

SOMMAIRE

PRÉFACE	5
AVANT-PROPOS.....	9
De 1945 à 1958 : La création de l'industrie missilière	13
CHAPITRE 1 INTRODUCTION À LA PÉRIODE 1945-1958	15
La situation en 1945 : La France	15
La situation en 1945 : L'Allemagne.....	15
La situation en 1945 : Les États-Unis et la Grande-Bretagne.....	17
Les informations dont a disposé la France sur les travaux étrangers (1945-1958).....	17
CHAPITRE 2 LES ACTEURS : LES SERVICES OFFICIELS	19
La DTIA (Direction technique et industrielle de l'aéronautique)	19
Les états-majors	27
Les organismes interarmées	28
L'activité résumée des deux autres directions techniques.....	31
CHAPITRE 3 LES ACTEURS : L'INDUSTRIE	35
Les missiliers	35
Le « roman » des autodirecteurs optiques (spectre visible)	40
Les équipements infrarouges	41
Les équipements électromagnétiques	43
Les calculateurs sol de guidage	44
Les équipements de pilotage.....	45
La propulsion et les charges.....	46
L'alimentation électrique.....	48
CHAPITRE 4 LES PROGRAMMES.....	49
Les missiles antichars téléguidés manuellement.....	49
Les missiles air-air	51
Les missiles sol-air	57
Les missiles sol-sol d'artillerie	62
Les cibles aériennes.....	64
CHAPITRE 5 CONCLUSIONS SUR LA PREMIÈRE PÉRIODE.....	67
La situation des programmes après la directive du 4 août 1958.....	67
L'évolution des besoins des armées.....	67
L'évolution des solutions techniques	68
Évaluation des dépenses de cette période.....	68
Bilan en 1958, pour les activités dirigées par la DTIA	69

De 1959 à 1979 : la maturité.....	87
CHAPITRE 6 INTRODUCTION À LA PÉRIODE 1959-1979	89
1959-1970 : L'accession à la maturité et la coopération internationale	89
1971-1979 : La réorganisation de la DMA pour les missiles et la compétition internationale	91
CHAPITRE 7 LES ACTEURS OFFICIELS ET LEURS POLITIQUES	93
La DTIA et le STAé /ES, 1959-1970	93
La DTEN et le STET, 1970-1979	105
L'activité résumée des deux autres directions techniques.....	111
Les centres de tirs des missiles.....	114
CHAPITRE 8 LES ACTEURS : L'INDUSTRIE	117
Les missiliers	117
Les systémiers.....	122
Les équipements optroniques	123
Les équipements électromagnétiques	126
Les équipements « électromécaniques » : pilotage et guidage	132
La propulsion et les charges.....	133
L'alimentation électrique.....	135
CHAPITRE 9 LES PROGRAMMES.....	137
Les missiles antichars	137
Les missiles air-sol télépilotés	140
Les missiles air-air de la deuxième génération.....	142
Les missiles air-air de la troisième génération.....	146
Les missiles air-sol autoguidés.....	151
Les missiles antinavires.....	155
Les missiles sol-air	161
Les missiles de reconnaissance et les drones.....	165
Les cibles aériennes.....	169
CHAPITRE 10 CONCLUSIONS SUR LA DEUXIEME PERIODE.....	171
Bilan de l'armement en missiles tactiques des armées françaises en 1980	171
Positionnement international des missiles français	172
Bilan industriel	173
Budget consacré par la France aux missiles tactiques.....	173
De 1980 à 1995 : Les missiles intelligents.....	195
CHAPITRE 11 INTRODUCTION A LA TROISIEME PERIODE	
LES EVOLUTIONS TECHNOLOGIQUES ET OPERATIONELLES	197
Les principales évolutions technologiques	198
L'évolution des besoins opérationnels et les leçons tirées des conflits (guerre du Golfe, 1991, Bosnie, 1995)	199

CHAPITRE 12 LES ACTEURS : LES SERVICES OFFICIELS	205
La responsabilité et l'activité de la DTEN et du STET	205
La coopération tripartite	209
La coopération transatlantique	210
Les programmes nationaux, avec leurs compétitions nationales.....	213
La coopération franco-allemande	221
La coopération franco-italienne	225
Les coopérations en gestation avec les Britanniques.....	226
Les personnes qui ont marqué cette période	228
CHAPITRE 13 LES ACTEURS : L'INDUSTRIE	229
Les missiles	229
Les équipements optroniques	239
Les équipements électromagnétiques	242
Les équipements « électromécaniques » : pilotage et guidage	244
La propulsion et les charges.....	246
CHAPITRE 14 LES PROGRAMMES.....	249
Les missiles antichars de troisième génération	249
Les missiles air-air de quatrième génération	252
L'évolution des missiles air-sol TDS : les missiles de croisière	257
Les missiles antinavires.....	260
Les systèmes de missiles sol-air	261
Les drones.....	268
CHAPITRE 15 CONCLUSIONS SUR LA TROISIÈME PÉRIODE.....	273
Bilan de l'armement en missiles tactiques des armées françaises en 1995	273
Le positionnement international des missiles français.....	274
Le bilan industriel.....	275
Épilogue (situation en 2000).....
VERS L'EUROPÉANISATION DES MISSILES.....	291
Annexes.....	295
ANNEXE 1 NOTIONS SUR LES PRIX DES MISSILES.....	297
Part du budget consacrée aux missiles	297
Prix de quelques missiles (et quelques coûts de développement)	299
ANNEXE 2 LES PRINCIPAUX PIONNIERS ET RESPONSABLES.....	307
ANNEXE 3 QUELQUES NOTIONS TECHNIQUES.....	311
Composition d'un système d'arme.....	311
Composition d'un missile.....	311

Le guidage.....	315
Principales performances du missile	323
ANNEXE 4 BIBLIOGRAPHIE	325
INDEX DES NOMS DES ORGANISMES ET DES MISSILES	329
PRINCIPAUX SIGLES UTILISES	331

PRÉFACE

Émile Blanc, fort judicieusement, a confié à René Carpentier la rédaction de l'ouvrage consacré aux missiles tactiques, pour lesquels il a œuvré toute sa carrière. Né en 1931, il n'a pas vécu les espoirs et les joies de ceux qui, à partir de 1945, ont promu les engins spéciaux. Peu d'années après, devenu ingénieur et affecté à la section du STAé (Service technique de l'aéronautique) qui s'occupait de ces matériels, il a côtoyé tous les pionniers, qu'ils soient dans les services, les établissements ou l'industrie. La seconde partie de sa carrière s'est déroulée dans l'industrie. Le texte qu'il a rédigé montre combien il domine son sujet, dont il connaît tous les aspects. Pour chaque période, il indique le point de vue des services et celui de l'industrie, les progrès réalisés grâce aux équipementiers et aux fournisseurs, une vue d'ensemble sur ce qui se passe en France ou à l'étranger.

D'où nous viennent les engins spéciaux ? Très souvent, on mentionne uniquement le rôle de l'Allemagne. On cite les propos d'Hitler et de son entourage qui, à partir de 1942-1943, prétendaient que, grâce aux armes nouvelles conçues par les savants allemands et devenues alors opérationnelles, la victoire leur était assurée. De fait, les engins firent si grande impression sur les Alliés qu'à partir de 1945, ceux-ci se lancèrent dans la chasse aux savants allemands pour s'assurer leurs services.

Mais que s'était-il passé avant la Seconde Guerre mondiale ? À partir de la fin du XIX^e siècle et pendant le début du XX^e, d'énormes progrès ont été faits, sur le matériel d'artillerie aussi bien en ce qui concerne les projectiles, la portée, la précision ou la rapidité des tirs. Les fusées mises en œuvre par les fuséens semblaient complètement dépassées. Les travaux effectués au début du XX^e siècle par des ingénieurs comme Robert Esnault-Pelterie sont plus le fruit d'une réflexion sur les possibilités de véhicules propulsés par fusée dans l'espace qu'une recherche pour perfectionner les fusées existantes, car la technologie disponible à leur époque ne permettait pas de le faire.

Les historiens nous disent que pendant cinq siècles, cependant, des fusées furent utilisées dans telle ou telle bataille. Il serait fastidieux d'essayer d'en dresser une liste exhaustive. Le dernier exemple est le siège de Paris, en 1871 (cf. figure 1). Parmi les premiers, on peut citer le siège d'Orléans en 1429 par Jeanne d'Arc. Lors de son procès, ses compagnons d'armes, comme Dunois, rapportent qu'elle était très habile dans leur emploi. En son temps, les canons existaient déjà. Les premiers modèles avaient été réalisés en 1377 par Berthold Schwartz pour le compte des Vénitiens. Des progrès sur la poudre avaient été réalisés à la fin du siècle précédent par de grands savants et philosophes, comme Albert le Grand (1193-1280) et Roger Bacon (1214-1291). Les fusées en avaient sans doute bénéficié, tout comme les veuglaires, ancêtres du canon. On cite leur utilisation dès 1379 dans la bataille de Chioggia, sur l'Adriatique. Un autre progrès décisif fut la fusée à baguettes, stabilisée sur sa trajectoire par des baguettes fixées sur le corps du propulseur et le prolongeant vers l'arrière. On cite l'emploi

de ces armes, fusées et veuglaires, lors de la bataille de Crécy (1346) par les Anglais ; mais elles se révélèrent d'une faible efficacité comparée à celle des arbalètes, qui fut une des causes de leur victoire.

Plusieurs raisons incitent à penser que les fusées n'existaient pas avant le XIV^e siècle. C'est à cette époque que les feux d'artifice, connus en Chine depuis deux siècles, pénètrent en Europe. Or ils posent des problèmes identiques à ceux des fusées – et en donnent la solution. C'est tout d'abord l'invention de la poudre propulsive pour en assurer le lancement, grâce à une autre invention : la propulsion à réaction. Mais il faut aussi savoir résoudre les problèmes d'allumage, de lancement et d'un minimum de guidage. Les charges utiles posent les mêmes problèmes : mise à feu, additifs pour obtenir les colorations, dans le cas du feu d'artifice, ou une bonne efficacité, dans le cas de l'engin militaire, qui était souvent incendiaire. Enfin, on peut ajouter que c'est à cette époque qu'apparaît dans la langue française le mot « fusée », qui désigne aussi bien les engins militaires que les feux d'artifice.

Par ailleurs, on peut noter que, pour les périodes antérieures au XIV^e siècle, les historiens ne décrivent que deux sortes d'armes de jet : l'arc, connu depuis la plus haute antiquité, et l'arbalète, inventée au Moyen Âge et dont l'efficacité était redoutable : ses flèches, tirées à plus grande distance, avaient une meilleure pénétration ; les récits de la bataille de Crécy sont très évocateurs à ce sujet. Pour des projectiles plus lourds, utilisables contre des remparts par exemple, avait été inventée au IV^e siècle avant Jésus-Christ la catapulte ; ce qui est remarquable, c'est qu'elle était encore utilisée au XVI^e siècle, par exemple au siège de Rhodes (1522) par Soliman, alors que les canons existaient depuis près de deux siècles.

Comme les fusées ne peuvent exister sans la poudre, il serait intéressant de savoir quand celle-ci a été inventée. Là règne une grande incertitude. On sait qu'elle existait au XIII^e siècle. Avant, on note que des mélanges comprenant un comburant, le salpêtre, et un combustible ont été utilisés, mais comme engins incendiaires uniquement, semble-t-il. C'est le cas des feux grégeois, dont le secret de fabrication a été révélé à Byzance par un certain Callinius d'Héliopolis, en 678 – il le détenait des Arabes.

Telle est, résumée brièvement, la situation en Europe. Elle contraste singulièrement avec celle existant en Extrême-Orient. L'invention de la poudre et de son utilisation pour propulser des fusées est fixée par les historiens en Chine et en 980. Les premières fusées étaient constituées par une tige de bambou évidée pour contenir la poudre, armée à son extrémité d'une pointe de flèche et empennée comme une flèche. Elles étaient tirées à partir d'un châssis en bois, qui assurait leur orientation et permettait le lancement d'une salve, reproduisant ainsi l'action des archers lançant leurs flèches ensemble vers un même objectif pour être plus sûrs de l'atteindre. C'est vers la même époque que les Chinois inventèrent aussi les canons.

Ils surent garder secrète la composition de la poudre pendant deux siècles. Au XIII^e siècle, les Mongols, conduits par Gengis Khan et ses successeurs, conquièrent progressivement les différentes régions de la Chine et y fondent la dynastie des Yuan. Celle-ci non seulement s'ouvre aux étrangers, accueillant les envoyés du pape ou de saint Louis et des commerçants comme Marco Polo, mais elle n'hésite pas à diffuser les technologies qui avaient donné à la dynastie

précédente des Song tout son éclat, aussi bien dans l'art des soieries et des porcelaines que dans beaucoup d'autres domaines. Ainsi s'explique le fait que l'Europe put combler son retard au XIV^e siècle.

Le texte de René Carpentier nous décrit les cinquante dernières années d'un matériel qui existe depuis au moins cinq siècles. Mais, alors qu'il a peu évolué auparavant, cette dernière période a permis aux fusées, devenues engins spéciaux, puis missiles, de faire de gigantesques progrès. Il est passionnant de voir ce que les percées technologiques dans tous les secteurs peuvent apporter. Arrêtés au siècle dernier dans leur développement par les canons, les missiles les remplacent aujourd'hui dans certains domaines : antichar ou défense contre avions. Quelle belle histoire !

Paris, le 20 janvier 2003

L'ingénieur général Jean Soissons
ancien directeur des constructions aéronautiques

AVANT-PROPOS

Nous utiliserons soit le terme « missile tactique », soit le seul terme « missile », lorsqu'il n'y a pas de risque de confusion.

En 1945, c'est l'appellation « engins spéciaux » qui a été utilisée pour désigner les armes autopropulsées et guidées, ainsi que la section du Service technique aéronautique (STAé) responsable de ces armements. C'est la même appellation qui a été retenue, dans les années 1950, par le STCAN (Service technique des constructions et armes navales) pour désigner son groupe. Ce terme n'était pas « beau » et n'était pas compréhensible par les interlocuteurs. Aux États-Unis et en Grande-Bretagne, l'appellation *guided weapons* fut la première utilisée, mais l'appellation « missile » fut rapidement employée (ce nom a une origine latine). En 1967, lors d'une réorganisation au STAé, le terme « missile » remplaça le terme « engins spéciaux » pour désigner la Section.

Lors de la fusion, en 1970, des différents services responsables de missiles tactiques au sein de la Direction technique des engins (DTEN), le terme « engin » fut à nouveau utilisé ; le nom du service responsable fut « Service technique des engins tactiques ». Mais le qualificatif « spécial » disparaissait au profit de la différenciation entre « stratégique » et « tactique ».

Le dictionnaire des mots recommandés, suivant un arrêté de 1976, indiquait le terme « missile » : le terme « engin » devenait obsolète. Mais il fallut attendre le décret du 5 octobre 1989 pour qu'en France, « missile » soit totalement substitué à « engin » ; la dénomination de la DTEN fut alors modifiée en Direction des missiles et de l'espace (DME).

Le présent document ne concerne que les missiles tactiques.

La distinction entre missiles stratégiques et missiles tactiques est fondée, depuis la fin des années 1980, sur la différence de mission ; si les missiles stratégiques sont équipés d'une charge nucléaire, les missiles tactiques sont équipés d'une charge conventionnelle. L'appellation de « missile préstratégique » est employée pour désigner des missiles équipés d'une charge nucléaire et dont la mission peut être considérée comme tactique ; en France, c'est le cas du Pluton, d'Hadès et de l'ASMP (air-sol moyenne portée), ce dernier étant un missile aérodynamique équipé d'un statoréacteur. Nous ne ferons pas l'histoire de ces missiles pré-stratégiques, mais nous citerons l'ASMP, qui, sur de nombreux aspects, est proche d'un missile tactique.

