau de France Télécom est ainsi composé de liaisons hertziennes, au sol ou par satellite, et de câbles coaxiaux ou composés de fibres optiques. Le huitième chapitre décrit le choix opéré par l'armée de l'Air. Son Réseau Air 70 fédère les actions qui ont permis la construction d'un système nouveau, moderne et adapté.

Les contre-mesures, évoquées au septième chapitre, sont un domaine réservé, typiquement militaire : on parle d'ailleurs de guerre électronique. Il s'agit de brouiller les communications, de saturer les radars, d'interdire les missiles – ou de se protéger contre ces brouillages, saturations ou interdictions. Les techniques sont sophistiquées, les contraintes sévères et la compétition incessante, comme celle, millénaire, de la lance et du bouclier.

En conclusion, les rédacteurs de cet ouvrage, qui ont renoncé à faire un travail exhaustif, espèrent avoir montré dans leurs contributions comment un service, animé par une poignée d'ingénieurs de l'Air volontaires et motivés, a permis, dans le domaine aéronautique, à l'industrie électronique professionnelle française de retrouver, après l'éclipse des années de guerre, une position enviable au plan international.

LES MISSILES TACTIQUES

Coordinateur d'ensemble : René Carpentier

AVANT-PROPOS

La définition du missile tactique est sans équivoque depuis la fin des années 1980. Les missiles tactiques se distinguent des missiles stratégiques par une mission différente et par leur charge conventionnelle. Le terme « engins spéciaux », utilisé après la Deuxième Guerre mondiale, devint obsolète dans les années 1960.

La période couverte par l'ouvrage¹ est de cinquante années, de 1945 à 1995. Nous avons choisi cette dernière date car cette année, contrairement à 1985, correspond à une véritable rupture. D'une part, les événements de 1990 et de 1991, avec l'effondrement de l'Union soviétique et la guerre du Golfe, ont profondément modifié les besoins opérationnels en matière de missiles et les budgets. C'est la fin de la priorité donnée aux antichars et le début de l'intérêt porté aux missiles tactiques de croisière et aux drones. D'autre part, c'est la fin de l'industrie missilière purement française ; cette industrie devient franco-britannique, en attendant d'intégrer les industries italienne et allemande.

Trois périodes peuvent être distinguées, avec, de 1945 à 1958, la création de l'industrie missilière, de 1959 à 1980, l'accession à la maturité, la coopération internationale et les exportations, et, de 1981 à 1995, le développement des missiles intelligents et les prémices de l'intégration européenne.

L'objet principal de ce document est l'histoire des missiles développés sous la responsabilité de la DTIA (DTCA après 1965), puis de la DTEN, à partir de 1970. Pour avoir une vue plus globale et permettre de mieux apprécier la valeur des

¹ Rédigé en tenant compte en particulier des informations fournies par les pionniers des missiles tactiques, et en utilisant les archives officielles communicables.

missiles français, nous avons également cité les missiles français développés par les autres directions techniques et les missiles étrangers concurrents. Sont évoquées à la fois l'histoire des services officiels et celle de l'industrie missilière et des équipementiers – le rôle de ces derniers expliquant la réussite de certains missiles.

LA CREATION DE L'INDUSTRIE MISSILIERE, 1945–1958

La situation en 1945

En 1940, les Allemands sont les premiers à lancer les études de missiles tactiques – les études de fusées V2 ont commencé dès 1929. Pendant la guerre, ils mettent en service l'avion robot V1 et deux bombes air-surface téléguidées ; cependant, les développements de missiles antiaériens ne sont pas achevés. Les Allemands font preuve d'imagination et font progresser l'aérodynamique et la propulsion à ergols liquides. Mais ils ne pensent pas aboutir à la réalisation de missiles autoguidés. En effet, ils ne possèdent pas les deux autres techniques indispensables : les asservissements et la détection hyperfréquence.

En 1945, il n'y a pas d'industrie missilière française, contrairement à ce qui se passe pour les aéronaves et l'électronique. Deux voies existent toutefois pour la créer.

La première consiste à essayer de récupérer des experts et des missiles allemands et à copier ces derniers. C'est la voie suivie par la DEFA (Direction des études et fabrications d'armement) et la DCCAN (Direction centrale des constructions et armes navales). La DEFA installe un groupe important d'Allemands au LRBA (Laboratoire de recherches balistiques et aérodynamiques) de Vernon et commence la construction de fusées V2. La DCCAN construit des bombes téléguidées à Brest. Ces projets sont abandonnés dès 1947.

La DTIA adopte l'autre voie. Elle crée en août 1945, au Service technique de l'aéronautique, une section des engins spéciaux. Celle-ci exploite les travaux allemands (documents et matériels) et établit, avec la coopération d'officiers de l'EMAA (état-major de l'armée de l'Air), un programme général d'études et de réalisations. Les idées directrices de ce programme, daté

du 1^{er} juillet 1946, sont les suivantes : asseoir aussi vite que possible une technique française des missiles et donner aux utilisateurs les moyens de se livrer rapidement à des expériences tactiques pour préparer des programmes opérationnels. L'originalité de ce catalogue de thèmes de programmes est de prévoir une gradation vers l'objectif opérationnel envisagé. En outre, il introduit une classification des programmes, toujours utilisée de nos jours.

Le domaine de responsabilité alors assumé par la DTIA en matière de missiles ne se limite pas à ceux qui doivent être utilisés par l'armée de l'Air : la DTIA a jugé que tout engin guidé était du domaine de l'industrie aéronautique. Son domaine s'étend donc de l'antichar à l'antiaérien, air-air et sol-air, et est même élargi à l'engin postal. Certains programmes entrent de ce fait en concurrence avec ceux envisagés par la DEFA dans ses arsenaux.

Trois grands industriels

Trois organismes de l'industrie aéronautique sont alors tentés par l'aventure des missiles tactiques : l'Arsenal de l'aéronautique, la SNCASE et Matra.

Le STAé confie à l'Arsenal de l'aéronautique² quelques missiles allemands récupérés et demande au Département engins spéciaux, que l'Arsenal vient de créer à l'automne 1946, d'exploiter les travaux effectués par les Allemands – les spécialistes allemands n'étant pas intégrés dans les circuits de définition. La mission choisie par l'Arsenal, en accord avec le STAé, est la suivante : réaliser des matériels simples et largement reproductibles, ce qui conduit à la conception d'engins téléguidés en auto-rotation autour de leur axe longitudinal. Pour aller vite, il faut partir des solutions connues. En conséquence, trois programmes sont retenus. Le premier est la reproduction du missile air-air allemand X4, téléguidé manuellement, avec une liaison filaire et une propulsion à ergols liquides. Le but est d'analyser et d'assimiler ces différentes techniques. Le deuxième est un

² En 1953, il fut transformé en société, la SFECMAS, qui fut absorbée le 1^{er} janvier 1955 par la SNCAN (qui prit le nom de Nord-Aviation).

programme expérimental pour déterminer la théorie des engins tournants : un missile sol-sol subsonique, avec une propulsion solide. Le troisième est la mise au point d'une cible aérienne télécommandée, CT 10, en partant du V1 allemand : c'est une cible propulsée en croisière par un pulsoréacteur.

Le premier programme est un échec (du fait d'explosions), et l'Arsenal décide d'abandonner la propulsion à ergols liquides dès 1950. En revanche, le deuxième missile, avec une aérodynamique améliorée et une charge creuse³, devient, dès 1952, le premier missile antichar opérationnel, sous le nom de SS 10. Il est donc, très fortuitement, l'initiateur de la série des antichars de Nord-Aviation. Trente mille exemplaires sont produits, et le SS 10 est exporté dans de nombreux pays ; les États-Unis l'évaluent. L'Arsenal trouve ainsi son créneau : un missile téléguidé, proche de la munition, bon marché et réalisable industriellement au début des années 1950 (il n'y a aucune électronique dans le SS 10). Quant au troisième missile, la cible CT 10, il est opérationnel dès 1952. Quatre cents exemplaires sont produits et le CT 10 est exporté au Royaume-Uni.

Par la suite, la SFECMAS a produit l'antichar SS 11, défini en 1953 par l'EMAT (état-major de l'armée de Terre), avec des performances plus ambitieuses que celles du SS 10 en portée, en vitesse et en efficacité. Ce missile connaît très vite un succès mondial : 180 000 exemplaires sont produits de 1956 à 1985. Il est adopté par trente-sept pays : Royaume-Uni, Allemagne, Italie, États-Unis (acquisition de la licence)... Nord-Aviation a également développé l'air-air téléguidé manuellement avec liaison radio Nord 5103, qui a surtout été utilisé comme air-sol à partir de 1960. Durant cette période, cette société a aussi produit avec succès et exporté la cible aérienne CT 20, équipée d'un turboréacteur, opérationnelle en 1958. Son seul échec fut la cible CT 41 supersonique, équipée de deux statoréacteurs, qui n'était pas utilisable.

La société nationale SNCASE, elle, s'intéresse dès 1946 aux missiles ; elle intègre, en 1949, l'équipe de la société SNCAC (qui est en faillite). Celle-ci avait obtenu du STAé, en 1947, la

³ Ce type de charge, produisant un plasma à 8 000 m/s, est spécifiquement utilisée pour la destruction des chars.

responsabilité de deux programmes : un missile sol-air capable de haute altitude et un missile sol-sol d'une portée de 30 km.

Le programme sol-air respecte la gradation prévue par le STAé :

- un premier programme expérimental (SE 4100), avec une propulsion subsonique et à ergols liquides, utilisant un radar allemand pour le guidage sol par faisceau ;
- un deuxième programme expérimental (SE 4300), avec le même type de propulsion, mais avec un système de guidage sol français ;
- un programme opérationnel (SE 4400), avec une propulsion par statoréacteur supersonique et le système de guidage du SE 4300.

En 1957, le véhicule piloté est au point. Mais les études de la phase terminale du guidage (qui devait être assurée par un auto-directeur) sont au stade des balbutiements. Le STAé arrête alors le programme au profit du Matra R 422, évoqué ci-dessous.

Le missile sol-sol (SE 4200 et SE 4500) est équipé d'un statoréacteur subsonique et est guidé en direction à l'aide d'un plan directeur vertical créé par un radar. La portée évolue jusqu'à 100 km et la charge varie de 135 à 700 kg, suivant la version. Il est mis au point et expérimenté abondamment par l'armée de Terre dès 1955 (280 missiles). Mais cette dernière décide, en 1958, de ne pas le mettre en service, pour des raisons opérationnelles.

Finalement, l'aventure du groupe technique de Cannes de la SNCASE dans le domaine des missiles tactiques s'achève, malgré sa compétence dans la mise au point des véhicules des missiles, et en particulier de la propulsion par statoréacteur. Son activité est alors réorientée vers les missiles balistiques.

La société privée Matra, enfin, s'intéresse aux missiles tactiques dès 1948. Avec l'accord du STAé, l'objectif retenu est alors le missile antiaérien autoguidé, l'air-air et le sol-air, avec 30 km de portée et une première phase de guidage en téléguidage (programme identique à celui du SE 4400). Le défi que représente l'autoguidage semble ambitieux, en particulier avec la technologie électronique de l'époque. Mais l'utilisation du téléguidage est limitée aux missiles à courte portée, contre des

cibles « peu manœuvrantes », c'est-à-dire les antichars et les air-sol de portée réduite.

Les essais des programmes expérimentaux des véhicules concluent, d'une part, à la réussite, en 1952, de la stabilisation d'un missile supersonique et, d'autre part, en 1954, à l'abandon de la propulsion à ergols liquides. Deux solutions sont essayées pour la croisière : le R 422, avec un propulseur à propergol solide, et le R 431, avec un statoréacteur.

En 1958, la mise au point des deux véhicules et de la phase de téléguidage de la version retenue, le R 422, est achevée. Il reste à effectuer les essais de la phase d'autoguidage terminal. Cependant, l'autodirecteur électromagnétique prévu n'est pas performant. Ce programme est arrêté par la décision d'acquisition du *Hawk* américain.

En 1958, le développement des deux versions du missile air-air R 511 à propergol solide est terminé. Le nombre d'impacts sur la cible obtenu avec la version infrarouge est impressionnant, et la précision obtenue avec la version électromagnétique est acceptable. Seule cette dernière est retenue pour l'équipement du chasseur tous temps Vautour, la version infrarouge ne pouvant fonctionner que de nuit, suite à la loi de guidage expérimentée en France à cette époque. Le R 511 est opérationnel jusqu'à 1973.

Finalement, le Matra R 511 devient le premier missile autoguidé de l'armée de l'Air et de l'Aéronavale. Si son efficacité est limitée (en particulier, la zone d'attaque est limitée à l'arrière des objectifs), elle est supérieure à celle des canons. C'est aussi l'occasion, pour les armées, d'aborder tous les problèmes de maintenance et de mise en œuvre. Enfin, les connaissances acquises sur l'autoguidage permettent à Matra et au STAé d'aborder la conception d'une deuxième génération de missiles autoguidés, sans erreur de concept.

Situation des techniques et des équipements en 1958

La stabilisation d'un missile supersonique et la théorie des engins tournants sont acquises dès 1952. En outre, à cette date, les théories des asservissements sont enseignées à l'ENSAE (École nationale supérieure de l'aéronautique et de l'Espace) par

des ingénieurs de l'Air – qui ont été envoyés pour se former dans les universités américaines.

Jusqu'en 1955, la propulsion à ergols liquides a la faveur des missiles pour les gros missiles, car les performances du seul propergol solide existant (la SD) sont faibles et le diamètre des blocs est limité à 200 mm. La Direction des poudres réussit à cette date, grâce à ses recherches et à quelques informations recueillies aux États-Unis, la mise au point de propergols plus performants et pouvant être fabriqués sans limitation de diamètre. La propulsion à ergols liquides est alors abandonnée pour les missiles tactiques, car le propergol solide permet la réalisation de missiles plus simples, plus sûrs et qui peuvent être stockés.

En 1958, la France met au point avec succès le statoréacteur subsonique et supersonique, grâce aux équipes de l'ONERA, de l' Arsenal, de Matra et de la SNCASE. Mais, contrairement à ce qui se passe aux États-Unis et au Royaume-Uni, aucun missile de cette période n'est mis en service avec ce type de propulsion, ses performances ne correspondant pas aux besoins.

Le STAé/ES soutient la jeune société SEA, qui étudie des calculateurs sol puissants, avec un traitement analogique ou numérique et travaillant en temps réel : ceux-ci sont nécessaires pour le téléguidage des missiles sol-air. L'arrêt des sol-air, en 1958, met en péril cette société.

Les résultats obtenus par les équipements électromagnétiques de missiles sont décevants, du fait de la technologie de l'époque (tubes) et des équipementiers : en dehors de la CFTH, ce sont des PME peu compétentes ou des sociétés peu motivées.

Au contraire, en 1958, dans le domaine de l'infrarouge, la France est compétitive face aux États-Unis. En effet, en 1949, le STAé/ES a proposé à une PME spécialisée dans les télémessures, les Établissements Turck, de s'intéresser à ce domaine et de financer les études. Avec le concours d'un professeur dynamique de la Sorbonne, cette société réussit à mettre au point les composants infrarouges, à réaliser, avec le concours du CEV, des mesures de rayonnement des avions et à développer les premiers équipements. Il s'agit, dès 1956, de l'autodirecteur du Matra R 511 et d'un goniomètre infrarouge qui rendit valable, par sa précision, le téléguidage semi-automatique. Celui-ci put ainsi être appliqué aux missiles antichars de la deuxième génération.

Enfin, les techniques de l'autoguidage en navigation proportionnelle et de la conception de systèmes complexes, comme les sol-air, commencent à être étudiées par le STAé et la Matra.

Contrairement à ce qui se passe dans d'autres pays, les champs de tir et les moyens d'essais en vol sont la propriété de l'État français, avec le CIEES (Centre interarmées d'essais d'engins spéciaux), créé à Colomb-Béchar dès 1948, et le CEV. Ces moyens sont primordiaux à une époque où les moyens de simulation sont très réduits. La disponibilité du champ de tir terrestre de Colomb-Béchar, qui permet l'utilisation d'enregistreurs récupérables à papier photographique, et les conditions de son utilisation sont un facteur déterminant pour le niveau d'avancement des missiles en 1958.

Relations internationales

Les Américains ne révèlent l'état d'avancement de la plupart de leurs missiles qu'en 1957. En revanche, ils ont une meilleure connaissance des travaux français. En effet, depuis 1954, les États-Unis subventionnent quelques programmes de développement (à 50 % environ), moyennant la remise d'un compte rendu périodique d'activité : ce sont les contrats Larkin, qui concernent le SS 11 et le SE 4500, dans la première période, et le SS 12, l'AS 30 et le R 530 à partir de 1960. Les Américains évaluent le SS 10 en 1952, puis la cible CT 41, et ils acquièrent la licence du SS 11.

C'est dans le cadre de l'OTAN que les présentations des principaux systèmes américains ont lieu, avec l'objectif d'équiper les pays européens concernés de l'air-air *Sidewinder* et du sol-air terrestre *Hawk* ; les Américains proposent aussi leur fabrication sous licence en Europe. En outre, ils offrent gratuitement, en 1957, l'armement d'un navire en missiles surface-air Tartar.

Des visites assez complètes des organismes de développement de missiles tactiques et de missiles balistiques sont organisées, en 1957 et en 1958, pour des délégations officielles françaises accompagnées de représentants de l'industrie. Le décalage important constaté, surtout dans le domaine du guidage, représente alors une surprise. Les Américains ont abandonné le

procédé de guidage des sol-air étudié par les Allemands et retenu par les Français (téléguidage suivi d'un autoguidage) et ils ont adopté l'autoguidage intégral, permettant à un tel système d'améliorer son efficacité et son emploi par la simplicité de la conduite de tir. Ils ont une meilleure connaissance des performances de la loi d'autoguidage et sont en avance dans la réalisation de l'autodirecteur électromagnétique. En revanche, les Américains n'ont pas réussi leurs missiles antichars dans les années 1950, parce qu'ils ont sous-estimé les progrès des charges creuses.

Le tournant de 1958

Dès 1956, les missiles deviennent d'actualité au niveau ministériel et au Parlement. La réduction du budget pour les études, suite aux événements d'Algérie, entraîne ces autorités à parler des duplications des programmes de missiles entre les trois directions techniques et les armées.

En 1957, la DEFA se limite à développer, au LRBA, un missile sol-air, le PARCA, avec le même programme que pour le Matra R 422, retenu par la DTIA, et le même procédé de guidage. La DEFA a aussi développé, à l'Établissement franco-allemand de Saint-Louis, un missile antichar, d'après l'idée d'un Allemand. Ce missile, appelé l'ENTAC, est fondé sur les mêmes principes de base que le SS 10, mais il accuse un retard de quelques années sur ce dernier. Pour supprimer leur concurrence, le chef d'état-major général des armées décide, en janvier 1960, que la production et la commercialisation seront assurées par Nord-Aviation. Ce missile a devant lui une belle carrière à l'exportation.

La DCCAN, de son côté, en 1957, effectue, dans son arsenal de Ruelle, un programme expérimental visant à développer un surface-air, le Masurca, aux performances voisines de celles des missiles R 422 et PARCA. En outre, elle vient de lancer, chez Latécoère, l'étude d'un missile porte-torpille, appelé plus tard Malafon.

Finalement, il n'y a qu'une duplication, entre les études de sol-air. En revanche, il faut noter que la DTIA a développé sur son budget les missiles aéroportés pour l'armée de l'Air et l'Aéronavale, le missile sol-air, destiné au moins à l'armée de

l'Air, les antichars et les sol-sol de 100 km de portée, destinés à l'armée de Terre et les cibles aériennes, pour les champs de tir (essais de missiles et entraînement).

Le 7 mars 1957, le ministre Bourgès-Maunoury décide de confier au général Jean Crépin⁴, inspecteur général des programmes et fabrications des forces armées, la mission de coordonner les programmes de missiles (tactiques et balistiques) des trois armées. C'est le début de la période des échanges avec les Américains et de l'examen de leurs propositions pour armer l'OTAN.

C'est alors la directive ministérielle du 4 août 1958, préparée par le général Crépin et signée par Pierre Guillaumat, qui décide de la situation des programmes :

- la DTIA est chargée de la responsabilité des missiles balistiques ;
- sauf pour les sol-air terrestres, l'ensemble des programmes en cours de développement ou prévus sont confirmés ; le surface-air Masurca fait partie de cette liste ; aucun changement de responsabilité des directions techniques n'est envisagé ;
- les programmes sol-air terrestres, R 422 et PARCA, sont arrêtés ; la France adopte le *Hawk* américain et doit participer à sa production en Europe ; la DEFA reçoit la responsabilité de ce programme ;
- le programme sol-sol SE 4500 est mis en sursis⁵ – il fut finalement arrêté en 1959.

Il faut noter qu'aucune autorité nouvelle de coordination pour les missiles tactiques n'est créée et que le général Crépin quitte son poste d'inspecteur en mars 1959.

La proposition faite par la DEFA de nommer la CFTH comme responsable industriel français est très appréciée. La CFTH est un radariste, comme la société américaine Raytheon, maître d'œuvre du *Hawk*, et elle a encore, à cette époque, des liens capitalistiques avec les États-Unis.

⁴ Polytechnicien, artilleur, c'est un fervent promoteur de l'antichar, en particulier du SS 11. Il a fait la connaissance du SS 10, dès 1950, lors de tirs au camp de Frileuse, qu'il commandait.

⁵ Depuis son lancement en 1955, il était envisagé de l'équiper d'une charge nucléaire.

Conclusion

Le bilan en 1958 de l'activité en matière de missiles tactiques menée sous la responsabilité de la DTIA a de nombreux aspects positifs. Une industrie missilière dynamique est créée et elle commence à rencontrer des succès internationaux. L'équipement de nos armées avec des missiles français, air-air et antichars, commence. Le seul aspect négatif est l'existence d'un retard, sur l'autoguidage, par rapport aux États-Unis ; cet écart fut ensuite annulé en quelques années.

LA MATURITE, DE 1959 A 1980

Dès 1959, de profonds changements se produisent. Ce sont en premier lieu les progrès de la technologie électronique, avec la transistorisation. Un nouveau saut se produit au milieu des années 1970, avec la numérisation des missiles. Ce sont ensuite les nombreux échanges entre pays de l'OTAN : la France n'est plus isolée. Les états-majors savent exprimer leurs besoins en matière de missiles, et l'utilisation de ceux-ci dans les conflits met en évidence de nouveaux besoins.

Les accords d'Évian, en 1962, entraînent la création d'un champ de tir maritime en métropole : le Centre d'essais des Landes (CEL). Les tirs au CEL commencent en 1964, et les derniers à Colomb-Béchar ont lieu en mars 1967. Des avantages apparaissent avec le CEL : les communications sont facilitées et l'utilisation généralisée de télémessures, malgré l'augmentation du coût des missiles d'essais, permet une exploitation plus rapide et plus complète des résultats – ce qui est important, à l'époque des simulations.

Les conséquences de la directive de 1958 et le rattrapage par rapport aux États-Unis (de 1959 à 1963)

Le domaine de responsabilité du STAé/ES est restreint. La responsabilité des missiles balistiques est confiée à un nouvel organisme de la DTIA. Par accord tacite entre la DTIA et la DEFA, cette dernière prend en outre, en 1961, la responsabilité

des antichars, confiés à Nord-Aviation. Avant le transfert à la DEFA, deux améliorations sont en cours de mise au point :

- le téléguidage semi-automatique du SS 11, nécessaire pour supprimer l'entraînement du tireur et adopté pour le MILAN et le HOT ;
- le montage sur hélicoptère, qui permet à l'ensemble Alouette-AS 11 de devenir le premier système air-sol anti-char opérationnel.

En 1959, le choix d'un missile air-air moderne pour l'équipement du Mirage III se porte vers l'autoguidage en navigation proportionnelle, permettant l'attaque dans tous les secteurs de l'objectif. En trois ans, le Matra R 530 réussit à gagner tous les paris techniques et technologiques lui permettant d'être, lors de sa mise en série, en 1964, comparable aux missiles américains. Il est même innovant. Le R 530 comporte deux versions, avec l'autodirecteur interchangeable. La version infrarouge, développée par la SAT, qui a repris les Établissements Turck, comporte une technologie permettant l'attaque dans tous les secteurs (les Américains n'adoptent cette technologie qu'en 1978). La société Électronique Marcel Dassault a gagné la compétition sur l'autodirecteur électromagnétique, grâce à son dynamisme, et devient le spécialiste de cette technologie. Le Matra R 530, exporté avec le Mirage III, équipe les *Crusader* de la Marine.

Pour l'attaque de cibles fixes, le télépilotage était bien adapté. Le Nord-Aviation AS 12, avec une portée de 6 km et une charge de 30 kg, est alors développé. Il trouve son domaine d'utilisation contre les petites unités navales et équipe d'une part les avions lents, comme l'Atlantic, et les hélicoptères, d'autre part des vedettes rapides, appréciées à l'étranger.

L'armée de l'Air, ayant découvert, avec l'AS 20 (version air-sol du missile air-air Nord 5103), l'intérêt du missile air-sol, demande le développement d'un missile de 500 kg comportant une charge de 240 kg capable de percer une épaisseur de béton supérieure à un mètre. C'est le Nord-Aviation AS 30 à téléguidage manuel. Il est très apprécié et exporté, en particulier en Allemagne et en Italie. Les Américains développent un missile similaire, le *Bullpup*.

En définitive, le Mirage III, avec le R 530 et l'AS 30, a un armement moderne dès 1965 – et il est utilisé jusqu'en 1990.

Sous la responsabilité de la DEFA pour la France, la production européenne du *Hawk* est également réalisée ; mais seule l'armée de Terre en commande. Avec de nombreuses améliorations, ces quelques batteries restent opérationnelles jusqu'en 2000. La DCCAN, elle, met au point son surface-air *Murca*, qui entre en service en 1970.

Les coopérations européennes (de 1964 à 1967)

En 1962, les armées de l'Air française et britannique décident d'examiner des possibilités de coopération. C'est dans le domaine des air-sol à grande portée que des besoins communs se révèlent : un missile antiradar, destiné principalement à la destruction des gros radars de surveillance, et un missile télévision, doté d'un guidage mi-course inertiel (35 km) suivi d'un guidage sur l'objectif détecté par une caméra de télévision et désigné par le pilote de l'avion tireur (liaison missile-avion). C'est le programme *Martel*, lancé en développement en 1964. Il comprend deux versions de missiles, avec un véhicule commun : la version antiradar, dont la France finance le développement et dont *Matra* a la maîtrise d'œuvre, et la version TV, dont le Royaume-Uni a la responsabilité. Le financement des parties communes est partagé.

La coopération durant le développement est exemplaire. Mais les décisions pour la production en série doivent être prises après les événements de 1968 ; la série de missiles antiradars est très limitée et la France ne commande pas de missiles TV. Le *Martel* n'a pas de succès auprès des armées de l'OTAN, malgré son avance par rapport aux Américains : elles trouvent le missile TV coûteux et elles sont optimistes sur les résultats d'un bombardement à basse altitude. Il a fallu la guerre du Golfe pour que cette opinion se modifie. Le *Martel* reste opérationnel jusqu'en 1995. D'autre part, une version francisée de la version antiradar (*ARMAT*) est exportée de 1978 à 1982 au Moyen-Orient – c'est une condition nécessaire pour exporter le *Mirage F1* en Irak. De nombreux radars iraniens sont détruits.

La coopération entre la France et l'Allemagne est liée à l'excellent climat politique de 1963, au souhait d'une franche coopération industrielle entre *Nord-Aviation* et *Bölkow* (accord

de la fin de 1962) et à des objectifs communs pour les successeurs de l'AS 30 et des antichars (que l'Allemagne avait acquis).

Pour l'air-sol, la coopération franco-allemande porte sur une étude expérimentale du guidage inertiel utilisant le vecteur de l'AS 30, donc à portée réduite (10 km). Le but des Allemands reste ambigu : peut-être ont-ils l'espoir de réaliser un missile nucléaire dans le cadre OTAN ? Cette étude, appelée AS 33, permet la mise au point en vol, en 1967, d'un guidage inertiel simplifié, autorisant la réalisation d'un missile tactique à un coût acceptable. Ce guidage fut utilisé sur des programmes antinavires nationaux : Kormoran allemand et Exocet.

En ce qui concerne les missiles de l'armée de Terre, dont la DEFA a la responsabilité, la coopération débouche sur la mise en service de trois missiles utilisant le téléguidage : deux antichars, le MILAN (portée de 2 km), produit à 330 000 exemplaires et vendu dans 40 pays, et le HOT (portée de 4 km), produit à 85 000 exemplaires et vendu dans 17 pays, et le sol-air à courte portée Roland.

Mais la coopération rencontre de nombreuses difficultés et la mise en service n'a lieu qu'entre 1973 et 1978, suivant les programmes. Une étape a en tout cas été franchie dans l'exercice de la gestion, en 1970. Du côté des services officiels, un organisme commun est responsable de la gestion des programmes (le Bureau de programmes franco-allemand). En outre, les deux sociétés sont associées de manière solidaire au sein d'un GIE, Euro-missile, qui est le seul contractant et qui commercialise les missiles pour l'exportation.

Les leçons tirées des premières utilisations de missiles (de 1968 à 1970)

Les Israéliens utilisent, à partir de 1965, leurs missiles air-air R 530 à partir de leurs Mirage III contre des Mig, lors de combats aériens fréquents sur leurs frontières. Le résultat est souvent un échec, les interceptions étant réalisées à vue et à faible distance : le R 530 n'y est pas adapté.

Après discussions avec les utilisateurs, Matra comprend que deux types de missile sont nécessaires : un missile de combat tournoyant, de coût faible, et un missile d'interception ayant des performances supérieures en portée et en dénivelée à celles du

R 530. L'EMAA adopte ce point de vue et des fiches programmes sont préparées avec le STAé ; elles fixent en particulier un coût maximal pour la production. Le résultat est le lancement, en 1969, du missile de combat Matra Magic 1, avec un autodirecteur infrarouge SAT et, en 1970, du missile d'interception Matra Super 530 F, avec un autodirecteur électromagnétique EMD, destiné à l'équipement du Mirage F1.

Des versions améliorées, compte tenu des progrès technologiques, sont ensuite développées à partir de 1978 et produites à la fin des années 1980 : le Magic 2 et le Super 530 D, adapté au Mirage 2000 et capable d'attaques à basse altitude. C'est le Magic qui permet à Matra de s'équiper de moyens industriels et d'obtenir la considération des Américains : il est en effet plus performant que leur missile *Sidewinder*. Onze mille Magic sont produits à partir de 1975 et exportés dans 18 pays (Moyen-Orient, Asie...). Les Super 530, liés au radar du F1 ou du Mirage 2000, ont le même succès à l'exportation que ces avions, et ils sont utilisés par l'Irak contre l'Iran. Ils sont produits dès 1979 (Super F) et leurs performances sont équivalentes à celles du *Sparrow* américain.

En octobre 1967, le navire israélien *Eilath* est coulé par de vieux missiles russes Styx antinavires tirés par une vedette égyptienne. L'émotion est considérable dans les Marines occidentales, car le missile mer-mer ne semble pas justifié. C'est Nord-Aviation qui propose le premier à ces Marines un projet de missile moderne, le MM 38, volant au ras de l'eau, avec un guidage mi-course inertiel mis au point pour l'AS 33 et un autodirecteur électromagnétique d'EMD. Nord-Aviation trouve une autre voie que le téléguidage. Le ministre de la Défense, M. Messmer, étant enthousiaste, le développement est lancé par la DTCN (Direction technique des constructions navales) à la fin de 1968. Le premier contrat d'exportation est passé avec les Grecs, à la même date.

Toute une famille, appelée Exocet, est alors lancée :

- en 1974, l'AM 39, pour l'équipement d'aéronefs comme le Super Étendard ;
- en 1975, le MM 40, qui a une portée supérieure à celle du MM 38 ;
- en 1978, le SM 39, pour le tir de sous-marin.

Plus de 3 000 Exocet sont produits et 33 pays en sont équipés. Avec les cinq tirs d'AM 39 pendant la guerre des Malouines et la destruction de navires britanniques, l'Exocet devient célèbre.

Deux concurrents sont développés peu après le MM 38. Il s'agit du *Harpoon* américain, qui a aussi de nombreux clients (6 600 exemplaires produits), et de l'Otomat, développé par Oto Melara en association avec Matra, qui équipe la Marine italienne.

La DTEN responsable des missiles tactiques (de 1971 à 1980)

À la fin de 1970, le ministre de la Défense, Michel Debré, ayant un grand désir de réformer l'administration, décide le regroupement de ces missiles au sein d'un nouveau service, le Service technique des engins tactiques (STET). Une plus grande cohérence en matière d'études et d'actions industrielles semble nécessaire. Mais seuls les nouveaux programmes nationaux sont transférés : Magic 1 et Super 530 F, de la DTCA, MM 38, de la DTCN, et le projet d'antichar ACRA, de la DTAT (Direction technique des armements terrestres), qui est abandonné en 1971. Les deux premières directions techniques citées sont touchées. En revanche, la responsabilité des autres programmes (R 530, AS 12, AS 30, Martel, cibles, Masurca, *Hawk*, MILAN, HOT, Roland...) reste inchangée. Les sol-air, *Hawk* et Roland, les cibles et les drones rejoignent le STET en 1977.

Le point fort du STET est la préparation de l'avenir. Les crédits consacrés aux études générales et aux développements exploratoires sont nettement plus importants que précédemment. Les principaux thèmes sont les nouveaux concepts du statoréacteur (qui permirent le lancement, en 1978, du missile aéroporté et à charge nucléaire ASMP), l'autodirecteur laser, les études de préparation du Mica et du futur SAMP.

Le seul nouveau type de missile lancé pendant la décennie est l'air-sol laser, qui utilise le véhicule du Nord-Aviation AS 30. C'est le premier armement air-sol de précision (tiré principalement du Jaguar) équipé d'un pod d'illumination, ATLIS, développé sous la responsabilité du STAé. Le programme commence en 1977 et le missile est mis en service en 1988 ; il connaît son heure de gloire pendant la guerre du Golfe. La DTCA lance, chez Matra, le développement de bombes guidées laser, illuminées par le même pod ATLIS. L'intérêt est de pouvoir équiper les bombes, de 250 à 1 000 kg, avec le même kit de guidage : c'est la philosophie américaine.

Le STET a la responsabilité de développer les versions améliorées des missiles lancés avant 1970 : les air-air Magic 2 et Super 530 D, la famille Exocet, comportant l'AM 39, le MM 40 et le SM 39, et la cible C 22, successeur du CT 20.

À partir de 1964, au titre d'un contrat d'exportation vers l'Afrique du Sud, Thomson-CSF développe un système de missile sol-air à courte portée, le Crotale, concurrent du Roland. Le missile est confié à Matra. Thomson en fait la promotion et l'armée de l'Air et la Marine françaises l'adoptent au début des années 1970. Le STET gère ce programme. Après le conflit israélo-arabe de 1973, Thomson-CSF reçoit des contrats d'exportation colossaux avec l'Arabie Saoudite : contrat Shahine en 1975 et contrat Al Thakeb, de six milliards de dollars, en 1985. Le rôle que désire jouer Thomson-CSF en matière de missiles semble évoluer : veut-il devenir missilier, en plus de son rôle de radariste et de systémier ?

Conclusion

En 1980, la France est devenue, derrière les États-Unis, le deuxième pays du monde occidental pour la conception de missiles tactiques. Son industrie missilière est mondialement reconnue. Sa part du chiffre d'affaires à l'exportation est de l'ordre de 70 %, en majorité pour le Moyen-Orient. La différence fondamentale avec l'industrie américaine concerne les quantités produites, et se traduit par une différence de coût de production.

LES MISSILES INTELLIGENTS, DE 1981 A 1995

C'est une période caractérisée par plusieurs évolutions :

- les progrès de la microélectronique permettent la réalisation de microprocesseurs ayant une considérable puissance de calcul (d'où la dénomination de ces missiles) ; en outre, ils ont entraîné une plus grande compacité des équipements ;
- de nombreux nouveaux besoins opérationnels, résultant des progrès technologiques et de l'expérience des conflits comme la guerre du Golfe, apparaissent ;
- suite à la réduction des budgets, les coopérations renaissent – même si la plupart conduisent à des échecs ;
- l'effondrement de l'Union soviétique entraîne le désir, pour la plupart des gouvernements, de toucher « les dividendes de la paix », d'où une révision des priorités des programmes.

Les progrès de la technologie sont concrétisés par la possibilité d'équiper les missiles avec des calculateurs munis de logiciels sophistiqués, des autodirecteurs infrarouges comportant des matrices de détecteurs fournissant des images et des centrales inertielles à éléments liés ayant des coûts réduits. Les informations fournies par des satellites peuvent être exploitées pour la désignation des cibles.

Les armées réclament des missiles antiaériens « tire et oublie », de manière à posséder une défense multicible, c'est-à-dire à pouvoir lutter contre une attaque simultanée. Cette demande implique de disposer de radars multifonctions et de missiles avec une phase de guidage mi-course inertiel et un autoguidage terminal actif ou passif. L'équipement avec des missiles air-sol tirés à distance de sécurité (TDS) et même hors du pays attaqué (tir d'avion, de navire...) devient un besoin, et ce besoin nécessite la désignation de la trajectoire et de l'objectif. Les armées veulent une amélioration de la pénétration des assaillants, d'où les études sur le brouillage, le leurrage et la furtivité. S'y ajoute la demande de la surveillance, en temps réel, par des drones.

Mais tout cela a un prix ; or la plupart des ingénieurs et des officiers, obnubilés par la technique, négligent les coûts.

Les échecs de la coopération tripartite (Allemagne, France et Royaume-Uni) et des coopérations transatlantiques (ces trois pays et les États-Unis)

En 1976, le Royaume-Uni s'est associé avec la France et l'Allemagne pour les antichars. Il a acquis la licence du MILAN et les trois pays ont décidé de s'associer pour la troisième génération. Celle-ci implique l'abandon du téléguidage et l'utilisation des techniques de guidage plus modernes, comme le guidage par faisceau laser, pour le successeur du MILAN, et l'autoguidage infrarouge, pour le successeur du HOT. Tous deux doivent équiper les hélicoptères sans les rendre vulnérables aux tirs de sol-air (nécessité d'un missile « tire et oublie »). Les discussions et les études de faisabilité sont très longues, de 1976 à 1988, entre les trois parties concernées, dont la DTAT et l'Aérospatiale pour la France. En 1995, ces programmes appelés AC3G (antichars troisième génération), malgré leur retard, sont en phase finale de mise au point. Leurs coûts sont élevés ; mais le fait le plus grave est l'effondrement de leur marché, avec la fin de l'Union soviétique. Ces programmes ne sont finalement pas poursuivis, entraînant une perte de charge potentielle importante pour l'Aérospatiale.

Les États-Unis proposent trois coopérations aux Européens, qui sont toutes des échecs.

En 1978, c'est la politique du *two way street* : la responsabilité pour le développement des futurs missiles antichars et air-air doit être partagée. Les États-Unis auraient celle des missiles à longue portée (l'air-air d'interception à autoguidage électromagnétique, futur AMRAAM) et l'Europe celle des missiles à courte portée (l'air-air de combat). Une cession de licence est prévue. Les Européens refusent cette solution pour l'antichar : ils ont décidé une coopération tripartite. En revanche, l'Allemagne et le Royaume-Uni acceptent l'association pour l'air-air. La France s'isole : elle refuse la proposition, qui revient à compromettre toute exportation française d'un futur avion de combat. Les deux pays européens n'arrivent finalement pas à coopérer ; en définitive, en 1995, trois missiles à courte portée se développent hors de France.

En 1980, c'est une association au MLRS (*Multiple Launch Rockets System*) que les États-Unis suggèrent : achat du système et coopération pour le développement de la munition intelligente antichar (missile à autodirecteur millimétrique, donc très innovant). L'accord a lieu, et le développement est lancé en 1985. Mais, en 1992, les Américains annoncent leur départ, car ils développaient en secret un *black program*. Compte tenu de la faible priorité pour un tel programme et de la perte du marché américain, cela implique l'arrêt de cette munition.

En 1986 est lancé le développement en commun d'un armement air-sol tiré à distance de sécurité, dit MSOW (*Modular Stand Off Weapon*). A cette date, Matra et MBB développent un prototype à leurs frais, avec l'accord de leurs gouvernements. Les Américains veulent prendre le *leadership*. La France se retire en 1988, pour développer un programme national, Apache. En 1989, les Américains se retirent en annonçant qu'ils développent un *black program* depuis 1986. Mais la coopération franco-allemande est morte.

On retient les leçons suivantes de ces essais de coopération :

- la proposition du *two way street*, qui semblait pleine de bonnes intentions, était plutôt un leurre pour conduire la France à être dépendante des États-Unis ;
- pour le MLRS, la progression de la technique de ce type d'autodirecteur est évidente, mais les Américains sont réticents à partager une technologie novatrice ;
- pour le MSOW, l'intention des Américains était probablement de détruire une éventuelle coopération européenne sur un produit prometteur.

Les programmes nationaux et les coopérations bilatérales

On évoquera ici successivement les programmes concernant l'armée de Terre, la Marine, les missiles aéroportés et les systèmes sol-air interarmées.

Pour l'armée de Terre, en 1980, l'EMAT émet une fiche programme pour une arme antichar de faible portée (300 à 600 m) pouvant être tirée en espace confiné, le combat en zone urbaine devenant une mission importante. La DAT (Direction des ar-

mements terrestres), après examen de projets de roquettes, choisit, en 1985, l'antichar Eryx, proposé par l'Aérospatiale. C'est un missile innovant, malgré l'adoption du téléguidage. Il est conçu sans coopération et avec une recherche du coût minimal. Après quelques difficultés de mise au point, il entre en service en 1991. Malgré la réduction du marché de l'antichar, il rencontre un franc succès, n'ayant pas de missile concurrent en 1995.

Le drone de surveillance en temps réel Brével fait en revanche l'objet, au moins un temps, d'une coopération avec l'Allemagne. Ce type de programme semble indispensable à toute armée de Terre adoptant une capacité de feux en profondeur (MLRS) sur des cibles ponctuelles. Dès 1984, Matra, associée à MBB (en 1989 STN), fait des propositions. L'Allemagne y attachant une plus grande priorité que la France, et après quelques atermoiements, un contrat de développement est signé en 1992. Les spécifications restent très contraignantes, car elles ne prennent pas en considération le changement de menace. Le développement doit s'achever à la fin des années 1990. Cependant, seule l'Allemagne prévoit de s'équiper en série. La France lance en parallèle, en 1993, un drone expérimental, sans spécification. C'est le Crécerelle, proposé par SAGEM. Cette recherche dégrade encore le climat de coopération franco-allemande, déjà mauvais.

Dans le domaine de la Marine, un des enjeux est de trouver un successeur pour l'Exocet. Suite au succès de l'ASMP, la France (DGA et Aérospatiale) préconise, dès le début des années 1980, l'adoption d'un missile supersonique équipé d'un statoréacteur. Des développements exploratoires et des projets de coopération avec l'Allemagne (MBB étant l'interlocuteur industriel) ont lieu. En 1995, le projet est au point mort. Malgré les avantages incontestables de la solution supersonique, la plupart des Marines sont satisfaites de leurs missiles subsoniques et elles ne sont pas prêtes à financer une telle évolution, compte tenu de la nouvelle donne politique.

D'autre part, depuis 1985, la DME (Direction des missiles et de l'Espace, nouveau nom de la DEN) recherche la coopération avec l'Italie pour les missiles et l'Espace. Le Malafon français, datant de 1968, doit être remplacé. La torpille légère MU 90

étant franco-italienne, Matra et Oto Melara, coopérant sur l'Otomat, proposent un dérivé : le missile lance-torpille Milas. Ce projet est retenu et l'accord de coopération signé en 1987, en même temps que celui portant sur Hélios. Le développement doit s'achever au milieu des années 1990. Mais, comme pour Brével, seule l'Italie prévoit de s'équiper en série.

Dans le domaine des missiles aéroportés, pour répliquer à la proposition américaine du *two way street*, les services officiels, du STET au ministre de la Défense et avec le soutien de l'avionneur Dassault, décident, en 1979, de choisir un concept national, suggéré par Matra. L'air-air Mica est un missile « tire et oublie », avec un guidage mi-course inertiel et un autoguidage terminal. Il est original, car il est capable de remplir la mission d'interception et la mission de combat rapproché, avec ses deux versions qui diffèrent par l'autodirecteur (électromagnétique actif Dassault Électronique et infrarouge SAT) ; sa technologie est très innovante. Le développement, lancé en 1987, se déroule sans difficulté majeure, et la mise en service a lieu en 1996 à l'exportation et à la fin des années 1990 en France.

Son utilisation nécessite la réalisation d'un système d'armes multicible comportant un radar multifonction. En 1984, les industriels unis lancent sur fonds propres ce système pour l'exportation. Dassault développe une version améliorée du Mirage 2000, appelée 2000-5, tandis que Thomson-CSF finance le radar, appelé RDY. Matra autofinance de manière importante le missile, car le concurrent du Mica, l'AMRAAM américain (*Advanced Medium Range Air to Air Missile*), est en développement depuis 1979. Le Mirage 2000-5 est un succès : il est adopté par l'armée de l'Air française et surtout exporté, dès 1992 à Taïwan et en 1994 au Qatar.

Il faut se féliciter du partenariat qui a existé entre les services officiels et l'industrie : il a permis de concevoir un avion de combat multicible capable de résister à la compétition avec les Américains. Un système similaire est en cours de développement pour le Rafale. La valeur du Mica est reconnue internationalement ; mais le marché s'est beaucoup réduit depuis les événements de 1991. Le contrat de Taïwan (960 missiles) fut très bénéfique pour le plan de charge des années 1990 de Matra et de ses coopérants.

Outre le Mica, dans le domaine des missiles aéroportés, il faut évoquer le missile air-sol de croisière TDS. Depuis 1984, les industriels français et allemands proposent l'étude de ce type de missile : Apache pour Matra avec MBB ; Mobidic pour l'Aérospatiale avec Dornier. Face à la proposition américaine, en 1986, de prendre le *leadership* d'un programme OTAN, la réaction française est le lancement, en 1989, d'un programme national, Apache, sous la maîtrise d'œuvre de Matra, l'Aérospatiale étant coopérant. Apache est un missile de 1 280 kg et de 140 km de portée, propulsé par un turboréacteur et guidé inertiellement, avec un recalage utilisant des données mises en mémoire lors de la préparation de mission. Sa précision terminale étant de l'ordre de 50 à 100 m, Apache est équipé de 10 munitions anti-piste (500 kg d'armement). La guerre du Golfe ayant montré que la mission anti-piste n'est plus prioritaire, l'approvisionnement pour les avions Mirage 2000-5 de l'armée de l'Air est limité à 100 exemplaires, et la livraison est prévue au début des années 2000.

Avec le tir des Tomahawk durant cette guerre, les États-Unis ont montré que le missile de croisière devait attaquer en priorité des objectifs militaires de haute valeur, de faibles dimensions et durcis. Cela a conduit à modifier l'Apache du point de vue de la portée (de l'ordre de 400 km), de l'armement (charge unitaire) et de la précision (nécessité d'un autoguidage terminal sur l'objectif désigné, mis en mémoire). Après une compétition entre le projet subsonique Matra, dérivé d'Apache, et le projet supersonique de l'Aérospatiale (utilisation d'un statoréacteur), c'est le projet Matra qui est choisi en décembre 1994. Cette compétition rompt les liens industriels entre les deux sociétés créés avec Apache.

À la même date, les Britanniques émettent un appel d'offres international sur un missile du même type (CASOM, *Conventionally Armed Stand Off Missile*). Matra et BAe décident de proposer, à la fin de 1995, le même missile – SCALP-EG (Système de croisière à longue portée-emploi général) en France et *Storm Shadow* au Royaume-Uni – à un prix très concurrentiel, en pariant que ces projets seront retenus par les deux pays et que leurs contrats seront globaux, et en prenant en compte les gains de productivité qui devraient découler de l'intégration des acti-

vités. En fait, Matra et BAe ont décidé de créer une société intégrant toutes leurs activités relatives aux missiles. Malgré les propositions américaines, celle de l'Aérospatiale (projet supersonique) et celle de DASA, le choix du gouvernement britannique se porte, en juillet 1996, sur le *Storm Shadow*. Les deux premières commandes sont importantes : 900 exemplaires pour la Grande-Bretagne et 500 exemplaires pour la France, dont 50 exemplaires pour l'Aéronavale. Les États-Unis développent un projet concurrent à coût réduit.

Enfin, du côté des systèmes sol-air interarmées, à la fin de 1980, le SATCP Mistral (sol-air à très courte portée), programme national interarmées, est lancé en développement. C'est Matra qui est retenu, après une compétition acharnée. Il s'agit d'un missile « tire et oublie » à autoguidage infrarouge SAT, pesant 20 kg et différant des missiles américain et russe existants (Stinger et Sréla) par une masse double, résultant de l'équipement avec une charge valable et une fusée de proximité. L'efficacité du Mistral est nettement plus importante que celle de ses concurrents. Sa mise au point est très difficile, car sa technique et sa technologie sont très innovantes, et il n'y a pas de développement probatoire. La première livraison du Mistral a lieu en 1989 et il rencontre un grand succès. À la fin de 1999, 36 forces armées l'utilisent (dans 25 pays). Mais le marché en quantité se réduit de 50 % environ, suite aux événements de 1990.

D'autre part, avec l'évolution des menaces, les missiles SAMP monocibles français *Hawk* et *Masurca*, produits dans les années 1960, deviennent obsolètes. Dès 1974, des études de faisabilité, dans le cadre OTAN, sont menées par les deux sociétés choisies : Thomson-CSF (système et surveillance) et Matra (système et missile). En outre, l'autodéfense des grandes unités navales nécessite une défense contre une attaque saturante de missiles. Au début des années 1980, toute coopération européenne semblant exclue, un développement national d'une famille de missiles « tire et oublie » est décidé. Elle comprend un radar multifonction, un missile SAMP interarmées et un missile naval SAAM (sol-air antimissile). Ce développement permet la création de trois systèmes : le SAMP (T), pour les armées de Terre et de l'Air, le SAMP (N) et le SAAM pour la Marine.

Pour les missiles, la compétition est ouverte, en 1982, aux deux sociétés, Aérospatiale et Matra. En mars 1986, le choix se porte sur la famille de missiles Aster, proposée par l'Aérospatiale, et sur le radar à balayage électronique Arabel, proposé par Thomson-CSF. C'est l'originalité de la famille Aster qui est primée : il s'agit de missiles composites comprenant un missile terminal commun et des accélérateurs différents suivant la mission, un pilotage en phase terminale du missile par déviateur de jet (PIF, pilotage par inertie en force) réduisant légèrement la distance de passage – au prix d'un coût plus élevé. Les principaux équipements de guidage sont de même nature que ceux du Mica : centrale inertielle à éléments liés et autodi-recteur actif de Dassault Électronique. Le contrat de développement national est notifié en 1987.

En 1988, l'Italie, coopérant avec la France sur les futures frégates antiaériennes Horizon, désire s'associer à ce programme avec un financement paritaire du développement. Le contrat final est notifié, en 1990, au GIE Eurosam, associant de manière paritaire l'Aérospatiale, Alenia et Thomson-CSF. Le développement est en cours. Le premier système SAAM devrait équiper le porte-avions Charles de Gaulle à la fin des années 1990, les systèmes SAMP devant entrer en service dans les années 2000.

Le Royaume-Uni, qui développe des frégates nationales du même type que les frégates franco-italiennes Horizon, a l'intention d'utiliser le système Aster. En 1995, un accord prévoit d'adopter un système, dit PAAMS, comportant les missiles franco-italiens Aster inchangés et une conduite de tir spécifique. La décision finale a été prise en 1999.

Ainsi, ce programme antiaérien est devenu européen et concerne les trois Marines (France, Italie et Royaume-Uni), les armées de Terre française et italienne et l'armée de l'Air française. Il n'y a pas de système équivalent aux États-Unis. Le marché potentiel est très important.

La coopération européenne, associant la France, a évolué. Les relations avec l'Allemagne sont très réduites. En revanche, le Royaume-Uni et l'Italie sont devenus nos associés pour les programmes majeurs. L'organisation industrielle européenne fondée sur le GIE n'est plus appréciée, mais la constitution de sociétés intégrées est à l'ordre du jour.

La situation pour l'Aérospatiale est préoccupante. La réalisation des successeurs aux programmes phares de 1980, les anti-chars et l'Exocet, est au point mort. Le programme *leader* est maintenant l'important programme Aster. Les projets de fusion avec DASA, pour les activités missiles, n'ont pas abouti.

Les programmes phares de Matra sont le Mistral, le Mica et le missile de croisière SCALP. C'est l'avenir après 2000 qui semble incertain. Matra a réussi à établir un accord avec BAe pour une mise en commun de leurs activités missiles au sein d'une société intégrée : MBD, détenue de manière paritaire et présidée par un directeur de Matra. Elle a été créée en 1996.

ÉPILOGUE : VERS L'EUROPEANISATION DES MISSILES

La réorganisation, en 1999, de l'industrie aéronautique française, puis celle de l'industrie européenne, aboutissent à la création d'une société européenne pour les missiles tactiques, MBDA, qui englobe l'activité de MBD, de l'Aérospatiale et d'Alenia, en attendant l'intégration de l'activité allemande. La part du capital est identique pour EADS et BAe (37,5 %), la société italienne Finmeccanica ayant 25 %.

Trois programmes allant dans le sens de l'europanisation ont été décidés. Les contrats globaux concernant le SCALP-EG et le *Storm Shadow* ont été notifiés. Le programme PAAMS a été « sauvé » en 1999. Un programme air-air de nouvelle génération, initié par les Britanniques, a été décidé en 2000 : le Météor, propulsé par un statoréacteur. Six pays se sont associés (Allemagne, Espagne, France, Italie, Royaume-Uni et Suède) ; ce serait un choix stratégique pour l'Europe et un programme fédérateur pour MBDA. Le lancement effectif aura-t-il lieu, compte tenu des restrictions budgétaires ?

L'industrie des missiles est devenue européenne avec le nouveau millénaire. L'industrie purement française a vécu un demi-siècle environ. La France était arrivée, dans les années 1970 et 1980, à la pointe de l'industrie européenne occidentale ; dans le cadre du futur marché européen, le Royaume-Uni est devenu son égal et l'Italie a acquis une bonne place.

LES MISSILES BALISTIQUES

Coordinateurs d'ensemble : Émile Arnaud et André Motet

PREAMBULE

L'ouvrage traite principalement des faits postérieurs aux directives de Pierre Guillaumat d'août 1958, qui suivent de peu le retour au pouvoir du général de Gaulle et qui marquent le début, en France, d'une activité structurée en matière de missiles balistiques.

Les faits relatés s'arrêtent au milieu des années 1990, marquées par le démantèlement des systèmes balistiques terrestres SSBS, Pluton et Hadès. Les événements ultérieurs se rattachent moins à l'histoire qu'au futur des missiles MSBS, désormais seuls missiles balistiques en service, dont une nouvelle version est en cours de développement.

Les directives Guillaumat d'août 1958, comme l'ensemble de l'effort nucléaire français, ont été précédées et préparées par un certain nombre d'initiatives des derniers gouvernements de la IV^e République, prolongées par la réflexion des états-majors et par les premières études menées par la Direction technique et industrielle de l'Air (DTIA).

La création de l'OTAN et les débuts de la guerre froide avaient mis la France sur la voie des applications militaires de l'énergie nucléaire. La crise de Suez avait révélé le besoin de rendre autonome l'emploi éventuel des futurs armements nucléaires français. Les gouvernements de la V^e République confirmèrent, en engageant publiquement davantage de moyens, les intentions de leurs prédécesseurs ; ils conduisirent un effort scientifique, technique et industriel qui, en une dizaine d'années, permit à la France de disposer en pleine autonomie de diverses forces nucléaires – dont celles dotées de missiles balistiques, appelées à jouer le premier rôle.

STRUCTURES ETATIQUES ET INDUSTRIELLES, MOYENS ET METHODES

C'est l'effort de récupération et d'exploitation de documents et de matériels d'origine allemande – accompagné d'une recherche systématique de spécialistes ayant travaillé dans des laboratoires, centres d'essais ou entreprises industrielles où étaient développés les engins spéciaux les plus avancés de l'époque – qui marque, après la Seconde Guerre mondiale, le vrai début en France d'une activité d'engins autopropulsés, ou missiles, conduite par l'ensemble des directions centrales qui ont précédé les directions techniques de la Délégation ministérielle pour l'armement. En l'absence d'une autorité unique sur l'ensemble des directions d'armement ou d'une direction unique des engins autopropulsés, les ministres des Armées de la IV^e République et des premières années de la V^e République confiaient à leur cabinet et aux structures de coordination des programmes d'armement le soin de rationaliser les études en cours et de les orienter vers la satisfaction des besoins prioritaires.