L'objet de ce document est l'histoire, d'une part des missiles développés sous la responsabilité de la DTIA (Direction technique et industrielle de l'aéronautique) et de la DTCA (Direction technique des constructions aéronautiques), d'autre part des missiles développés, après 1970, sous la responsabilité de la DTEN. Mais nous citerons les missiles développés sous la responsabilité des autres directions, de manière à avoir une vue globale. Nous présenterons aussi les missiles étrangers concurrents, de manière à mieux cerner la place internationale des missiles français.

Ce document doit être considéré comme une contribution à l'histoire des missiles tactiques. Le plan choisi comporte un découpage des cinquante années couvertes, de 1945 à 1995, en trois périodes et, pour chaque période, un exposé des acteurs et un exposé des programmes. Il en résulte malheureusement quelques redites. Nous nous en excusons auprès des lecteurs.

La rédaction de ce document a tenu compte, en plus de nos propres souvenirs sur les faits survenus après 1956, des informations et des observations fournies par les pionniers des missiles : l'ICA Michel Decker (†), qui a accepté d'apporter son témoignage sur la première période ; l'IGA Maurice Brunet, qui nous a fourni des informations peu connues sur les missiles navals ; l'IGA Jean Soissons, qui a bien voulu commenter les deux premiers chapitres ; M. Léon Beaussart et M. Jean Guillot, sur les missiles Nord-Aviation ; M. Yves Hebel et M. Jean Paolorsi, sur les missiles Matra ; M. Jean Climaud sur ESD (Électronique Serge Dassault) ; M. Jean Turck sur l'infrarouge (qui nous a également fourni une copie de l'affiche reproduite en figure 1).

D'autres « acteurs » ont collaboré à ce travail : M. Jacques Amann, qui, avec son long passé de missilier, nous a fourni d'importantes informations, en particulier sur les missiles étrangers ; l'IGA Marcel Bénichou, sur les budgets ; l'IGA Jean Carpentier, sur l'ONERA (Office national d'études et de recherches aéronautiques) ; l'IGA Esmenjaud, sur le rôle du STAé/AR (armement) durant la première période ; M. Philippe Jung (historien et non acteur), sur l'histoire des missiles SNCASE (Société nationale de constructions aéronautiques du Sud-Est) ; l'IGA Bernard Laurent, qui nous a donné son avis sur la période de 1975 à 1995, en tant qu'ancien responsable à la DTEN ; l'ICA Jacques Mijonnet, sur ESD ; l'ICA Jean-Claude Renaut, sur le R 422 et le guidage inertiel ; l'ICA Philippe Turpin, sur Matra.

Nous avons aussi tenu compte des archives du Service historique de l'armée de l'Air (SHAA), surtout pour la première période, et utilisé différentes publications, en particulier celles éditées par le Comité pour l'histoire de l'armement terrestre à propos des missiles¹. On pourra également se référer à la bibliographie placée en fin d'ouvrage.

Nous remercions toutes ces personnes de leur coopération.

Nous remercions l'IGA Jean Soissons, qui fut notre directeur, d'avoir bien voulu rédiger la préface ; elle complète notre texte en indiquant l'origine lointaine des missiles et elle montre sa culture historique.

En outre, nous remercions pour leur amabilité le personnel du SHAA pour la recherche d'archives et celui de l'ECPAD (Établissement de communication et de production audiovisuelle de la défense) et des services des médias de la société MBDA (anciennes sociétés Aérospatiale missiles et Matra) pour la recherche et la mise à disposition de nombreuses illustrations.

¹ Comité pour l'histoire de l'armement terrestre, *Armements antichars*, par M. Stauff (†), puis par MM. Guillot et Dubernet (tome 10), 2002, et *Systèmes de missiles sol-air*, par l'ingénieur général Collet-Billon (†) puis l'ingénieur général Bienvenu (tome 11), 2002. Ces publications sont disponibles auprès du Département d'histoire de l'armement.

Nous exprimons notre gratitude à Claire Lemerrier et Patrice Bret, responsables scientifiques successifs du Département d'histoire de l'armement, qui ont mis en forme le manuscrit, et à Françoise Perrot, qui nous a assisté pour l'édition.

Nous avons pris le risque de citer les principaux « acteurs », à notre connaissance ; la liste ne pouvait être que limitative, et nous avons tenu compte de l'avis de ceux qui ont participé à la rédaction ; des « acteurs » ont été oubliés : nous nous excusons.

**De 1945 à 1958 :
La création de l'industrie missilière**

CHAPITRE 1

INTRODUCTION À LA PÉRIODE 1945-1958

LA SITUATION EN 1945 : LA FRANCE

Il n'y avait, avant la guerre, aucune structure officielle de recherche et aucun industriel s'intéressant aux missiles et aux fusées¹. Il y avait eu en revanche des études théoriques et quelques expériences de laboratoire, par exemple celles d'Esnault-Pelterie et de Camille Rougeron sur les fusées. Cette situation était très différente de celle des avions.

LA SITUATION EN 1945 : L'ALLEMAGNE²

Dès 1929, ce pays s'était intéressé aux fusées, le traité de paix lui interdisant de s'équiper d'une artillerie à longue portée. En 1932, le laboratoire de Kummersdorf avait été créé, sous la direction du professeur von Braun : c'est là que le développement du V 2 avait commencé. Le développement des autres missiles a suivi au début de 1940 – celui des V 1 en 1942, après le bombardement des cités allemandes, pour que les Alliés y renoncent : « V » comme *Vergeltung*, c'est-à-dire « représailles ».

À la fin de la guerre, deux types de missiles, destinés au bombardement de zone, avaient été mis en service. À partir du 13 juin 1944, 3 000 V 1 (premier missile tactique) sont tirés sur Anvers et 8 000 sur Londres. Parmi ces derniers, 2 400 auraient réussi leur mission, 2 000 et 3 600 auraient été respectivement perdus ou détruits (par chasseur, par DCA ou par filet).

Le V 1 est un avion robot subsonique, avec une propulsion par pulsoréacteur, une charge de 1 000 kg, un guidage sur cap par compas, une stabilisation entre 300 et 1 500 m d'altitude par capsule barométrique et une hélice, faisant office de compte-tours, pour la détermination approximative de la distance parcourue et, en conséquence, du déclenchement du piqué.

À partir du 8 septembre 1944, 3 165 V 2 (premier missile balistique opérationnel) sont tirés sur Londres et sur des villes belges. Entre le 8 septembre et le 5 octobre 1944, 17 V 2 sont tirés sur la région parisienne, dont un sur Châtillon.

¹ Il y avait eu un centre de recherche de 1810 à 1872, à Vincennes, puis à l'École centrale de pyrotechnie militaire de Metz, transférée à Bourges en 1870, ainsi que des batteries de « fuséens » à partir de 1842. La Commune recruta également des « fuséens », comme en témoigne l'affiche fournie par M. Jean Turck (figure 1).

² D'après *History of German Guided Missiles Development*, AGARD, 1^{er} séminaire sur les missiles à Munich (avril 1956), 1957.

De plus, dès 1943, deux types de bombes air-surface téléguidées avaient été utilisés opérationnellement avec succès : la Fritz X 1400, ou FX, et la Hs 293 (cf. figure 2). La première cible détruite fut l'escorteur britannique *Egret*. Moins de deux semaines plus tard, le cuirassé italien *Roma*, de 35 000 tonnes, fuyant vers l'Angleterre, fut coulé par une seule FX ayant pénétré par la cheminée³. L'efficacité globale de ces bombes a été évaluée à 40 %.

La FX était un engin planant de configuration aérodynamique classique et cruciforme de 1 400 kg, avec une portée de 4 à 7 km suivant l'altitude de largage et une stabilisation gyroscopique. La Hs 293 avait la configuration avion et était équipée d'un accélérateur et d'une bombe de 500 kg accrochée sous le planeur. Les deux bombes étaient téléguidées en tangage et en lacet par le pilote de l'avion tireur (avec une télécommande radio : une liaison filaire fut développée, mais non utilisée) et stabilisées en roulis. L'équipement de la Hs 293 avec une caméra de télévision – pesant 100 kg – était étudié. Dès 1944, le brouillage de la télécommande limita leurs succès⁴.

Le développement de nombreux autres missiles téléguidés était en cours :

- quatre programmes sol-air subsoniques (l'Enzian de 1 500 kg et le Schmetterling de 450 kg) ou supersoniques (le Wasserfall de 3 500 kg, dérivé du V 2, et le Rheintochter de 1 750 kg) avec une propulsion à liquides ont été répertoriés. Leur guidage en alignement était fondé sur un ensemble de deux localisateurs sol avec détection optique ou électromagnétique (cette dernière n'était qu'à l'étude), l'un pour la cible et l'autre pour le missile. Les positions étaient recopiées sur un écran cathodique pour la détermination par le tireur, à l'aide d'un petit manche, de l'ordre de guidage, ce dernier étant transmis au missile par télécommande. Malgré les charges militaires prévues, de masse importante (de 160 à 300 kg), un autoguidage final était apparu nécessaire.
- deux programmes air-air, plus simples, sont mieux connus : le Hs 298 (un autoguidage en poursuite, à l'aide d'un autodirecteur infrarouge à champ fixe et accroché au départ du missile, était étudié) et le X 4 (masse de 50 kg ; propulsion à liquides ; télécommande avec liaison filaire, les deux fils, de 5 km de longueur, étant bobinés en extrémité d'ailes ; deux traceurs pyrotechniques étaient placés sur les deux autres ailes). La fabrication en série du X 4 commença en avril 1945 et des exemplaires furent récupérés par la France.
- un programme d'antichars, X 7, était au stade de la maquette. Il s'agissait d'un petit missile de 9 kg environ, dérivé du X 4. Le type de propulsion est inconnu de l'auteur.

Les missiles FX (dits aussi X 1), X 4 et X 7 ont été conçus par le Dr. Kramer, qui cherchait à réaliser des missiles simples ; ils étaient cruciformes (sauf le monoplan X 7), équipés pour le pilotage de *spoilers* aérodynamiques et téléguidés. Le premier était stabilisé en roulis, avec beaucoup d'oscillations, et les deux autres étaient en auto-rotation.

³ Contre-amiral Bernard ESTIVAL, *Les missiles navals*, Larivière, 1990.

⁴ Brouillage conçu par M. Jean Turck pour les Forces navales de la France Libre (voir chapitre 3, équipements infrarouges).

Dans le domaine des missiles, les Allemands avaient réalisé des progrès importants dans la mise au point de la propulsion à liquides, pour une utilisation sans stockage, et dans la connaissance de l'aérodynamique supersonique expérimentale. Ils avaient imaginé le boulon explosif pour les éjections. En revanche, ils n'avaient qu'abordé la mise au point d'équipements gyroscopiques, d'un détecteur infrarouge d'avions (avec mise au point de la cellule au sulfure de plomb et de modulateurs mécaniques) et de fusées de proximité (stade de la maquette).

Ainsi les Allemands avaient-ils fait preuve d'imagination et d'efficacité industrielle et opérationnelle ; ils avaient acquis, dans un délai réduit, deux techniques de base des missiles tactiques, l'aérodynamique et la propulsion. Mais ils ne pouvaient pas aboutir à la réalisation de missiles autoguidés, car ils ne possédaient pas les deux autres techniques indispensables – les asservissements et la détection hyperfréquence –, sans parler des difficultés dues au niveau de la technologie existante des composants électroniques.

LA SITUATION EN 1945 : LES ÉTATS-UNIS ET LA GRANDE-BRETAGNE

Les Américains ne commencèrent à s'intéresser aux missiles que pendant la guerre. Ils réalisèrent aussi des bombes téléguidées. En outre, ils ont été capables de produire la première bombe planante Bat (« chauve-souris ») autoguidée, à l'aide d'un autodirecteur radar pesant 100 kg : elle fut tirée en 1945 contre des navires japonais.

Enfin, ils avaient alors de l'avance en ce qui concerne les techniques ou les technologies de base des missiles, comme l'automatisme, les radars et la conception de systèmes. Mais les développements des premiers systèmes de missiles datent de 1945 et furent concrétisés par des systèmes mis en service au milieu des années 1950, comme le Nike Ajax, dérivé du missile allemand Wasserfall.

Quant à la Grande-Bretagne, elle avait mis toute son énergie dans la défense de son territoire et était en avance en matière de radars ; des travaux sur les missiles n'y ont commencé qu'après la guerre.

LES INFORMATIONS DONT A DISPOSE LA FRANCE SUR LES TRAVAUX ÉTRANGERS (1945-1958)

C'est par la connaissance des travaux allemands et le transfert en France de techniciens allemands que les études françaises de missiles tactiques démarrèrent dès 1946.

L'Arsenal de l'aéronautique reçut une équipe d'environ quinze spécialistes (aérodynamique, propulsion à propergols liquides, V 1...). En revanche, ils n'étaient que quelques-uns chez Matra et à la SNCASE et leur rôle y fut peu important. La plupart de ces spécialistes regagnèrent leur pays à la fin des années 1950.

Dans le domaine des missiles de la DEFA (Direction des études et fabrications d'armement, armée de Terre), deux groupes importants furent transférés : l'un au

LRBA (Laboratoire de recherches balistiques et aérodynamiques), particulièrement pour les fusées et les gyroscopes, et l'autre, dirigé par le professeur Schardin, au Laboratoire de recherches de Saint-Louis, créé à cette occasion près de la frontière franco-allemande.

La DCCAN (Direction centrale des constructions et armes navales) transféra à l'arsenal de Brest l'usine allemande de fabrication des bombes FX et plusieurs spécialistes ; quelques bombes furent réalisées et expérimentées⁵.

Aux États-Unis, les études et les développements de missiles furent très classifiés⁶ et c'est seulement en 1957 que les Américains révélèrent aux Français l'état d'avancement de leurs travaux et que des échanges furent amorcés. À cette date, les premières productions des missiles air-air Sidewinder et sol-air Hawk commençaient et les Américains désiraient équiper l'OTAN avec leurs missiles. En 1957, la Marine américaine proposa d'offrir l'équipement en missiles surface-air de plusieurs navires français. Il est possible que certaines informations limitées aient été révélées auparavant à des responsables français, mais elles ne furent pas diffusées.

Grâce à l'envoi par la DTIA d'ingénieurs de l'Air pour étudier dans les universités américaines, l'une des deux nouvelles techniques de base des missiles, l'automatisme, put en revanche être enseignée à l'ENSA (École nationale supérieure de l'aéronautique) dès 1951 par l'équipe des IA Gille, Decaulne et Pélegrin.

Enfin, à partir de 1958, les échanges furent plus intensifs, d'une part avec des discussions sur les conditions de production du Hawk en France et d'acquisition de missiles navals, d'autre part avec des visites des organismes américains et des contrats bilatéraux d'échange. De même, en 1957, des accords bilatéraux furent conclus avec la Grande-Bretagne. Ces événements expliquent la date, 1958, choisie pour la fin de cette première période.

⁵ Information transmise par l'IGA (M) Maurice Brunet.

⁶ Les connaissances non classifiées connues alors peuvent être retrouvées dans Eric BURGESS, *Guided Weapons*, The Macmillan Company, 1957.

CHAPITRE 2

LES ACTEURS : LES SERVICES OFFICIELS

LA DTIA (DIRECTION TECHNIQUE ET INDUSTRIELLE DE L'AERONAUTIQUE)

Dès 1946, un ensemble de programmes fut lancé, avec à la fois la perspective ambitieuse de constituer des équipes de pointe pour rattraper le retard français et le souci de limiter les dépenses. Si l'initiative provenait du STAé, le Directeur technique, l'IGA Suffrin-Hébert, la soutint courageusement.

Le domaine de responsabilité assumé par la DTIA, durant cette période, était large. Il comprenait logiquement les programmes de missiles aéroportés, destinés à l'armée de l'Air et à l'Aéronavale, et les systèmes sol-air pour la défense aérienne du territoire, dont l'armée de l'Air avait la charge organique. Mais, ayant la tutelle de l'industrie aéronautique, la DTIA a en réalité assumé la responsabilité de tous les missiles qui y ont été développés : les cibles aériennes, les missiles sol-sol et surtout les missiles antichars destinés à l'armée de Terre.

Les études de ces derniers et des sol-air étaient en « concurrence » avec celles effectuées par la DEFA dans ses arsenaux. La DTIA avait jugé qu'un « engin guidé » était du domaine de l'industrie aéronautique. Mais la DEFA pensait qu'un « projectile autopropulsé », même guidé contre un avion (nom donné au PARCA, projectile autopropulsé radioguidé contre avions, par le LRBA), faisait partie de son domaine, suivant la loi fondamentale, toujours en vigueur, du 3 juillet 1935, qui attribuait à cette direction la responsabilité de l'armement terrestre.

Le STAé/ES (Service technique de l'aéronautique, Section des engins spéciaux)

C'est cette section qui fut le moteur de ces activités naissantes. Elle fut créée en août 1945 par le directeur du STAé, l'IGA du Merle, qui s'est beaucoup intéressé aux missiles. Il y affecta l'ICA Michel Decker, qui, de septembre 1944 à mars 1945, avait participé aux activités d'un service *ad hoc*, le SCIT (Service central d'information technique), dont la mission était de pister, à la suite des armées, les découvertes faites en Allemagne et en Autriche. L'ICA Decker fut le chef de la Section du début de 1947 à 1954 et il remplit parfaitement sa mission, grâce à son esprit très ouvert.

Dans un premier temps, après l'exploitation des travaux allemands, il fallait d'une part établir un programme général d'études et de réalisations et, d'autre part, intéresser des industriels désireux de s'investir dans une activité innovante (celle qui concernait les missiles et leurs équipements), mais pas trop « bricoleurs ». S'y ajoutaient éventuellement des universitaires, pour les domaines nouveaux, comme l'infrarouge et le calcul scientifique.

Un travail de réflexion en équipe, sous la direction de l'ICA Decker, fut mené au premier semestre 1946. Il aboutit à la mise au point, en accord avec l'état-major

de l'armée de l'Air, d'un programme général, édité le 1^{er} juillet 1946¹. Ce programme fut approuvé par le ministre et il reçut l'accord du Comité d'action scientifique de défense nationale (CASDN), qui était chargé de la coordination des études des engins. Il fut diffusé aux états-majors et aux industriels concernés.

Les idées directrices étaient les suivantes² :

- asseoir aussi rapidement que possible une technique française des engins spéciaux. L'exploitation de la documentation étrangère devait permettre de donner à cette technique un fondement assez sérieux pour que, la pratique aéronautique aidant, des réalisations utiles puissent être entreprises sans nécessiter de recherches scientifiques ni d'études générales nouvelles ;
- donner aux utilisateurs la possibilité de se livrer rapidement à des expérimentations tactiques, en vue de la préparation de leurs programmes d'utilisation ;
- déterminer d'une manière rationnelle un programme de recherches à plus long terme, en vue de préparer des études ultérieures plus évoluées.

L'originalité de ce catalogue de thèmes de programmes était d'une part de ne pas reconstituer les missiles allemands – comme cela avait été la première décision des deux autres directions techniques³, intention du reste rapidement abandonnée –, d'autre part de prévoir une gradation vers l'objectif opérationnel envisagé. En outre, ce catalogue introduisait une classification des programmes, avec un principe de numérotation : le sigle des programmes de missiles du STAé comporte deux lettres définissant le type (par exemple AA pour air-air), suivies de deux chiffres définissant la génération, en partant de 10. Ces principes furent respectés par le STAé jusqu'en 1965.

Ces thèmes de programmes et, pour chaque programme, les industriels impliqués sont les suivants :

Pour les missiles air-air (AA), lancés d'avion et destinés à l'attaque d'objectifs aériens :

- programme AA 10 : missile expérimental utilisant la technique du X 4 allemand, donc subsonique. Arsenal de l'aéronautique (Ars 5101) ;
- programme AA 20 : la vitesse de ce missile devait être aussi élevée que possible, pour pouvoir intercepter efficacement les avions ou engins spéciaux ennemis (probablement de type V 1). Le type de guidage envisagé était le téléguidage et, ultérieurement, l'autoguidage. Arsenal de l'aéronautique (Ars 5103) et Matra (R 511).

Pour les missiles sol-air (SA), lancés du sol et destinés à l'attaque d'objectifs aériens :

- programme SA 10 : missile expérimental, avec des performances modestes, susceptibles de donner lieu à des réalisations relativement rapides et

¹ Ce document, ainsi que l'état, au 31 juillet 1952, des études menées sur les engins spéciaux par la DTIA, font partie de la note DTI/T n° 1659 du 22 octobre 1952 transmise au ministre de la Défense nationale, conservée au SHAA (carton E 7431).

² Rapport DTIA/STAé/ES du 13 mars 1950 de l'ICA Decker (SHAA, carton E 7431).

³ La DEFA, surtout intéressée par les fusées, a commencé à reconstituer une trentaine de V 2, mais, en novembre 1947, le chef d'état-major de l'armée de Terre décida d'abandonner l'étude de missiles stratégiques. La DCCAN a reproduit des bombes téléguidées FX.

permettant, sur un cas concret, d'examiner les problèmes relatifs à ce type de missile. Altitude de l'objectif comprise entre 5 000 et 10 000 m. Téléguidage pour le début du vol, suivi d'un autoguidage. SNCAC, puis SNCASE (SE 4100) ;

- programme SA 20 : missile d'interception de l'aviation de bombardement en vol horizontal, subsonique et à grande altitude (jusqu'à 15 000 m). Matra (R 422) et SNCASE (SE 4400) ;
- programme SA 30 : missile d'interception de l'aviation de bombardement d'assaut et des engins air-sol. Altitude maximale de 4 000 m. Ce programme n'a pas fait l'objet d'études dans cette première période.

Pour les missiles air-sol (AS), lancés d'avion et destinés à l'attaque d'objectifs au sol (à terre ou à la mer) :

- programme AS 10 : missile d'une portée de 50 km, pour un lancement à 5 000 m d'altitude. Charge de 1 000 kg. Ce programme, trop ambitieux pour l'époque, n'eut pas de suite.

Pour les missiles sol-sol (SS), lancés du sol et destinés à l'attaque d'objectifs au sol :

- programme SS 10 : missile destiné à l'attaque d'objectifs tactiques, comme les chars et les péniches de débarquement. Téléguidage. Portée de 2 km. Arsenal de l'aéronautique (Ars 5201 ou SS 10) ;
- programmes SS 20 et SS 30 : missiles destinés à l'attaque d'objectifs stratégiques, avec une portée indicative de 1 000 km et 7 000 km respectivement. Les études commencèrent à la fin des années 1950 ;
- programme SS 40 : missile d'une portée indicative de 30 km, destiné à la destruction d'objectifs tactiques de petites dimensions. Charge de 100 kg. SNCAC puis SNCASE (SE 4200 et SE 4500).

Pour les missiles lancés du sol et récupérables (CT : cible téléguidée) :

- programme CT 10 : cible aérienne téléguidée. Vitesse maximale de 400 km/h, avec une utilisation normale à une altitude de 4 000 m. Autonomie d'une heure. Arsenal de l'aéronautique (Ars 5501 ou CT 10, utilisant un pulsoréacteur dérivé du V 1) ;
- programme CT 20 : cible aérienne téléguidée. Vitesse maximale de 800 km/h. Autonomie d'une heure. Arsenal de l'aéronautique (Ars 5510 ou CT 20) ;
- engin postal, permettant le transport d'une charge commerciale de 200 kg sur une distance de 1 500 km. Il répondait à un besoin à cette époque. Matra s'intéressa au projet, sans suite.

Cette énumération appelle différentes remarques. Tout d'abord, le thème de la cible aérienne lancée d'avion n'y figure pas. Il y a eu, dès 1947, des réalisations effectuées par la SNCASE (SE 1500) et par ECA (Études et constructions aéronautiques), utilisées avant la mise au point du CT 10. Mais ces véhicules expérimentaux avaient comme objectif principal la mise au point des équipements de pilotage.

En plus des trois missiliers cités ci-dessus, deux industriels ont envisagé de devenir missiliers : l'équipementier ECA s'est intéressé aux cibles et la société aéronautique Bréguet a réalisé deux projets restés sans suite, à partir des thèmes SA 30 (Bréguet 920) et AS 10 (Bréguet 910, qui aurait été original, avec sa voilure réalisée en béton précontraint pour réduire le coût).

Le thème du missile air-sol n'avait pas la priorité. Probablement la DTIA avait-elle laissé à la DCCAN la responsabilité de l'attaque des navires. Un nouveau thème fut en revanche demandé, en 1951, par l'armée de l'Air : ce fut le programme AS 20, qui concernait un missile de 1 000 kg destiné à l'armement du Vautour. Un projet fut réalisé par Matra : le R 06. En 1953, pour des raisons budgétaires, ce programme ne fut pas poursuivi.

Après les premières utilisations, de nouveaux programmes furent définis durant cette première période : en 1953, le SA 11, missile expérimental, toujours subsonique mais avec des performances supérieures à celles du SA 10 ; la même année, le SS 11, célèbre missile antichar d'une portée de 3,5 km, au lieu des 2 km prévus pour le SS 10 ; en 1956, le CT 41, cible aérienne supersonique, représentant une nouvelle génération par rapport au CT 20.

Pour se faire une idée des progrès réalisés, il est intéressant d'examiner l'état d'avancement des études établi par le STAé/ES au 31 juillet 1952, date qui correspond à la fin des six premières années d'études et d'essais⁴.

Dans la catégorie des missiles subsoniques (dont l'aérodynamique était connue en 1945), deux missiles avec un guidage simple ont alors atteint le stade de l'utilisation et intéressent les pays étrangers. Il s'agit d'abord de l'Ars 5201 (ou SS 10), missile antichar téléguidé à vue équipé d'une charge creuse. Il a fait l'objet, en mai 1951, d'une commande de 500 exemplaires par l'armée de Terre française, pour une expérimentation tactique commencée en avril 1952. D'autre part, en juin 1952, 500 exemplaires ont été commandés par l'armée américaine pour expérimentation. Il s'agit d'autre part de la cible Ars 5501 (ou CT 10), utilisée opérationnellement en France depuis mai 1952 et dont les Britanniques ont commandé 6 exemplaires en avril 1952.

Dans le domaine des études de véhicules supersoniques, la stabilisation du pilotage d'un missile a été obtenue de manière satisfaisante en vol horizontal jusqu'à Mach 1,5 (missiles Matra R 04, sol-air, et R 05, air-air). Les essais en vol ont été réalisés au printemps 1952. Le STAé avait octroyé une prime technique contractuelle sur ce point. En outre, la théorie de la mécanique du vol des missiles tournants en roulis a été presque complètement établie et elle a donné lieu à de nombreuses vérifications expérimentales sur missiles (missiles de l'Arsenal SS 10 et AA 10). Face à la concurrence, la situation est satisfaisante pour les équipements de pilotage.

Pour la propulsion, l'adoption du propergol solide commence. Seul le propergol SD⁵, avec des performances limitées, est alors disponible. En revanche, le statoréacteur subsonique a été mis au point par la SNCASE pour le sol-sol SE 4200 et le pulsoréacteur du CT 10 fonctionne avec des performances supérieures de 20 % à celles du V 1, dont le CT 10 est inspiré.

Les progrès attendus pour l'étape suivante concernent donc des propergols plus performants et surtout la mise au point d'équipements de guidage, comme les autodirecteurs et les calculateurs sol en temps réel (nécessaires pour les missiles sol-air), qui commencent à être étudiés. Entre 1946 et le 31 juillet 1952,

⁴ SHAA, carton E 7431.

⁵ Voir chapitre 3, propulsion.

1 100 missiles, dont 590 SS 10, ont été lancés, 411 de ces lancements ayant eu lieu depuis septembre 1951.

Témoignage de l'ICA Michel Decker, rédigé le 20 avril 2001 :

À la faveur des recherches historiques diligentées par le CHEAr, je me reporte quelque cinquante années en arrière, avant que je ne quitte le STAé pour l'industrie (le 30 juin 1954), terminant du même coup ma jeunesse, car je n'étais « quadra » que depuis un an à peine. Quels souvenirs m'a laissés cette époque ?

Sur le plan humain, de très bons, dans une ambiance de travail sympathique et intellectuellement enrichissante. Mon supérieur hiérarchique direct, l'IG Guy du Merle, m'a accordé sa confiance, tout au long des dix années de notre appartenance simultanée au STAé ; je lui dois tout ce qu'il m'a été donné d'y réaliser. Les directeurs de la DTIA, les IG Suffrin-Hébert, Mazer et Bonte, ont toujours eu une bienveillance très positive à mon égard et je dédie ma vive et fidèle reconnaissance à leur mémoire.

Sur le plan professionnel, des résultats ont été assez vite obtenus ; n'étant pas juge habilité en la matière, puisque directement impliqué, qu'il me soit permis tout au moins de faire valoir qu'au cours de ces années, l'action du STAé a été constante dans son propos à court et moyen terme et qu'elle s'est exercée de façon opportune. Le programme de réalisation d'engins, en deux étapes, expérimentale puis opérationnelle, élaboré en 1946 s'est en effet montré en bonne harmonie avec l'état d'esprit initial des constructeurs, apte dans son ensemble à retenir leur attention aussi bien qu'à éveiller des vocations de spécialisations particulières.

Il se peut que les progrès n'aient pas été aussi rapides que s'ils avaient suivi le rythme de l'assimilation des problématiques concernées ; les crédits ont en effet toujours été strictement mesurés – et même progressivement réduits dans les dernières années –, tant était âpre la concurrence entre les divers genres, classiques ou nouveaux, de machines volantes à l'étude. Quoi qu'il en soit, l'impression demeure dominante d'avoir vécu une belle époque. Au quotidien, dans la liberté des initiatives, le travail paraissait facile, d'autant plus que l'enthousiasme, la foi, le sentiment de contribuer au progrès technique animaient les hommes de bonne volonté qui, ayant répondu à l'appel lancé, soutenaient le mouvement amorcé de leur confiance et de leur dévouement à une cause nouvelle.

En outre, l'ensemble bigarré qu'ils formaient, partageant le même intérêt technique, sans égard pour la diversité de leurs compétences et de leurs appartenances (industrie, Université, organismes techniques de l'État, etc.), engendrait des sympathies mutuelles – celles-ci survivent entre les quelques vétérans que nous sommes aujourd'hui. De surcroît, une bonne entente intellectuelle régnait entre eux et facilitait les coordinations d'activités nécessaires.

Parmi eux, diverses personnalités attachantes se distinguaient, et aussi quelques autres de premier rang, managers doués. Avec les équipes de courageux pionniers de la première heure qu'ils ont su constituer dès cette époque, ces derniers sont les authentiques fondateurs de l'une des branches de l'industrie française de défense qui a accédé à la classe internationale.

Au milieu des années 1950, le bilan industriel du STAé/ES peut donc être considéré comme très positif. Ont été créés trois missiliers et des équipementiers innovants dans le domaine infrarouge (Turck) et dans celui de la propulsion par statoréacteur. Une société (SEA, Société d'électronique et d'automatisme) désirant construire des ordinateurs pour le calcul scientifique et pour le guidage sol des missiles a été soutenue. En outre, à la Section, un Centre d'études de la mécanique du vol a été créé⁶ : des automaticiens militaires, des industriels et des universitaires s'y rencontrent. Certes, quelques duplications industrielles existent ; mais cela stimule les capacités d'innovation.