Au début du printemps 1958, en raison des difficultés des tâches et des coûts de développement, dont on avait pris la mesure, le gouvernement avait fait le choix de la coopération avec ses alliés européens et avec les États-Unis. Ainsi, la France s'était engagée dans l'étude en coopération européenne d'un dérivé terrestre du missile balistique marin américain Polaris.

Dans ses directives d'août 1958, qui orientaient l'ensemble des études d'engins, Pierre Guillaumat donnait la priorité à la réalisation du projet antérieur de missile balistique, qui devait être capable d'emporter une charge thermonucléaire. Il précisait que la responsabilité en était confiée à la DTIA.

Dans les semaines qui suivirent, le directeur de la DTIA constitua un groupe d'experts, issus de l'administration et de l'industrie, pour proposer un plan de travail. Dans le même temps, il exprima l'avis que la France ne disposait pas des moyens industriels nécessaires pour mener à bien une telle entreprise, et que la première chose à faire était de réunir dans une société d'étude et de réalisation l'essentiel des compétences éta-

tiques et industrielles pour concevoir et diriger l'ensemble du projet.

La Société d'étude et de réalisation d'engins balistiques (SEREB), dont le besoin avait été reconnu, fut finalement créée le 17 septembre 1959. Entre-temps, en juillet 1959, la DTIA avait constitué en son sein le Groupe des engins balistiques (GEB), qui avait pour mission d'orienter les études de la nouvelle société et de préparer, puis de gérer, les contrats correspondants. Le GEB devint le département Engins de la Délégation ministérielle pour l'armement lors de sa création, en avril 1961.

Durant ses premières années d'existence, la SEREB, conformément à ses statuts, qui lui confiaient un mandat de l'État pour la réalisation des engins balistiques, recevait de l'administration des contrats-cadres en dépenses contrôlées, au titre desquels elle élaborait des projets dont les constituants étaient sous-traités à des sociétés industrielles – qui étaient principalement ses propres actionnaires. Celles-ci, comme l'administration, veillaient à ce que la SEREB ne se chargeât pas de tâches que les sociétés industrielles étaient en mesure d'accomplir.

La DTIA, puis le département Engins, s'employèrent avec un succès inégal à constituer des sociétés d'étude et de réalisation pour les deux techniques majeures des engins balistiques : la navigation par inertie et la propulsion.

Les efforts pour créer une nouvelle société pour la navigation par inertie furent assez rapidement abandonnés. La SAGEM, qui avait acquis de solides compétences grâce à une licence américaine et à laquelle était aussi confié le développement des centrales inertielles des sous-marins nucléaires, fut finalement jugée apte à assurer seule le développement des centrales pour missiles balistiques. Les regroupements dans l'industrie de la propulsion opérés au début des années 1960 furent plus limités que ceux que l'État avait d'abord envisagés.

Les grands sous-ensembles des missiles (corps de rentrée, case à équipements, compléments d'étages propulsifs) furent confiés à Nord-Aviation et Sud-Aviation. Dans les autres domaines techniques, on fit appel à l'industrie nationale, sans que des structures industrielles nouvelles aient été jugées nécessaires.

Avec le développement des activités, notamment avec le lancement des grands programmes nucléaires, les structures initialement mises en place furent de plus en plus contestées par les principaux partenaires de la SEREB, qui devait lutter sur deux fronts pour jouer le rôle qui, selon elle, lui avait été confié. D'une part, les services officiels du ministère des Armées et de celui des Finances considéraient qu'ils exerçaient un contrôle insuffisant sur des activités majeures pour le pays. D'autre part, les entreprises industrielles concernées considéraient que la nouvelle société se dotait de moyens, notamment d'ateliers et de personnels d'exécution, qui faisaient double emploi avec les leurs.

Finalement, les programmes de première génération furent menés à bien sans changements significatifs de responsabilités industrielles ; mais des dispositions majeures furent prises ou préparées durant la décennie 1960.

Il s'agit d'abord d'une forte structuration des services étatiques, avec la création de la Direction technique des engins (DTEN) en 1965, d'organisations spécifiques pour la direction de chacun des grands programmes nucléaires (organisations Athéna, Cœlacanthe, Pluton) et de la commission mixte (armées et CEA) de sûreté, pour contrôler la sûreté nucléaire des armes et des réacteurs militaires.

Tout au long de la décennie 1960 s'y ajoute la création de moyens étatiques ou industriels, dont beaucoup sont concentrés dans la région de Bordeaux : Centre d'essais des Landes, Centre d'achèvement et d'essais des propulseurs d'engins, poudrerie de Saint-Médard, établissements de la SEP et de la SNIAS. L'établissement de Cannes de la SNIAS et celui des Mureaux se développent, et un centre d'essais des équipements inertiels est créé au LRBA.

En matière de structures industrielles, des réflexions aboutissent à la création de la Société européenne de propulsion (SEP) en 1969, de la Société nationale industrielle aérospatiale (SNIAS) en 1970, de la Société nationale des poudres et explosifs (SNPE) en 1971, et enfin à la création en 1972, entre la SNPE et la SEP, d'un groupement d'intérêt économique, le Groupement pour les gros propulseurs à poudre (G2P), dont la mission était d'assurer la maîtrise d'œuvre desdits propulseurs.

Certaines de ces restructurations, notamment la création de la SNIAS, visaient d'ailleurs des objectifs qui débordaient largement le seul domaine des missiles balistiques.

Les programmes qui furent lancés après les grandes restructurations industrielles du début de la décennie 1970 (programmes S3 et M4 en particulier) purent ainsi être réalisés par des structures industrielles stabilisées, la SNIAS assurant en particulier le rôle de maître d'œuvre industriel du système ou du missile, le G2P celui de maître d'œuvre propulsion. Les relations contractuelles entre la DTEN et ces industriels s'en trouvèrent clarifiées.

PROGRAMMES D'ETUDES ET DE REALISATION DES SYSTEMES

Études des techniques de base - Choix des formules de missiles

Jusqu'au début de l'année 1960, l'étude d'un missile balistique sol-sol dérivé du missile américain Polaris lancé de sous-marin constitua le thème principal d'étude tant des services officiels que de la SEREB. D'autres voies n'étaient cependant pas perdues de vue, car ce projet de missile, qui impliquait l'emport de charges nucléaires très légères, n'était guère compatible avec les projets de charges nationales envisagés alors par le CEA. De plus, l'adaptation du missile terrestre au lancement de sous-marin n'était pas assurée. Enfin, des difficultés d'ordre politique étaient pressenties.

Au début de 1960, alors que le CEA faisait exploser au Sahara la première bombe atomique française à fission, les incertitudes furent levées : la France aurait à conduire seule son programme de missiles armés de charges thermonucléaires, tant pour le vecteur que pour la charge.

Pour les missiles, l'objectif principal était l'emport d'une charge thermonucléaire dont la masse était estimée à 1 500 kg. Aucun système militaire viable, réalisable avec les techniques envisagées, ne semblait pouvoir satisfaire cet objectif. Aussi, pour mieux asseoir les choix, jugea-t-on préférable de lancer un

programme technologique lourd « d'études balistiques de base » (EBB), en différant les choix sur les systèmes militaires. Quand, à la fin de 1960, le programme EBB fut approuvé, la propulsion par ergols liquides n'était pas exclue ; elle semblait même être seule en mesure de satisfaire les objectifs militaires de charge utile et de portée. C'est pourquoi le programme d'études et d'essais au banc des propulseurs, comme celui des essais en vol des missiles, comprenait une part importante d'expérimentation de propulseurs à ergols liquides.

Parallèlement à la conduite du programme EBB, principalement destiné à l'acquisition des techniques de base, l'administration et la SEREB élaboraient divers projets de systèmes opérationnels, qui évoluaient en fonction des orientations politiques ou militaires, des projets de charges nucléaires du CEA et des premiers résultats du programme technologique.

Les études au sol des propulseurs répondaient à un double objectif : fournir les propulseurs nécessaires à l'exécution du programme EBB et préparer le développement des futurs systèmes militaires. Un effort considérable fut fait en quelques années pour maîtriser les techniques de la propulsion : surtout pour les propulseurs à propergol à poudre, presque tout était à faire.

La propulsion à ergols liquides disposait de l'acquis de la fusée Véronique, qui avait bénéficié du concours d'ingénieurs allemands. Bien qu'à partir de 1963, le choix ait été définitivement fait des propergols solides pour les programmes militaires, les études et réalisations de propulseurs à ergols liquides nécessaires au programme EBB – et au programme Diamant qui l'a prolongé – ont été poursuivies jusqu'à ce que les programmes spatiaux prennent le relais, en 1967.

Le programme EBB a comporté 56 tirs d'engins expérimentaux, auxquels on peut ajouter les quatre tirs de la fusée Diamant. Les engins tirés étaient d'une complexité croissante, depuis des mono-étages simplement stabilisés par mise en rotation jusqu'à des bi-étages guidés, en passant par des mono-étages guidés et des bi-étages pilotés. Le taux de réussite de ces tirs, supérieur à 80 %, fut remarquable, surtout pour les engins les plus complexes. Ils permirent notamment de valider les deux modes de propulsion (ergols liquides et propergols solides) et le

pilotage associé, le guidage par inertie et les techniques de rentrée dans l'atmosphère.

Les choix principaux relatifs aux systèmes MSBS et SSBS furent opérés progressivement. Tant que la masse de la charge nucléaire à transporter resta fixée à 1 500 kg, seul un système terrestre semblait réalisable, et seule la propulsion à ergols liquides était envisageable. La situation commença à se dénouer à l'été 1961, tant sur le plan technique que sur le plan financier. La réduction de plus de moitié de la masse de la charge acceptée par le CEA permit l'emploi de propergol solide pour les missiles MSBS et SSBS. Plus précisément, la propulsion à propergols solides rendait possible la conception de missiles MSBS ; en effet, pour des raisons de sécurité, la Marine française, comme d'ailleurs avant elle celle des États-Unis, avait exclu l'emploi d'ergols liquides à bord de ses sous-marins. De plus, la proposition du département Engins et de la SEREB d'utiliser un large tronc commun entre les deux missiles, notamment un propulseur de 1,5 m de diamètre et de 10 tonnes de propergol solide, rendait la réalisation simultanée des deux programmes presque compatible avec les ressources de la loi de programmation militaire. C'est ce compromis qui fut finalement approuvé par le gouvernement, en mai 1963, avec le lancement des deux programmes MSBS et SSBS.

*Réalisation des systèmes de première génération :
programmes SSBS*

Par systèmes de première génération, on entend les systèmes MSBS et SSBS dont le lancement fut décidé en 1963, leurs améliorations décidées entre 1969 et 1973, ainsi que le système Pluton, décidé en 1966.

Le système SSBS était à l'origine destiné à assurer la soudure entre les avions Mirage IV et les sous-marins nucléaires lanceurs d'engins (SNLE). Toutefois, ses qualités propres, complémentaires de celles de la force sous-marine (sanctuarisation du territoire et rapidité de réaction), furent rapidement reconnues, et le système fut ultérieurement amélioré et maintenu en service jus-

qu'en 1996. L'objectif initial de 27 missiles en silos (3 unités de 9 missiles) fut ramené à 18 missiles (2 unités de 9 missiles).

Les systèmes SSBS furent réalisés dans le cadre de l'organisation Athéna, dotée d'un comité directeur présidé par le Délégué ministériel pour l'armement, d'un groupe opérationnel présidé par un général de l'armée de l'Air et d'un groupe technique présidé par un ingénieur de la Direction technique des engins, directeur du programme Athéna. De nombreux sous-groupes, créés à l'initiative de ces deux groupes, complétaient l'organisation. La SEREB assurait la maîtrise d'œuvre d'ensemble du système.

Le premier système SSBS – dit S1 puis S2 – avait pour objectif une mise en service à la fin de 1968, ce qui imposait de retenir pour les techniques clés les solutions qualifiées ou en cours de qualification sur le programme EBB :

- propulseurs à enveloppe métallique, bloc de propergol en isolane et tuyères rotatives autour d'un axe ;
- calculateur de guidage à mémoire à tambour ;
- centrale inertielle à cardans ;
- corps de rentrée à bouclier thermique ablatif.

Toutefois, en dépit des résultats très satisfaisants obtenus sur les propulseurs à poudre du programme EBB, le passage à des dimensions beaucoup plus importantes (d'un diamètre de 800 mm à 1500 mm) fut difficile dans le domaine des tuyères et, surtout, du chargement. Les premiers missiles opérationnels durent d'ailleurs être recyclés pour en fiabiliser les chargements.

Pour des raisons de faisabilité assurée, la charge était une charge à fission de 150 kt.

La principale modification intervenue en cours de développement consista dans l'augmentation de la masse du propergol du premier étage, qui passa de 10 tonnes à 16 tonnes, de manière à respecter l'objectif de portée fixé à plus de 3 000 km ; elle s'accompagna du changement d'appellation du système (S2 au lieu de S1).

Comme pour le programme technologique EBB, on choisit une méthode progressive de qualification en vol du missile : tirs en surface puis en silos, mono-étages simplement pilotés, puis bi-étages, essais de la version S1 puis S2, qualification en vol du

vecteur, puis des équipements de la charge (hors matériaux nucléaires naturellement).

Le taux d'échec en vol fut élevé et dû principalement, mais pas uniquement, à la propulsion. Sur un total de 27 tirs de développement, il y eut 14 succès et 13 échecs. Les difficultés de développement du missile et quelques mauvaises surprises géologiques dans le sous-sol du plateau d'Albion retardèrent la livraison de la force. Ce n'est qu'en août 1971 que la première unité de tir fut déclarée opérationnelle et en avril 1972 la deuxième unité de tir, soit un glissement de plus de deux ans et demi par rapport aux dates affichées lors du lancement du programme, en mai 1963. Le système S2 fut retiré du service entre 1979 et 1981 et remplacé par le S3. Au cours de la vie opérationnelle du S2, il fut procédé à sept tirs d'exercice, dont cinq furent des succès.

Le système S3 est une évolution du système S2 dont le développement fut lancé en février 1973. L'objectif principal était de doter la composante SSBS des améliorations qui venaient d'être décidées sur la composante MSBS avec le M20 : charge thermonucléaire et aides à la pénétration. Des améliorations furent également apportées dans plusieurs domaines.

Le système S3 conserva le premier étage et l'infrastructure générale du système S2. Il reprit, en les adaptant parfois légèrement, la tête nucléaire, la coiffe et le propulseur Rita 2 du M20. Enfin, il reçut une avionique moderne, à base de bus numérique, durcie aux explosions nucléaires très lointaines, ainsi qu'une version plus performante d'aides à la pénétration. La mise en oeuvre électrique fut simplifiée et les zones de lancement, ainsi que les postes de tir (PCT), furent durcis aux explosions nucléaires proches. Cette dernière exigence, demandée tardivement, fut la seule perturbation importante dans le déroulement du programme.

De nombreux éléments étant récupérés des systèmes S2 et M20, il fut possible de réduire à huit le nombre des essais en vol. Les deux échecs rencontrés durant ces essais furent rapidement corrigés et ne causèrent pas de retards dans la mise en service.

La première unité de tir fut livrée dans une version non durcie en juin 1980, au lieu de février de la même année, date prévue

en 1973. Après une livraison en décembre 1980 en version non durcie, la deuxième unité fut durcie et livrée en décembre 1982. Le durcissement de la première unité fut ensuite réalisé, et l'unité durcie remise à l'armée de l'Air en septembre 1984.

Le système se comporta très bien pendant toute sa vie opérationnelle, et les onze tirs d'évaluation effectués par l'armée de l'Air entre 1980 et 1993 furent entièrement réussis, sauf deux qui furent affectés d'anomalies mineures.

Le démantèlement du système, qui n'avait pas atteint sa limite de vie technique, fut décidé en 1996. La fin d'alerte du système S3 eut lieu le 16 septembre 1996 et autorisa le début de la phase de démantèlement, qui dura environ deux ans.

Réalisation des systèmes de première génération : programmes MSBS

La diminution de la masse de la charge nucléaire et la maîtrise attendue de la grosse propulsion à poudre rendirent possible la conception d'un missile balistique lancé de sous-marin. En mai 1963, la formule MSBS, dont les avantages opérationnels et politiques étaient évidents pour la France, fut normalement retenue pour être la composante définitive de la Force nucléaire stratégique (FNS). En fait, il apparut progressivement que les composantes aérienne et SSBS présentaient des qualités complémentaires, qui conduisirent à les maintenir en service bien au-delà de ce qui avait été prévu initialement ; le MSBS devint alors la composante principale.

Bénéficiant d'un calendrier un peu moins contraignant que le S1/S2, le système M1 put intégrer les technologies les plus modernes dans les domaines où l'évolution était particulièrement rapide. Ainsi furent retenus :

- un calculateur à mémoire à tores, plus performant et plus souple d'emploi ;
- un propulseur de deuxième étage à enveloppe en fibre de verre bobinée et pilotage par injection de fluide dans une tuyère fixe.

Enfin, le missile fut doté d'une charge nucléaire, toujours à fission, mais sensiblement plus puissante (500 kt).

Le système M1 fut développé dans le cadre de l'organisation Cœlacanthe, structurée comme l'organisation Athéna. La direction du programme d'ensemble Cœlacanthe était confiée à la Direction technique des constructions navales, la DTEN et la SEREB étant respectivement responsables de la direction et de la maîtrise d'œuvre du programme missile.

Comme pour les EBB et les autres systèmes de première génération, on procéda à de nombreux essais en vol pour mettre au point et qualifier le système, selon une démarche très progressive :

- tirs mono-étages pilotés à partir d'un socle, puis d'un caisson sous-marin immobile et, enfin, à partir du sous-marin d'essai en plongée *Le Gymnote* ;
- tirs de bi-étages guidés à partir d'un socle, puis du sous-marin *Le Gymnote* en plongée ;
- enfin, lancement à partir du premier SNLE, *Le Redoutable*.

Sur un total de 32 essais, 23 furent des succès et 9 des échecs, soit un taux de réussite de 72 %.

Les principales difficultés furent rencontrées dans la propulsion (mais à un degré moindre que sur le S1/S2), dans la fiabilité des équipements électroniques et dans les méthodes de préparation des tirs ou de validation des logiciels. Aucune ne fut à elle seule une cause déterminante de retard. Au total, après assemblage par la base de l'Île Longue de son chargement complet de missiles M1, le premier SNLE français, *Le Redoutable*, commença sa première patrouille opérationnelle en janvier 1972, avec un retard de l'ordre de deux ans sur le calendrier initial. Le programme missile a certainement sa part dans ce retard, mais il est difficile de préciser laquelle, en raison de la multiplicité des acteurs du programme Cœlacanthe.

Le deuxième SNLE, *Le Terrible*, muni de sa dotation de missiles M1, prit la mer moins d'un an après *Le Redoutable*. La permanence à la mer de la Force océanique stratégique était dès lors assurée.

Deux faits majeurs motivèrent ensuite l'évolution des missiles MSBS. D'une part, la Marine considérait, dès avant la mise en service des premiers SNLE, que la portée des missiles M1 n'offrait pas des zones de patrouille d'étendue suffisante aux sous-

marins. D'autre part, le CEA maîtrisait depuis l'été 1968 la formule des charges thermonucléaires. C'était là l'aboutissement de plusieurs années d'efforts, et le gouvernement était impatient de tirer parti de cet acquis. Il en résulta une amélioration en deux temps du missile M1.

Par le programme M2, décidé en 1968, la portée du missile fut accrue jusqu'à 2 850 km. Cet accroissement de portée était obtenu par le remplacement du deuxième étage de 4 tonnes de propergol par un étage de technologie légèrement améliorée, contenant 6 tonnes de propergol. La longueur du missile était légèrement augmentée, sans modification du tube du sous-marin. La tête nucléaire était inchangée, et les modifications induites par le changement de deuxième étage sur la case des équipements et l'inter-étage furent limitées au strict nécessaire.

À la fin de 1970, le gouvernement décida de munir de têtes thermonucléaires les missiles MSBS. Par ailleurs, depuis plusieurs années, Soviétiques et Américains s'étaient lancés dans d'importants programmes de défense contre les missiles balistiques. Les très grandes difficultés techniques, encore amplifiées par l'apparition des têtes multiples, conduisirent les deux grands à rechercher un accord pour limiter les efforts considérables, et sans doute vains, qu'exigerait une course aux armements dans ce domaine. Le traité ABM, signé en 1972, limitait à la fois le nombre des sites défendus (deux) et celui des intercepteurs (200). Inefficace contre les forces nucléaires américaines, le système soviétique, même ainsi limité, faisait toutefois peser une menace sérieuse sur la crédibilité des « petites » forces de dissuasion du Royaume-Uni, de la France et bientôt de la Chine. Cette menace motiva la demande de durcissement des têtes aux effets d'explosions nucléaires proches, ainsi que l'emport d'aides à la pénétration. Ce programme d'amélioration reçut le nom de M20. La formule thermonucléaire permettait à la fois la délivrance d'une énergie nucléaire de l'ordre de la mégatonne, double de celle de la tête M1-M2, et un gain de masse qui, malgré l'adjonction d'aides à la pénétration, permit à la portée de dépasser 3 000 km.

De manière à ne pas avoir à reprendre les études et essais d'aérodynamique, de pilotage et, surtout, d'hydrodynamique, la géométrie extérieure du missile M1 fut conservée, à l'exception d'un léger allongement.

Les programmes M2 et M20 furent, dès lors, conduits de pair, et l'on fit en sorte que l'on puisse transformer sur la base de l'Île Longue un missile M2 en missile M20, par un simple changement de tête. Le programme M2 strict fut maintenu, en raison du souhait pressant de la Marine de disposer au plus tôt de missiles de plus longue portée. La réalisation en deux temps du programme M20 permettait aussi un étalement des transformations nécessaires des installations de l'Île Longue, ce qui limitait les perturbations apportées au fonctionnement opérationnel de la base logistique.

Le déroulement des programmes M2 et M20 et leurs calendriers d'essais en vol furent principalement perturbés par les difficultés de mise au point du nouveau propulseur du deuxième étage. Les autres défauts révélés au cours des essais au sol ou en vol purent être corrigés dans des délais plus courts et n'eurent pas d'impact sur le calendrier de mise en service.

Comme pour le M1, on procéda à de nombreux essais en vol, la plupart à partir d'un socle, car les interfaces avec le sous-marin et la mise en œuvre étaient très peu modifiées. Dix-neuf essais en vol au total eurent lieu, dont quinze furent des succès et quatre des échecs, soit un taux de réussite de 78 %.

Le troisième SNLE, *Le Foudroyant*, ne reçut qu'une partie de son chargement en version M2 pour sa première patrouille opérationnelle, en septembre 1974. Le complément du chargement, en version M1, fut remplacé dans les mois qui suivirent. *Le Redoutable* reçut également un chargement M2 après son premier grand carénage, en juin 1976.

Les cinq premiers SNLE reçurent ensuite des dotations de missiles M20, notamment *L'Indomptable* à son entrée en service en janvier 1977, à la date prévue lors du lancement du programme.

Après correction des défauts, principalement dans le domaine des logiciels de mise en œuvre, qui avaient échappé aux validations pendant les phases de développement, les systèmes MSBS de première génération eurent un comportement opérationnel tout à fait satisfaisant. Dix-sept missiles d'exercice (opérationnels, mais avec tête de télémétrie) furent tirés des SNLE ; il y eut trois échecs et quatorze succès, soit un taux de réussite de 82 %. La dernière dotation de missiles M20 fut retirée du service au début des années 1990.

*Réalisation des systèmes de première génération :
programme Pluton*

Divers avant-projets de missiles nucléaires terrestres à portées tactiques (de l'ordre de la centaine de kilomètres) furent élaborés à la demande de l'armée de Terre, à partir de 1957 et jusqu'au milieu des années 1960. Ce type de missile n'entrait néanmoins pas dans les priorités fixées par la première loi de programmation militaire. D'autre part, en 1960, l'armée de Terre s'était vu confier la mise en œuvre du premier système d'armes porteur d'une tête nucléaire : la roquette *Honest Jones*, matériel américain dont le stockage, le gardiennage et l'emploi étaient subordonnés au commandement américain.

En 1966, en se retirant de l'organisation militaire intégrée de l'OTAN, la France se voit privée des têtes nucléaires américaines et ne dispose donc plus d'aucune arme nucléaire tactique. À la fin de 1966, le gouvernement décide la réalisation d'armes nucléaires tactiques, incorporant le même type de charge et comprenant des bombes aéroportées et un système de missiles tactiques, le Pluton.

Le programme Pluton, dont la direction d'ensemble était confiée à la Direction technique des engins, couvrait la réalisation du missile proprement dit, des véhicules transporteurs et d'accompagnement et des infrastructures logistiques et de stockage.

La maîtrise d'œuvre industrielle du missile et du système de mise en œuvre et de contrôle a tout d'abord, en 1967, été confiée à Nord-Aviation, avec sous-traitance imposée de 50 % à Sud-Aviation. Mais, en 1970, après leur regroupement au sein d'Aérospatiale, c'est la Division des engins de cette nouvelle société, chargée des missiles tactiques, qui a assuré la maîtrise d'œuvre. Il lui a été imposé de confier la responsabilité du propulseur à poudre au G2P.

Le missile était un missile semi-balistique de 120 km de portée. D'une longueur de 7,5 m environ, il était transporté et tiré dans un conteneur fixé au char de transport et de tir. Les véhicules de tir étaient accompagnés de nombreux véhicules de commandement et logistiques.

Vingt-neuf tirs de développement eurent lieu entre le début de 1968 et la fin de 1976. Ils portèrent sur des engins de divers types :

- roquettes propulsées pour qualification du propulseur et de la sortie de rampe ;
- missiles pour qualification du vecteur et du véhicule de tir ;
- missiles pour qualification de la charge et du système d'armes ;
- prototypes de roquettes d'exercice.

Des difficultés furent rencontrées lors des premiers tirs, principalement de nature électrique ou thermique, mais les derniers essais connurent un taux de réussite élevé. Les dates de livraison de l'équipement des cinq régiments Pluton se sont échelonnées entre mai 1974, date fixée en début de programme, et juin 1978. Sur seize tirs d'entraînement et de contrôle effectués entre 1977 et 1991, quatorze furent des succès.

Le démantèlement de la force Pluton s'est déroulé durant les trois derniers quarts de l'année 1993, sans poser de problème technique particulier.

*Réalisation des systèmes de deuxième génération :
programmes M4 et dérivés*

Par systèmes de deuxième génération, on entend les systèmes qui ont suivi ceux décrits précédemment et qui ne leur empruntent aucun constituant. Il s'agit du système M4 (et ses dérivés) et du système Hadès.

Ces systèmes ont en commun d'avoir été réalisés par les structures étatiques et industrielles stabilisées résultant des restructurations opérées dans la période 1969-1972, et d'avoir bénéficié des progrès méthodologiques tirés de l'expérience des programmes précédents, ainsi que des progrès technologiques accomplis dans divers domaines, en particulier la propulsion et l'électronique.

La maîtrise d'œuvre des deux systèmes a été assurée par la Division des systèmes balistiques et spatiaux (DSBS) de l'Aérospatiale, héritière de la SEREB. La maîtrise d'œuvre des propulseurs des missiles M4 et Hadès a été assurée par le G2P.

La situation stratégique des années 1971 et 1972, qui voient l'entrée en service des systèmes S2 et M1, diffère beaucoup de celle du début des années 1960, époque où furent lancés ces deux programmes.

En 1972, les États-Unis et l'Union soviétique ont certes signé des accords limitant le nombre de leurs missiles offensifs, mais la mise en place de têtes multiples (jusqu'à 14 pour le missile Poséidon) sur les vecteurs stratégiques des deux grands accroît, malgré les accords de limitation, leur potentiel offensif. Le traité de 1972 relatif aux défenses anti-balistiques a été amendé en 1974 par un protocole qui restreint encore les capacités autorisées (un seul site défendu et 100 intercepteurs). Mais la défense anti-missiles de Moscou, qui est conforme à ce protocole, est devenue une réalité. En outre, grâce à sa composante exo-atmosphérique, elle protège, non seulement la capitale, mais aussi la plus grande partie du territoire soviétique qui nous fait face.