Par la suite, des mutations classiques de responsables eurent lieu. Le 1^{er} juillet 1954, l'ICA Maurice Pély succéda à l'ICA Decker. C'était un ingénieur qui s'intéressait aussi à la gestion et qui était proche du nouveau directeur, nommé en 1954, l'IGA Jean Gérardin, très compétent et scrupuleux. Les méthodes de la section évoluèrent un peu, tout en conservant l'esprit antérieur en ce qui concernait l'innovation et la délégation, très appréciée, de la responsabilité technique des programmes aux jeunes ingénieurs. Les formalités administratives devinrent en revanche plus contraignantes.

À partir du milieu de 1956, c'est l'activité de la section ES qui évolua ; le guidage devenait le centre d'intérêt principal et de nouveaux programmes furent considérés, par suite de la demande de l'armée de l'Air. L'armement nucléaire commençant à intéresser les hommes politiques, des projets de missiles stratégiques, comme l'engin robot et le missile balistique, furent demandés à la GAMD (Générale aéronautique Marcel Dassault), à la SNCAN et à la SNCASE⁷.

Pour assurer la défense aérienne du territoire, l'armée de l'Air envisagea l'utilisation de systèmes de sol-air à longue portée, dits SALP⁸. En 1957, deux contrats furent passés : le premier, au CFRO (Centre français de recherche opérationnelle), avait pour objet une étude de recherche opérationnelle sur la portée optimale ; le second, à la GAMD, concernait une étude globale de ces systèmes de sol-air longue-portée ; en 1958, l'ICA Chamouton présenta un avant-projet d'un SALP moderne (en particulier, avec guidage mi-course inertiel) dénommé Sacha (sol-air Chamouton). Mais ces études n'eurent pas de suite, du fait de l'arrêt, en août 1958, de toute responsabilité de la DTIA sur les sol-air et avec l'absence de budget pour 1959.

En 1959, après cette dernière décision et la création, au sein du STAé, du Groupement des engins balistiques, le champ d'action de la section ES se limita aux missiles tactiques.

La section ES passait des contrats d'une part à des sociétés, responsables du missile complet et de ses équipements annexes (sans que le titre de « maître

⁶ Les principaux participants étaient les ICA Decker, Colombani, Decaulne, Gille et Pélegrin, du STAé/ES, MM. Hamel (SFENA), Gauthier (faculté de Nancy), Loeb (CNET), Naslin (Laboratoire central de l'armement), Raymond (SEA).

⁷ Voir le projet SSBT (Sol-sol balistique tactique) évoqué au chapitre 4, Sol-sol.

⁸ Par rapport au SA 20, la portée spécifiée était supérieure, de l'ordre de 100 km, de manière à contrer une attaque massive de bombardiers. Le SA 20 est un SAMP : sol-air de moyenne portée.

d'œuvre » soit utilisé à cette époque), d'autre part aux équipementiers, pour des études générales et des prototypes. La majorité de ces contrats étaient annuels et passés suivant la procédure des dépenses contrôlées ; en outre, des primes étaient souvent prévues en cas de respect des objectifs de performances ou de délai. Le personnel des CAR (Circonscriptions aéronautiques régionales, ultérieurement fusionnées au sein du SIAR, Surveillance industrielle de l'armement), installé dans les différentes sociétés, contrôlait le justificatif présenté avec les factures et le SMPA/EX (Service des marchés et de la production aéronautique, Section enquêtes de prix) déterminait les taux horaires. Pour cette époque, où la coopération entre le STAé/ES et l'industrie était très étroite et les programmes d'activité évolutifs, il nous semble que cette solution financière fut « bon marché » : l'objectif des industriels était de se développer et ils ne cherchaient pas à faire des gains financiers ; la recherche de la productivité ne commença qu'avec la production de série.

Les relations avec la Section armements (AR) du STAé étaient étroites, car les techniques et les technologies utilisées pour la propulsion à propergol solide, pour les charges creuses et les charges à fragmentation étaient semblables à celles des roquettes avions étudiées par cette section (dont le responsable était l'ICA Esmenjaud). En outre, les interlocuteurs industriels (Direction des poudres, Hotchkiss-Brandt et STRIM) étaient communs. Pour la section ES, la section AR leur a passé des contrats de mise au point relatifs aux missiles (ainsi qu'à la SEPR, Société d'études de la propulsion par réaction) et a été un bon conseiller.

La section ES consultait également les experts de la Section études générales du STAé pour l'aérodynamique (en particulier l'ICA Jean Germain) et pour l'aéroélasticité (cible CT 41). En revanche, les relations avec le STTA (Service technique des télécommunications de l'Air) étaient limitées, par accord tacite entre les deux services.

La section ES a aidé les organismes scientifiques désirant effectuer des tirs de fusées. Elle prit en charge, pour le compte du CASDN, des contrats à l'Association technique pour l'étude des fusées (ATEF), commandant des fusées Monica, tirées en 1957-1958 au titre de l'Année géophysique internationale, qui atteignirent l'altitude de 180 km.

Les principaux IA qui ont marqué la section ES pendant cette période sont :

- pour les missiles sol-air et sol-sol, l'ICA Pierre Colombani, innovateur et expert en électronique ; les trois spécialistes des systèmes asservis, les ICA Jean-Charles Gille, Marc Pélegrin⁹ et Paul Decaulne ; l'ICA Noël Mignot, responsable des sol-air Matra, après avoir été détaché quelques années à l'Institut de mathématiques appliquées de Grenoble (IMAG), qui travaillait pour le STAé sur les programmes de calcul pour les sol-air ;
- pour les missiles aéroportés, l'ICA Daniel Chamouton, qui s'intéressait aux théories naissantes du guidage et qui proposa le projet Sacha ;

⁹ Cf. Comité pour l'histoire de l'armement, *Les ingénieurs militaires et l'émergence d'une nouvelle industrie française de l'armement, 1945-1960*, 2000.

- l'ICA Paul Faisandier, qui a intégré la section en 1957, pour assurer la responsabilité des projets de missiles balistiques, et qui fut le premier chef du GEB (Groupement des engins balistiques), créé en juin 1959.

L'IC (FA) Bigeon fut détaché, durant trois années au début des années 1950, par la DEFA au STAé, pour y suivre les travaux sur les sol-air. De même, la DCCAN détacha le lieutenant de vaisseau Salmon. En fait, les directions techniques continuaient leurs propres projets. Salmon préparait ainsi son projet de sol-air longue portée Masalca (Marine Salmon contre avions). Les essais de son prototype de missile à statoréacteur à entrée d'air carrée ont été réalisés avec l'assistance de Matra, avec des résultats décevants. Ils reprirent en 1954, avec Latécoère.

Le CEV (Centre d'essais en vol de Brétigny-sur-Orge)¹⁰

Pour les recherches et la mise au point des missiles par les constructeurs, l'exécution des essais, et particulièrement des tirs, était primordiale, surtout à cette époque où les moyens de simulation étaient très réduits. Il fallait donc des moyens d'essais : des terrains, des avions de servitude, puis des avions opérationnels. En France, tous ces moyens, ainsi que le personnel les mettant en œuvre, même pour une société aéronautique ayant des pilotes, ont toujours été placés sous la responsabilité de l'État, contrairement à ce qui se passe dans d'autres pays. La place du CEV dans la mise au point en vol a donc été importante ; le jugement porté par le STAé sur un matériel reposait principalement sur l'avis du CEV.

Les essais en vol commencèrent en 1949, en France métropolitaine (en particulier à Mailly pour les antichars) et à Colomb-Béchar (Sahara). Une Section engins spéciaux fut créée en 1951, à Brétigny, par l'IGA Louis Bonte, directeur du CEV. Un détachement du personnel et d'avions de cette section à Colomb-Béchar avait lieu régulièrement, par campagne de tirs (une campagne durant de quinze jours à un mois).

Dans cette période, les chefs de la Section engins spéciaux furent l'ICA Paul Faisandier puis, à partir de 1953, l'ICA Jean Delacroix. Ce dernier assurait en même temps la responsabilité de la sous-direction technique Air du CIEES (Centre interarmées d'essais d'engins spéciaux de Colomb-Béchar)¹¹. Les essais en vol d'équipements, comme les autodirecteurs, étaient délégués à la Section « télec » du CEV.

La nécessité de disposer de cibles aériennes « réelles » a conduit le CEV (l'IPA Bignier en étant le dynamique responsable) à mettre au point, à partir de la fin de 1954, des avions télécommandés à partir d'avions Mistral « en retraite » de l'armée de l'Air. Quatre prototypes et une présérie de 45 exemplaires furent utilisés de 1957 à 1965, à partir des pistes d'Hammaguir et de Cazaux (pour le CEAM, Centre d'expérimentations aériennes militaires de Mont-de-Marsan). Il fallait un « télépilote » entraîné pour réussir l'atterrissage : c'était le cas de Roger Leclercq, à qui revenait la paternité de l'opération. Elle ne fut pas renouvelée.

¹⁰ *Le Centre d'essais en vol 1944-1994*, Association amicale des essais en vol, Union de publicité et d'édition, 1994.

¹¹ Cf. *infra*.

Le SMPA (Service des marchés et de la production aéronautique)

Il était le responsable contractuel des commandes. Son activité commença vers 1953, avec les antichars.

LES ETATS-MAJORS

Lorsqu'il était question de missiles, les trois états-majors se tenaient prudemment en arrière¹². L'évolution des missions des trois armées, particulièrement à la suite de l'utilisation de missiles sol-air et sol-sol, n'était pas définie, et elles tenaient à préserver leurs domaines d'action, considérés comme acquis. L'armée de l'Air redoutait, semble-t-il, une remise en question des moyens d'interception aérienne devenus classiques depuis la Grande Guerre (avions et canons) – remise en cause prévue par des études de recherche opérationnelle concluant à l'avantage des missiles. L'armée de Terre voyait dans des sol-sol à moyenne portée le moyen de recouvrer, et au-delà, à 100 sinon 300 km, la profondeur d'intervention qui avait été réduite par le développement des aviations de chasse et de bombardement. La Marine œuvrait dans son intimité et ne voulait pas participer à un quelconque débat de fond.

Ce n'est qu'en 1957 que les responsabilités de chacune des trois armées dans le domaine des engins furent définies par le chef d'état-major général des forces armées, le général Ély¹³. L'armée de Terre devenait responsable des sol-sol d'une portée inférieure à 300 km, ainsi que des sol-air destinés à assurer la défense du champ de bataille de la plus basse altitude jusqu'à 10 000 m. À l'armée de l'Air revenait d'une part l'ensemble des sol-air, à l'exception de ceux laissés à l'armée de Terre et de ceux qui, faute de possibilités de standardisation, devaient rester à la charge de la Marine, d'autre part les sol-sol de portée supérieure à 300 km. La Marine devenait responsable des engins surface-air ne dérivant pas des programmes de l'armée de l'Air, ainsi que des programmes particuliers d'engins surface-surface.

Au début de cette période, les états-majors avaient établi des thèmes de travail axés pour l'Air sur l'antiaérien et pour la Terre sur l'antichar, l'autopropulsé DCA et l'autopropulsé artillerie. Mais les premières fiches de caractéristiques de missiles ne furent établies que lorsqu'une utilisation opérationnelle put être décidée, c'est-à-dire après la mise au point des premiers missiles : vers 1953 pour l'antichar et 1956 pour l'air-air. Pour la Marine, la date de 1958 a été un tournant majeur en ce qui concerne la façon dont elle a envisagé l'emploi des missiles : ce n'étaient plus des sujets intéressants au plan technique et nécessaires pour l'avenir, mais l'utilisation opérationnelle était prochaine.

La coopération entre la DTIA et les états-majors, en particulier avec l'EMAA (état-major de l'armée de l'Air), a toujours été très étroite. Les contacts entre les responsables du STAé et du Bureau des programmes (pour l'état-major de l'Air, le BPM, Bureau des programmes de matériels) étaient amicaux et fréquents et les

¹² Selon l'ICA Michel Decker ; les informations sur la Marine sont dues à l'IGA Brunet.

¹³ Note de l'état-major des forces armées n° 1670 du 9 décembre 1957 (CAA).

premiers satisfaisaient volontiers les curiosités techniques des seconds. Si la connaissance des possibilités des missiles était ainsi bien diffusée, les conséquences politiques sont restées rares et tardives.

Les organismes d'évaluation tactique désiraient expérimenter rapidement des missiles : des commandes dites « de présérie » pour des missiles encore au stade expérimental, furent passées dès 1954. Pour les missiles aéroportés, le CEAM créa un détachement au CIEES. Pour les missiles de l'armée de Terre, l'EMAT (état-major de l'armée de Terre) créa deux groupes pour effectuer les expérimentations, y compris pour les missiles développés par la DTIA : le 701^e Groupement d'artillerie guidée (GAG), détaché au CIEES, et le 702^e GAG, basé à Épernay.

LES ORGANISMES INTERARMEES

Le CIEES (Centre interarmées d'essais d'engins spéciaux) de Colomb-Béchar

Il fut créé dès 1948, sous l'impulsion du CASDN, pour les tirs des « gros » engins. Il fallait de l'espace et le Sahara semblait une solution tout indiquée. Deux champs de tir complémentaires furent développés : Colomb-Béchar et Hammaguir, à 110 km de la ville précédente et à proximité du Transsaharien. À Hammaguir furent tirés tous les sol-air et les fusées et une grande partie des aéroportés. Jusqu'en 1949 inclus, la totalité des crédits d'investissement était fournie par la DTIA. Le Centre fut toujours dirigé par un colonel ou un général de l'armée de l'Air. Les directeurs successifs, de 1952 à 1959, furent les colonels Michaut, Hériard-Dubreuil et Aubinière (devenu général le 1^{er} décembre 1958).

Le CIEES comprenait d'une part des services responsables des champs de tir (PC de tir, cibles...) et des moyens de mesure au sol (cinéthéodolites, radars...), avec un personnel CIEES, d'autre part des services responsables d'essais. Le personnel de ces derniers était détaché par le CEV-Engins au sein de la sous-direction technique Air, pour les essais de la DTIA, et par le CEAM au sein de la sous-direction tactique Air (créée à la fin des années 1950). C'étaient la DEFA et l'EMAT qui détachaient du personnel pour les sous-directions Terre (dont le 701^e GAG pour la sous-direction tactique).

En dehors du côté forcément folklorique des essais à Colomb-Béchar et des conditions de vie un peu sommaires à Hammaguir, deux points doivent être signalés, car ils expliquent en partie l'essor des missiles aéroportés dans la période d'essais à Colomb-Béchar. Il s'agit d'abord de l'utilisation, sur ce champ de tir terrestre, d'enregistreurs à papier photographique (A 20) placés dans des boîtes blindées (qui devaient être récupérées) : elle a permis l'économie de télémessures coûteuses et pleines de servitudes. D'autre part, le déplacement pour la campagne d'essais (deux à trois semaines, avec le tir de plusieurs missiles) de l'ensemble des responsables du constructeur (essais et programme) et éventuellement des principaux coopérants (pour les équipements nobles, comme les autodirecteurs) et des services officiels (STAé/ES et CEV) permettait de souder ce groupe autour du programme. Après l'exploitation sur place de l'essai (quelquefois, des calculs étaient demandés à Paris, en urgence, suite à la

transmission de bandes d'enregistrement par la noria des avions de liaison du CEV), une décision commune concernant la suite du programme d'essais et d'éventuelles modifications du matériel pouvait être prise.

Enfin, le climat très sec de Colomb-Béchar était favorable au fonctionnement des équipements électroniques de l'époque ; de nombreux problèmes liés à l'hygroscopie se sont au contraire présentés, dans les années 1960, au cours d'essais en métropole.

L'IGPFA (inspecteur général des programmes et fabrications des forces armées) : le général Jean Crépin

Compte tenu de sa forte personnalité, le général Crépin a joué un rôle capital de décision, pour les missiles, durant les deux années 1957 et 1958 – en mars 1959, il a pris un commandement en Algérie.