Ces deux faits motivent la décision du gouvernement, à la fin de 1974, d'équiper les sous-marins nucléaires français de missiles à têtes multiples à guidage indépendant. Le CEA, qui maîtrisait la technique des formules thermonucléaires depuis 1968, s'estimait en mesure de réaliser ce type de tête, dont les dimensions devaient être beaucoup plus réduites que celles de la tête du M20. Avec le M4, la pénétration de la Force océanique stratégique face à des défenses anti-balistiques limitées en volume repose, non plus sur une combinaison de têtes nucléaires et d'aides à la pénétration, mais sur l'épuisement de la défense par un grand nombre de têtes nucléaires. Avec trois SNLE en patrouille, la France doit présenter 288 têtes face à 100 intercepteurs.

Le programme M4 fut conduit dans le cadre de l'organisation Cœlacanthe, avec une répartition pratiquement inchangée des responsabilités entre les différents organismes étatiques et industriels.

Outre l'emport de six têtes nucléaires à guidage indépendant et durcies aux effets des explosions nucléaires proches, le système M4 fut conçu pour apporter également d'importantes améliorations opérationnelles à la Force océanique stratégique :

- portée supérieure à 4 000 km, permettant d’augmenter très sensiblement les zones de patrouille des SNLE ;
- durcissement du missile aux explosions nucléaires lointaines ;
- réduction importante de la durée de la salve ;
- amélioration de la fiabilité.

Les grands choix techniques du système M4 concernaient les dimensions générales du missile, la technique d’espacement des têtes et les techniques de propulsion.

La nécessité de pouvoir embarquer le nouveau missile sur les sous-marins déjà construits ou en construction limitait sa longueur à une valeur voisine de celle du missile M20 ; mais le réaménagement de l’espace entre le missile et le tube épais du sous-marin permit de porter le diamètre du missile à plus de 1,9 m, contre 1,5 m pour les missiles de première génération. Cette augmentation importante du diamètre était indispensable pour disposer du volume nécessaire à la fois à l’emport de six têtes nucléaires et au développement de propulseurs puissants (20 tonnes de propergol pour le premier étage), qui impriment aux têtes la partie principale de leur vitesse initiale.

Après de nombreuses études, qui prirent parfois un caractère passionnel, le choix de la technique d’espacement se porta sur un concept original et très simple, où les têtes sont éjectées sous accélération. Ce concept se satisfait de deux propulseurs auxiliaires à poudre à faible poussée et longue durée de combustion, implantés symétriquement dans la partie haute, mais il exige le développement d’algorithmes de guidage complexes. Le système d’espacement est mis en œuvre à la fin de la combustion du troisième étage propulsif et ajuste la vitesse de chaque tête.

Depuis la première génération de missiles, la propulsion à poudre avait fait des progrès importants, dans le domaine des technologies et des outils de dimensionnement. Pour satisfaire les exigences de fiabilité et limiter les risques de développement, tout en cherchant à satisfaire des spécifications ambitieuses, on retint les techniques les plus performantes disponibles, dans la mesure où elles avaient été convenablement éprouvées :

- en matière de propergol, utilisation des compositions butalanes, aux propriétés énergétiques et mécaniques supérieures à celles des isolanes des engins de première génération ;
- en matière de structures, recherche de l'allègement, par utilisation de structures filamenteuses à base de nouvelles fibres plus résistantes (kevlar) – cependant, pour le premier étage, on conserva une structure métallique, les moyens industriels en place ne permettant pas la réalisation de capacités aux dimensions requises ;
- les tuyères firent appel aux techniques et aux matériaux les plus performants, dûment testés sur les modèles probatoires. De nouveaux matériaux composites thermostructuraux en carbone-carbone furent utilisés pour les parties chaudes. La déviation de la poussée nécessaire au pilotage du missile fit appel à une butée flexible liant la tuyère à la structure du propulseur.

Enfin, le système M4 profita des progrès de l'électronique, en performances comme en fiabilité.

Le programme de qualification en vol différait radicalement des méthodes très progressives suivies pour les missiles de première génération. On choisit d'expérimenter en vol, dès le premier tir, un missile complet très proche du missile opérationnel. Le programme de tirs comprenait une série d'essais à partir d'un socle terrestre au Centre d'essais des Landes, suivie d'une série d'essais à la mer à partir du sous-marin *Le Gymnote*.

Le premier essai eut lieu à la fin de 1980, avec un retard de quatre mois sur les prévisions initiales ; il fut entièrement réussi, comme presque tous les essais suivants. L'unique échec se produisit lors du troisième tir du sol et ses causes furent rapidement comprises et corrigées. Les essais en vol furent limités à 14 tirs, au lieu des 18 initialement prévus.

Contrairement à ce qui avait eu lieu sur les programmes de première génération, le développement de la propulsion se déroula sans aléa majeur ; en particulier, il n'y eut aucun échec de propulseur en vol. Des difficultés furent rencontrées dans plusieurs domaines, mais purent être surmontées sans entraîner de retards dans la mise en service opérationnel. Le SNLE *L'Inflexible* entra en service en mai 1985 et commença sa première patrouille opérationnelle avec un chargement complet de missiles

M4 livré quelques mois plus tôt, à la date prévue en début de programme.

En 1982, sur proposition du CEA, il fut décidé de remplacer, dès la deuxième dotation, la tête nucléaire du M4, la TN 70, par la TN 71, plus légère (de 20 % environ) et de plus faible surface équivalente radar (SER). Cette réduction de SER, à elle seule, était toutefois sans intérêt opérationnel dès lors que le système d'éjection des têtes n'était pas modifié : chaque tête était en effet accompagnée d'un élément à forte SER. Au début 1983, il fut décidé de corriger cette incohérence et d'inclure dans le programme M4-71 une modification du dispositif d'éjection des têtes éliminant tout élément susceptible de « marquer » les têtes et d'aider à leur détection.

Le développement se déroula sans difficulté majeure. Grâce à l'allègement des têtes, la portée passa à plus de 5 000 km. Trois lancements à partir du sous-marin expérimental *Le Gymnote* furent réalisés pour la qualification en vol ; ils furent tous les trois réussis. Trois dotations de missiles M4-71 furent livrées pour équiper les SNLE *L'Indomptable* en 1987, *Le Terrible* en 1989 et *Le Tonnant* en 1991.

La genèse de la deuxième amélioration est plus complexe. Elle découle pour une part de la décision prise en 1982 de développer un SNLE dit de nouvelle génération (SNG), caractérisé principalement par un très faible niveau de bruit rayonné en plongée et par une capacité d'emport de missiles plus volumineux et plus lourds que le M4 ou ses dérivés.

De nombreux projets de missiles ont été étudiés pour l'armement des futurs SNG, depuis un dérivé du M4 jusqu'à un missile entièrement nouveau, le M5. Finalement, en 1986, notamment pour des raisons d'économie, le programme M5 fut différé et la décision fut prise d'armer le premier des SNG, *Le Triomphant*, d'un dérivé du M4 muni d'une nouvelle tête nucléaire, dite TN 75, plus légère que la TN 71 et de très faible surface équivalente radar dans toute la gamme de fréquences des radars des systèmes ABM.

Par ailleurs, depuis quelques années, les renseignements, crédibilisés par les analyses techniques, laissaient craindre un contournement possible des limites imposées aux défenses so-

viétiques par le traité ABM. De manière à préserver contre toute éventualité la crédibilité de la Force océanique stratégique, il fut décidé de doter les nouvelles têtes TN 75 d'un système d'aides à la pénétration. L'introduction d'aides à la pénétration devait se faire sans diminution de la portée du M4-71. Le programme d'amélioration du missile et de son système reçut le nom de M45.

L'objectif était de limiter au strict minimum les modifications du missile et de sa mise en œuvre. À cette fin, chaque fois que cela était possible, les interfaces entre le missile et le sous-marin furent conservées. Ainsi, le programme M45 comportait deux volets pratiquement indépendants :

- l'adaptation à la TN 75 du dispositif d'emport et d'éjection des TN 71, le développement d'aides à la pénétration et des moyens nécessaires à leur emport et à leur mise en œuvre ;
- un important travail, théorique et expérimental, de vérification de la compatibilité du missile M4 et de ses moyens de mise en œuvre dans l'environnement induit par le nouveau sous-marin.

La qualification en vol reposa sur trois tirs : deux à partir d'un socle au CEL et un, dit de synthèse, à partir du SNLE *Le Triomphant* – le sous-marin expérimental *Le Gymnote* ayant été retiré du service en 1986. Les trois essais en vol furent réussis. Les aides à la pénétration avaient auparavant été validées en vol individuellement, lors d'essais sur des missiles M20 retirés du service.

Les quelques difficultés rencontrées au cours du développement n'eurent pas d'impact sur les dates des livraisons opérationnelles. Après le tir dit d'acceptation du SNLE *Le Triomphant*, effectué par la Marine en septembre 1996, le bâtiment reçut en 1997 sa dotation complète de missiles M45. Le retard de deux ans par rapport à la date de mise en service initialement fixée est dû, pour l'essentiel, à la mise au point du sous-marin, dont les spécifications étaient particulièrement ambitieuses.

La rigueur des validations au cours des développements permit de livrer à la Marine des systèmes parfaitement au point. Leur comportement opérationnel fut toujours satisfaisant. Douze tirs opérationnels à partir des différents SNLE ont été effectués à ce jour ; il y eut un seul échec, dû à une erreur humaine bien

identifiée, qui a donné lieu à une mise à jour de la documentation concernée.

*Réalisation des systèmes de deuxième génération :
programme Hadès*

Les premières études relatives au successeur du système nucléaire tactique Pluton commencèrent réellement au début de l'année 1977. Les travaux portèrent à la fois sur la mission, l'emploi et les formules techniques pour le missile (balistique, semi-balistique, aérobie). À la fin de 1982, le gouvernement décida le lancement du programme Hadès, dont le contenu restait encore à définir.

Progressivement, alors que se poursuivait la crise des Euro-missiles, la doctrine d'emploi se précisa, pour aboutir, en 1985, à la notion de système nucléaire préstratégique, utilisé en une frappe unique et massive, à titre de premier et ultime avertissement avant l'emploi de la Force nucléaire stratégique.

De formule semi-balistique, le missile devait être optimisé pour la portée de 350 km, mais pouvoir atteindre dans certaines conditions 500 km. Une grande précision était demandée. La mission devait pouvoir être accomplie face à des défenses anti-aériennes évoluées à charges conventionnelles, c'est-à-dire ayant certaines capacités anti-balistiques, et dans une ambiance de rayonnement susceptible d'être rencontrée dans un champ de bataille nucléaire, ce qui imposait un haut degré de durcissement du missile et du lanceur.

En période de crise, les missiles devaient être déployés, par paires, sur des véhicules lanceurs. En temps de paix, les missiles montés « en coup couplet » dans leur conteneur devaient être stockés dans des dépôts spécialisés de l'armée de Terre.

D'une longueur de 7,30 m, le missile Hadès n'avait qu'un seul propulseur. Celui-ci, à structure métallique, était muni d'une tuyère fixe, le pilotage étant, comme pour le Pluton, réalisé par gouvernes aérodynamiques, ce qui limitait l'apogée de la trajectoire à une altitude inférieure à 70 km. Le développement du propulseur, conduit selon les mêmes méthodes que ceux des propulseurs M4, se déroula sans difficultés particulières.

Le respect des spécifications opérationnelles du missile ne fut acquis qu'après que furent surmontées plusieurs difficultés importantes concernant l'aérodynamique, le pilotage, le guidage, le conteneur, ainsi que le comportement du propulseur vide à la rentrée. Ces difficultés furent décelées et résolues à temps, puisque les sept essais en vol furent exécutés entre novembre 1988 et juillet 1991, avec un succès total ; la mise en service du système se déroula dans de bonnes conditions.

Initialement, les cinq cantonnements des régiments Pluton devaient être réutilisés pour abriter, en temps de paix, les régiments Hadès ; mais, après réduction du format de la force, seuls les travaux du site de Suippes furent effectivement terminés pour accueillir l'unique régiment d'artillerie Hadès.

La force Hadès fut officiellement créée en juillet 1993, mais dès juillet 1991, le système d'armes Hadès avait été placé en veille technique et opérationnelle, état qu'il conserva jusqu'à son retrait du service, en 1996.

CHAMPS DE TIR ET ESSAIS EN VOL

Les essais en vol de missiles balistiques nécessitent la mise en œuvre, au sein d'un centre d'essais communément appelé champ de tir, d'un grand nombre de moyens, que l'on peut classer schématiquement en deux catégories. Il s'agit d'une part des installations de lancement, à partir desquelles sont effectués les contrôles avant tir et le tir proprement dit, d'autre part du dispositif d'essai, dont le rôle est de recueillir le maximum d'informations en vol, tout en tenant compte des contraintes inhérentes aux conditions et à l'environnement de l'essai. Il s'agit de moyens généraux constitués de zones à dégager ou à surveiller, d'équipements particuliers participant aux missions de sauvegarde et de moyens d'essais permettant, tant dans la zone de départ qu'au réceptacle, le recueil des mesures nécessaires en temps réel pour l'exécution de l'essai ou pour des exploitations en temps différé.

Pour répondre aux objectifs assignés aux essais en vol, il faut être capable de reconstituer après tir le comportement du missile et d'analyser les écarts constatés par rapport aux prévisions nominales. Les impératifs de sécurité imposent par ailleurs de contrôler que les évolutions du missile restent à l'intérieur d'un

certain volume aérien et de pouvoir le détruire s'il devenait dangereux. Les trois principales fonctions à assurer durant le vol du missile sont la trajectographie des objets, la réception et l'enregistrement des télémesures et la mise en œuvre de la télécommande de neutralisation.

Pour pouvoir travailler en relation directe avec les moyens du champ de tir, des équipements spécifiques doivent être embarqués à bord du missile : des chaînes de localisation, des chaînes de mesure et une chaîne de destruction éventuelle sur ordre du champ de tir.

Pour les études, le développement ou le contrôle opérationnel des missiles balistiques français, deux sites principaux ont, au cours des quarante dernières années, été utilisés en tant que champs de tir :

- de 1960 à 1967, le Centre interarmées d'essais d'engins spéciaux (CIEES), à Hammaguir, avec divers moyens de flanquement et des réceptacles temporaires, constituant le Champ de tir du Sahara ;
- depuis 1966, le Centre d'essais des Landes (CEL), comprenant la base principale de Biscarosse et différentes annexes.

En outre, dans la période intermédiaire, de 1964 à 1968, quelques tirs ont été effectués de l'Île du Levant, dans ce qui devint quelques années plus tard le Centre d'essais de la Méditerranée (CEM).

Relevant de la Direction des recherches et moyens d'essais (DRME) après la création de la DMA en 1961, ces deux derniers champs de tirs ont été rattachés à la DTEN à partir de 1977.

Le CIEES et le champ de tir du Sahara

C'est en 1959, avec la création de la SEREB et le lancement des études préliminaires en vue du programme d'études balistiques de base (EBB), qu'apparaît le besoin d'un grand champ de tir capable de réaliser les essais en vol des futurs missiles balistiques. La base d'Hammaguir du Centre interarmées d'essais d'engins spéciaux est utilisée à cet effet.

Les investissements réalisés au Sahara sont limités au strict minimum, en raison des incertitudes sur l'avenir du champ de tir.

Les accords d'Évian stipulent que la France doit l'abandonner au plus tard en juillet 1967.

Entre la mi-1961 et la fin de 1966, 51 tirs du programme EBB et quatre tirs de la fusée Diamant furent effectués par la SEREB à Hammaguir, avec un taux élevé de réussite.

Le Centre d'essais de la Méditerranée

La principale contribution de ce centre au développement des programmes balistiques se situe de 1966 à 1968, avec les premiers essais de lancement sous-marin du MSBS M1. De nombreux tirs de maquettes inertes récupérables de missiles sont effectués dans la rade de Toulon à partir d'un tube aérien, avec récupération dans l'eau de la maquette, puis d'un caisson sous-marin.

Des tirs de missiles mono-étages sont ensuite effectués en immersion au large de l'Île du Levant, à partir du même caisson. À la même époque, le sous-marin expérimental *Le Gymnote* est admis au service actif à Cherbourg. Il rejoint immédiatement Toulon, où il lance quatre missiles mono-étages en plongée devant le CEM.

Le Centre d'essais des Landes et le Champ de tir de l'Atlantique

Au début de 1962, lorsque furent négociés les accords d'Évian mettant fin au conflit algérien, se posa le problème du remplacement du CIEES : les installations devaient être évacuées pour 1967 et il fallait assurer la continuité des essais en vol des missiles balistiques et disposer d'un nouveau champ de tir pour lancer des satellites. Une commission spécialisée fut alors chargée de rechercher de nouveaux sites de lancement devant satisfaire aux besoins militaires et civils. La commission proposa alors de séparer les tirs d'engins militaires et les lancements spatiaux, et ainsi de créer deux champs de tir différents : l'un, militaire, le Centre d'essais des Landes, proche de Biscarosse ; l'autre, civil, sur un site à définir, proche de l'équateur. Le choix de la Guyane intervint deux ans plus tard. La proposition de la commission pour le champ de tir militaire dans les Landes fut entérinée par le ministre des Armées le 4 juillet 1962.

Les moyens d'essais nécessaires furent rapatriés du CIEES ou lancés en fabrication. La SEREB réalisa la Base de lancements balistiques (BLB) pour la préparation et le tir des missiles SSBS et MSBS tirés de terre. D'autres installations terrestres vinrent compléter celles de l'établissement principal de Biscarosse. Du fait de l'atténuation des ondes radio-électriques par la flamme du missile et des risques de perte de trajectographie qui en découlaient, une station de flanquement fut créée à Hourtin, à 100 km au nord, pour prendre le relais des moyens de Biscarosse après quelques dizaines de secondes de vol propulsé. Une station dite de grand flanquement fut créée en Bretagne, près de Quimper, pour les tirs M4 pour lesquels la station de Hourtin était insuffisante. La station de Quimper rendait en outre possibles les tirs à très longue portée à partir de sous-marins en plongée à proximité des côtes bretonnes. Une station annexe, implantée dans l'île portugaise de Florès, dans les Açores, avait pour fonction principale la trajectographie des objets en phase balistique.

Les moyens navals et aériens du champ de tir situés au réceptacle – zone de retombée des principaux objets de la charge utile du missile – ont pour mission principale de recueillir les mesures relatives aux divers objets durant les soixante secondes qui s'écoulent entre la rentrée dans l'atmosphère et les impacts en mer. Le bâtiment *Henri Poincaré*, équipé de radars de trajectographie, d'antennes de réception des télémesures et de moyens optiques, constituait le principal moyen naval. Le remplacement en 1992 du *Henri Poincaré* par le *Monge*, encore mieux équipé, conduisit à une simplification du dispositif aérien et naval et à la fermeture l'année suivante de la station de Florès.

Bilan

De juin 1961 à 2002, depuis le premier tir du programme EBB jusqu'au tir M45 le plus récent, le nombre total d'opérations balistiques réalisées sous responsabilité, totale ou partielle, de la DGA est de 277, dont 59 au CIEES, 13 au CEM et 205 au CEL.

Le niveau d'activité des champs de tir a été très variable ; on est passé d'une période d'activité intense à la fin des années 1960, avec une cadence de plus de quinze tirs par an certai-

nes années, aux récentes années creuses, avec au mieux un tir par an.

Le taux moyen de réussite cumulé depuis le début des essais a toujours progressé, alors que le nombre de tirs de développement par type de missile a décru régulièrement, comme le montre le tableau suivant :

	Essais en vol	Succès	Échecs	Taux de réussite (%)
EBB	60	50	10	83 ¹
SSBS – 1 ^{re} génération – 2 versions	35	20	15	57
MSBS – 1 ^{re} génération – 3 versions	51	38	13	75
Pluton – 1 ^{re} génération – une version	29	26	3	89
MSBS – 2 ^e génération – 3 versions	20	19	1	95
Hadès – 2 ^e génération – une version	7	7	0	100

Les taux de réussite des essais de missiles de première génération peuvent sembler aujourd'hui médiocres, mais ils se comparent honorablement à ceux des premiers essais de missiles américains, et très avantageusement à ceux du premier lanceur européen Europa II.

Les progrès de l'informatique, qui ont été considérables durant la période considérée, ont aussi contribué à la réduction du nombre d'essais en vol. Le développement des méthodes de cal-

¹ Les essais Diamant sont comptabilisés dans les chiffres EBB. Le taux de réussite des essais EBB, qui ne portaient que sur les engins seuls, non intégrés dans un système, n'est pas véritablement comparable à celui des essais de missiles militarisés.

culs numériques a rendu les projets plus sûrs et a réduit le recours aux démonstrations expérimentales.

QUELS ENSEIGNEMENTS POUR L'AVENIR ?

L'amélioration constante des résultats a découlé de celle des méthodes, tant du côté des équipes chargées de la réalisation et de la mise en œuvre des missiles que de celles responsables de la conception et de l'exploitation des moyens des champs de tir. La réduction considérable de l'activité ne permettra plus un transfert continu d'expérience accompagnant le renouvellement des équipes. Il n'est pas certain que les moyens de substitution pour la formation des plus jeunes générations de techniciens puissent conduire aux mêmes résultats.

Quant aux programmes passés, quelques faits peuvent être considérés comme bien établis.

La perception d'une menace sur la France et l'Europe occidentale sous-tendait les objectifs du gouvernement et leur donnait une grande stabilité sur de longues périodes. La constance des objectifs constituait une forte motivation pour les acteurs étatiques ou industriels des programmes, notamment en matière de tenue des délais fixés. Nos systèmes nucléaires terrestres n'ont guère survécu à la dissolution de l'Union soviétique, qui était leur seul objectif potentiel ; le programme du futur MSBS, désormais seul missile balistique appelé à durer, a été à plusieurs reprises modifié dans sa nature ou dans ses délais.

Le lancement de programmes entièrement nouveaux ou d'améliorations importantes a toujours résulté de la rencontre d'un besoin politique ou militaire fort et d'une capacité technique nouvelle en matière de missiles ou de charges nucléaires. Ainsi, la capacité de réaliser des têtes nucléaires multiples de plus en plus légères et à faible écho radar a répondu au besoin de franchir les défenses anti-missiles adverses.

Les progrès accomplis entre les systèmes de première et de deuxième génération tiennent à une meilleure maîtrise des techniques choisies, à l'amélioration des techniques elles-mêmes et à l'emploi systématique des méthodes d'assurance de la qualité. Ces progrès ne sont que normaux. Les autorités politiques et l'opinion publique peuvent comprendre les échecs dans les tech-

niques à leurs débuts. Le temps passant, les échecs en matière de systèmes balistiques ou spatiaux sont devenus difficilement explicables ou supportables. L'exigence de réussite s'imposera probablement dans l'avenir, alors que la rareté des programmes la rendra plus difficile à satisfaire.

Enfin, il existe de très fortes synergies entre les missiles balistiques et les lanceurs spatiaux. Tous deux font appel aux mêmes principes de base, évoluent dans les mêmes milieux et sont soumis à des ambiances mécaniques et thermiques très sévères. Tous les pays ayant développé à la fois des missiles balistiques et des lanceurs spatiaux exploitent ces synergies.

L'avenir des missiles balistiques étant désormais limité à un seul système, dont la durée de vie sera en outre probablement longue, et les programmes de lanceurs spatiaux étant également rares, il serait sans doute opportun que l'organisation et la politique industrielle nationale, voire européenne, de l'ensemble des secteurs des missiles balistiques et des lanceurs spatiaux fassent l'objet d'un nouvel examen, afin de tirer le meilleur parti des synergies qu'offrent ces secteurs.

LES ÉTUDES ET RECHERCHES

Coordinateur d'ensemble : Jean-Marc Weber

L'ouvrage traite des études et recherches aéronautiques et spatiales, des institutions chargées de les promouvoir et des organismes les exécutant.

L'évolution technique des matériels aéronautiques s'est longtemps appuyée sur les trois disciplines de base que sont l'aérodynamique, l'énergétique et la résistance des structures. À partir des années 1960, de nouvelles disciplines telles que l'automatique, l'électronique, l'informatique et l'optique se sont progressivement ajoutées aux précédentes, les valorisant et donnant à toute étude ou recherche aérospatiale un caractère pluridisciplinaire. À partir des années 1970, l'emploi de calculateurs scientifiques a permis d'accéder à une modélisation numérique de plus en plus fine qui, associée à la simulation expérimentale, est devenue un outil indispensable à l'optimisation de tout matériel. Sur ces deux aspects, pluridisciplinarité et dualité calcul-essais, la recherche aérospatiale a fait œuvre de pionnier.

La recherche aéronautique de défense joue un rôle essentiel dans l'équipement de nos forces. Indépendamment de ses retombées multiples sur le secteur civil, elle a des effets déterminants sur l'efficacité de notre politique de défense. Sans les acquis de la recherche et sans transferts à l'industrie, il n'y a pas de développement performant au niveau national.

LES SERVICES AERONAUTIQUES DE L'ÉTAT ET LA RECHERCHE (1928-1946)

La gestion au nom de l'État d'une activité de construction aéronautique se développant dans l'industrie a toujours relevé de la Direction chargée de l'aéronautique¹. Albert Caquot², qui en

¹ Direction créée en 1914 par le ministre de la Guerre, sous le nom de Direction de l'aéronautique militaire, et devenue en 1944 Direction technique et industrielle de l'aéronautique (cf. en annexe du présent

prend la direction en 1928, lors de la constitution du premier ministère de l'Air, crée dès son arrivée, à côté de la Section technique aéronautique, existant depuis 1916 et qu'il a dirigée en 1918, un Service des recherches, qu'il anime directement. Il est le premier à donner une véritable impulsion à la recherche ; il provoque la fondation dans l'Université des premiers instituts de mécanique des fluides, décide la construction de souffleries (dont la grande soufflerie de Chalais-Meudon, achevée en 1934) et lance l'étude de nombreux prototypes d'avions militaires.

Les établissements appartenant alors à la Direction de l'aéronautique sont l'EETIM (Établissement d'expériences techniques d'Issy-les-Moulineaux), l'établissement de Chalais-Meudon et la section des essais en vol de Villacoublay (qui devient en 1934 le CEMA, Centre d'essais des matériels aériens). À partir de 1944, la Direction technique et industrielle de l'aéronautique, pour aider l'industrie aéronautique à renaître, redéploie l'activité de ses établissements. Elle crée ainsi, sur des emplacements appropriés, ses trois nouveaux centres d'essais : le Centre d'essais en vol en 1944, à Brétigny-sur-Orge, le Centre d'essais aéronautique de Toulouse en 1949, pour les essais de structures et d'équipements, et le Centre d'essais des propulseurs à Saclay en 1950, pour les essais de moteurs en vol simulé. Elle les dote de nouveaux moyens d'études et d'essais, mis ensuite à la disposition de l'industrie française et qui jouèrent un rôle majeur dans son développement.

Par ailleurs, les pouvoirs publics décident en 1945 de « rassembler au sein d'un organisme public l'ensemble des moyens de recherche appartenant à l'État » : d'éminentes personnalités scientifiques³, convaincues que « la France pouvait encore nourrir l'ambition de se constituer une aviation moderne », sont à l'origine de cette décision. La loi du 3 mai 1946 donne naissance à l'Office national d'études et de recherches aéronautiques

ouvrage le texte de Jean Soissons sur l'évolution des structures aéronautiques de l'État).

² Savant et bâtisseur, Albert Caquot (1881-1976) fut aussi un grand serviteur de l'État.

³ Réunies au sein d'un conseil constitué par le ministre de l'Air et composé, entre autres, de Louis de Broglie, du professeur Joseph Périers, de Maurice Roy et des ingénieurs généraux de l'Air Paul Dumaouis et Maurice Suffrin-Hébert.

(ONERA), placé sous l'autorité du ministre des Armées. On peut souligner, à ce propos, que l'aéronautique est un des rares domaines industriels où il a été jugé utile, en créant l'ONERA, de réaliser massivement une recherche d'État.

SUPAERO ET LA RECHERCHE

L'École supérieure d'aéronautique et de construction mécanique, fondée à Paris en 1909 par le colonel Roche, assure la formation du corps spécialisé des ingénieurs de direction de l'aéronautique depuis sa création en 1924⁴. Elle est transformée en 1930, sous l'impulsion d'Albert Caquot, en véritable école d'application et prend le nom d'École nationale supérieure de l'aéronautique (ENSA). Elle est directement rattachée au ministère de l'Air, puis, à la disparition de ce dernier, au ministère chargé de la Défense. En 1994, elle devient un établissement public à caractère administratif, doté d'un conseil d'administration, et reste sous la tutelle de la Défense. En 1972, son domaine s'est étendu au spatial, son sigle devenant ENSAE (École nationale supérieure de l'aéronautique et de l'Espace).