Il a été nommé IGPFA à la fin de 1955 ; mais il avait déjà une connaissance complète des programmes d'armement car, depuis mars 1954, il avait été affecté au Secrétariat général de la défense nationale. Comme IGPFA, il était compétent pour suivre l'ensemble des études et des travaux « visant à l'accroissement du potentiel des armées ». Il était membre du CTPFA (Comité technique des programmes des forces armées) et en assurait le secrétariat, ainsi que les présidences des sous-comités spécialisés, dont le sous-comité Engins spéciaux. Le général Crépin s'intéressait spécialement aux missiles.

En 1956, les engins étaient d'actualité au Parlement et au ministère de la Défense. Le ministre, M. Bourgès-Maunoury, envisageait des mesures concrètes pour réaliser des économies financières en évitant les « doubles emplois » et pour inaugurer une politique plus cohérente dans ce domaine. Les causes étaient nombreuses : la réduction très importante du budget, avec les événements d'Algérie ; le ferme désir exprimé par le Parlement, lors de la discussion de la loi de finances pour 1957, de voir réaliser, dans les domaines des armes modernes (engins, atome), une coordination effective des programmes des trois armées et l'établissement par la défense nationale d'une doctrine d'avenir ; les accords de coopération internationale, qui nécessitaient une coordination ; l'effet désastreux, pour les nombreux visiteurs du CIEES, de la vision de tirs de missiles sol-air concurrents développés par Matra, SNCASE et la DEFA, avec des résultats modestes (pas de destruction de cibles).

Le 7 mars 1957, Bourgès-Maunoury décida de confier au général Crépin, en tant que président du sous-comité Engins spéciaux, la mission de coordonner les programmes, les études et les fabrications des trois armées. Sa nomination et son action ont été favorisées par le fait que le général Lavaud (qui devint en 1961 le premier délégué ministériel pour l'armement) était le conseiller technique Armement du ministre¹⁴.

¹⁴ Compte rendu de la réunion du 28 juin 1956 de la sous-commission de la Défense nationale du Parlement, décision du ministre du 7 mars 1957 et surtout note du ministre à l'attention de ses secrétaires d'État, 20 février 1957 (CAA). Il y avait eu d'autres tentatives, en 1951 avec Jules Moch et en 1954, pour réorganiser l'armement et surtout donner la responsabilité des sol-air à l'armée de Terre ; l'Air s'y était opposé (cf. Centre

Pour son état-major, le général s'est fait désigner des ingénieurs de liaison, spécialistes des missiles : en 1958, ce furent pour la DTIA l'ICA Paul Faisandier, responsable des projets de missiles balistiques au STAé/ES ; pour la DCCAN, l'ICA (M) Maurice Brunet, futur Directeur des engins et pour la DEFA, l'ICA (T) Jean Tayeau.

L'action la plus connue du général Crépin est sans doute celle qui l'a conduit à proposer une directive, signée par le ministre Guillaumat le 4 août 1958¹⁵, qui décidait de la répartition des tâches entre les directions techniques et des programmes à arrêter, à poursuivre et à mettre en étude. Elle concernait aussi l'armement stratégique et elle nommait la DTIA responsable des missiles balistiques. Pour les missiles sol-air terrestres, elle décidait d'en confier la responsabilité à la DEFA, d'adopter le système américain sol-air moyenne portée Hawk, avec une fabrication sous licence, et d'arrêter les développements français (ACAM, Matra R 422 et PARCA) ; elle confirmait les autres programmes de missiles.

La directive précisait que des travaux purement français devaient être poursuivis dans le domaine sol-air ; ils devaient être limités à des éléments constitutifs de conception originale susceptibles d'entrer dans des systèmes d'armes plus évolués, comme le SALP. Cette directive faisait suite à de nombreux contacts avec les officiers et ingénieurs responsables et aux missions effectuées aux États-Unis. Deux missions avaient visité, en 1958, de manière détaillée les organismes officiels et industriels chargés des missiles tactiques et balistiques. Le général Crépin avait dirigé la première, en février 1958, après qu'il eut obtenu du Département de la Défense américain que celui-ci envoie, en janvier 1958, une mission pour expertiser les programmes français ; la seconde, dirigée par l'IGA Gaston Fournier, adjoint au directeur de la DTIA, comprenait 25 représentants des services officiels et de l'industrie.

Si la directive date d'août 1958, les décisions de principe d'achat du Hawk et de fabrication avec l'Allemagne et l'Italie avaient été prises respectivement en avril 1958 et le 9 mai 1958 ; le décalage et la décision relative aux SSBS (sol-sol balistique stratégique) sont dus à l'arrivée, le 1^{er} juin, du général de Gaulle à la tête du gouvernement.

La décision de retirer la responsabilité des sol-air à la DTIA a pu être jugée injuste, compte tenu des résultats déjà obtenus ; mais elle paraît logique. Les arguments qui semblent avoir été pris en compte sont les suivants : au passif de la DTIA, sa demande d'être responsable des missiles balistiques et des missiles sol-air ; à l'actif de la DEFA, une compensation pour le rattachement prévu par le ministre de ses activités atomiques au CEA (rattachement effectif à la fin de 1958), son *lobbying* en faveur du LRBA et sa proposition de nommer, comme maître d'œuvre industriel du Hawk, la CFTH (Compagnie française Thomson-Houston) : cette dernière société semblait la mieux préparée pour l'acquisition d'une licence de la société Raytheon, car elle continuait à avoir des liens

d'études d'histoire de la Défense, *La IV^e République face aux problèmes d'armement*, ADDIM, 1998).

¹⁵ La directive (note n° 509 MA/CAB/ARM du 4 août 1958) est archivée au SHAA, dossier E 6615. Ce dossier comprend aussi le compte rendu de la visite des Américains en janvier 1958.

capitalistiques avec les États-Unis et avait la même spécialité en radars sol que Raytheon, tandis que l'IGPFA jugeait les sociétés missilières de la DTIA mal adaptées pour ce programme d'acquisition de licence.

En outre, le général Crépin fut un fervent promoteur du missile antichar ; il fit la connaissance du SS 10 dès 1950, lors de tirs au camp de Frileuse, qu'il commandait. Il suivit ensuite les travaux de mise au point. Il milita auprès de l'EMAT pour le lancement, en 1953, du SS 11 et pour l'engagement de ces missiles en Algérie et il fut l'un des premiers à voir, en 1961, l'intérêt du couple hélicoptère-missile antichar. En 1958, il ne modifia pas la responsabilité de la DTIA vis-à-vis des programmes de missiles antichars, confiés à Nord-Aviation.

L'ACTIVITE RESUMEE DES DEUX AUTRES DIRECTIONS TECHNIQUES

Ce résumé, sans prétention d'exhaustivité, évoque la DEFA et la DCCAN en fonction des liens entre leurs programmes et ceux de la DTIA.

*La DEFA*¹⁶

Son activité en matière de missiles a commencé dans deux établissements qui avaient reçu chacun un groupe important de spécialistes allemands, techniciens et scientifiques. Après l'abandon de la reconstitution du V 2, en 1947, l'état-major de l'armée de Terre fixe, en 1948, les orientations : un antichar de 1 500 m de portée, un engin sol-air à propergol liquide ayant 15 km de portée (le PARCA) et un engin d'artillerie sol-sol dérivé du PARCA. Chaque établissement a développé un programme de missile. En 1956, la DEFA a commencé à passer des contrats à l'industrie nationale.

Le Laboratoire de recherches de Saint-Louis (LRSL) a défini, dès 1946, un projet d'engin téléguidé antichar (ENTAC), d'après l'idée d'un Allemand, M. Bender, qui avait sans doute connu le X 4. Les principes de base étaient voisins de ceux retenus pour le SS 10. La faisabilité fut acquise, après tirs, en 1952. Le programme fut transféré à l'APX (Atelier de construction de Puteaux) pour industrialisation. Une fabrication en série fut décidée par l'EMAT en 1956. Mais, compte tenu de l'avance du SS 10 (opérationnel en 1955) et pour éviter leur concurrence sur les marchés extérieurs, la production en série et la commercialisation de l'ENTAC furent confiées, sous licence, à Nord-Aviation par la décision du 19 janvier 1960 signée par le général Lavaud, chef d'état-major général des armées.

Le LRBA, créé en 1946, se spécialisa dans les fusées à ergols liquides. En 1948, il fut chargé par l'EMAT d'étudier un missile sol-air moyenne portée

¹⁶ Cf. les documents du Comité pour l'histoire de l'armement terrestre : *Les centres de recherche : LRBA, LRSL* (tome 3.2), 1990 ; *Armements antichars*, par M. Stauff (†), puis par MM. Guillot et Dubernet (tome 10), 2002 ; *Systèmes de missiles sol-air*, par l'ingénieur général Collet-Billon (†) puis l'ingénieur général Bienvenu (tome 11), 2002.

appelé PARCA (projectile autopropulsé radioguidé contre avions). C'était un missile de 1 000 kg, avec un propulseur de croisière et des accélérateurs largables, au départ à propergols liquides et après 1955 à propergol solide (épictète). Il était téléguidé à l'aide d'un radar de poursuite cible (Cotal) et d'un goniomètre qui détectait le rayonnement d'un répondeur HF équipant le missile. Le système sol de guidage était réalisé en coopération avec la CFTH. L'expérimentation commença en 1950, à Hammaguir ; 250 missiles furent tirés jusqu'en 1956. Une version appelée PARCA de transition, avec des performances réduites, avait été mise au point, en 1957, pour la formation d'unités de l'armée de Terre : 50 tirs furent effectués jusqu'en 1961. Comme pour tout programme à moyenne portée, un autoguidage final était nécessaire : son étude commençait lorsque le programme fut arrêté en 1958, comme pour les sol-air de la DTIA. La directive ministérielle de 1958 prévoyait que le LRBA devait recevoir une vocation interarmées. Cette orientation mit longtemps à avoir un début d'application.

De l'aventure du LRBA dans la conception des missiles tactiques, il est resté un équipement important : le radar de poursuite de champ de tir Aquitaine, réalisé par la CFTH en 1962, d'après un projet du LRBA. Il est resté aussi la connaissance par la CFTH des problèmes du téléguidage, qui lui servit pour l'établissement, en 1964, de son projet de missile Crotale. Au début de 1957, le LRBA avait aussi fourni les informations mécaniques à CFTH et à SAGEM pour qu'elles réalisent un autodirecteur radar à tête gyroscopique, et il avait donné son accord au STAé pour les utiliser¹⁷.

En juillet 1956, le ministre demanda l'étude d'un nouveau système de DCA destiné à remplacer le canon antiaérien de 90 mm ; l'altitude maximale de la cible était limitée à 10 000 m et la portée demandée était de 12 km. Le programme fut nommé ACAM (attaque contre avion moyen). Sa réalisation fut confiée à l'industrie. Nord-Aviation fut chargé de développer le missile Nord 5301, qui était une extrapolation du Nord 5103 (masse au départ de 480 kg) ; la CFTH avait la responsabilité du radar pour le téléguidage automatique. Malgré la décision d'arrêt du 4 août 1958, les deux dernières campagnes d'essais de ce missile téléguidé manuellement eurent lieu entre octobre 1958 et mars 1959. De cette étude, il est resté le propulseur de croisière et le diamètre du missile ensuite adoptés pour le missile AS 30¹⁸.

La décision d'août 1958 mit un point final à l'activité du LRBA en matière de conception de missiles. Mais la DEFA obtint la responsabilité des sol-air (sauf ceux qui devaient être utilisés par la Marine) et, en conséquence, la direction étatique de la fabrication du Hawk.

La DCCAN

Durant la première période, la Marine et la DCCAN expérimentèrent ; elles commencèrent en effectuant des essais d'air-surface inspirés de matériels allemands, copies nommées Pluvier (FX), Palombe (Hs 293), etc. La Marine créa,

¹⁷ Voir chapitre 8.

¹⁸ Voir chapitre 9.

en 1950, un site d'essais dans l'île du Levant, qui devint en 1952 le CERES (Centre d'essais et de recherches des engins spéciaux).

Elle avait confié son activité en matière de missiles navals, d'une part à l'arsenal (ECAN) de Ruelle, pour les surface-air, d'autre part à la société Latécoère, pour les surface-surface, en accord avec la DTIA (qui n'avait plus de programme d'hydravion à confier à cette société).

La DCCAN ne fut pas touchée par la décision de 1958.

Ruelle avait commencé, dès 1949, à développer, sur la base du missile allemand Schmetterling, un véhicule appelé Maruca (Marine Ruelle contre avions), subsonique, avec un propulseur à propergols liquides, pour former des ingénieurs en matière de missiles. 200 tirs eurent lieu. Comme pour les autres missiliers, ce type de propulsion fut jugé inadapté pour un emploi opérationnel ; un projet de programme opérationnel de SAMP naval, Masurca (Marine supersonique Ruelle contre avions), démarra en 1955 et fut réorienté, en 1959, vers une solution moderne. Il sera décrit plus loin (chapitre 7), sa technologie relevant de la deuxième période étudiée dans le présent ouvrage. Ce programme ne fut pas arrêté en 1958¹⁹, les Américains ne souhaitant pas navaliser le Hawk (eux-mêmes développaient le Tartar pour la Marine).

En revanche, le prototype de missile sol-air longue portée avec statoréacteur ONERA, le Masalca, déjà évoqué, fut expérimenté par Latécoère à partir de 1954, après une sous-traitance à Matra. Ce programme a été arrêté par décision ministérielle du 26 mai 1959²⁰ : il n'y avait ni besoin ni budget et Latécoère n'avait pas d'équipe valable pour cela. Aussi ce projet a-t-il surtout servi à améliorer la connaissance des possibilités d'emploi du statoréacteur, en coopération avec Nord-Aviation.

Latécoère étudia aussi un surface-surface, Malaface (configuration avion, 1 500 kg, largage de la bombe de 700 kg à proximité du but, propulseur à liquides, téléguidé), abandonné à la fin de 1958, suite à des difficultés budgétaires et à des insuffisances techniques.

En revanche, le développement du programme de missile porte-torpille Malafon, sous la responsabilité de Latécoère, commença en 1956 et, confirmé par la directive de 1958, il devint opérationnel en 1968.

Parallèlement au Masurca, qui équipa trois bâtiments, la Marine accepta, en novembre 1960, l'offre américaine de 1957 concernant l'acquisition du système surface-air Tartar pour l'armement de quatre escorteurs d'escadre. Mais l'offre gratuite de 1957 fut finalement limitée au seul escorteur *Dupetit-Thouars*, le gouvernement américain considérant qu'avec le général de Gaulle au pouvoir, les finances de la France étaient devenues acceptables et ne nécessitaient plus de livraisons gratuites. En revanche, l'offre américaine concernant les missiles Régulus et Terrier n'eut pas de suite : les Américains abandonnèrent le Régulus et

¹⁹ D'après l'IGA Brunet, cette décision pourrait s'expliquer par le fait que le général Crépin ne voulait pas que l'on dise qu'il avait arrêté toutes les études de sol-air en France.

²⁰ SHAA, dossier E 6615.

l'adaptation du Terrier n'était pas compatible avec la mise en service du bâtiment concerné (le *Colbert*).

Le pionnier des missiles à la DCCAN fut l'IGA (M) Jean Peyrat ; il dirigea en 1945 l'installation à Brest de l'usine allemande de la bombe FX et ensuite, à l'ECAN de Ruelle, le programme Maruca, suivi du Masurca, avec l'assistance d'un ingénieur allemand, M. Sernatinger.

CHAPITRE 3

LES ACTEURS : L'INDUSTRIE

LES MISSILIERS

Jusqu'en 1953, il existait un équilibre entre le secteur d'État (l'Arsenal de l'aéronautique), le secteur nationalisé (la SNCASE) et le secteur privé (Matra).