Chargé en 1965 du transfert de l'école à Toulouse (transfert qui s'effectue lors de la rentrée de 1968), l'IG Marc Pélegrin a voulu, en s'inspirant du MIT et des campus américains, associer l'enseignement donné à l'École à de vastes laboratoires de recherche – voie que choisirent plus tard nos autres grandes écoles françaises. C'est ainsi qu'est né près de l'École le Centre d'études et de recherches de Toulouse (CERT), progressivement formé de sept départements et rattaché à l'ONERA. L'IG Pélegrin dirige l'ensemble SUPAERO et CERT de 1970 à 1978. SUPAERO, devenue centre de formation à la recherche, est habilitée à partir de 1975 à délivrer le diplôme de docteur-ingénieur.

Le premier des sept départements du CERT, le DERA (Département d'études et de recherches en automatique), est créé en 1970. Il a son origine dans le CERA (Centre d'études et de recherches en automatique), créé en 1962 par deux jeunes et brillants ingénieurs militaires de l'Air : Jean-Charles Gille et

⁴ La loi de 1924 crée un corps d'ingénieurs de travaux, dont la formation est assurée par l'ENSICA depuis 1945.

Marc Pégégrin, qui se sont initiés aux États-Unis, en complément de leur formation à SUPAERO, en 1948 et 1950, dans les disciplines nouvelles et balbutiantes qu'étaient à l'époque l'automatique, les asservissements et l'informatique. Ils les enseignent dès leur retour en France et sont les premiers à coupler ainsi la recherche à l'enseignement. L'automatique débouche ensuite sur toutes sortes d'applications : robotique, ateliers flexibles, commandes de processus, transmissions de puissance, servocommandes... et fait partie intégrante des études systèmes.

LA RECHERCHE INSTITUTIONNELLE EN FRANCE APRES 1945 ET AVANT LA CREATION DE LA DMA

Les trois grandes structures relevant, au plan national, de la recherche, nées après-guerre et ayant des liens avec la Défense, sont toutes placées, au début, sous l'autorité du président du Conseil (ou du premier ministre).

Le Comité d'action scientifique de la Défense nationale (CASDN), créé en 1948, a pour mission de coordonner et d'orienter les recherches scientifiques intéressant la Défense nationale, sous l'autorité du président du Conseil et dans le cadre des directives générales formulées par le Comité de Défense nationale. À défaut d'autres institutions, c'est lui qui soutient en 1954 et 1955 auprès de la DEFA, du CIEES et du CNRS un programme d'expériences scientifiques sur la haute atmosphère à bord de fusées-sondes Véronique. Sa mission est en grande partie reprise par la DMA à sa création.

L'arrivée au pouvoir du général de Gaulle, en juin 1958, donne un nouvel élan à la recherche, à l'Espace et à la Défense :

- en novembre 1958 est créé le Comité interministériel de la recherche scientifique et technique, auquel est associé le Comité consultatif de la recherche scientifique et technique. Ils donnent naissance, en 1959, à la Délégation générale à la recherche scientifique et technique (DGRST)⁵, placée auprès

⁵ La DGRST est rattachée en 1960 au ministre délégué auprès du premier ministre chargé de la Recherche scientifique, en 1962 au ministre chargé de l'Industrie, en 1976 au secrétariat d'État à la Recherche auprès du premier ministre ; elle s'intègre en 1981, en perdant son identité, dans le ministère de la Recherche et de la Technologie.

du chef du gouvernement, puis du premier ministre. Celle-ci est destinée à promouvoir, au titre d'un « fonds de développement », des actions concertées de recherches entre recherche fondamentale et appliquée, entre laboratoires publics et privés, entre industriels et universitaires. Elle entretient des liens privilégiés avec la DRME, son homologue militaire à la DMA, lors de sa création en 1961 ;

- en janvier 1959 est créé un Comité de recherches spatiales, prélude à la naissance en février 1962 du Centre national d'études spatiales (CNES), établissement public placé sous l'autorité du premier ministre. Un protocole est signé le 2 mai 1962 entre le CNES et la DMA pour le développement d'une première version de lanceur de satellites, le Diamant A, sous maîtrise d'œuvre SEREB. Cela permet à la France de lancer le 26 novembre 1965, depuis la base d'Hammaguir, son premier satellite par Diamant A et de devenir la troisième puissance spatiale mondiale.

LA CREATION DE LA DMA ET LA RECHERCHE DE DEFENSE

La Direction des recherches et moyens d'essais (DRME)

Dans un contexte en pleine mutation technique liée au développement du nucléaire, des missiles, de l'électronique et de l'Espace, il est décidé de regrouper les directions chargées de la conception et de la réalisation des matériels d'armement, pour mieux traiter les problèmes communs à l'ensemble des armées. Au sein de la nouvelle DMA, créée par décret du 5 avril 1961, la Direction des recherches et moyens d'essais a ainsi pour mission principale de « suivre et soutenir les recherches susceptibles d'orienter à long terme la politique de défense de la nation », avec le souci de rapprocher la recherche civile – la DGRST, l'Université, le CNRS, les instituts ou centres de recherche publics ou privés... – des services de la Défense. Cette mission est 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 sont respectivement nommés directeur et directeur scientifique.

L'ICA Hugues de l'Estoile est chargé du bureau Prospective et orientations, qui devient en février 1964 le CPE (Centre de prospective et d'évaluations), cellule de réflexion stratégique sur les systèmes d'armes futurs, placée directement sous l'autorité du ministre des Armées. Le CPE participe avec la DRME à l'élaboration du Programme pluriannuel de recherches et d'études à long terme (PPRE), programme à trois ans réexaminé chaque année depuis 1970 à partir des propositions des directions techniques de la DMA.

Le Conseil des recherches et études de défense (CRED)

La politique générale à suivre en matière d'« études amont » devient du ressort du CRED, Conseil des recherches et études de défense, créé par un arrêté du 25 juin 1976. Réuni sous la présidence effective du ministre de la Défense, le CRED rassemble les chefs d'état-major, le délégué ministériel pour l'armement et les principales autorités concernées par la recherche de défense – et, bien entendu, le directeur du CPE qui en est, avec celui de la DRME, la cheville ouvrière.

Le CRED fixe 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 est de 6 %. Le CRED donne aussi des directives quant à la répartition de l'effort, d'une part entre recherches études (PPRE) et développements exploratoires (PPDE, *cf. infra*), d'autre part entre les sections budgétaires (section commune et sections d'armes).

De la DRME à la DRET (Direction des recherches, études et techniques)

Le 1^{er} mars 1977, la DMA devient la DGA et l'IG Martre le nouveau délégué général pour l'armement. Le 1^{er} juin 1977, la DRME devient la Direction des recherches, études et techniques d'armement (DRET), avec des activités élargies à des missions inter-directions et de coordination technique. L'Établissement central de l'armement, héritier du LCA (Laboratoire central de l'armement) en 1975 et prenant le nom d'Établissement techni-

que central de l'armement (ETCA), lui est rattaché, ainsi que la mission « défense NBC » au détriment de la DTAT. L'IG Jean Carpentier est nommé directeur de la DRET et le reste jusqu'à sa nomination, en juillet 1984⁶, à la présidence de l'ONERA. Une Sous-direction des évaluations et de la coordination technique (SECT) est chargée d'animer des groupes de coordination technique, dont le fonctionnement est voisin de celui des groupes de coordination qu'anime le Service central des télécommunications et de l'informatique (SCTI).

Le conseiller scientifique du ministre (1977-1986)

Créé par Yvon Bourges, ce poste fut supprimé par André Giraud. Il fut tenu par les professeurs Jacques Ducuing (1977-1980) et André Rousset (1980-1986). Aidé d'un ou deux ingénieurs de l'armement, chacun de ces conseillers fit aboutir un certain nombre de mesures ayant pour but de rapprocher davantage la Défense de la communauté scientifique – mesures qui continuèrent à être appliquées par la DRET après la disparition du poste. C'est sous l'impulsion du second conseiller que furent instaurées en 1983 les Journées « Science et Défense » : elles sont devenues par la suite les Entretiens « Science et Défense » et constituent un carrefour d'échanges périodiques entre chercheurs, ingénieurs, opérationnels et décideurs, très apprécié de la communauté scientifique française. On peut à ce propos mentionner les technologies dites « duales » et préciser que l'aéronautique est un des rares exemples de forte synergie civil-militaire.

Le Conseil scientifique de la défense

Il a été créé par André Giraud en octobre 1986. C'est une instance de haut niveau destinée à faire des propositions au ministre et au délégué. Le Conseil comprend 16 membres choisis en raison de leur compétence scientifique et nommés pour un mandat de trois ans renouvelable une fois. Il a été présidé par Hubert Curien pendant les deux premiers mandats (1987-1993), puis par

⁶ L'IG Victor Marçais lui succède de 1984 à 1990.

André Giraud (1994–1997). Il siège encore aujourd’hui, sous la présidence de l’ambassadeur de France Francis Gutman.

L’OFFICE NATIONAL D’ETUDES ET DE RECHERCHES AEROSPATIALES

La loi du 3 mai 1946, déjà citée, donne naissance à l’Office national d’études et de recherches aéronautiques, « établissement public scientifique et technique à caractère industriel et commercial, doté de l’autonomie financière, placé sous l’autorité du ministre des Armées », dont la mission est de « développer, orienter, coordonner les recherches scientifiques et techniques dans le domaine de l’aéronautique ». Un décret de 1963 étend la mission de l’ONERA au domaine spatial et tient compte de la création de la DRME, qui en exerce désormais la tutelle. Les décrets de 1984 permettent la participation de représentants des personnels au conseil d’administration et au comité scientifique et technique ; le président du conseil d’administration est aussi directeur général de l’Office (il s’agit, de 1984 à 1991, de l’IG Jean Carpentier, puis des l’IG Marcel Bénichou, Michel Scheller et Jean-Pierre Rabault)⁷.

Les principaux sites de l’ONERA sont :

- le centre de Chalais-Meudon, avec ses souffleries de recherches ;
- le centre de Modane-Avrieux, créé en 1946, avec la grande soufflerie transsonique SIMA, construite à partir d’éléments récupérés en Allemagne et mise en service en 1952 ;
- le centre du Fauga-Mauzac, créé en 1973 dans le cadre de la politique de décentralisation de l’époque, avec la grande soufflerie subsonique pressurisée F1, mise en service en 1977 ;
- le Fort de Palaiseau, créé en 1958 pour les études sur la propulsion ;

⁷ Ont été nommés directeurs de l’ONERA auparavant : Maurice Roy (1949), Lucien Malavard (1962), Paul Germain (1963), Raimond Castaing (1968), Pierre Contensou (1973) et André Auriol (1979).

- le Centre d'études et de recherches de Toulouse, constitué lors du transfert dans cette ville de SUPAERO, en 1968, et alors incorporé à l'ONERA ;
- l'Institut de mécanique des fluides de Lille (IMFL), créé en 1930, rattaché en 1983 à l'ONERA.

De 1 800 personnes dont 450 ingénieurs et cadres en 1960, l'effectif global est passé à 2 300 personnes dont 1 000 ingénieurs et cadres en 1990, mais il est depuis quelques années en réduction notable. La qualité du personnel et des moyens mis en place en a fait un établissement de tout premier ordre, d'un niveau comparable à celui de ses homologues américains (centres de la NASA et de l'USAF) ainsi que des établissements de recherche européens en aéronautique, avec lesquels l'ONERA est associé dans le cadre de l'AEREA (Association des établissements de recherche européens en aéronautique).

La création d'un parc de souffleries constamment améliorées, tant sur le plan des performances et de la qualité des mesures que sur celui de l'exploitation, est une part importante de l'œuvre de l'Office. Confier à un organisme à vocation essentiellement scientifique la création et l'exploitation de moyens d'essais qui, à partir d'une certaine taille, ont un caractère industriel s'est révélé une solution féconde. Elle assure d'une part la meilleure qualité scientifique aux mesures intéressant les projets industriels. Elle met d'autre part à la disposition des chercheurs des moyens plus puissants que les souffleries de recherche.

LES ETUDES ET RECHERCHES CONDUITES PAR LA DGA

Les recherches DRME (puis DRET) et ONERA reprises par la Direction de l'aéronautique ou la Direction des engins pour des applications aéronautiques ou spatiales font l'objet de transferts effectués soit de façon continue, soit au moyen de développements exploratoires⁸ (objet d'une procédure PPDE, introduite dans les études amont de la DMA à partir de 1972). Dans le cas d'études réalisées dans le milieu universitaire ou CNRS, les services officiels se sont efforcés, depuis les années 1960-1970, d'y

⁸ Mini-programme démonstrateur de faisabilité d'une technologie, avec des objectifs de coût, délais et spécifications techniques.

associer l'industrie assez tôt, sous forme d'actions concertées. Voici des exemples.

Applications des lasers

La DRME, dès sa création, a contribué à la réalisation des lasers à grenat d'Yttrium-Aluminium (YAG), émettant à 1,06 μm , puis des lasers à CO_2 émettant à 10,6 μm . Ces lasers sont utilisés en télémétrie, dans les dispositifs d'illumination et de désignation d'objectifs et les systèmes de guidage de missiles tactiques ou de bombes larguées d'avion. Le laser CO_2 est à la base du LIDAR (*Light Detection and Ranging*, radar laser), pour la détection de missiles volant à basse altitude ou encore de câbles électriques par les hélicoptères. Les industriels français SAT, CGE et Thomson-CSF réalisèrent d'excellents appareils (LIDAR ou télémètres) à laser CO_2 .

Des études de gyromètre laser fondés sur le principe de l'interféromètre de Sagnac, soutenues par la DRME et la DTCA, ont donné lieu à de nouveaux systèmes de navigation à inertie, qui remplacent aujourd'hui les centrales à gyroscopes mécaniques exigeant une plate-forme stabilisée. Les centrales inertielles à gyrolasers de SFENA ou SAGEM se sont ainsi imposées pour équiper les grands programmes Rafale (SAGEM), Ariane et Tigre (Sextant).

La discrétion électromagnétique

Une méthode d'analyse fine des signatures radar des cibles, dérivée des méthodes de l'holographie optique, a été mise au point par l'ONERA. Elle donne une image quantitative des « point brillants » de maquettes d'avions en laboratoires ou d'avions réels. Développée depuis 1977, elle a été largement diffusée, notamment au CELAR (Centre d'électronique de l'armement).

La réduction de la signature électromagnétique impose une approche multidisciplinaire, car il faut à la fois agir sur les formes en tenant compte de l'aérodynamique, sur la propulsion (notamment pour la signature infrarouge), sur les structures et sur les matériaux. Par suite des progrès des radars et des autodirecteurs infrarouges des missiles, la furtivité (en ondes radar et

en infrarouge) est devenue indispensable pour les avions de combat modernes (et les missiles). Elle gagne à être prise en compte au début de la conception. La discrétion radar du Rafale a bénéficié de l'expérience acquise par l'ONERA sur les missiles : les méthodes de mesures de SER (surface équivalente radar) en soufflerie, adaptées aux avions puis appliquées au Rafale, ont conduit à une réduction significative de la SER par des modifications locales des entrées d'air latérales.

Les composants optroniques

Sous l'impulsion de la DRET, le Laboratoire d'électronique et de technologie de l'informatique (LETI), créé en 1968⁹ au sein du Centre d'études nucléaires de Grenoble (CENG), met en place en 1978 un Laboratoire infrarouge (LIR). Celui-ci a pour mission d'étudier une technologie de détecteurs infrarouges optimisés dans les bandes de transparence atmosphérique 3-5 et 8-12 μm et à circuit de lecture CCD (*Charge Coupled Device*, ou DTC, dispositif à transfert de charges). Le choix fait alors de cette nouvelle technologie IRCCD pour la caméra thermique¹⁰ du programme de missile antichar de troisième génération (AC3G) rend possible, en 1986, la création de la société Sofradir, filiale de SAT, de Thomson-CSF et du CEA, qui en assure l'industrialisation. Il s'est ainsi constitué un « pôle » détection infrarouge comprenant le LIR, Sofradir, Thomson-CSF et SAT, tout à fait compétitif au plan mondial. Cette technologie de détecteurs IRCCD, dite de seconde génération, offre une amélioration notable à la capacité de nuit de nos systèmes d'armes : aide à la navigation en complément au radar de suivi de terrain, armement guidé laser, conduite de tir discrète et insensible au brouillage électromagnétique (veille et poursuite des avions), autoprotection. Elle est utilisée dans l'unité de veille de l'OSF (optronique secteur frontal) du Rafale.

⁹ À l'initiative du professeur Louis Néel, directeur du CENG, et de son adjoint Bernard Delapalme.

¹⁰ Intégrée dans le viseur de mât de l'hélicoptère antichar franco-allemand Tigre.

La propulsion

L'ONERA a toujours eu une activité dans le domaine des turbomachines, au profit des industriels (SNECMA, Turboméca, Microturbo). SNECMA, qui a fait croître ses équipes de recherche depuis les années 1960, collabore étroitement avec l'ONERA, ainsi qu'avec les laboratoires du CNRS et de l'Université, sous la forme d'actions concertées encouragées par la DGA. Y sont consacrés aujourd'hui des moyens d'analyse, de calcul et d'essais insoupçonnables à l'époque des premiers réacteurs ATAR.

Le programme M 88 doit la réussite de son développement à l'important effort de préparation de l'avenir consenti dès le début des années 1970. Des études paramétriques, conduites par SNECMA en liaison avec AMD-BA, sous l'égide du CPE, permettent en 1978 la définition d'un cycle entièrement nouveau de moteur « polyvalent » pour avion de combat multi-mission. Des développements exploratoires sont entrepris de 1976 à 1989 sur les composants du moteur, dont la turbine refroidie (DE Dextre, essais Minos au CEPr), le corps haute pression, la régulation numérique pleine autorité (FADEC, *Full Authority Digital Electronic Control*) et de nouveaux superalliages à base de nickel pour la turbine haute pression (aubes monocristallines refroidies et disques réalisés par métallurgie des poudres). Le moteur de démonstration tourne au banc en 1984, le moteur de développement en 1989. Le premier vol du prototype Rafale C01 avec moteurs M 88 2 a lieu le 19 mai 1991. Il s'agit là d'un programme ambitieux, dont les objectifs techniques ont été atteints (la température d'entrée turbine de 1850° K est un record mondial à l'époque) et les objectifs en matière de coûts et de délais respectés.

Les avions

En matière d'aérodynamique, l'aile delta fait l'objet d'études théoriques et expérimentales : les tourbillons « en cornet » sur l'extrados des ailes delta à grande incidence sont mis en évidence dès 1950 par des essais en soufflerie. En 1955, Lucien Malavard détermine à la cuve rhéoelectrique de l'ONERA les caractéristiques d'une aile delta avec cambrure conique au bord

d'attaque, apportant un gain en finesse (solution appliquée au Mirage III). En 1959, sur demande du STAé, l'ONERA contribue au projet Concorde par des études sur la forme d'aile (élançée « gothique flamboyant »), les entrées d'air, les arrière-corps de réacteurs, le vol à basse vitesse et apporte un soutien important aux constructeurs jusqu'en 1975.

L'aérodynamique externe du Rafale doit beaucoup aux recherches sur les écoulements tourbillonnaires et les effets des gouvernes canard (opération Rapace) ; de même, l'aérodynamique interne des prises d'air et en particulier les décollements à grande incidence ont été étudiés lors d'une grande opération de recherche appliquée appelée Périgord.

Sur les avions de transport, la réduction de la traînée – de 40 % en 25 ans (profil supercritique, dispositif de bout d'aile *winglet*...) –, est toujours un thème majeur pour l'ONERA.

Dans le domaine de la mécanique du vol, l'apparition des commandes de vol électriques et les progrès réalisés par les ordinateurs embarqués ont conduit à la fin des années 1970 au concept de contrôle automatique généralisé (CAG). Celui-ci est progressivement introduit sur les avions militaires (Mirage 2000, Rafale) et s'est ensuite étendu aux avions civils. Il s'est pleinement épanoui sur l'Airbus A 320 qui, équipé de commandes de vol électriques numériques, d'un mini-manche et d'une visualisation interactive, a constitué une véritable révolution en matière de transport aérien.

Enfin, pour les avions de combat, en combat tournoyant, la manœuvrabilité est augmentée par la possibilité de vol contrôlé à grandes incidences, ce qui donne lieu à des études spécifiques d'aérodynamique sur l'écoulement autour d'ailes élançées et sur les distorsions à l'entrée d'air moteur. Les études de mécanique du vol aux grands angles, en particulier les études de vrille, font appel à la soufflerie verticale de l'IMFL, dans laquelle des maquettes d'avion instrumentées et télécommandées peuvent effectuer des vols libres ; elle est la seule de ce type à être opérationnelle en Europe.

La résistance des structures

Dès sa création, l'ONERA a porté son effort sur les méthodes théoriques et expérimentales de calcul des structures et de prévi-

sion de leur endommagement. L'un des apports les plus significatifs de ces méthodes, dans les années 1950-1960, a été la prévention des risques de flottement – phénomène d'instabilité aéro-élastique né du couplage des vibrations de structures avec les forces aérodynamiques associées à ces vibrations, et qui était responsable de graves accidents. Depuis cette époque, aucun prototype français n'a volé sans avoir été soumis au préalable aux essais de vibrations au sol et en vol fondés sur les méthodes d'identification modale mises au point par l'ONERA.

Les hélicoptères

Dans le cadre d'une collaboration étroite menée depuis plus de trente ans avec la division hélicoptères de l'Aérospatiale, l'ONERA mène, avec la participation de l'IMFM (Institut de mécanique des fluides de Marseille), de Metraflu et des Giravions Dorand Industries, des études théoriques et expérimentales pour améliorer les performances des rotors d'hélicoptère.

La commande active multicyclique (commande de la variation de pas des pales en fonction de l'azimut, pour réduire les niveaux vibratoires) et les commandes de vol électriques sont restées au stade du développement exploratoire.

En aérodynamique, une nouvelle génération de profils OA (ONERA-Aérospatiale) et de nouvelles extrémités de pale de forme parabolique conduisent à des gains appréciables en vitesse et capacité d'emport. Ces améliorations sont apportées progressivement depuis les années 1980 aux pales des hélicoptères de l'Aérospatiale. Elles l'ont été sur le Dauphin grande vitesse DGV 200, qui a battu en 1991 le record du monde de vitesse sur base de 3 km, à la vitesse de 371 km/h (200 nœuds).

Parmi les nouvelles formules de voilures tournantes, l'une des plus prometteuses est le convertible à rotors basculants. Cette formule a fait l'objet du V 22 Osprey, construit en série par Bell et Boeing (premier vol en 1989). En Europe, elle est étudiée depuis 1987, dans le cadre du programme Eurofar (*European Future Advanced Rotorcraft*), par Aérospatiale et DASA.

Les matériaux composites

Apparus au cours des années 1960, ils permettent un gain de masse appréciable sur les structures. L'Aérospatiale a été la première à les utiliser en France sur ses hélicoptères : les pales en matériaux composites sortent en série depuis la Gazelle SA 341 (premier vol en 1968) ; le moyeu rotor Starflex qui équipe l'Écureuil SA 350 (premier vol en 1974) et le Dauphin SA 360 (premier vol en 1972) est le premier au monde à être réalisé en composite (fibres de verre-résine). Les composites à résine époxy et fibre de carbone ont été expérimentés sur diverses structures d'avion¹¹. Ils sont utilisés pour 24 % en masse dans la cellule du Rafale. Les composites carbone-carbone s'appliquent aux missiles (matériau SEPCARB, mis au point en 1972 par la SEP pour les tuyères des propulseurs à poudre), ainsi qu'au freinage des avions militaires et civils (disques carbone-carbone développés par la SEP à partir de 1972 pour Falcon, Airbus, Mirage 2000, Rafale).

Le statoréacteur et l'ONERA

La technique du statoréacteur a toujours été une spécialité de l'ONERA. Étudié et mis en œuvre par l'Office, l'engin expérimental Staltex détient en 1962 le record mondial d'altitude et de vitesse, en atteignant Mach 5 à 38 km d'altitude à Hammaguir. Depuis 1950, l'ONERA coopère sur la technologie du statoréacteur pour missile avec l'Aérospatiale et l'assiste lors du développement du programme de missile stratégique ASMP (air-sol moyenne portée), actuellement le premier missile opérationnel de ce type dans le monde occidental (Mach 3, 300 km de portée sur des trajectoires diversifiées) ; mis en service en 1986, il équipe le Mirage IV, le Mirage 2000 N et le Super Étendard.

¹¹ Dont une voilure V 10 F d'avion Falcon 10, lancée en 1978 auprès d'un bureau d'études commun entre AMD-BA et Aérospatiale, à moitié comme développement exploratoire (DE) et à moitié comme DTP (développement technologique probatoire, équivalent du DE pour la DGAC).

L'ONERA se lance, de 1950 à 1958, dans la propulsion des fusées à poudre. Il conçoit en 1959 une famille de grandes fusées multi-étages à trajectoire quasi-verticale : Antarès, à Mach 8, puis Bérénice, à Mach 12, pour l'étude de la rentrée hypersonique des missiles balistiques, et Tibère, à Mach 16, pour l'opération Électre, destinée en 1971 à analyser les phénomènes d'ionisation de l'atmosphère interrompant les communications et permettant la détection par radar.

Sur les lanceurs Diamant et Ariane, l'ONERA établit des mesures de protection contre les phénomènes d'électrisation (cause du dernier échec du lanceur européen Europa II), les adapte aux avions et aux missiles et développe des méthodes (adoptées par la NASA pour la navette spatiale) pour maîtriser le phénomène de couplage vibratoire connu sous le nom d'effet pogo, l'un des plus critiques lors du tir des grandes fusées à ergols liquides. Depuis le début du programme Ariane, à la demande du CNES, l'ONERA assure une assistance technique continue et croissante aux industriels dans de nombreux domaines.

Vulnérabilité des véhicules aérospatiaux aux agressions électromagnétiques

L'étude de la protection des avions contre la foudre est devenue nécessaire dans les années 1970, du fait de l'utilisation croissante des composites comme matériaux de structure et de celle d'équipements électroniques embarqués. Le CEAT s'y consacre depuis 1973, l'ONERA depuis 1976.

Les autres types d'agressions électromagnétiques primaires sont les « champs-forts » (environnement généré par les émetteurs radio ou radar de forte puissance) et, le cas échéant, l'impulsion électromagnétique d'origine nucléaire (IEM-N) et les micro-ondes de forte puissance (concept d'armes). Le Centre d'études de Gramat (CEG) se consacre depuis 1975 à l'étude du durcissement des matériels à l'IEM-N.

Ces trois établissements se sont dotés d'importants moyens d'essais et de simulation numérique et ont acquis une grande compétence dans ces domaines.

À ce propos, il faut souligner le rôle qu'ont joué après la guerre les ingénieurs des services techniques auprès de l'industrie. Ils apportaient aux constructeurs un soutien et une compétence technique qu'ils ne peuvent plus donner aujourd'hui. Il y a eu, dans une certaine mesure, transfert de compétences à l'industrie. Ce n'est évidemment pas le cas de ces centres d'essais étatiques qui pratiquent l'expertise dans des domaines de pointe.

La coopération internationale

L'aéronautique a été un précurseur en matière de coopération. Parmi celles relevant de la recherche, il faut citer les deux plus importantes dans lesquelles la DGA, la DGAC, l'ONERA et leurs homologues européens sont impliqués :

- le Garteur (*Group for Aeronautical Research and Technology in Europe*), créé en 1973 par les représentants gouvernementaux responsables de la recherche aéronautique en France, en Allemagne et au Royaume-Uni (les Pays-Bas rejoignent le groupe en 1977, la Suède en 1991) et au sein duquel ont été constitués des groupes d'action par domaine ;
- la soufflerie transsonique européenne ETW (*European Transonic Windtunnel*), première grande installation de recherche et d'essai, étudiée (depuis 1978), décidée (en 1988), réalisée et exploitée (depuis 1995) en commun par la France, l'Allemagne, le Royaume-Uni et les Pays-Bas. Située sur le site du DFVLR¹², près de Cologne, cryogénique et pressurisée, elle permet d'obtenir les conditions de compressibilité (Mach) et de viscosité (nombre de Reynolds) représentatives du vol d'un Airbus. Elle est comparable à la NTF (*National Transonic Facility*) de Langley, aux États-Unis.

La recherche communautaire aéronautique a été lancée en 1988 dans le cadre du PCRD (Programme cadre de recherche et développement technologique) de la CEE, à la suite de l'étude Euromart demandée aux neuf principaux avionneurs européens.