*L'Arsenal de l'aéronautique*¹

Il fut créé en 1936 et l'usine de Châtillon lui fut affectée en 1945. En 1953, il fut transformé en une société, la SFECMAS, filiale de la SNCAN (Société nationale de constructions aéronautiques du Nord). Elle fut absorbée le 1^{er} janvier 1955 par sa société mère. Cette dernière changea de nom en 1958, devenant Nord-Aviation.

À l'automne 1946, à la demande du STAé et de la DTIA, l'IGA Vernisse, directeur de l'arsenal, créa un département Engins spéciaux, dit E 5, composé d'une dizaine de personnes. Il nomma à sa direction le jeune IA Émile Stauff. À ce département, le STAé confia les matériels allemands récupérés : quelques missiles air-air X 4, une maquette de soufflerie X 7 et un missile sol-air Enzian, et lui demanda d'étudier les travaux réalisés par les Allemands. Les quelques spécialistes allemands affectés au département ne furent pas intégrés dans les circuits de définition ou de production, mais, comme consultants, leur efficacité a été considérable. Il faut en particulier citer le Dr. Sängner, aux vues sans doute futuristes, mais fécondes (d'après M. Beaussart).

La mission choisie par l'Arsenal en accord avec le STAé fut la suivante² : réaliser des matériels simples et intensément reproductibles ce qui conduisait à la conception d'engins téléguidés en auto-rotation autour de leur axe longitudinal. L'Arsenal reprenait la philosophie du Dr. Kramer, concepteur de la famille des missiles allemands désignée par « X ... » (cf. chapitre 1) : pour aller vite, il fallait partir des solutions connues et faire appel à la collaboration de spécialistes allemands ; de plus, il était apparu nécessaire de résoudre isolément les divers

¹ Pour des compléments sur la société et sur les missiles antichars, cf. Comité pour l'histoire de l'armement terrestre, *Armements antichars*, par M. Stauff (†), puis par MM. Guillot et Dubernet (tome 10), 2002 et *Mémoire d'usine – Châtillon-sous-Bagneux*, CEE de l'Aérospatiale, 1985. – Au début des années 1960, deux de ces Allemands eurent une part de responsabilité dans la coopération pour le missile Kormoran. M. Eberst fut, au ministère allemand de la Défense, chargé de l'autodirecteur commandé à CSF. M. Friedrich fut l'intermédiaire entre sa société, Nord-Aviation, le gouvernement allemand et MBB.

² Extraits d'un document de l'Arsenal de 1947 ou de 1948 (fonds de M. Stauff au Comité pour l'histoire de l'armement terrestre, conservé au Département d'histoire de l'armement de la DGA).

problèmes que posaient les engins tournants, qui n'étaient pas connus en France. Les programmes d'étude retenus étaient les suivants :

- programme AA 10 : le missile appelé Ars 5101 était la reproduction du missile allemand air-air subsonique X 4 avec un téléguidage manuel et une liaison filaire (cf. figure 3). Le but était d'analyser et d'assimiler les techniques de l'auto-rotation et de la propulsion à ergols liquides.
- programme expérimental ou de synthèse Ars 5201 : il avait été jugé utile, pour déterminer la théorie générale des engins tournants, de réaliser un missile subsonique équipé d'un propulseur à propergol solide et de le limiter au tir du sol ; de plus, son calibre avait été déterminé pour l'emport de l'enregistreur A 20, ce qui avait conduit à une masse de 15 kg.
- programme CT 10 : mise au point d'une cible aérienne télécommandée et récupérable, en partant du V 1 allemand.
- ultérieurement, étude d'un engin tournant air-air téléguidé satisfaisant au programme AA 20 et au programme sol-air SA 20, par l'adjonction d'un propulseur d'accélération largable.

Le missile Ars 5101 et le mode de propulsion à liquides furent abandonnés, en 1950, après des difficultés pour le piloter et quelques explosions sous avion. En revanche, les études du CT 10 et du missile de synthèse Ars 5201 ont été un succès. En fait, ce dernier missile, avec une aérodynamique améliorée (version cruciforme) et équipé d'une charge creuse, devint le premier missile antichar opérationnel répondant au programme SS 10 (d'où le nom généralement retenu) et donc, très fortuitement, l'initiateur de la série des antichars de Nord-Aviation (SS 11, Milan, Hot). La mise en série commença en 1952.

Compte tenu de ces études, une nouvelle version de missile air-air, Ars 5103, put être définie en 1951, avec une propulsion à propergol solide le rendant supersonique et une liaison radio ; elle correspondait au programme AA 20 ; le missile dérivé sol-air qui avait été prévu ne fut pas réalisé.

L'Arsenal a donc trouvé, dès 1950, son créneau : le « missile téléguidé », proche de la munition, simple, bon marché et réalisable industriellement à cette période. Ainsi, il n'y a aucune électronique dans le SS 10, mais seulement deux relais télégraphiques pour l'amplification des signaux de la télécommande et un propulseur à propergol solide. Ce créneau fut exploité jusqu'en 1970 environ. L'ICA Émile Stauff avait permis à sa société d'atteindre un niveau industriel international dès 1960.

La DTIA suivit le développement des antichars jusqu'en juillet 1961, après la décision de transfert à la DEFA qui fut prise en janvier 1960 (voir chapitre 6), et les finança sur ses crédits d'études générales. En outre, c'est le STAé qui conseilla à l'Arsenal le choix de la STRIM (Société technique de recherches en industries mécaniques) pour l'équipement du SS 10 avec une charge creuse (l'Arsenal, relevant du domaine aéronautique, ne travaillait pas habituellement avec STRIM)³ et celui de la société Turck pour le localisateur infrarouge du SS 11. Ces deux sociétés devinrent les principaux partenaires de l'Arsenal, avec la Direction des

³ Information fournie par l'ICA Esmenjaud, en poste à cette époque au STAé/AR.

poudres pour le propergol : en effet, l'Arsenal réalisa la majorité des équipements du missile, comme le propulseur et le gyroscope à poudre.

Comme nous le verrons, d'autres programmes furent lancés durant cette période : antichar SS 11, cibles CT 20 et CT 41.

Le Centre technique et industriel était implanté à Châtillon, avec une annexe aux Gâtines, dans le bois de Verrières-le-Buisson. L'équipe était formée de quarante personnes à la fin de 1946, d'une centaine en 1949 et d'un millier en 1958. Les principaux ingénieurs qui participèrent à cette aventure sont : Léon Beaussart, adjoint d'Émile Stauff ; l'ICA Roger Chevalier, responsable des études théoriques, puis des cibles, jusqu'en 1959 ; Jean Guillot, responsable de la propulsion, puis directeur technique de la Division (pour les programmes du SS 10 à l'ASMP) ; M. Malaval (diplômé de Supaéro), qui fut le premier « télépilote » d'engins et ingénieur d'essais chargé d'interpréter les réglages pour le pilotage ; M. Stcherbatcheff, le théoricien de la mécanique du vol pour les missiles tournants.

En 1950, la Section avions du STAé chargea l'Arsenal d'étudier un avion supersonique propulsé par un turbostatoréacteur. Un Département statoréacteur fut créé. Il fut associé à la mise au point du stato du missile Matra R 431, à la fin des années 1950, et il développa le stato de la cible CT 41 de Nord-Aviation.

Matra

Cette société fut créée en 1941 par Marcel Chassagny, diplômé d'HEC. Elle avait alors pour objet la mécanique, l'aviation et la traction (une diversification était envisagée vers les tracteurs agricoles), d'où son nom. Matra succédait à la société Capra (Compagnie anonyme de production et de réalisation aéronautique), créée en 1937 par M. Chassagny, liquidateur judiciaire, pour reprendre la société des Avions Bernard, qui n'avait pas été nationalisée. Le responsable technique de Matra, jusqu'en 1965, fut Roger Robert, ancien chef du bureau d'études des Avions Bernard⁴.

Matra étudia pour le STAé, jusqu'en 1950, plusieurs prototypes d'avions innovants, dont un avion supersonique et monoplane avec changement de configuration en vol, et un projet d'engin postal⁵. En 1946, suite à une demande de la Section armements du STAé, la Matra s'intéressa aux lance-roquettes et les projets présentés furent retenus. Matra devint la société spécialiste et ses lance-roquettes équipèrent l'Ouragan, le SBM 2, le Vautour et des avions étrangers. Il fut à l'origine du Département armement de Matra, qui réalisa la majorité du chiffre d'affaires et du bénéfice de la société dans les années 1950. En 1947, un Département électromécanique avait été créé. Son activité évolua naturellement vers les équipements de pilotage des missiles.

⁴ Tous les noms des missiles Matra de l'époque commencent par « R », en référence à Roger Robert.

⁵ Roger MEGRET, Yves HEBEL *et al.*, *Il était une fois... Matra*, Matra, vers 1990.

La société, marquée par l'esprit d'innovation de son président et de son directeur technique, était prête à se lancer dès 1948, pour le compte du STAé, dans les études de missiles. L'objectif retenu fut le missile antiaérien, autoguidé et supersonique, décliné en deux types : air-air (AA 20 / R 511) et sol-air moyenne portée (SA 20 / R 422 et R 431). Matra devait, pour l'air-air et le sol-air, mettre au point le pilotage d'un vecteur supersonique et les techniques de l'autoguidage, malgré l'absence, en 1955, d'une technologie électronique valable. En outre, pour le sol-air, la société devait d'une part envisager, pour le deuxième étage, la propulsion par propergols liquides et par statoréacteur. En effet, une longue portée était recherchée et à l'époque, les experts étaient pessimistes sur les performances du propergol solide et optimistes sur l'utilisation opérationnelle du statoréacteur ; d'autre part, il fallait concevoir un système complexe de guidage au sol en temps réel, nécessaire pour la première phase téléguidée.

En avril 1958, Matra n'avait pas totalement répondu à ce défi. Mais elle avait franchi des étapes. D'une part, avec le R 511, une première génération d'air-air autoguidé avait été mise au point, même si elle accusait un retard de plusieurs années par rapport aux Américains. D'autre part, les bases de la conception d'une deuxième génération compétitive étaient posées. En revanche, pour le missile sol-air, seul le véhicule pouvait être considéré comme acquis ; mais c'était, en 1958, le projet français le plus avancé. L'incertitude sur la continuité de l'activité de Matra dura entre avril 1958 et août 1958 ; en effet, en avril, la décision de ne pas mettre en service le R 422 fut prise, et c'est en août que l'utilisation opérationnelle du R 511 et le lancement du développement de la deuxième génération de l'air-air furent décidés. En conclusion, M. Marcel Chassagny avait réussi à placer sa PME dans l'industrie missilière.

Ces premiers succès dans l'activité missiles ont reposé sur une équipe réduite. Pour l'activité air-air, citons les jeunes responsables Roger Pacault (polytechnicien, qui partit ensuite à l'ESRO) et Yves Hébel (Supaéro), le « père » des missiles autoguidés Matra, devenu directeur technique de l'activité missiles en 1963. Ce dernier faisait partie des premières promotions qui avaient suivi une formation sur les automatismes, indispensable pour développer des missiles autoguidés. Au contraire, la plupart des responsables de l'époque avaient suivi, avant 1950, une formation aéronautique limitée à l'enseignement de la structure et du moteur : ils étaient mal préparés au guidage. Pour l'équipe sol-air, citons Pierre Quétard (Sup'élec), arrivé en 1955, qui devint le premier responsable de l'activité spatiale Matra, et Lucien Salmét, chef des essais, qui devint chef du bureau d'études des aéroportés. Citons aussi le Dr. Anton, un Allemand, qui dirigea le Service aérodynamique de 1950 à 1975 ; M. Henault, chef du bureau d'études, et M. Defrêne, chef du Département électromécanique, tous deux venant de la Capra, et M. Petiton, plus jeune, qui devint chef des laboratoires d'essais. Lorsque l'activité sol-air s'arrêta, en 1959, son personnel se divisa entre l'équipe air-air et la nouvelle équipe spatiale.

Matra ne réalisait que les structures et les équipements de pilotage. Ses principaux partenaires étaient : pour la propulsion des sol-air, SEPR (propulsions liquide et solide) et l'Arsenal de l'aéronautique (statoréacteur) ; pour la propulsion solide des air-air, Hotchkiss-Brandt ; pour les autodirecteurs, CFTH (radar) et

Turck (infrarouge). La société était installée à Boulogne ; l'usine de production de Salbris fut acquise en 1956. La société Matra employait 800 à 900 personnes en 1958.

SNCASE (Société nationale de constructions aéronautiques du Sud-Est)⁶

Le Groupe technique de Cannes (GTC) de cette société, qui s'était illustré dans le domaine des avions, se reconvertit dans l'activité missiles, reconversion due à deux personnes. Louis Marnay était le responsable des bureaux d'études de Marignane et de l'établissement de Cannes. Très dynamique, il s'intéressa aux missiles dès 1946 et il obtint un contrat du STAé : il s'agissait d'étudier le souffle d'une bombe planante téléguidée sur des avions. Ce fut le début du SE 1500, utilisé ensuite comme cible aérienne. Louis Besson, lui, était le responsable du bureau d'études missiles de la SNCAC. Il avait obtenu, en 1947, des contrats du STAé/ES pour deux missiles : le programme expérimental du sol-air SA 10 (NC 3500, qui devint le SE 4100) et celui du sol-sol SS 40 avec statoréacteur (NC 3510, qui devint le SE 4200). Mais des accidents de prototypes d'avions, en 1948, avaient mis en faillite la SNCAC. Les principaux membres du bureau d'études de Louis Besson furent embauchés par la SNCASE en 1949 et les deux programmes continuèrent en changeant de nom. À cette date, le GTC devint autonome et prit la responsabilité de l'activité missiles de la SNCASE. Louis Marnay fut nommé directeur du Centre, Louis Besson étant le responsable technique des programmes SE 4100, 4200, 4300 et 4400.

Les objectifs retenus avec le STAé/ES pour la SNCASE étaient les suivants :

- programme sol-air à longue portée (SA 20), destiné à l'armée de l'Air, en « concurrence » avec Matra. Trois versions furent étudiées : deux programmes expérimentaux, SE 4100 et SE 4300, et un programme opérationnel, SE 4400 à statoréacteur. Le système de guidage différait de celui choisi par Matra ;
- programme sol-sol destiné à l'armée de Terre, avec une portée initiale de 30 km. Deux types de missiles, différant par la masse de la charge, furent développés : SE 4200 et SE 4500 ; la propulsion comportait un statoréacteur subsonique ;
- un autre missile fut développé : le planeur télécommandé SE 1500, qui servit de cible aérienne en attendant la mise en service du CT 20.

À la fin des années 1950, l'activité en matière de missiles tactiques de la société (devenue Sud-Aviation en 1957) fut abandonnée suite à l'arrêt des programmes sol-air, en août 1958, et des programmes sol-sol, en 1959 ; en outre, le développement de nouveaux programmes de missiles tactiques était alors très limité et le type de guidage choisi par cette société n'avait pas d'avenir.

⁶ Pour plus de détails, on peut se référer aux interventions de Philippe Jung lors des congrès de l'*International Astronautical Federation* : IAA 1988 (SE 4400), 1989 (SE 4100), 1990 (SE 4300), 1992 (SE 1500), 1993 (SE 4200), 1995 (SE 4500).

La mise au point opérationnelle du statoréacteur est à mettre à l'actif de la SNCASE ; mais, en 1960, il ne semblait plus avoir d'intérêt, les missiles à longue portée n'étant plus d'actualité.

Une compensation industrielle lui fut toutefois accordée : le STAé obligea Nord-Aviation à sous-traiter à Sud-Aviation 50 % de la fabrication du SS 12. Dès 1959, Sud-Aviation orienta son Groupe de Cannes vers les missiles stratégiques. La société devint par la suite le centre satellitaire de l'Aérospatiale.