D'autre part, il faut citer l'AGARD (*Advisory Group for Aeronautical Research and Development*), créé en 1952 dans le

¹² Office allemand de recherches aérospatiales, devenu aujourd'hui la DLR, *Deutsche Forschungsanstalt für Luft und Raumfahrt*.

cadre de l'OTAN, qui a été un forum d'échanges fructueux entre experts du monde occidental. La participation des chercheurs et ingénieurs américains y a été très positive dans de nombreux domaines de pointe. En outre, l'Institut von Karman¹³, relevant de l'AGARD et installé près de Bruxelles, a beaucoup contribué à la formation de jeunes chercheurs européens.

CONCLUSION

Grâce aux efforts budgétaires consentis par la puissance publique, à une organisation assez souple malgré la codification progressive des processus décisionnels, mais aussi grâce à la créativité des chercheurs aiguillonnés par les découvertes faites outre-Atlantique, notre pays a réussi, très vite après la fin de la Seconde Guerre mondiale, à se rétablir au niveau scientifique et technique permettant, dans le domaine aérospatial, à l'industrie française de réaliser les avions de combat, les hélicoptères, les missiles et les armements nécessaires à nos forces armées pour exercer leurs missions. Cet effort, soutenu au plus haut niveau de l'État à partir de 1958, a aussi conduit à produire des avions, des hélicoptères, des lanceurs spatiaux et des satellites qui occupent une place enviable sur le marché civil.

Il faut souligner que l'on doit la réussite des grands programmes aéronautiques et spatiaux, menés à l'échelle nationale ou en coopération, à l'importance accordée sans discontinuité aux études amont, plus de dix ans avant le développement. Notre industrie aérospatiale ne restera compétitive que si cet effort sur les études amont revient à un niveau suffisant.

¹³ Éminent homme de science, naturalisé américain en 1936, le professeur Théodore von Karman (1881-1963) fut le fondateur et le premier président de l'AGARD.

CONCLUSION

Le lecteur vient d'avoir un aperçu de l'œuvre considérable accomplie par l'industrie aérospatiale française pendant les quatre décennies qui ont suivi la fin de la Seconde Guerre mondiale.

Partie de très bas après 1945, elle n'était dépassée, au milieu des années 1980, que par ses homologues américaine et soviétique, faisant jeu égal avec l'industrie britannique, et loin ou très loin devant les autres. La France avait réussi à avoisiner le niveau des États-Unis sur le plan technique dans la quasi-totalité des domaines, et parfois à faire jeu égal. Les retards, lorsqu'il y en avait, n'excédaient pas quelques années, ce qui est peu si l'on considère que la durée de service des matériels aériens se situait entre 30 et 40 ans.

Les avions, missiles, lanceurs spatiaux et satellites, produits à l'échelle nationale ou en coopération, rivalisaient, sur un plan opérationnel ou commercial, avec les meilleurs, couvrant presque tout le spectre des produits aérospatiaux.

Il appartient aux historiens de chercher le pourquoi de ce qu'il faut bien considérer comme une réussite, même si tous les projets n'ont pas abouti. On se contentera ici de souligner quelques-uns des facteurs qui ont pu être déterminants.

Il y a eu une vision, une volonté, des moyens et des hommes.

Il y a eu surtout un attelage État-industrie marchant d'un même pas. L'industrie, publique ou privée, se développait, prospectait, déterminait les créneaux porteurs, créait, vendait. Les gouvernants et les services de l'État mettaient en place les conditions financières, administratives, matérielles, puis diplomatiques, nécessaires pour la réalisation des recherches, développements, fabrication, commercialisation et maintenance ; les utilisateurs militaires acceptaient parfois de sacrifier l'économie immédiate et l'optimisation du court terme pour privilégier le futur plus lointain.

Il y a eu aussi des circonstances favorables. Très tôt après la fin de la guerre, la France a décidé de se doter de capacités de

défense contre tout adversaire potentiel, ce qui a conduit, en particulier, à la décision de créer et de mettre à jour en permanence une force de dissuasion nucléaire, dont les trois composantes ont fait appel aux avions ou aux missiles. Les gouvernants ont aussi pris conscience de l'importance géopolitique des activités dites « de souveraineté », telles que les réalisations dans le secteur spatial ou la construction d'aéronefs civils. Ces décisions et ces considérations ont fait apparaître la nécessité de disposer d'une capacité de production nationale, la plus indépendante possible des pressions extérieures. Il en est résulté une politique industrielle très volontariste.

LA POLITIQUE INDUSTRIELLE

Dès le lendemain de la Seconde Guerre mondiale, la volonté de refaire de la France une nation aéronautique de premier plan s'est manifestée. Il ne s'agissait pas de partir de zéro, mais de ranimer, en s'appuyant sur une histoire brillante et à partir d'un potentiel humain et matériel non négligeable, une industrie et une recherche assoupies plutôt que détruites, et qui avaient accumulé un important retard technique sur les autres nations du camp vainqueur.

L'organisation des services

La puissance publique s'est attelée à cette tâche avec un soutien résolu et continu des échelons politiques. L'action a été menée au départ par la direction centrale compétente du ministère chargé des Armées : la Direction technique et industrielle de l'aéronautique (DTIA), qui était au contact direct de l'échelon politique (ministre ou secrétaire d'État). La mission de base de la DTIA était d'approvisionner les armées en matériels aéronautiques, en assurant l'interface technique et contractuelle avec l'industrie. Lui ont en outre été confiées dès 1945 ce qu'on a appelé « la tutelle de l'industrie » et la supervision technique et financière des contrats d'aide au développement de l'aviation civile.

La création en 1961 de la Délégation ministérielle pour l'armement, à laquelle la DTIA fut rattachée, et la mise en place de

nouvelles directions centrales et services ont conduit à une nouvelle répartition des responsabilités :

- la DTEN (Direction technique des engins) fut créée et chargée des missiles stratégiques, puis progressivement des missiles tactiques et des programmes spatiaux militaires ;
- le DEL (Département électronique), devenu ensuite SCTI (Service central des télécommunications et de l'informatique), puis DEI (Direction de l'électronique et de l'informatique), assura notamment la politique industrielle des composants électroniques, en liaison avec le ministère chargé de l'Industrie, avec la responsabilité de conduire certains programmes ;
- la DPAI (Direction des programmes et des affaires industrielles) pilota les restructurations industrielles (en liaison avec la DATAR) et certaines formes de soutien de l'industrie ;
- la Direction des affaires internationales (DAI) prit en charge les exportations et les coopérations internationales.

Au cours des années, la DMA est, elle, devenue la DGA (Délégation générale pour l'armement). Dans le même temps, la DTIA prit le nom de Direction technique des constructions aéronautiques (DTCA). Puis le T de technique, considéré comme réducteur, disparut, et l'on parla de DCAé (et de DEN).

L'influence d'autres départements ministériels se fit d'autre part de plus en plus importante au fur et à mesure que la politique de l'aéronautique civile et de l'Espace s'affirmait.

La DPAC (Direction des programmes aéronautiques civils) fut mise en place à la DGAC (Direction générale de l'aviation civile) et prit en main l'établissement des dossiers des programmes à faire approuver par le gouvernement, avec le soutien technique de la DTCA (ou DCAé suivant l'époque).

Le Centre national d'études spatiales (CNES) fut aussi créé. Il relevait tantôt du ministère chargé de l'Industrie, tantôt de celui chargé de la Recherche ; c'est avec cet organisme que la Direction des engins coopéra pour les programmes de satellites militaires.

Les actions menées

De 1945 à 1995, les techniques aéronautiques, puis aérospatiales, ont fait des progrès considérables qui conduisirent souvent à de réelles mutations. Cela se produisit dans de très nombreux domaines : aérodynamique, propulsion, matériaux et structures, équipements de bord et au sol, etc.

Les services de l'État, notamment la Direction des recherches et moyens d'essais, créée en 1961 au sein de la DMA, jouèrent un grand rôle dans cette course au progrès scientifique et technique qui s'effectua en coordination étroite avec le CNRS, l'Université et la communauté aérospatiale.

La DMA se dota également d'une vaste capacité d'évaluation, d'expertise et d'essais, avec la création d'importants moyens dans les établissements tels que le Centre d'essais en vol, le Centre d'essais des Landes, le Centre d'essais de la Méditerranée, le Centre d'essais des propulseurs, le Centre d'essais aéronautiques de Toulouse, le Centre d'électronique de l'armement et le Laboratoire de recherches balistiques et aérodynamiques de Vernon. Aux moyens de ces établissements étatiques, il faut ajouter les grandes souffleries de l'ONERA et les importantes installations d'essais de la SOPEMEA et d'Intespace.

Grâce à cette vaste capacité, intellectuelle et matérielle, la France occupe une position privilégiée en Europe pour l'évaluation, l'expertise et les essais des avions et des hélicoptères, civils ou militaires, des systèmes d'armes aéronautiques, des missiles, ainsi que des lanceurs spatiaux et des satellites, pour lesquels la DGA coopère étroitement avec le CNES.

En même temps que nos forces aériennes, pour parer au plus pressé, s'équipaient en grande partie, au lendemain de la guerre, d'appareils américains, britanniques ou allemands fabriqués à l'étranger ou sous licence, l'administration engageait les actions permettant aux centres de recherche, aux bureaux d'étude, aux centres d'essais et aux usines de rattraper le retard accumulé.

Parmi les mesures les plus significatives, on peut citer :

- la création de l'ONERA (Office national d'études et recherches aéronautiques, puis aérospatiales) dès 1946 ;
- l'embauche d'ingénieurs allemands, notamment dans l'industrie des moteurs et des missiles ;

- l'envoi d'ingénieurs militaires sortant des écoles dans les universités américaines ;
- le financement d'une politique de prototypes explorant de la façon la plus large possible, chez différents industriels – privés ou publics, sans (ou sans trop de) discrimination –, les voies techniques ouvertes aux avions militaires, aux hélicoptères, aux missiles tactiques et aux avions civils.

Cette politique, certes coûteuse, a abouti à la création dans les années 1950 d'une ou plusieurs filières françaises de production pour chaque catégorie de matériels – production débouchant assez tôt sur des succès commerciaux pour les matériels militaires (Ouragan, Mystère, Mirage III, Nord-Atlas, hélicoptères, engins antichars, etc.), et sur la percée de la Caravelle et des Alouette sur le marché civil.

Un véritable élan intellectuel se manifestait alors, prenant parfois la forme d'une mystique technique, favorisée par ce qu'il faut bien appeler le génie technique de quelques patrons industriels et accompagnée de l'ambition de prendre résolument la tête des nations. C'est à ce mouvement que l'on doit des audaces telles que la réalisation d'avions expérimentaux à statoréacteur et, au tournant des années 1950 et 1960, le projet d'un avion supersonique civil. Comme l'écrivait un ingénieur, « l'avion supersonique civil est techniquement possible, donc il faut le faire ». Il faut croire que l'idée n'était pas si déraisonnable à l'époque, puisque les Britanniques la partageaient. Mais la dimension commerciale du problème était sous-estimée.

Vers la même époque s'affirmait et commençait à s'exprimer fortement la doctrine de l'indépendance d'approvisionnement de nos armées, pour éviter les risques d'embargo. Cette doctrine est restée, pendant toute la période considérée, une base à laquelle se référaient les différents modes d'intervention : elle concernait toute la séquence recherches-études-fabrication-maintenance. Elle s'appliqua bien sûr avec pragmatisme et n'interdit pas l'achat de ravitailleurs américains pour les Mirage IV ou de Crusader pour équiper nos porte-avions. Cette politique se traduit par un financement important de la recherche et des investissements d'essais et de production, par le choix délibéré de matériels français dès lors que l'écart de prix n'était pas trop grand avec les matériels étrangers, par la prise de licence dans quel-

ques cas, et aussi par le refus du passage d'entreprises françaises sous contrôle étranger.

Le coût de cette ambition n'échappait pas aux dirigeants publics, et tous les moyens furent mis en œuvre pour le réduire. La concentration de l'industrie a été encouragée, après la phase initiale d'incitation à la créativité, et elle a abouti à des regroupements majeurs, tels que la création de la Société nationale industrielle aérospatiale, la reprise d'Hispano-Suiza par la SNECMA, ou encore l'absorption de Bréguet par le groupe Dassault. L'élargissement du marché par l'exportation a été favorisé par des aides et assurances diverses – dans les limites imposées par la politique étrangère du pays et le souci de ne pas mettre en danger nos propres forces. Les maîtres d'œuvre ont été incités à sous-traiter par des mécanismes divers. Enfin, pour accélérer, lorsque c'était nécessaire, la mise à niveau de l'industrie des équipements, une politique dite « de francisation » a été encouragée par l'État dans plusieurs cas : elle consistait à utiliser l'acquis technique obtenu en réalisant des matériels sous licence comme un tremplin pour développer des solutions purement nationales.

La coopération, une approche novatrice

Ces grands axes ont perduré pendant toute la période, avec toutefois une importante évolution à partir de la fin des années 1950, liée à la prise en compte de l'idée de coopération internationale. Celle-ci répondait à la fois à l'objectif d'économie (partage des coûts de développement, augmentation de la taille des séries) et à celui de standardisation, ou au moins d'interopérabilité, des matériels de forces alliées ou potentiellement alliées. Ce fut le cas pour les premières expériences : le patrouilleur maritime Atlantic, dans le cadre OTAN, et le cargo franco-allemand Transall, qui s'inscrivait dans la politique plus générale de rapprochement franco-allemand. Ces opérations ont été suivies de beaucoup d'autres, menées de façon bilatérale, notamment avec l'Allemagne et le Royaume-Uni.

Il est clair que la coopération telle qu'elle a été pratiquée, c'est-à-dire avec un partage du travail tout au long du cycle de réalisation, affectait l'indépendance nationale ; elle ne fut pas mise en œuvre pour les programmes stratégiques. Pour les maté-

riels classiques, des mesures en quelque sorte palliatives de la perte d'indépendance nationale, quoique onéreuses, furent prises : réalisation de chaînes de montage final dans chaque pays et maintien des capacités de maintenance sur un plan national.

Enfin, dans la seconde moitié des années 1980, une expérience de libéralisation des achats fut tentée entre le Royaume-Uni et la France. Elle commença de façon très modeste, excluant les matériels majeurs, qui relevaient plutôt du processus de coopération. Cette tentative d'achats « sur étagère », visant à éviter de dupliquer études et investissements et connue sous le nom d'achats croisés franco-britanniques, ne porta pas les fruits espérés pour diverses raisons – les mêmes des deux côtés de la Manche, d'ailleurs : nationalisme des services d'achat étatiques, solidarité des maîtres d'œuvre et de leurs fournisseurs habituels et préférence des responsables des armées pour des matériels répondant le plus étroitement possible à leurs souhaits, qui n'étaient pas nécessairement les mêmes au Royaume-Uni et en France.

Dans le même élan de libéralisation, l'idée commença à se faire jour que la réalisation d'aéronefs, de missiles et de matériels spatiaux en coopération européenne avait pour prolongement naturel le rapprochement capitalistique des entreprises. Le premier champ d'expérience de cette nouvelle politique fut l'industrie des équipements.

D'autres recherches d'économies

Sur un plan national, en raison de l'augmentation de la complexité, et donc du coût, des matériels, la politique des prototypes a été progressivement remplacée par des choix sur dossiers, permis par les progrès de la simulation et par la réalisation de modèles probatoires.

Des entreprises publiques ou privées ?

On aura sans doute noté que, parmi les leviers utilisés pour accroître la productivité ou favoriser les rapprochements européens, le jeu sur le caractère public ou privé des entreprises n'a pas été évoqué. Depuis le lendemain de la guerre, les deux types d'entreprises coexistaient. L'expérience montre à quel point,

grâce à la politique d'achat, de financement et de concentration menée par l'administration et commandée par le souci de soutenir la réussite plutôt qu'une doctrine, les résultats ont été indifférents au statut. L'Airbus et le moteur franco-américain CFM 56, dont les partenaires français sont de grandes sociétés nationales, peuvent être comparés aux avions de combat ou d'affaires de l'industrie privée ; les missiles tactiques et les satellites ont été réalisés dans les deux contextes ; les hélicoptères ont été couronnés de succès grâce à leurs cellules publiques et à leurs moteurs privés ; les missiles stratégiques et le lanceur spatial Ariane ont été réalisés sous l'égide d'un maître d'œuvre public et motorisés sous la conduite d'une entreprise semi-publique ; la puissante industrie des équipements aéronautiques était en majorité (tout au moins quantitativement) aux mains du privé.

De fait, pour des raisons de politique intérieure, les mouvements délibérés pour aller vers la nationalisation ou vers la privatisation étaient interdits. Avec quelques exceptions (entrée de l'État dans le capital de Dassault en 1979, privatisation de la SFENA...), cette situation perdura jusqu'au début des années 1980, qui vit un grand mouvement de nationalisation suivre l'arrivée de la gauche au pouvoir. Mais le pragmatisme continua à régner et, dans plusieurs cas, la continuité du management fut assurée, ainsi que, le plus souvent, le maintien en place des personnels. Ce fut aussi le cas lorsque, au sortir de la période considérée ici, le balancier inversa son mouvement.

UN ENVIRONNEMENT ECONOMIQUE FAVORABLE

Sur le plan économique, les Trente Glorieuses ont permis de dégager les ressources nécessaires pour mener cette politique industrielle. Et la menace venant de l'Est, ainsi que les missions mondiales de notre pays, ont, il faut bien le dire, facilité le vote des lois pluriannuelles de programmation militaire et des lois de finances annuelles. Pourtant, en raison de la rapidité du progrès technique, il a fallu non seulement faire un effort en début de période pour rejoindre le peloton des pays *leaders*, mais encore soutenir cet effort tout au long des années considérées.

Le redressement de l'aéronautique française au cours des années cinquante, puis soixante et soixante-dix, est certainement dû à de nombreux facteurs. Certains sont internes ; ils sont analysés, au moins partiellement, tout au long des ouvrages de notre collection. Mais il en est au moins un que l'on peut qualifier d'externe : c'est le climat économique de la période, climat que l'on n'ose appeler conjoncturel, car cette période dure trente ans, mais que les économistes du futur caractériseront peut-être ainsi, tant les fameuses Trente Glorieuses se sont montrées exceptionnelles. Au cours de cette période, l'augmentation de la production française en termes réels a été en moyenne de l'ordre de 4,5 % par an, ce qui représente une multiplication par près de quatre en trente ans. En 1950, le produit national brut par habitant français est de 5 700 \$ de 1998 ; en 1980, il s'élève à 17 300 \$ (et à un peu plus de 23 000 \$ aujourd'hui), soit trois fois plus ! La population française, quant à elle, est passée au cours de cette période de quarante millions à cinquante-quatre millions d'habitants.

Cette croissance a eu lieu dans une ambiance de protectionnisme modéré, ou, si l'on préfère, d'ouverture progressive des frontières. Le gouvernement français se donnait la liberté, du moins pour ce qui est des matériels de défense, de les réaliser en France dans la plupart des cas, de les acheter à l'étranger, et notamment aux États-Unis, lorsque c'était nécessaire (P 47, Neptune, F 100...), et de coopérer avec l'Allemagne ou le Royaume-Uni lorsque cela apparaissait souhaitable (Transall, Jaguar...).

La doctrine économique de l'époque permettait un très grand pragmatisme. Elle n'exigeait pas la nationalisation des nombreuses sociétés privées qui existaient à l'époque, de Turboméca à la CSF et de Dassault à Bréguet. Elle ne demandait pas non plus la privatisation des sociétés que les gouvernements du Front populaire, en 1936, puis de la Libération en 1945, avaient nationalisées (SNECMA, SNCASE, SNCASO...). Il était donc possible – et cela étonnait certains Américains –, que la plupart des avions civils soient réalisés par les sociétés nationales qui formèrent Aérospatiale en 1970, tandis que les avions de combat étaient réalisés par Dassault.

Malgré la guerre d'Indochine, puis la guerre d'Algérie, les budgets ont été suffisants, et surtout une proportion suffisante de ces budgets a été consacrée aux études. Le recours à l'appel d'offres formel était exceptionnel. La méthode de la demande de propositions, suivie de la passation d'un contrat de gré à gré, était fréquente, notamment pour les équipements et les matériels électroniques. Les contrats les plus importants, et notamment ceux d'avions d'armes, étaient généralement passés de gré à gré, comme ce fut le cas par exemple pour le Mirage IV.

D'autre part, les budgets de défense ont été « dopés » par la guerre froide et par les crises régionales. La France a pu profiter de ce que l'industrie américaine trouvait sur son territoire des débouchés qui lui permettaient de ne pas se montrer trop agressive à l'exportation. De plus, elle a bénéficié de la volonté de certains pays de se procurer des armes en France (ou au Royaume-Uni) plutôt qu'aux États-Unis ou en Union soviétique. On peut trouver là des explications partielles aux ventes d'avions Ouragan en Inde, Mystère et Mirage en Israël ou encore Mirage en Australie.

Enfin, le système n'a pas subi de goulet d'étranglement majeur. Les personnels qualifiés, ingénieurs, techniciens et ouvriers, ont été trouvés dans les écoles d'ingénieurs (ENSAE et ENSICA, École nationale supérieure d'ingénieurs de constructions aéronautiques) ou au travers de formations professionnelles qui se sont avérées satisfaisantes.

Sur le plan commercial, la politique étrangère française a facilité les exportations militaires, tandis que le développement vertigineux du transport aérien civil favorisait la percée des gros porteurs et des avions d'affaires ; enfin, les rôles assignés aux hélicoptères et aux satellites ont créé de nouveaux créneaux.

L'ORGANISATION : LES GRANDS ACTEURS

Sur le plan de l'organisation, la création des groupes de travail de l'OTAN a permis d'abaisser les barrières du secret et a grandement favorisé les relations entre militaires et spécialistes des pays concernés. La progression de la construction euro-

péenne a donné un élan utile à la coopération sur les programmes.

Enfin, les acteurs, au service de l'État ou de l'industrie, ont joué leur rôle avec une conscience de l'enjeu et une foi dans la réussite soutenues pendant toute la période.

Ces acteurs principaux furent :

- les industriels – avec les ensembliers (maîtres d'œuvre, dont le groupe Dassault, Matra, Bréguet, Aérospatiale et les entreprises dont elle est issue), les motoristes (SNECMA, Turboméca, la SEP, la SNPE), les systémiers (Thomson-CSF) et de nombreux coopérants, notamment les équipementiers –, et les organismes de recherche publique, principalement l'ONERA ;
- les utilisateurs : les états-majors des armées, de l'armée de l'Air, de la Marine, de l'armée de Terre, pour les besoins militaires, et les compagnies de transport aérien pour les besoins commerciaux civils ;
- les services officiels du ministère de la Défense chargés de la conduite des programmes d'armement, regroupés dans la DMA lors de la création de celle-ci en 1961, ainsi que les services de la DGAC pour l'aviation civile et ceux du CNES pour l'Espace ;
- les organismes d'essais et de réception des matériels dépendant de la DGA ou des forces armées, parmi lesquels le CEV, le CEL, le CEPr, le CEAT, le CEAM, le SIAR...

Tous ces acteurs ont travaillé ensemble, parfois non sans heurts, mais toujours avec une remarquable volonté d'efficacité, en vue d'atteindre des objectifs définis avec précision par les performances, les délais et les coûts. L'ambiance générale était très favorable, caractérisée par l'enthousiasme des équipes, souvent très jeunes, autour d'éminentes personnalités admirées pour leur compétence, leur créativité et leur dynamisme. Le succès fut aussi dû à la qualité de ces équipes et de ces personnalités – dont chacun des ouvrages du COMAERO évoque de nombreux exemples.

Les tâches de reconstruction, puis de développement de l'industrie aéronautique française furent donc menées à bien, entre 1945 et 1985, jusqu'à la hisser sur le podium mondial.

On doit ce succès, on l'a vu, à la qualité des hommes, à leur formation, à la communauté qu'ils constituent. On le doit aux structures intelligemment mises en place, qu'elles soient étatiques ou industrielles, et aux relations qui s'établirent entre elles. On le doit enfin aux circonstances de l'époque : celles d'un pays à relever, de l'essor économique des Trente Glorieuses comme de celui de la science aéronautique.

Ce furent sûrement des conditions nécessaires. Ont-elles été suffisantes ? Y a-t-il parmi ces éléments de réussite quelques causes majeures, déterminantes, ou convient-il seulement de procéder à une pondération, difficile, de ces facteurs ? Nombre d'autres secteurs industriels ont bénéficié de la même qualité d'hommes, de structures voisines, d'un environnement économique pareillement honorable.

Alors ?

Et si l'ultime explication qui a permis à ces facteurs de donner leur pleine mesure résidait dans un contexte plus général propre à notre pays, une sorte de terreau fertile capable de la culture aéronautique ?

Et si, tout simplement, les Français aimaient les avions ? comme ils aiment la « bagnole », ainsi que le disait le président Pompidou.

On peut donner deux réponses à cette question. L'une provient de notre histoire, l'autre de notre caractère national.

L'histoire

Peut-être Léonard de Vinci a-t-il dessiné en France ses étranges et prophétiques machines volantes. En tout cas, en 1783, les frères Montgolfier ont permis à Pilâtre de Rozier et au marquis d'Arlandes de refaire le chemin d'Icare, mais dans le bon sens. Cet événement a marqué les esprits. Il a reçu la sanction royale. Louis XVI, peut-être sans le vouloir, a placé, dès le départ, l'aéronautique naissante, sinon au sommet des préoccupations

de l'État, à tout le moins à celui de sa considération. Pour un pays girondin de cœur, mais jacobin d'esprit, ce n'est pas rien.

Le siège de Paris, avec ses ballons – on est encore au niveau gouvernemental – reste un épisode marquant et populaire, sinon glorieux.

Puis, en 1890, c'est Clément Ader et son espèce de chauffe-eau à roulettes et ailes de chauve-souris, et la controverse qu'il suscite encore quant à la réalité de son essor. Il a sans doute soulevé son *Éole*. Mais il a surtout désigné du nom d'« avions » la multitude d'appareils qui suivit. Ne l'oublions pas : les choses n'existent que lorsqu'on sait les nommer, ou que les équations les impliquent.

Commence alors la période héroïque qui d'étend de 1903, avec les frères Wright, jusqu'à l'apothéose de 1909 : Blériot traverse la Manche avec un avion muni d'un moteur Anzani de 25 CV. L'enthousiasme naît alors, dans les classes aisées comme dans les classes populaires. L'argent nécessaire pour financer l'assemblage de bouts de bois, de toiles collées, de roues de vélo et de moteurs chétifs doit compléter l'astuce et la compétence des « mécanos ».

La guerre, évidemment, accélère le progrès et le rationalise. En 1918, l'aviation française est, de loin, la première du monde et fournit largement les Américains. Elle change les héros en As (Guynemer, Fonck, Vedrines), et sacralise comme singulier ou chevaleresque le combat aérien, en partie sans doute pour en occulter la cruauté.

Elle forge néanmoins l'outil aérien et la fraternité de l'équipage ou de l'escadrille. Elle forge presque un nouveau type d'hommes, que l'on retrouve entre les deux guerres, époque où la légende de l'aviation est définitivement fondée, dans les esprits comme dans les livres.

Contentons-nous d'évoquer Lindbergh et la ruée au Bourget de centaines de milliers de personnes.

Contentons-nous de saluer l'*Oiseau blanc* de Nungesser et Coli, qui poursuit dans notre mémoire son vol inachevé, avant la réponse, affirmative, de Coste et Bellonte à leur *Point d'interrogation*.

Puis c'est « la Ligne », l'Aéropostale, aux tronçons construits et consolidés l'un après l'autre, y compris celui de l'Atlantique et celui des Andes, évidemment. Servie par des chefs comme

Daurat, défrichée par des pilotes comme Mermoz (« l'Archange »), Guillaumet... et chantée par Saint-Exupéry. Ces quelques noms ont une réputation mondiale, comme l'aventure dont ils furent les acteurs. Ils sont au rang de ceux dont nous nous honorons. La trace laissée dans la mémoire populaire est profonde.

Le désastre de 1940 n'y met pas un terme. Notre aviation, sans illusions, a su s'y faire massacrer, puis conserver son honneur – qui, à vrai dire, n'avait pas été terni –, par sa participation active aux côtés de nos alliés anglais, américains ou russes, comme en ont témoigné Mouchotte, Clostermann, Jules Roy, Poujade et, encore, Saint-Exupéry.

Ainsi, à la sortie de la guerre, le public partageait ces convictions :

- l'aviation est née chez nous ; elle fait partie du patrimoine français ;
- son histoire est une suite de faits glorieux pour le pays ; la Deuxième Guerre mondiale ne les a pas fait disparaître ;
- l'aviation est porteuse des plus hautes valeurs morales ; elle est pourvue d'un idéal.
- comme Saint-Exupéry l'a dit, elle « unit » les hommes ; et, très spécifiquement, les classes très aisées à celles qui n'ont comme richesse que leur compétence et leur talent.

Pour toutes ces raisons, l'aviation est populaire, comme le montre la fréquentation des meetings, avec 500 000 personnes dans les années 1950 à Villacoublay pour voir évoluer Valentin, l'homme-oiseau. Les appuis aux grands programmes civils et militaires ont été enthousiastes. Les controverses relatives aux difficultés ou aux échecs ont été modérées (comme dans le cas de Concorde).

Le caractère national

À ce contexte très favorable, il faut ajouter une heureuse conjonction entre les exigences de l'aéronautique et certains traits, vrais ou supposés, du caractère national. À tort ou à raison, les Français sont crédités de quelques caractères – que certains tiennent d'ailleurs pour des défauts :

- ils sont doués d'imagination créatrice, notamment dans des domaines exceptionnels ;
- ils ont le goût de la performance, même coûteuse ;
- ils aiment les belles choses, parfois plus que les bonnes ;
- ils ont conservé de la considération pour le panache, l'esprit chevaleresque ;
- leur attitude ne manque pas d'une certaine élégance.

Ne peut-on remarquer que cette énumération aurait pu être écrite à propos de l'aéronautique...

Bref, la musique était belle, les musiciens habiles.

Mais, surtout, la salle de concert était prête à l'accueillir, le public prêt à l'applaudir.

À l'avenir aussi ?

ANNEXE

LES RELATIONS ENTRE L'ÉTAT ET L'AÉRONAUTIQUE

par Jean Soissons¹

Peu après leur invention, en 1783, les ballons furent utilisés par les armées révolutionnaires pour faire de l'observation (bataille de Fleurus, 1794). Diverses organisations militaires furent mises en place pour l'emploi ou la fabrication de ce nouveau moyen. Il faudra attendre 1875 pour que soit créée la Commission des communications par voie aérienne, et 1877 pour l'installation d'un établissement d'aérostation militaire dans le parc de Chalais-Meudon, dont la direction fut confiée à un officier du génie, Charles Renard. Il s'agit là de l'acte véritablement fondateur des services techniques de l'aéronautique, car toutes les organisations ultérieures en découlèrent. Il en fut à peu près de même pour nos voisins : l'établissement de Woolwich fut créé en 1878, et celui de Berlin en 1881.

L'établissement de Chalais-Meudon avait une vocation de recherche et d'essais. Il était chargé d'établir les règlements de construction (on utilise encore aujourd'hui les séries de Renard qui étaient une norme établie pour les cordages). Il devait passer dans l'industrie les commandes de matériels demandés par l'état-major. Il avait également les fonctions d'établissement central et secondaire de matériels. Son domaine de compétence concernait les ballons libres et captifs, les dirigeables, ultérieurement les avions et les hélicoptères (avec l'arrivée en 1904 du capitaine Ferber). L'établissement de Meudon était également chargé des matériels de mise en œuvre des équipements, des moteurs et des hélices. Cette activité concernant la propulsion

¹ Le présent texte a fait l'objet d'une publication dans la *Revue scientifique et technique de la Défense*, n°55, 2002, p. 49-59 – revue que nous remercions de nous avoir permis de le reproduire. L'auteur, en accord avec le COMAERO, a souhaité y apporter un court ajout pour préciser les indications concernant les années 1980.

perdurera après la Seconde Guerre mondiale et, après bien des réorganisations, au Centre d'essais des moteurs et hélices (ancêtre direct du CEPr). En 1888, il devint la direction de l'aérostation militaire.

Parmi les réorganisations, certaines furent progressives et s'échelonnèrent au fil des années ; d'autres, au contraire, furent globales et liées à des événements nationaux : par exemple, la guerre de 1914-1918, la création du ministère de l'Air en 1928, celle de l'armée de l'Air en 1934, la politique des nationalisations en 1936 ou en 1945, l'élaboration de la politique de dissuasion de 1958 à 1961, etc. D'autres fois, ce furent de simples directives qui orientèrent pour de nombreuses années la façon de faire d'un établissement ou d'une direction.

Il convient de noter, par ailleurs, un point très important : l'aéronautique n'est pas née dans les services de l'État. Elle est le fait d'industriels ou d'inventeurs soutenus par l'État (comme Clément Ader) ou par des mécènes. Certes, elle s'est développée grâce à l'État, mais elle a aussi recherché d'autres clients, soit à l'étranger, soit dans le secteur civil. Cela était déjà vrai pour les ballons ou les dirigeables et l'est bien plus aujourd'hui pour les avions ou le spatial. Une direction aéronautique doit nécessairement être adaptée à ce contexte qui la différencie de directions plus anciennes conçues initialement pour produire du matériel militaire dans des ateliers d'État ou des arsenaux.

C'est en 1909 que Chalais-Meudon reçoit de l'armée de Terre l'ordre de passer une première commande d'avions : cinq pour le génie, sept pour l'artillerie. Depuis quelque temps déjà, l'aviation posait des problèmes aux services de Chalais-Meudon. Installés dans un ancien atelier de fabrication de mitrailleuses situé dans un parc boisé et vallonné, ceux-ci avaient besoin d'un terrain dégagé pour mener à bien leurs essais. Pour ce faire, l'artillerie avait créé à Vincennes un établissement confié au commandant Estienne (qui, plus tard, inventera le char d'assaut). C'est là que, dès 1908, Ferber faisait ces essais. Le génie, au contraire, ne voulait pas dissocier la responsabilité des expérimentations des avions des autres responsabilités qui étaient confiées à Chalais-Meudon, quitte à installer à proximité

un terrain d'aviation (un « champ », comme on disait à l'époque).

Pour résoudre ce conflit, on nomma le général Roques inspecteur permanent de l'Aéronautique, avec sous ses ordres l'aviation et l'aérostation. Il décida de spécialiser Vincennes dans la tactique d'emploi, et de laisser la technique à Chalais-Meudon. En 1911, une section d'essais en vol était installée à Villacoublay. Ainsi naquirent les missions qui sont celles aujourd'hui du CEAM et du CEV. 1909 est aussi l'année où le colonel Roche fonda l'École supérieure d'aéronautique et de construction mécanique qui, en 1930, deviendra l'ENSA avant d'être l'ENSAE et qui, tout simplement, fut toujours SUPAERO.

C'est aussi vers cette époque que la Marine organisa son aéronautique pour tenir compte de l'arrivée des avions, hydravions et même porte-avions dans un cadre qui lui était familier et sans aucune liaison avec l'armée de Terre. En revanche, dès le début, un certain nombre d'ingénieurs du génie maritime eurent des responsabilités techniques, alors que, pour la Terre, toutes les responsabilités étaient assumées par des officiers des armes, essentiellement artillerie et génie. En 1912 fut organisée l'aéronautique militaire, mais celle-ci disposait de budgets ridiculement faibles pour préparer la guerre.

LA GUERRE DE 1914-1918

Ce n'est qu'en 1915 qu'est nommé un sous-secrétaire d'État à l'Aéronautique, René Bernard. Le Service des fabrications de l'aviation (SFA) est alors sorti de Chalais-Meudon et doté d'une inspection chargée de suivre chez les constructeurs les questions de fabrication, de contrôle de qualité, de prix et d'assurer les recettes. Le Service s'installe à Nanterre dans des baraques qui ne disparaîtront que longtemps après la Seconde Guerre mondiale pour faire place à l'Université de Nanterre. Compte tenu de son personnel en usine dépendant de sous-inspections territoriales et de l'intensification de la production surtout à partir de 1917, ses effectifs seront considérables. À la fin de la guerre, ils comprenaient 400 officiers, 3 000 sous-officiers et soldats et 400 civils, étendant leur activité sur 3 000 entreprises occupant 200 000 personnes. Le SFA est donc l'ancêtre du Service des

marchés et de la production, de la Section d'expertises et prix et des Circonscriptions aéronautiques régionales (CAR), qui fusionneront en 1961 avec les services de contrôle des autres directions pour former le SIAR (Service de surveillance industrielle de l'armement). Le service de réception des avions sera rattaché au CEV peu après la Seconde Guerre mondiale (il était installé à Villacoublay).

L'année suivante, en 1916, il n'y a plus de sous-secrétaire d'État, mais un Directeur de l'aéronautique, le colonel Régnier. Il sort la Section technique de l'aéronautique (STA) de Chalais-Meudon pour l'installer sur le terrain d'Issy-les-Moulineaux. La STA profite de la place qui lui est offerte pour créer l'Établissement d'expérience technique d'Issy-les-Moulineaux (EETIM) qui regroupe les moyens d'essais au sol qui lui semblent indispensables : essais de structure, de laboratoire, puis ultérieurement souffleries. L'EETIM est donc l'ancêtre de l'EAT et de l'ONERA. En 1917, le successeur du colonel Régnier, Daniel Vincent qui, lui, est sous-secrétaire d'État à l'Aéronautique, précise que la section technique doit être juge entre les projets des constructeurs et, par conséquent, ne doit pas concevoir et faire réaliser des matériels suivant ses propres conceptions. On verra par la suite comment ce concept fort important fut appliqué. Il eut à coup sûr le mérite de faciliter les rapports des services de l'aéronautique avec les utilisateurs.

Ainsi, dès le milieu de la Première Guerre mondiale, les services aéronautiques sont pour l'essentiel organisés comme il le seront pendant les quatre-vingts années qui nous séparent de cette époque : deux services paracentraux, STA et SFA avec, rattachés, des sous-inspections territoriales (jouant le rôle qui fut longtemps celui des CAR) et trois établissements d'essais : l'EETIM pour les essais au sol en particulier de structures, Villacoublay pour les essais en vol, Chalais-Meudon pour les essais de moteurs et d'hélices. Mais cette structure était fragile car très liée au fait que la France était en guerre. Beaucoup de postes importants étaient tenus par du personnel de réserve. Ainsi Caquot, ingénieur des Ponts et Chaussées, fut affecté à Chalais-Meudon pour améliorer la stabilité des ballons d'observation. Ayant parfaitement réussi, il fut nommé directeur de la STA. Parmi les nombreuses mesures qu'il prit, deux restent d'actualité encore de nos jours : la collection de normes Air et le musée de

l'Air. Naturellement, la guerre finie, Caquot reprit ses activités civiles et sa spécialité : les constructions en béton. L'année 1919 va donc s'accompagner d'une désorganisation profonde des services par la disparition des personnels et surtout de l'industrie aéronautique dont les effectifs passent de 200 000 à 5 000.

Il existe un surplus de matériels considérable que les armées bradent à bas prix ; il n'y a plus de programmes et presque pas de crédits ; il faudra dix ans pour que l'industrie atteigne un effectif de 15 000 personnes. Et pourtant l'aviation a fait la preuve de ses possibilités. Dès 1919 apparaissent les premières liaisons commerciales. Celles-ci posent très vite des problèmes d'infrastructure, d'aide à la navigation, de météorologie, sans compter ceux concernant la navigabilité des aéronefs ou la tutelle des compagnies de transport. Tous ces problèmes sont traités par la Direction de l'aéronautique.

L'APRES-GUERRE, DE 1919 A 1928

L'aviation intéresse de nombreux ministères. En dehors de la Guerre et de la Marine, ceux des Colonies, des Transports et des Postes créent chacun leurs propres bureaux aéronautiques. Aussi, en juin 1919, est-il confié au général Duval l'Office de coordination générale de l'aéronautique (OCGAé). Cet organisme doit regrouper tous les services techniques. Les bureaux des ministères ne conservent que l'emploi des moyens. Naturellement, le général Duval intègre ces services techniques dans celui existant au ministère de la Guerre.

En janvier 1920, le ministère des Transports nomme P.-E. Flandrin sous-secrétaire d'État de l'Aéronautique et des Transports aériens ; l'OCGAé passe du ministère de la Guerre à celui des Transports. Le général Duval est remplacé par un ingénieur en chef du génie maritime, Fortant. Cette nomination marque le point de départ d'un changement profond dans la politique de recrutement des personnels ayant des responsabilités techniques, jusque-là des officiers des armes pour leur quasi-totalité. Pour concrétiser ce changement, le successeur de P.-E. Flandrin, André Laurent-Eynac, prépara une loi promulguée le 12 mars 1924 et créant un corps d'ingénieurs de l'aéronautique, d'ingénieurs adjoints et d'agents techniques. Il s'agit bien évidemment de corps ayant une structure civile tout à

fait comparable à celle des corps correspondants des Ponts et Chaussées ; de plus, ces personnels bénéficient du statut conféré au personnel aéronautique par la loi du 8 décembre 1922 (les corps d'ingénieurs ne seront militarisés qu'à l'occasion de la Seconde Guerre mondiale). La mise en place de ces nouveaux personnels est effective dès la fin de 1925.

Cette nouvelle organisation fit très vite l'objet de violentes polémiques, entretenues par la presse. Bien sûr, elle ne plaisait guère aux militaires, qui se plaignaient de sa lenteur à réaliser les nouveaux programmes. Mais elle ne plaisait pas beaucoup non plus aux constructeurs qui trouvaient de plus en plus sévères les contraintes imposées par les services pour améliorer des matériels qui en avaient bien besoin devant les progrès réalisés par l'aviation aux États-Unis, en Grande-Bretagne, en Italie et en Allemagne, pays qui s'attribuaient de plus en plus de records.

Bokanowski, nommé en juillet 1926 ministre du Commerce, a en charge l'aéronautique. Dès son arrivée, il remplace l'Office de coordination générale de l'aéronautique par une Direction générale de l'aéronautique et des transports aériens, et place à sa tête le général Guillemin qui avait déjà eu la responsabilité de l'aéronautique en 1917 ; malheureusement, les crédits d'études et de série étaient toujours aussi maigres.

LE MINISTÈRE DE L'AIR, DE 1928 A 1939

Après la mort accidentelle de Bokanowski, en septembre 1928, le gouvernement franchit une étape décisive dans la réorganisation de ce secteur d'activité en nommant Laurent-Eynac ministre de l'Air. Celui-ci fait appel à Caquot en remplacement de Guillemin, mais surtout obtient un relèvement important des crédits qui lui sont alloués. Pour les études, ceux-ci passent de 36 millions de francs en 1928 à 120 millions en 1929. Cela permettra à Caquot de mener activement ce qu'on a appelé la « politique des prototypes » mais aussi d'investir dans les moyens d'essais, en créant, par exemple, la grande soufflerie de Chalais-Meudon, de mettre en place un service de recherche, de nationaliser SUPAERO et de l'installer boulevard Victor, à côté d'un musée de l'Air recevant une fonction didactique.

Caquot resta cinq ans à la tête de la Direction ; ce fut son successeur Dumanois qui vit les débuts de la création d'Air

France par le regroupement des principales compagnies de transports d'alors. Il faudra attendre un nouveau ministre, le général Denain, et un tout jeune directeur, Volpert, pour qu'aboutisse enfin une des tâches à laquelle avaient œuvré tous les ministres précédents : la création d'une armée de l'Air indépendante de l'armée de Terre, comme cela était déjà fait en Grande-Bretagne et en Italie, et comme cela ne sera fait aux États-Unis qu'après la Seconde Guerre mondiale.

Certes, le ministère de l'Air n'était pas « intégral » comme l'avaient voulu certains car, par un décret de novembre 1932, l'Aéronavale restait subordonnée à la Marine, tandis que les études et la production de ses matériels étaient du ressort de la Direction générale de l'aéronautique. En revanche, le général Denain allait modifier assez profondément les attributions de la Direction en matière d'aviation civile : en effet, la direction perdait le Service de la navigation aérienne, c'est-à-dire la tutelle des compagnies de transport et partiellement la navigabilité des aéronefs civils, gardant la responsabilité des essais correspondants. Elle perdait la Direction des voies et communications – totalement, en ce qui concerne l'infrastructure (Service des bases aériennes), partiellement, en ce qui concerne les aides à la navigation (dont elle gardait la responsabilité des études, production et essais). Enfin, l'Office national météorologique cessait de dépendre d'elle. En revanche, elle était chargée de créer des ateliers de réparation au bénéfice de l'armée de l'Air, la Marine disposant des siens propres au bénéfice de l'Aéronavale.

Ces ateliers (aujourd'hui AIA, Ateliers industriels de l'aéronautique) furent implantés à Toulouse et Clermont-Ferrand pour les cellules, Limoges et Bordeaux pour les moteurs. Outre-mer, ils n'étaient pas spécialisés et se trouvaient à Alger et Blida en Algérie, Casablanca au Maroc, Rayak en Syrie. Leur mise en service se fit dans le courant de l'année 1937. Celui de Rayak cessa son activité en 1941, ceux d'Afrique du Nord en 1962. Celui de Toulouse fut en grande partie détruit par les bombardements vers la fin de la Seconde Guerre mondiale ; les bâtiments restaurés reçurent d'autres usages. Celui de Limoges fut cédé en 1941 à la société Gnome et Rhône. Finalement, de tout cet ensemble il ne reste plus aujourd'hui que les ateliers de Clermont-Ferrand et Bordeaux, considérablement agrandis et modernisés.

L'année 1936, avec l'arrivée du Front populaire, sera celle des nationalisations. Ces dernières peuvent être considérées sous des angles bien différents : pour certains, elles sont la traduction en décisions d'une politique économique maintes fois exposée. Pour d'autres, et en particulier pour l'état-major, elles offrent à l'État la possibilité d'intervenir sur les moyens de production d'une industrie aéronautique qui, dans le cadre précédent, était incapable de s'équiper pour passer à une production accrue d'avions de construction métallique succédant aux avions en bois et toile des générations précédentes. Les six sociétés nationales de cellules, résultant de la fusion des usines de production d'une quinzaine de sociétés, commencent à fonctionner le 1^{er} janvier 1937. Dès l'année suivante, grâce à la Caisse centrale de décentralisation des industries aéronautiques (CCDIA), de nouvelles usines sortent de terre, tandis que la Direction de l'aéronautique met à leur disposition un important parc de machines-outils (plus de 20 000, au total, en 1940). Parallèlement à ces dispositions, le Service des marchés est autorisé à modifier le régime des avances et des acomptes pour éviter aux entreprises de s'endetter.

Mais les nationalisations concernent aussi directement la Direction de l'aéronautique qui se voit chargée de transformer en arsenal l'ancienne société Hotchkiss-Brandt, située à Châtillon-sous-Bagneux. Dans cet arsenal doivent être menées les études et réalisations de maquettes et prototypes de matériels particulièrement nouveaux et que les bureaux d'études et ateliers prototypes de l'industrie hésiteraient à entreprendre. Si l'arsenal n'eut pas le temps avant 1940 de sortir des réalisations correspondant à cet ambitieux objectif, il remplit sa mission après la guerre dans le domaine de la propulsion par statoréacteur, des avions turbostato, ou des engins. La création du service Recherche et de l'arsenal manifeste l'abandon de la politique définie par Daniel Vincent en 1917 en limitant le rôle de la Direction à celui de juge entre les constructeurs ; c'est le retour à la mission initialement confiée en 1877 à la Direction de l'aérostation.

Cette période qui précède immédiatement la Seconde Guerre mondiale est aussi marquée par une politique très active au niveau des établissements : la Section des avions nouveaux, strictement militaire, fusionne avec les moyens de la Direction pour

former le Centre d'essais des matériels aériens (CEMA) à Villacoublay, où les méthodes d'essais progressent considérablement. Le déplacement des essais moteurs, qui se faisaient toujours à Chalais-Meudon, reçoit un début d'exécution en vue d'une installation dans un Centre d'essais des moteurs (CEMO) à Bricy, près d'Orléans. Les moyens d'essais de Chalais-Meudon autres que la soufflerie et les bancs moteurs sont regroupés avec ceux de l'EETIM pour constituer l'Établissement de recherche aéronautique de la région parisienne (ERARP). Enfin, la Direction de l'aéronautique s'installe au troisième étage du 26, bd Victor, là où elle se trouve encore aujourd'hui.

LA GUERRE DE 1939-1945 ET SES CONSEQUENCES

Pendant la guerre de 1939-1945, le souci de la Direction est d'adopter la politique qui semble le mieux convenir à la situation du moment. Dans un premier temps, jusqu'en mai 1940, il s'agit d'augmenter la production par tous les moyens, quitte à transformer un atelier de réparation d'avions comme celui de Clermont-Ferrand en atelier de production. En mai et juin, il faut replier le maximum de matériels et de personnels dans ce qui sera la zone dite libre (la direction à Vichy, le Service technique à Roanne, le Service des marchés à Châtelguyon, le CEMA à Marignane, le CEMO à Saint-Etienne, l'ERA à Toulouse, là où est encore aujourd'hui le CEAT, l'arsenal à Villeurbanne, etc.). Toutefois, une partie de la Direction et quelques services restèrent à Paris pour s'occuper de l'industrie se trouvant en zone occupée et souvent requise par les Allemands. Le travail était au ralenti en zone libre puisque toute activité sur appareils militaires français nouveaux était interdite par les conditions d'armistice, dans toute la France.

La situation changea après novembre 1942. Toute la France métropolitaine était alors occupée, mais les établissements d'Afrique du Nord se mirent au service des Alliés et connurent une intense activité. À la Libération du territoire métropolitain, les usines fabriquaient quelques types d'avions allemands, étaient capables de réaliser quelques avions civils et avaient divers projets d'avions nouveaux. L'aéronautique va être profondément modifiée par une série de mesures : les unes concernent surtout l'industrie, ce sont les nationalisations ; les autres

concernent l'organisation même des services de l'État et, par conséquent, la Direction de l'aéronautique.

Charles Tillon devient ministre de l'Air en septembre 1944. Un de ses premiers soucis est de restaurer l'organisation d'avant-guerre. La Direction des industries aéronautiques reprend son ancien nom de Direction technique et industrielle de l'aéronautique (DTIA). Le CEMO fait son retour à Chalais-Meudon ; le CEMA est prié de s'installer dans la région parisienne, ailleurs qu'à Villacoublay – le choix se portera sur le terrain de Brétigny. Seul l'ERA reste à Toulouse. Les services centraux et paracentraux rentrent à Paris. Un nouveau service va être créé : le Service technique des télécommunications de l'air (STTA). La DTIA compte trois AIA de moins, ceux de Toulouse, Limoges (que la SNECMA, succédant à Gnome et Rhône, cède à la DEFA) et Rayak.

D'autre part, on crée, en 1946, l'Office national d'études et de recherches aéronautiques (ONERA) qui, dépendant de la DTIA, reprend la mission du Service recherche qui est supprimé. L'ONERA est chargé des recherches dans l'ensemble du domaine aéronautique, est doté de quelques souffleries anciennes (comme la grande soufflerie de Chalais-Meudon) et se voit confier la réalisation de grandes souffleries nouvelles à Modane-Avrieux. Le Service technique est chargé de passer de nombreuses commandes de prototypes à l'industrie et le Service des marchés de faire poursuivre les commandes allemandes et d'inviter l'industrie, dont les effectifs sont de l'ordre de 85 000, à les maintenir à ce niveau en pratiquant une politique de reconversion (production de tracteurs, motocyclettes, électroménager, etc.).

En novembre 1945, Tillon devient ministre de l'Armement. La Direction technique perd quelques-unes des attributions qu'elle détenait depuis 1928 en matière d'aviation civile au bénéfice du ministère des Transports, en particulier en ce qui concerne la fourniture des équipements de navigabilité, alors que pour les militaires elle garde ses responsabilités dans ce domaine. Elle avait déjà perdu en 1934 la responsabilité directe qu'elle détenait auparavant sur la tutelle des compagnies de transports, la navigabilité des aéronefs, l'infrastructure des bases et l'Office national météorologique ; mais ces services étaient

restés au sein du ministère de l'Air. Désormais, ils passent au ministère des Transports, sans que les modalités de fonctionnement entre eux et la Direction technique soient modifiées, notamment pour la navigabilité et l'étude des avions civils. Quand, en janvier 1947, Maroselli sera nommé ministre de l'Air, il aura dans ce domaine pratiquement les mêmes attributions que le ministre de l'Armement qui l'avait précédé. Aujourd'hui encore, le ministre des Transports bénéficie de ce transfert de responsabilités.

À côté de toutes ces modifications qui font l'objet de textes législatifs, des instructions de la DTIA vont profondément modifier la façon de travailler des établissements d'essais et entraîner leur développement. Jusque-là, ceux-ci appliquaient la directive de Daniel Vincent de façon assez stricte. Leur jugement sur les matériels était essentiellement critique et ils ne faisaient pas profiter les constructeurs de l'expérience qu'ils avaient pu acquérir. La réforme va donc consister à essayer d'établir une collaboration plus étroite et plus immédiate entre services et constructeurs. Il s'agit là d'un problème délicat, car le constructeur doit rester responsable des matériels qu'il propose et de leur mise au point. Les services de l'État se doivent de garder un jugement parfaitement objectif sur les matériels pour garder leur crédibilité.

La solution fut recherchée en dotant les établissements d'essais, comme le CEMH (Centre d'essais des moteurs et hélices, qui remplace le CEMO) et le CEAT (qui remplace l'ERA), de moyens puissants que chaque industriel n'aura pas à financer et qui seront mis à sa disposition. Le CEV (qui remplace le CEMA) aura les avions bancs volants dans le même but. Il développera en outre une politique de formation du personnel d'essais, dans l'École du personnel navigant d'essais et de réception (EPNER), créée en 1946, imposant à tous des méthodes et un langage communs. Le nom de Louis Bonte restera attaché au Centre d'essais en vol, dont il fut le directeur pendant de nombreuses années. Un travail identique sera développé pour les CAR. À terme, cela aboutira à la possibilité de valider les essais et les contrôles des constructeurs. On voit ainsi apparaître, dès le lendemain de la Seconde Guerre mondiale, des principes qui,

aujourd'hui, font l'objet de nombreuses études sous les noms de « principe de subsidiarité » et de « contrôle qualité ».

Pendant les années qui suivirent, c'est dans ce cadre que vont se développer les établissements d'essais : le CEMH installe ses moyens nouveaux à Saclay en abandonnant définitivement Chalais-Meudon ; le CEAT ouvre une importante annexe à l'Hers ; le CEV abandonne Marignane au profit d'Istres, installe ses essais d'armement à Cazaux et crée une annexe à Colomb-Béchar pour suivre les essais d'engins. Tous ces centres voient leurs effectifs croître rapidement (en moyenne, tripler). La DTIA, qui a déjà en charge l'ENSA pour la formation de ses ingénieurs de direction, ouvre une école, l'ENTA, pour celle des ingénieurs de travaux et installe cette école à Toulouse en 1961. Elle prendra successivement les noms de ENICA (École nationale d'ingénieurs des constructions aéronautiques), en 1957, et ENSICA, en 1979.

En août 1951, Maroselli est remplacé par un secrétaire d'État, Montel, qui, soucieux d'accentuer le caractère étatique de la DTIA, en détache l'Arsenal de l'aéronautique pour en faire une société nationale, la SFECMAS. Celle-ci aura une existence éphémère puisqu'elle est absorbée par la SNCAN en janvier 1955.

La fin de cette période est marquée par le virage vers l'armement atomique. À la fin de novembre 1956, un protocole est signé entre les armées et le CEA. La DTIA reçoit la mission de réfléchir à la contribution que l'industrie aéronautique pourra apporter dans ce domaine. Le STA étudie les vecteurs possibles (avion ou engin), ainsi que les problèmes liés à la réalisation des bombes et des ogives, en liaison avec la Direction des applications militaires (DAM) du CEA. Cependant, en Algérie, les opérations se poursuivaient. Le SMPA (Service des marchés et de la production aéronautique) était chargé d'acheter des avions à bas prix dans les surplus américains, alors que l'industrie connaissait, avec la fin du Plan de 1950, un net fléchissement de son activité, et qu'était abandonné tout développement de missiles sol-air au profit d'achat de matériel OTAN.

Quand, en 1958, le général de Gaulle nomma Guillaumat ministre des Armées, celui-ci ne chercha à modifier l'organisation existante que sur un point majeur : les départements de la Guerre, de la Marine et de l'Air ne sont plus dirigés par des ministres ou secrétaires d'État indépendants, mais par des délégués ministériels dépendant directement de lui. C'est son successeur, Messmer, nommé ministre des Armées en juin 1959, qui sera chargé de mettre en place une organisation nouvelle par une série de décrets dont les plus importants datent d'avril 1961, avril 1965 et mars 1968.