Jusqu'en 1957, les méthodes de travail de la SNCASE étaient proches de celles des avionneurs de l'époque. Elle réalisait de nombreuses versions et la mise au point était assurée grâce à des tirs de prototypes : pour les sol-air, 272 tirs eurent lieu, plus 23 tirs d'expérimentation tactique, et pour les sol-sol 349 tirs, plus 280 tirs d'expérimentation tactique (27 versions de SE 4200). D'autre part, contrairement aux deux autres sociétés missilières, plus impliquées dans le pilotage, la SNCASE assurait la direction du projet et la réalisation de la structure et du statoréacteur, mais travaillait pour le reste en coopération, en particulier avec des sociétés spécialistes du pilotage comme SFENA (Société française d'équipements pour la navigation aérienne) et ECA. Il est sans doute à regretter que la fonction guidage des missiles tactiques n'ait pas été mieux prise en compte par le bureau d'études. Après la création de Sud-Aviation, en 1957, M. Béteille, nommé directeur technique de Cannes⁷, envisageait de rénover ces méthodes.

Parmi le personnel qui a marqué la période, citons aussi Marcellin Laurent, adjoint de Louis Marnay dès le début des études de missiles et responsable du SE 4500, Lucien Trousse, responsable des statoréacteurs, et M. Escursan, chargé des calculs.

LE « ROMAN » DES AUTODIRECTEURS OPTIQUES (SPECTRE VISIBLE)

En France, c'est un ingénieur du génie maritime, affecté à un laboratoire d'optique, qui s'intéressa à ce type de matériel juste avant la guerre (on ignore pour quelle utilisation)⁸. Il se replit à Toulon et continua son activité en réalisant une maquette avec l'aide d'un technicien civil, M. Ingber. Ce dernier, peu scrupuleux, disparut dans le maquis, en 1943, avec la maquette et les plans et notre inventeur, jusqu'à sa mort au début des années 1960, ne réussit pas à avoir des nouvelles de son « voleur ». Compte tenu de l'importance stratégique de ces recherches, M. Ingber reçut de l'argent liquide de Londres et, en 1946, le STAé fut mis au courant de l'existence de ce matériel par le cabinet du ministre de l'Armement, M. Charles Tillon.

Un contrat d'études et de fourniture de maquettes fut passé à la société SIRT, fondée par M. Ingber. Mais celui-ci fut incapable de réaliser un matériel adapté aux spécifications d'un missile antiaérien (établies par Matra). Pendant quelques années, le STAé attendit la fourniture. Lorsqu'une maquette fut livrée au CEV, l'expérimentation fut décevante : elle équipa un missile sol-air SE 4300, sans

⁷ En 1958, le personnel du GTC était de 410 personnes environ.

⁸ Information fournie par un contrôleur financier qui défendait les intérêts de la famille de cet homme et qui nous interviewa, dans les années 1960, comme expert en infrarouge au STAé ; à cette date, l'ingénieur était décédé.

succès lors du tir. À la fin de 1955, l'IGA Gérardin, directeur du STAé, résilia le contrat et l'affaire Ingber fut close. Mais ce dernier avait embauché un technicien électronicien très compétent dans la technologie des tubes, M. Hardy. Devant la tournure prise par les événements, ce dernier contacta le PDG de Matra. Marcel Chassagny, avec son dynamisme et son esprit d'innovateur, accepta, avec l'aval du STAé, de créer une petite société, Drivomatic, dirigée par M. Hardy, pour réaliser des autodirecteurs optiques.

Le premier tir d'un missile air-air français, le R 510, équipé d'un autodirecteur Drivomatic, eut lieu en septembre 1953, à Colomb-Béchar. La cible était le soleil levant et le missile suivit une trajectoire sensiblement rectiligne, dont la direction coïncidait bien avec celle du soleil. D'autres tirs d'autodirecteurs optiques furent effectués. Mais, l'utilisation opérationnelle de ce type d'autodirecteur paraissant peu prometteuse, le programme évolua vers un autodirecteur infrarouge qui, lui, était réalisable à cette date. Drivomatic fut mis en concurrence avec les Établissements Turck, spécialistes de l'infrarouge, et des autodirecteurs des deux sociétés furent tirés en 1956-1957. Le STAé, avec l'accord de Matra, choisit les Éts Turck, plus compétents pour les futures générations d'autodirecteurs infrarouges. Drivomatic arrêta toute activité en 1958.

LES EQUIPEMENTS INFRAROUGES

En 1939 et jusqu'en avril 1940, Jean Turck était un jeune ingénieur qui concevait des télécommandes radio à modulation de fréquence (procédé innovant pour l'époque) pour Maurice Hurel, directeur technique de la SNCAN. Ce dernier avait imaginé, pour le bombardement, un avion télécommandé et bourré d'explosifs. Tous deux rejoignirent l'Algérie, le 16 août 1943, lors du fameux raid du SO 90, piloté par Maurice Hurel, qui décolla de Cannes à la barbe des Italiens. À Londres, Jean Turck fut chargé par les Forces navales de la France libre du brouillage de la télécommande du Hs 293 allemand : cette bombe fut neutralisée.

En 1946, Jean Turck, libéré par la Marine nationale, fonda sa société – ce à quoi il avait été incité par les services techniques. Sa première activité fut la télécommande pour les engins planants utilisés comme cibles aériennes (ECA S 20 et SE 1524), puis pour les Mistral télépilotés du CEV. De la télécommande, sa société passa à la télémessure.

Estimant que l'utilisation de l'enregistreur papier était d'un intérêt limité pour les missiles (en particulier parce qu'elle ne permettait pas de travailler en temps réel), le STAé finança les études de télémessure. En 1953, le CEV choisit la télémessure Turck pour les missiles Air (pour les avions, il préféra un autre type de télémessure, proposé par l'ONERA et la SFIM ; le LRBA développait, lui, pour son missile, sa propre télémessure). En 1964, le CEV retint une télémessure, dite Ajax, moderne et commune à tous les utilisateurs. Les Éts Turck, devenus SAT, en conservaient la maîtrise d'œuvre⁹.

⁹ *Le Centre d'essais en vol 1944-1994*, Association amicale des essais en vol, Union de publicité et d'édition, 1994.

En 1949, l'ICA Michel Decker, chef du STAé/ES, suggéra à Jean Turck d'orienter les recherches vers des télécommandes imbrouillables en faisant appel à l'infrarouge : ce fut, grâce au caractère entreprenant de son directeur, le début de la deuxième activité de la société.

À cette date, les connaissances nécessaires pour une utilisation de l'infrarouge (transmission de l'atmosphère, rayonnement de cibles, cellule détectrice à faible constante de temps) étaient limitées. Les Allemands avaient lancé quelques travaux et les recherches universitaires se limitaient à la spectroscopie pour l'analyse des corps. L'un des quelques spécialistes à Paris était Pierre Barchewitz, professeur de chimie physique à la Sorbonne, qui venait de créer un laboratoire d'infrarouge¹⁰. C'était un homme dynamique, entreprenant et très « pratique » : à cette période, il fallait, pour son laboratoire, créer des appareils de mesure, pour lesquels des cellules détectrices étaient indispensables. Il devint le conseil scientifique des États Turck. Il renseigna bénévolement le STAé et réalisa par exemple, en 1953, des études théoriques sur l'atmosphère, avec des analyses quantitatives pour choisir les bandes spectrales¹¹. Il aida l'équipe de Jean Turck à mettre au point les « pièces détachées infrarouges » de tout détecteur, qui devaient résister à l'environnement des missiles : optique, filtre interférentiel constitué de couches de matériaux déposées par évaporation et cellules à sels de plomb réalisées par évaporation (sulfure de plomb et tellure de plomb). Le STAé finançait ces études générales.

En 1953, les États Turck étaient capables de proposer les premiers équipements infrarouges en bande 1 (cf. annexe technique n° 3) : d'une part, à l'Arsenal, un goniomètre pour le téléguidage d'un antichar, d'autre part, à Matra, un autodirecteur pour le missile R 511. Ce dernier fut tiré avec succès à partir de 1956.

En 1957, le développement nécessitant un fort potentiel de recherche et son financement, les États Turck furent absorbés par la SAT (Société anonyme des télécommunications, groupe SAGEM), qui cherchait à se diversifier dans l'électronique – leurs dirigeants restant en place.

Dans ce domaine, la France était compétitive, en 1958, face aux États-Unis. Ce succès tient aux qualités des acteurs et au choix, effectué en commun par le STAé et par Jean Turck, de créer une société réalisant à la fois les équipements infrarouges et les « pièces détachées » adéquates, compte tenu de la taille limitée du marché français.

¹⁰ Le professeur Lallement était un autre spécialiste. Il travaillait à l'Observatoire de Paris et réalisait des cellules au sulfure de plomb. Il eut le soutien du STCAN jusqu'à la fin de 1958. Mais il était peu coopératif avec le STAé et avec l'industrie.

¹¹ Pierre BARCHEWITZ, M. AMAT, M^{me} ROSSETTI, « Contribution à l'étude de la transmission infrarouge de la basse atmosphère », *Bulletin des services techniques du ministère de l'Air*, n° 116, 1954 ; des études américaines furent réalisées à la même époque (cf. René CARPENTIER, *Le rayonnement infrarouge*, cours de l'ENSAE, 1984). Les débuts de l'optronique à la DTIA sont retracés dans les exposés de Jean Turck et de René Carpentier, in Comité pour l'histoire de l'armement, *L'optronique militaire en France, 1945-1985* (actes du colloque de mai 2002), sous presse.

LES EQUIPEMENTS ELECTROMAGNETIQUES

Le STAé/ES a passé des études aux différentes sociétés de l'époque intéressées par l'électronique des missiles (les deux grandes sociétés créées avant la guerre, CSF et CFTH, et les PME créées après 1945), sans soutenir particulièrement l'un de ces industriels.

Les résultats obtenus sur les équipements des missiles ont été décevants, sauf pour l'autodirecteur du R 511. Cela s'explique partiellement par la technologie de l'époque (tubes) et par l'insuffisance des études effectuées par le missilier et par l'électronicien pour la plupart des projets. En revanche, le fonctionnement des équipements sol a été satisfaisant, en particulier le radar Cotal (conduite de tir d'artillerie lourde), développé par la SEFT et utilisé pour les conduites de tir des missiles sol-air.

À la fin des années 1950, la CFTH était le seul industriel à pouvoir présenter un bilan honorable. Il était nécessaire d'intéresser d'autres électroniciens compétents à l'électronique des missiles.

CSF (Compagnie générale de télégraphie sans fil)

Le département dirigé par Henri Gutton, brillant inventeur dans les années 1930, a développé de nombreux équipements :

- les matériels sol de guidage destinés aux missiles de la SNCASE (plan directeur pour les sol-sol SE 4200 et SE 4500, radar Pénélope, émettant un faisceau modulé, pour les missiles sol-air SE 4300 et SE 4400) et le récepteur missile Pénélope ont fonctionné, mais ces programmes n'eurent pas de suite à la fin des années 1950 ;
- les fusées de proximité métriques équipaient les obus. Elles furent retenues pour les air-air N 5103 et Matra R 510, mais leur fonctionnement ne fut pas satisfaisant, car elles devenaient microphoniques avec les vibrations des missiles.
- une maquette d'autodirecteur à ondes métriques pour sol-air (LB1).

Après 1960, aucune étude ne fut plus confiée à ce département, qui fut transféré à Sud-Aviation (Établissement de Suresnes) au milieu des années 1950.

Le Laboratoire de Corbeville, dirigé par M. Simon, a, lui, étudié un projet d'autodirecteur actif pour les missiles sol-air (quatre antennes à ondes progressives plaquées sur la structure du missile) ; cet équipement s'est révélé trop futuriste.

CFTH (Compagnie française Thomson-Houston)

L'autodirecteur semi-actif (types FC et FD) de l'air-air Matra R 511 fut confié au département de M. Goubelin. Cet équipement a correctement fonctionné, mais la fiabilité, du fait de la technologie « tube », était moyenne. Le premier tir réussi du missile eut lieu en 1957 et une série de 1 000 exemplaires fut lancée en 1958. En revanche, les prototypes de l'autodirecteur de type FS, pour les sol-air Matra et SNCASE, n'ont été disponibles qu'à la fin de 1958, c'est-à-dire après l'arrêt des sol-air, et l'étude d'un autodirecteur (type FI), à ondes millimétriques, a été arrêtée en 1959.

Les autres sociétés

Leurs résultats furent globalement peu satisfaisants.

Aux Laboratoires René Derveaux, des équipements importants furent confiés : système sol de préguidage Super Ulysse du missile sol-air Matra, autodirecteur, télécommande pour le Nord 5103 et le CT 10. Cette société avait de bons ingénieurs et de bonnes idées, mais elle manquait de compétences dans le domaine électromagnétique et elle ne sut pas gérer sa croissance. Sa faillite, en 1958, fut en particulier causée par l'étude du viseur de bombardement du Vautour. Nord-Aviation dut reprendre la fabrication des télécommandes.

La SFENA (Société française d'équipements pour la navigation aérienne) avait été créée en 1947, à l'instigation des services officiels (particulièrement le STAé/EQ), autour d'un noyau de spécialistes de gyroscopes formés par M. Alkan et d'un groupe d'Allemands spécialistes de guidage et de navigation, venant de Siemens et d'Askania (ils étaient sept en 1948). Dans le domaine des pilotes automatiques et des équipements de pilotage, elle remporta de nombreux succès. En revanche, dans le domaine électromagnétique (probablement l'activité d'origine de quelques Allemands), son bilan est mitigé : un échec partiel pour l'autodirecteur semi-actif en poursuite à antennes fixes destiné au sol-air Matra R 422 (un seul tir autoguidé en 1958, avec un résultat médiocre) et au sol-air SNCASE SE 4400 (sans accrochage lors de tirs) ; un succès honorable pour ses télécommandes (sol-air Matra R 422 et cible CT 20). L'activité électromagnétique fut arrêtée, sauf pour la télécommande du CT 20.

Le CNET (Centre national d'étude des télécommunications) consacra la majeure partie de l'activité de son Département télécommande et contre-mesures aux missiles. Très compétent dans le domaine des servomécanismes, il servit de conseil à la SNCASE et conçut le système de guidage Pénélope de ses sol-air, dont il assura la maîtrise d'œuvre. Il réalisa, en compétition avec la CSF, le récepteur missile Pénélope, avec un fonctionnement correct. Son activité missile s'arrêta avec celle des sol-air.

Enfin, la Société pour les applications de la lumière électronique (SPALE) se révéla incompétente pour réaliser des autodirecteurs en ondes VHF pour le SE 4200.

LES CALCULATEURS SOL DE GUIDAGE¹²

La phase de téléguidage des missiles sol-air nécessitait des calculateurs puissants, travaillant en temps réel : c'était un véritable défi. La STAé soutint la jeune Société d'électronique et d'automatisme (SEA), créée par M. Raymond avec deux orientations : le traitement analogique et le traitement digital. Après la livraison de simulateurs analogiques à Matra et à la SNCASE, pour le calcul

¹² Pour plus de détails, cf. Centre d'études d'histoire de la Défense, *La IV^e République face aux problèmes d'armement*, ADDIM, 1998.

scientifique, la SEA réalisa des calculateurs pour le guidage. Pour le Matra R 422, elle réalisa d'une part une machine analogique qui servit à la réalisation des tirs à Colomb-Béchar en 1957 et en 1958 (7 armoires de 1,5 mx0,62 mx0,7 m) et une machine numérique, la CAB 3018 (calculatrice arithmétique binaire), réalisée avec des tubes et des mémoires à tores de ferrite ; cette dernière machine ne fut pas retenue pour les essais. Une machine opérationnelle nommée Caramel, moins encombrante et plus robuste, avec une technologie à état solide, était commandée ; mais elle ne fut pas terminée, du fait de l'arrêt des sol-air. Les deux prototypes de la CAB 3018 furent confiés par le STAé à Nord-Aviation comme calculateurs d'études scientifiques.