Au terme de cette organisation qui, pour l'essentiel, est celle d'aujourd'hui, le pouvoir en matière d'armement est confié à un Délégué ministériel, aujourd'hui un Délégué général. Celui-ci dispose de directions dont les unes sont à vocation fonctionnelle, les autres à vocation opérationnelle. La DTIA, devenue Direction technique des constructions aéronautiques (DTCA), est classée dans cette deuxième catégorie, et va perdre progressivement toutes les missions qui sont du ressort des directions fonctionnelles ou des nouvelles directions opérationnelles. Au bénéfice de la DPAG (Direction du personnel et des affaires générales), elle perd la responsabilité des écoles et une grande partie de ses pouvoirs en matière de gestion du personnel. Au bénéfice de la DPAI (Direction des programmes et des affaires industrielles), elle perd ses pouvoirs en matière budgétaire et la tutelle de l'industrie. Au bénéfice du SIAR (Service de surveillance industrielle de l'armement), elle perd le contrôle en usine qu'elle exerçait par le canal des CAR (Circonscriptions aéronautiques régionales). Au bénéfice de la DRME (Direction des recherches et des moyens d'essais), elle perd la tutelle de l'ONERA, tandis que son Service de documentation industrielle et technique passe au SEDOCAR (Service de documentation de l'armement). Au bénéfice de la DTEN (Direction technique des engins), elle perd ses responsabilités dans le domaine des engins balistiques puis ultérieurement des engins tactiques. Elle doit transférer ses laboratoires d'électronique au CELAR (Centre d'électronique de l'armement). Cette énumération, qui ne prétend pas être exhaustive, montre l'importance de la réforme et explique pourquoi il a

fallu plusieurs années pour la préparer et la mettre en application.

Le succès de cette réforme est dû pour l'aéronautique, pour une large part, à de judicieuses anticipations de la DTIA : dès 1945, au sein du Service technique de l'aéronautique, avait été créée la Section des engins spéciaux. Ultérieurement fut constitué le Groupe des engins balistiques qui fut ensuite érigé en Département des engins, lui-même à l'origine de la DTEN. De même, le rôle de la DTIA en électronique radar, microélectronique, informatique au sol ou embarquée a été primordial.

Presque dans le même temps, les opérations en Algérie se terminaient. La DTIA doit alors fermer pour la mi-1962 toutes les installations qu'elle a dans ce pays : DTRA (Direction technique régionale), AIA d'Alger et de Blida, école du Cap Matifou. Seule subsistera jusqu'à la fin de 1967 l'antenne du CEV à Colomb-Béchar dont le sort est lié à celui du CIEES (Centre interarmées d'essais d'engins spéciaux). Divers incidents s'étant produits à l'AIA de Casablanca, la DTIA fermera aussi cet atelier en 1962. Tout le personnel français d'Afrique du Nord sera rapatrié, ainsi qu'un certain nombre de personnels algériens. Dans le cas de Casablanca, le rapatriement du matériel et des moyens sera très important. Après ces opérations, il ne restera plus à la DTCA que deux AIA : à Clermont-Ferrand et à Bordeaux, qui fonctionnent avec des effectifs notablement accrus et à la disposition desquels sont mis les moyens nécessaires. Ils jouent le rôle précieux d'établissements-témoins dans le domaine des réparations et de l'entretien. Plus tard l'atelier de Cuers de l'Aéronavale sera rattaché à la DTCA.

LA PERIODE RECENTE

Après ces grands changements dans les missions, les attributions et le déploiement de la DTCA, les années qui nous séparent de la période actuelle semblent particulièrement calmes, puisqu'il n'y a plus à noter qu'un changement de dénomination : la DTCA devient Direction des constructions aéronautiques (DCAé) en mai 1984, mais sans modification des missions. Toutefois, une profonde évolution marque cette période. Quelques exemples suffisent pour indiquer les problèmes qui se sont posés

aux services et les modifications des conditions dans lesquelles ils travaillent.

Dans l'organisation décrite, deux services au moins ont à s'occuper d'un matériel : au niveau des études et de la réalisation des maquettes et des prototypes, la responsabilité appartient au STA ; au niveau de la série, elle est du ressort du SMPA. Ce découpage, conforme à celui existant chez de nombreux industriels, est parfaitement justifié en cas de séries longues. Il l'est beaucoup moins si les séries sont courtes, ou composées de matériels formant une famille, mais pouvant différer les uns des autres sur de nombreux points. Aussi, dès les années 1960, a-t-on commencé à nommer des directeurs de programme ayant la responsabilité de l'ensemble d'une opération. C'est ainsi qu'ont pu être menés à bien tous les programmes d'avions et d'hélicoptères pour les besoins de l'armée de l'Air, de la Marine, de l'armée de Terre. Le programme Mirage IV, première composante de la Force nucléaire stratégique, marqua une étape majeure dans la maîtrise d'un système d'armes complexe, faisant appel à des concepts nouveaux et à des innovations techniques majeures. Les directeurs de programme se révélèrent également indispensables pour les actions menées en coopération. Tel fut le cas, notamment, du Bréguet Atlantic. Il en fut de même pour les grands programmes d'avions civils, tels que Caravelle et Concorde.

Durant ces dernières décennies, la technologie des équipements a profondément évolué. Au début des années 1960, ils étaient mécaniques, hydrauliques, électriques, mais l'électronique y intervenait peu, et encore s'agissait-il de systèmes analogiques. Le STA était organisé pour traiter ces problèmes et son personnel formé en conséquence. A partir des années 1970, l'électronique envahit progressivement tous les équipements. Les calculateurs se multiplièrent ; ils étaient en technique numérique et les systèmes devinrent de plus en plus intégrés, avec une importance croissante des logiciels. Il devint alors évident que l'organisation des services devait être adaptée : d'une part, la séparation entre études, développement et production devenait en effet de plus en plus discutable ; d'autre part, le rôle accru de l'électronique et l'intégration des systèmes impo-

saient un regroupement des compétences pour l'ensemble des équipements.

C'est ainsi que furent créés, au 1^{er} janvier 1980, à partir des services existants (STAé, SPAé et STTA), trois nouveaux services :

- le STPA, Service technique des programmes aéronautiques, résultant de la fusion du STAé et du SPAé pour les aéronefs et tout ce qui concerne le véhicule et ses constituants, chargé de la conduite des programmes, y compris leurs systèmes d'armes ;
- le STTE, Service technique des télécommunications et des équipements aéronautiques, résultant de la fusion du STTA et d'une partie du STAé et du SPAé concernant équipements et armements, chargé ainsi notamment de l'ensemble des domaines de l'électronique relevant de la DTCA, au sol et à bord ;
- le SCPM, Service central de la production, des prix et de la maintenance, regroupant des activités de synthèse au profit des deux autres services ou de l'ensemble de la direction.

L'organisation par techniques était ainsi conservée, avec la compétence et l'expérience des anciens services. Mais, grâce aux regroupements effectués, d'une part le rôle et la structure des directions de programmes ont pu être renforcés, d'autre part toutes les questions d'avionique ont pu être traitées au sein d'un même service, avec des retombées particulièrement positives en matière d'intégration de systèmes et d'assurance de qualité des logiciels. Cette organisation a fonctionné de façon très satisfaisante de 1980 à 1996, jusqu'à la mise en place de nouvelles orientations concernant cette fois la DGA dans son ensemble, qui sortent du cadre de cet exposé.

Dès 1957, le volume des exportations de l'industrie aéronautique devint significatif ; diverses dispositions légales furent prises pour les favoriser. Le phénomène se développa et s'amplifia rapidement. Quand, en 1961, fut créée au sein de la DMA une Direction des affaires internationales, la DTCA passa par son intermédiaire pour régler les nombreux problèmes que pose aux services l'exportation de matériels militaires : qualifications, contrôle en usine, garantie des prix, introduction dans les calendriers de production, formation des personnels, etc. Il

est bien évident que, compte tenu de l'organigramme du ministère des Armées, les services, et en particulier le SMPA, ont à assumer une part importante de travail d'exécution.

C'est aussi au début des années 1960 que fut entrepris un nombre toujours croissant de programmes en coopération, en particulier avec le Royaume-Uni, la RFA et l'Italie. Ce fut pour la DTCA et ses services un très grand changement dans la façon de travailler. Il fallut très vite s'adapter à la réglementation, l'organisation et la mentalité de nos partenaires. Il fallait opérer avec diplomatie, trouver les solutions qui sauvegardent nos intérêts. Tous ceux qui ont vécu cette expérience en gardent un souvenir particulièrement vif.

Une autre caractéristique de cette période est le développement de l'aviation commerciale : Concorde, à partir de 1962, Airbus, à partir de 1968, ATR (Avion de transport régional), à partir de 1978, pour les programmes en coopération européenne ; mais aussi Falcon ou Corvette pour les programmes français, les moteurs CFM et, en particulier, le CFM 56 en collaboration avec les États-Unis. Si les problèmes de coopération sont comparables à ceux rencontrés pour le matériel militaire, mais introduisent bien évidemment le ministère des Transports comme autorité responsable en France, il faut noter que les problèmes de navigabilité sont particulièrement exigeants, qu'il s'agisse d'appliquer les règles en vigueur aux États-Unis ou de créer des règlements communs à l'Europe (JAR, *Joint Airworthiness Requirements*). Les problèmes posés par la série sont très différents des problèmes posés par les appareils militaires, puisque le financement de ces opérations est tout autre.

Bien d'autres points pourraient être signalés, mais ils ne modifient ni les missions ni les structures essentielles de la DCAé. Au cours de cet article, beaucoup d'étapes intermédiaires ont été volontairement omises. Pour s'en convaincre, il suffit de signaler que, entre la guerre de 1914-1918 et aujourd'hui, la DCAé a changé treize fois de nom, qu'elle a dépendu successivement du ministre de la Guerre, de celui des Transports, de celui du Commerce, de celui de l'Air, de celui des Armées, qu'elle a connu 33 directeurs, dont 11 provenaient des armées, 19 étaient

des ingénieurs militaires (pour employer le langage actuel) et 3 étaient des civils.

Comment évolueront les relations entre l'État et l'aéronautique dans les prochaines années ? Il est certain que le monde aéronautique est en train de changer. Les délégués à l'armement de l'Europe cherchent à se rapprocher les uns des autres. Tout nouveau programme important est envisagé en coopération. Les structures qui permettaient aux industriels de réaliser ces programmes tendent à devenir de véritables sociétés à capital international dotées de moyens industriels importants provenant des anciennes sociétés (par exemple Eurocopter). Quoi qu'il en soit, la compétence technique, la rigueur des méthodes de travail, le souci de l'intérêt général qui ont caractérisé les personnels de la DTIA et des directions qui l'ont remplacée resteront les atouts majeurs de leurs successeurs, au bénéfice de la place de la France dans l'aéronautique mondiale.

CHRONOLOGIE

- 1877 Création de l'Établissement central de l'aérostation militaire de Chalais-Meudon. La direction de cet établissement, qui dépend du Génie, est confiée au capitaine Charles Renard.
- 1904 Charles Renard confie au capitaine d'artillerie Ferdinand Ferber la direction des laboratoires d'aéronautique de l'Établissement de Chalais-Meudon. Grâce à Charles Renard et à Ferdinand Ferber, cet établissement devient le premier centre d'essais de cellules et de moteurs d'aviation au monde.
- 1909 L'École supérieure d'aéronautique et de construction mécanique (qui deviendra, en 1930, l'École nationale supérieure de l'aéronautique) est créée, sous l'impulsion du commandant Jean-Baptiste Roche qui en devient le directeur.
- 1910 Le général Jean-Baptiste Roques, commandant de l'aérostation et des ballons dirigeables, est nommé inspecteur permanent de l'aéronautique : il a donc sous ses ordres l'aérostation et l'aviation.
- 1911 Création de l'Établissement d'aviation militaire de Vincennes. Cet établissement, qui relève de l'artillerie, est chargé des essais d'emploi des avions, dont la responsabilité est confiée au commandant Estienne.

- 1912 Création d'une section d'essais en vol à Villacoublay, dépendant de l'Établissement de Chalais-Meudon.
- 1914 Organisation, au sein du ministère de la Guerre, de la Direction de l'aéronautique militaire.
- 1915 Nomination d'un sous-secrétaire d'État à l'Aéronautique, René Bernard. Le Service des fabrications de l'aviation (SFA) est chargé d'inspecter les matériels chez les constructeurs et d'effectuer les recettes.
- 1916 Le sous-secrétariat d'État à l'Aéronautique est supprimé et remplacé par une Direction de l'aéronautique confiée au colonel Régnier. La Section technique de l'aéronautique est sortie de Chalais-Meudon, elle s'installe à Issy-les-Moulineaux et y crée l'Établissement d'expériences techniques d'Issy-les-Moulineaux qui regroupe les moyens d'essais au sol.
- 1917 Daniel Vincent est nommé sous-secrétaire d'État à l'Aéronautique, il limite le rôle de la STA à celui de juge des travaux des constructeurs.
- 1918 Constitution de la Division aérienne, sous les ordres du colonel Duval, du Grand quartier général.
- 1918 Création de l'Office de coordination générale de l'aéronautique (OCGAé), qui relève du ministère de la Guerre et regroupe tous les services techniques. Il est dirigé par le général Duval.
- 1920 L'OCGAé est placé sous l'autorité de P.-E. Flandrin, sous-secrétaire d'État de l'Aéronautique et des Transports aériens. Sa direction est confiée à l'ingénieur en chef du génie maritime Fortant.
- 1922 Décision de création de l'armée de l'Air.
- 1924 Loi du 12 mars créant les corps d'ingénieurs de l'aéronautique, d'ingénieurs-adjoints et d'agents techniques.
- 1926 Bokanowski, ministre du Commerce et chargé de l'Aéronautique, remplace l'OCGAé par une Direction générale de l'aéronautique et des transports aériens. Le général Guillemin en est nommé directeur.
- 1928 Laurent-Eynac est nommé ministre de l'Air. Albert Caquot remplace le général Guillemin et lance la « politique des prototypes ». Il met en place un Service des recherches, nationalise SUPAERO et crée la grande soufflerie de Chalais-Meudon.
- 1933 Décret précisant les missions et l'organisation de l'armée de l'Air, indépendante de l'armée de Terre.

- 1934 Sous le ministère du général Denain, la Direction générale de l'aéronautique est remplacée par la Direction des constructions aériennes, au sein de laquelle sont créés le Service technique aéronautique et le Service de la production aéronautique. Elle perd ses responsabilités en matière d'aviation civile, à l'exception des essais correspondants. Elle est chargée de créer des ateliers de réparation au bénéfice de l'armée de l'Air.
- 1936 Pierre Cot, ministre de l'Air du gouvernement de Front Populaire, procède à la nationalisation de la plupart des sociétés de construction de cellules. Six sociétés nationales sont créées, elles commencent à fonctionner le 1^{er} janvier 1937.
- 1938 Guy La Chambre, nouveau ministre de l'Air, réorganise le Conseil supérieur de l'Air et place Albert Caquot à la tête des six sociétés nationales de constructions aéronautiques.
- 1945 Création du Secrétariat général à l'aviation civile, relevant du ministre des Travaux publics, alors que la Direction technique et industrielle de l'aéronautique relève du ministre de l'Armement, Charles Tillon.
- 1946 Création de l'Office national d'études et de recherches aéronautiques (ONERA).
- 1961 Création de la Délégation ministérielle pour l'armement, dont fait partie la DTIA. La responsabilité des engins est confiée à un département séparé, le DEN.
- 1965 Au sein de la DMA, la DTIA devient la Direction technique des constructions aéronautiques (DTCA).
- 1984 Au sein de la Délégation générale pour l'armement (qui a succédé à la DMA en 1977), la DTCA devient Direction des constructions aéronautiques (DCAé).

LISTE DES SIGLES

ABM	<i>Anti Ballistic Missile</i>
AC3G	Antichars troisième génération
ACRA	Antichar rapide
AEREA	Association des établissements de recherche européens en aéronautique
AGARD	<i>Advisory Group for Aeronautical Research and Development</i>
AI	Airbus Industrie
AIA	Atelier industriel de l'aéronautique
AM	Air-mer
AMA	Armement et matériel aéronautique
AMD	Avions Marcel Dassault
AMRAAM	<i>Advanced Medium Range Air to Air Missile</i>
ARB	<i>Air Registration Board</i>
ARINC	<i>Aeronautical Radio, Inc.</i>
ARMAT	Antiradar Matra
AS	Aérospatiale
AS	Air-sol
ASMP	Air-sol moyenne portée
ATAR	Atelier aéronautique de Rickenbach
ATLIS	Autopointeur télévision et laser illuminant le sol / <i>AutoTracking Laser Illumination System</i>
ATMR	<i>Advanced Technology Medium Range Aircraft</i>
ATP	<i>Advanced TurboProp</i>
ATR	Avion de transport régional
AWACS	<i>Airborne Warning and Control System</i>
BA	<i>British Airways</i>
BAC	<i>British Aircraft Corporation</i>
BAe	<i>British Aerospace</i>
BEA	<i>British European Airways</i>
BLB	Base de lancements balistiques
BOAC	<i>British Overseas Airlines Corporation</i>
BOCA	Bureau officiel de certification Airbus
CAG	Contrôle actif généralisé

CAO	Conception assistée par ordinateur
CAR	Circonscriptions aéronautiques régionales
CASA	<i>Construcciones Aeronauticas SA</i>
CASDN	Comité d'action scientifique de la Défense nationale
CASOM	<i>Conventionally Armed Stand Off Missile</i>
CATIA	Conception assistée tridimensionnelle interactive
CCD	<i>Charge Coupled Device</i>
CCDIA	Caisse centrale de décentralisation des industries aéronautiques
CDN	Certificat de navigabilité
CDVE	Commandes de vol électriques
CEA	Commissariat à l'énergie atomique
CEE	Communauté économique européenne
CEAT	Centre d'essais aéronautiques de Toulouse
CEG	Centre d'études de Gramat
CEL	Centre d'essais des Landes
CELAR	Centre d'électronique de l'armement
CEM	Centre d'essais de la Méditerranée
CEMA	Centre d'essais des matériels aériens
CEMH	Centre d'essais des moteurs et hélices
CEMO	Centre d'essais des moteurs
CENG	Centre d'études nucléaires de Grenoble
CEPr	Centre d'essais des propulseurs de Saclay
CERA	Centre d'études et de recherches en automatique
CERT	Centre d'études et de recherches de Toulouse
CEV	Centre d'essais en vol de Brétigny-sur-Orge
CFTH	Compagnie française Thomson-Houston
CGE	Compagnie générale d'électricité
CHARME	Comité pour l'histoire de l'armement
CHEAr	Centre des hautes études de l'armement
CIIES	Centre interarmées d'essais d'engins spéciaux (Colomb-Béchar)
CMB	<i>Concorde Management Board</i>
CNES	Centre national d'études spatiales
COMAERO	Comité pour l'histoire de l'aéronautique
CPE	Centre de prospective et d'évaluations
CRED	Conseil des recherches et études de défense

CRJ	<i>Canadian Regional Jet</i>
CSF	Compagnie générale de télégraphie sans fil
CT	Cible téléguidée
CVD	<i>Carbon Vapor Deposition</i>
DA	<i>Deutsche Airbus</i>
DAI	Direction des affaires internationales
DAT	Direction des armements terrestres
DATAR	Délégation à l'aménagement du territoire et à l'action régionale
DCAé	Direction des constructions aéronautiques
DCCAN	Direction centrale des constructions et armes navales
DE	Développement exploratoire
DEFA	Direction des études et fabrications d'armement
DEI	Direction de l'électronique et de l'informatique
DEL	Département électronique
DEN	Direction des engins
DERA	Département d'études et de recherches en automatique
DGA	Délégation générale pour l'armement
DGAC	Direction générale de l'aviation civile
DGRST	Délégation générale à la recherche scientifique et technique
DGV	Dauphin grande vitesse
DHC	De Havilland Canada
DLR	<i>Deutsche Forschungsanstalt für Luft und Raumfahrt</i>
DMA	Délégation ministérielle pour l'armement
DME	Direction des missiles et de l'Espace
DOP	Dispositifs oléo-pneumatiques
DPAG	Direction du personnel et des affaires générales
DPAI	Direction des programmes et des affaires industrielles
DRET	Direction des recherches, études et techniques
DRME	Direction des recherches et des moyens d'essais
DSBS	Division des systèmes balistiques et spatiaux

DTAT	Direction technique des armements terrestres
DTC	Dispositif à transfert de charges
DTCA	Direction technique des constructions aéronautiques
DTCN	Direction technique des constructions navales
DTEN	Direction technique des engins
DTI, ou DTIA	Direction technique et industrielle de l'aéronautique
DTP	Développement technologique probatoire
DTRA	Direction technique régionale (Algérie)
EADS	<i>European Aeronautic Defence and Space Company</i>
EAT	Ancien nom du CEAT
EBB	Études balistiques de base
EETIM	Établissement d'expériences techniques d'Issy-les-Moulineaux
ELECMA	Département électronique de la SNECMA
EMAA	État-major de l'armée de l'Air
EMAT	État-major de l'armée de Terre
EMD	Électronique Marcel Dassault
ENICA	École nationale d'ingénieurs des constructions aéronautiques
ENSA	École nationale supérieure de l'aéronautique
ENSAE	École nationale supérieure de l'aéronautique et de l'Espace (SUPAERO)
ENSICA	École nationale supérieure d'ingénieurs de constructions aéronautiques
ENTAC	Engin téléguidé antichars
EPNER	École du personnel navigant d'essais et de réception
ERAM	Études et réalisations d'accessoires mécaniques
ERARP	Établissement de recherche aéronautique de la région parisienne
ERJ	<i>Embraer Regional Jets</i>
ES	Engins spéciaux
ETCA	Établissement technique central de l'armement
ETOPS	<i>Extended Range Twin-engined Operations</i>
ETW	<i>European Transonic Windtunnel</i>

Eurofar	<i>European Future Advanced Rotorcraft</i>
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FADEC	<i>Full Authority Digital Electronic Control</i>
FAR	<i>Federal Air Regulation</i>
FNS	Force nucléaire stratégique
G2P	Groupement pour les gros propulseurs à poudre
Garteur	<i>Group for Aeronautical Research and Technology in Europe</i>
GCA	<i>Ground Control Approach</i>
GEB	Groupe des engins balistiques
GIE	Groupement d'intérêt économique
GIFAS	Groupement des industries françaises aéronautiques et spatiales
HBN	Projet commun HSA-Bréguet-Nord-Aviation
HOT	Haut subsonique - guidage optique - lancement par tube
HSA	<i>Hawker Siddely Aviation</i>
IA	Ingénieur de l'armement
IC	Ingénieur en chef
ICA	Ingénieur en chef de l'armement
IEM-N	Impulsion électromagnétique d'origine nucléaire
IGA	Ingénieur général de l'armement
ILS	<i>Instrument Landing System</i>
IMFL	Institut de mécanique des fluides de Lille
IMFM	Institut de mécanique des fluides de Marseille
IPA	Ingénieur principal de l'armement
IRCCD	<i>Infra Red Charge Coupled Device</i>
IRIA	Institut de recherche en informatique et automatismes
JAR	<i>Joint Airworthiness Requirements</i>
JET	<i>Joint European Team</i>
JFK	John Fitzgerald Kennedy
KSSU	KLM-SAS-Swissair-UTA

LAT	Liebherr Aerotechnik
LCA	Laboratoire central de l'armement
LETI	Laboratoire d'électronique et de technologie de l'informatique / Laboratoire d'électronique, de technologie et d'instrumentation
LIDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
LIR	Laboratoire infrarouge
LMT	Le matériel téléphonique
LRBA	Laboratoire de recherches balistiques et aérodynamiques
MBB	Messerschmitt-Bölkow-Blohm
MDC	<i>McDonnell Douglas Corporation</i>
MEGA	Machine d'essai des grands atterrisseurs
MF	Millions de francs
MILAN	Missile léger antichar
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MLRS	<i>Multiple Launch Rockets System</i>
MM	Mer-mer
MSBS	Mer-sol balistiques stratégiques
MSOW	<i>Modular Stand Off Weapon</i>
MTU	<i>Motoren und Turbinen Union</i>
NADGE	<i>NATO Air Defense Ground Environment</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NBC	Nucléaire, biologique, chimique
NG	<i>New Generation</i>
NTF	<i>National Transonic Facility</i>
OA	ONERA-Aérospatiale
OCGAé	Office de coordination générale de l'aéronautique
ONERA	Office national d'études et de recherches aéronautiques (1946), puis aérospatiales (1953)
OSF	Optronique secteur frontal
OTAN	Organisation du traité de l'Atlantique nord
PARCA	Projectile autopropulsé radioguidé contre avions

PCRD	Programme cadre de recherche et développement technologique
PCT	Postes de tir
PIF	Pilotage par inertie en force
PME	Petites et moyennes entreprises
PPDE	Programme pluriannuel de développements exploratoires
PPRE	Programme pluriannuel de recherches et d'études
RAE	<i>Royal Aircraft Establishment</i>
RDY	Radar Doppler, successeur du RDX
RFA	République fédérale d'Allemagne
RTM	Rolls Royce-Turboméca
S1MA	Première soufflerie de Modane-Avrieux
SAAM	Sol-air anti-missile
SABCA	Société anonyme belge de construction aéronautique
SAGEM	Société d'applications générales d'électricité et de mécanique
SAMM	Société d'application des machines motrices
SAMP	Sol-air moyenne portée
SAS	<i>Scandinavian Airlines System</i>
SAT	Société anonyme des télécommunications
SATCP	Sol-air très courte portée
SCALP-EG	Système de croisière à longue portée - emploi général
SCAT	<i>Supersonic Commercial Air Transport</i>
SCPM	Service central de la production, des prix et de la maintenance
SCTI	Service central des télécommunications et de l'informatique
SEA	Société d'électronique et d'automatisme
SECT	Sous-direction des évaluations et de la coordination technique
SEDOCAR	Service de documentation de l'armement
SEREB	Société d'études et de réalisation d'engins balistiques
SEP	Société européenne de propulsion
SER	Surface équivalente radar

SFA	Service des fabrications de l'aviation
SFACT	Service de la formation aéronautique et du contrôle technique (à la DGAC)
SFENA	Société française d'équipements pour la navigation aérienne
SFIM	Société de fabrication d'instruments de mesure
SFMA	Société française de matériels d'aviation
SGAC	Secrétariat général à l'aviation civile
SIAR	Service de la surveillance industrielle de l'armement
SM	Sous-marin
SMPA	Service des marchés et de la production aéronautique
SNB	Système de navigation bombardement
SNCAC	Société nationale de constructions aéronautiques du Centre
SNCAN	Société nationale des constructions aéronautiques du Nord
SNCASE	Société nationale des constructions aéronautiques du Sud-Est
SNCASO	Société nationale de constructions aéronautiques du Sud-Ouest
SNG	SNLE de nouvelle génération
SNECMA	Société nationale d'études et de constructions de moteurs d'aviation
SNIAS	Société nationale industrielle aéronautique et spatiale
SNLE	Sous-marin nucléaire lanceur d'engins
SNPE	Société nationale des poudres et explosifs
SPAD	Système perfectionné anti-dérapant
SPAé	Service de production aéronautique
SPOT	Système probatoire d'observation de la Terre ou Système pour l'observation de la Terre
SS	Sol-sol
SSBS	Sol-sol balistiques stratégiques
ST3S	Service technique des systèmes stratégiques et spatiaux
STA	Section technique de l'aéronautique
STAC	<i>Supersonic Transport Aircraft Committee</i>
STAé	Service technique aéronautique

STCAN	Service technique des constructions et armes navales
STEN	Service technique des engins balistiques
STET	Service technique des engins tactiques
STPA	Service technique des programmes aéronautiques
STPA/CIN	Service technique des programmes aéronautiques - Circuits intégration
STPA/Ma	Service technique des programmes aéronautiques - Matériaux
STSMT	Service technique des systèmes de missiles tactiques
STTA	Service technique des télécommunications de l'Air
STTE	Service technique des télécommunications et des équipements aéronautiques
TDS	Tir à distance de sécurité
TEA	<i>Trans European Airways</i>
TEFSTA	Technicien d'études et de fabrication des services techniques de l'aéronautique
TI	Texas Instruments
TRT	Télécommunications radioélectriques et téléphoniques
TSS	Transport supersonique
TV	Télévision
TWA	<i>Trans World Airlines</i>
UAL	<i>United Airlines</i>
URSS	Union des républiques socialistes soviétiques
USAF	<i>US Air Force</i>
VFW	<i>Vereinigte Flugtechnische Werke</i>
VLCT	<i>Very Large Commercial Transport</i>
YAG	Lasers à grenat d'Yttrium-Aluminium

Imprimé par DGA/ECS/MG REPRO
1^{er} tirage 06.2003
3^e tirage 07.2004