La SNCASE, elle, avait choisi la SACM (Société alsacienne de construction mécanique) pour le calculateur analogique de guidage par faisceau de ses sol-air, associé au radar Pénélope. Pour le Maruca, l'ECAN de Ruelle avait retenu, en 1952, un calculateur analogique qu'il réalisait avec des éléments de la SEA.

L'arrêt, en 1958, du sol-air R 422 et le choix, en 1960, par Ruelle d'un calculateur digital IBM pour le Masurca, qui avait succédé au Maruca, ont conduit la SEA à abandonner ses activités liées aux missiles.

LES EQUIPEMENTS DE PILOTAGE

Nord-Aviation et Matra

Nous avons déjà indiqué que ces deux missiliers avaient produit eux-mêmes la majorité de leurs équipements : pour le premier, il s'agissait d'intercepteurs de jet et de gyroscopes de roulis à poudre et, pour le second, de gyroscopes de roulis, de gyromètres et de servomoteurs électriques (le choix de ce type de servomoteurs, au lieu d'équipements hydrauliques, est l'une des clés de la réussite des missiles Matra). Cette attitude était en partie liée à la spécificité des équipements des missiles : pour le gyroscope à poudre, un temps de vol très réduit permettant de ne pas alimenter les toupies après le tir, etc. Une autre raison était le plan de charge de fabrication des missiliers français, qui aurait été insuffisant s'ils s'étaient limités aux seules structures. Il est intéressant de noter que ces sociétés ont été les principaux constructeurs de gyroscopes : par exemple, Nord-Aviation produisit 300 000 gyroscopes à poudre.

Leurs quelques commandes extérieures s'adressèrent à ECA, à la SFENA et à la SFIM (les deux dernières fournissant des équipements pour les cibles CT 10 et CT 20).

La SNCASE

Cette société, elle, ne réalisa aucun équipement pour ses missiles ; elle coopéra avec la SFENA et avec ECA pour ses pilotes automatiques. La concurrence fut maintenue durant toute cette première période. Mais l'activité missilière de la SNCASE fut interrompue en 1959.

ECA (*Études et constructions aéronautique*)

Cette PME créée en 1936 par M. Gianoli, ancien ingénieur de l'industrie aéronautique, fut une société équipementière très compétente en matière de gyroscopes.

Elle réalisa, dès 1946, des véhicules aériens tirés d'avions pour mettre au point ses pilotes automatiques. Ces planeurs télécommandés furent utilisés comme cibles aériennes et commandés par la DCCAN. En outre, cette société développa des autodirecteurs optiques, dont plusieurs prototypes furent essayés sur le sol-air SE 4300, sans succès.

En 1965, cette société recentra ses activités dans le domaine de la Marine, pour la DCCAN (automation et robotique sous-marine). En 1995, elle existait toujours.

LA PROPULSION ET LES CHARGES

De 1946 à 1952, la propulsion à liquides, issue des études allemandes, avait la faveur des missiliers pour les « gros missiles ». Ses performances potentielles étaient supérieures à celles du propergol solide disponible, dit SD¹³. De plus, le diamètre maximum des blocs de ce propergol était limité à 200 mm par son procédé de fabrication (extrusion).

En revanche, au milieu des années 1950, le propulseur à propergol solide devint compétitif. En effet, la Direction des poudres (DP) avait mis au point de nouveaux propergols moulés, sans limitation de diamètre : l'épictète, disponible à partir de 1954, et surtout la plastolite et la plastolane, très performantes et disponibles en 1956¹⁴. La propulsion à liquides fut alors abandonnée au profit du propergol solide par les trois missiliers, avec l'aval du STAé. Tous considéraient que seul ce type de moteur permettrait une utilisation opérationnelle. En effet, le problème du stockage des ergols liquides n'étant pas résolu, le missile à propergol solide était plus simple et offrait une sécurité supérieure.

¹³ Le sigle SD désigne un propergol fabriqué sans dissolvant : c'est un propergol homogène composé de nitrocellulose et de nitroglycérine. Seuls les missiles SS 10, ENTAC et R 511 ont été équipés d'un propulseur en SD.

¹⁴ La mise au point de ces nouveaux propergols résulte des travaux de la DP et d'informations recueillies lors de la visite d'ateliers aux États-Unis. L'épictète diffère du propergol SD par le procédé de fabrication. Les plastolites et plastolanes sont des propergols composites comportant du perchlorate d'ammoniaque comme charge comburante, du polychlorure de vinyle comme combustible et des additifs, comme l'aluminium pour la plastolane. L'augmentation des performances énergétiques entre la SD et la plastolane est de 28 %. Cf. IGA Lucien TOCHE, *Une histoire des poudres entre 1945 et 1975*, SNPE, 1995 (tome 3 : *Propergols solides*) et IGA Guy PONTVIANNE, « Les propergols solides », in Centre d'études d'histoire de la Défense, *La IV^e République face aux problèmes d'armement*, ADDIM, 1998. – Le nom Épictète (d'après l'esclave et philosophe stoïcien du I^{er} siècle de notre ère) a été donné par l'ingénieur des Poudres Georges Maire, lequel dirigea de 1946 à 1954 l'équipe qui a mis au point ces propergols au Centre d'études du Bouchet.

Pour la propulsion à propergol solide, les motoristes ont été :

- l' Arsenal pour ses missiles, avec la coopération de la Direction des poudres pour la mise au point du premier propulseur ;
- Brandt, motoriste exclusif, à partir de 1953, pour les air-air Matra (propulseur à deux niveaux de poussée) ;
- SEPR et STRIM (Société technique des recherches industrielles et mécaniques) pour les sol-air Matra et SNCASE.

Les moteurs à propergols liquides avaient été développés par la SEPR¹⁵ pour les missiles Matra et SNCASE, par l'ECAN de Ruelle pour le missile SE 4300 de la SNCASE et pour son Maruca, et par l' Arsenal.

Quatre équipes ont mis au point, avec succès, des statoréacteurs pour missiles.

À la demande du STAé, la SNCASE et l' Arsenal ont commencé les études, dès 1950. La première a mis au point le stato subsonique du sol-sol SE 4200 (premier vol en 1950) et celui du sol-air SE 4400 (Mach 3). Le domaine initial d'application de l' Arsenal était l' avion et il réalisa Griffon. Il a ensuite étudié un statoréacteur pour l'engin cible, CT 41, à Mach 2,5.

Matra développa, à partir de 1953, le statoréacteur du sol-air R 431 (Mach 2,5) avec la coopération de l' Arsenal pour la combustion.

L' ONERA créa une équipe de recherche dès 1946 et coopéra, dès 1951, avec le LRBA pour l' étude de statoréacteurs pour missiles expérimentaux, les ingénieurs du LRBA rejoignant l' ONERA en 1957-1958. Cette équipe mixte fut dirigée par l' IPA (FA) Roger Marguet, qui venait du LRBA ; elle a mis au point des missiles expérimentaux (NA 250, ONERA 2120, Statex à Mach 2,5...) ; elle fut à l' origine de la renaissance du stato à la fin des années 1970¹⁶. Mais aucun missile propulsé par statoréacteur n' a été mis en service en France avant 1986.

Après l' arrêt des sol-air en 1958, la France a conservé, pour les missiles tactiques, deux motoristes compétents pour la propulsion à propergol solide, travaillant en association très étroite avec la Direction des poudres : Nord-Aviation, pour ses missiles, et Hotchkiss-Brandt, pour les missiles Matra. SEPR devint le motoriste des missiles balistiques.

Du côté des cibles aériennes du type avion, le petit turboréacteur Marboré, développé par Turboméca pour les avions d'entraînement, s' est imposé pour le CT 20. Le pulsoréacteur (dérivé du V 1) du CT 10 n' a pas eu de suite.

Pour les charges militaires (cf. annexe technique n° 3 pour les définitions), l' évolution la plus marquante dans la première période est celle de la charge creuse. Son origine est controversée. En France, les premiers essais d' un projectile à charge creuse, grenade à fusil capable de percer un blindage de 40 mm, eurent

¹⁵ Société d' études de la propulsion par réaction, principal motoriste pour les fusées des missiles et celles pouvant assister au décollage des avions ; cette société avait été créée en 1944 et elle a utilisé des travaux allemands.

¹⁶ cf. chapitre 7 et *Revue scientifique et technique de la Défense*, 1998 (numéro spécial consacré à la recherche aéronautique).

lieu en juin 1940. Cette charge avait été mise au point par Edgar Brandt¹⁷, qui avait relancé, en 1938, des activités d'armement avec l'assistance d'un jeune ingénieur, Michel Précoul, et suivant les idées de Berthold Mauhaupt, inventeur suisse qui avait déposé un brevet. Les premières charges creuses opérationnelles sont apparues sur des roquettes, en 1942, aux États-Unis (Bazooka) et en Allemagne (Panzerfaust). Mais c'est dans les années 1950 que la théorie fut établie, en particulier par l'ISL (Institut franco-allemand de recherches de Saint-Louis, avec le missile ENTAC), et que des gains substantiels en performances furent obtenus, avec la perforation d'un calibre en 1945 et de quatre calibres en 1955¹⁸.

En 1958, la France avait deux sociétés compétentes pour les charges des missiles de la DTIA : la STRIM, fournisseur des charges des missiles de Nord-Aviation (charges creuses pour les antichars et charges perforantes), et Hotchkiss-Brandt, pour les missiles Matra (charges à fragmentation).

Roger Crépin, embauché par Hotchkiss-Brandt en 1948 et nommé en 1952 directeur des études, succédant à Michel Précoul, et ce dernier, devenu directeur technique de la STRIM en 1951, ont réussi à rendre leurs sociétés compétitives pour les missiles tactiques sur le plan international (et aussi pour l'armement terrestre et aérien).

L'ALIMENTATION ELECTRIQUE

Cet équipement a présenté de grandes difficultés de développement, compte tenu des besoins : stockage à l'état inerte de très longue durée (15 ans) et activation dans un délai bref (de l'ordre de 0,3 s) après la mise à feu. En dehors des piles sèches, valables pour des antichars (demandant peu d'énergie), mais avec un stockage limité et un fonctionnement à basse température défectueux, la solution française a consisté à utiliser des piles amorçables (l'électrolyte est injecté sur les éléments lors de la mise à feu). C'est la société Andyar (nommée en référence au brevet d'André Yardney) qui a produit ce type de batterie utilisant un couple zinc-oxyde d'argent, avec la potasse comme électrolyte. Elle fut ensuite reprise par la SAFT.

¹⁷ Les Établissements Edgar Brandt étaient, depuis 1915, le spécialiste des mortiers. Depuis 1928, ceux-ci étaient fabriqués à Châtillon (usine affectée à l' Arsenal de l'aéronautique en 1945) et essayés à Vernon (où s'installa ensuite le LRBA). Ces établissements furent nationalisés en 1936. Cf. *TDA, l'épopée industrielle*, TDA Armements SAS, 2000.

¹⁸ IGA Lucien TOCHE, *Une histoire des poudres entre 1945 et 1975*, SNPE, 1995.

CHAPITRE 4

LES PROGRAMMES

LES MISSILES ANTICHARS TELEGUIDES MANUELLEMENT¹

SS 10 (Ars 5201) – Arsenal de l'aéronautique² (cf. figures 5 et 6)

Ce fut le premier missile antichar opérationnel dans le monde. Nous avons déjà indiqué son origine : il devait servir de moyen d'étude de l'engin tournant.

Les principales caractéristiques de la version opérationnelle étaient les suivantes :

- masse de 15 kg ;
- corps fuselé cruciforme en auto-rotation, à faible vitesse de rotation, commandé par *spoilers* aérodynamiques d'ailes en « tout ou rien » ;
- téléguidage manuel avec liaison filaire (deux fils en acier). Le guidage à la portée maximale était moins satisfaisant, à cause des *spoilers* aérodynamiques ;
- propulsion à propergol solide (SD, peu performante) ;
- portée utilisable : de 600 m à 1 600 m environ ;
- vitesse de vol : 80 m/s (peu élevée) ;
- charge creuse de 5 kg et de calibre 110 mm (perforation de 400 mm d'acier), étudiée par la STRIM ;
- poste de tir avec manche de télécommande (électronique à tubes).

Les principales difficultés technologiques rencontrées lors de la mise au point ont concerné des équipements qui n'étaient, en 1946, que des « idées » pour l' Arsenal : propulseur, avec la coopération de la Direction des poudres ; gyroscope à poudre ; réglage des relais télégraphiques pour l'amplification des ordres. La première version ne comportait que deux ailes, qui imprimaient un mouvement hélicoïdal de 2 m de diamètre.

Le premier tir du sol fut effectué à la fin de 1949 et les premiers tirs d'avion lent (Morane 500), compte tenu des fils, et d'hélicoptère eurent lieu respectivement en 1951 et en 1953.

En 1952, l'EMAT avait conclu à l'intérêt opérationnel d'un tel missile antichar pour l'infanterie et l'avait adopté. En effet, les essais avaient montré la valeur de cet armement, du fait d'une probabilité d'impact élevée dans un domaine important pour l'engagement et de l'efficacité terminale de la charge creuse.

¹ Pour des compléments, cf. Comité pour l'histoire de l'armement terrestre, *Armements antichars*, par M. Stauff (†), puis par MM. Guillot et Dubernet (tome 10), 2002, et Comité d'établissement de l'Aérospatiale de Châtillon, *Mémoire d'usine. Châtillon-sous-Bagneux de 1924 à 1985*, 1985.

² Jusqu'au Martel, les missiles développés sous la responsabilité du STAé ont deux noms : celui du programme et celui donné par l'industriel. Le nom entre parenthèses est celui qui n'a pas prévalu.

Ce missile a été fabriqué à 30 000 exemplaires de 1954 à 1962 et a été exporté (Israël, Suisse, Suède...). Les États-Unis ont acheté, en juin 1952, 500 exemplaires de ce missile pour l'évaluer. Suite à leurs essais sévères en matière d'environnement, ils ont conclu à « un engin brillant, mais pas à une arme ». Nord-Aviation a tiré un grand profit des suggestions américaines.

ENTAC (cf. figure 7)

Il doit être évoqué ici car, bien que développé par la DEFA, il a été produit en série par Nord-Aviation. Ses caractéristiques sont proches de celles du SS 10, avec les différences suivantes : une conception plus « munition » ; une masse plus faible (12 kg) ; une accélération au départ plus importante et une portée légèrement supérieure (1800 m) ; un gyroscope à lancement par câble. Ce fut un excellent missile, supérieur au SS 10, mais inférieur au SS 11. Son handicap principal, par rapport au SS 10, a été le retard de la DEFA pour la mise en série et la commercialisation. Il a tout de même remplacé le SS 10, avec une production de 120 000 exemplaires de 1958 à 1974, et il a été exporté aux États-Unis.

SS 11 (Nord 5210) – Arsenal de l'aéronautique (cf. figures 8 à 10)

Compte tenu de l'utilisation du SS 10, l'EMAT a pu définir, en 1953, les bases d'un projet plus ambitieux. Les améliorations portaient sur les performances (portée de 3 500 m, définie par une étude des sites européens, vitesse, efficacité de la charge) et sur la tenue dans des environnements difficiles. Le ministre donna son accord et le développement commença au début de 1954.

Les principales caractéristiques du SS 11 différant de celles du SS 10 sont :

- masse de 30 kg (calibre de 164 mm), avec une charge creuse de 8 kg de calibre 140 mm, capable de perforer 600 mm d'acier ;
- remplacement des *spoilers* d'ailes par des intercepteurs de jet du propulseur (mis au point pour l'air-air) et des relais par des transistors (à partir de 1965) ;
- propergol plus performant (épictète) ;
- portée utilisable de 500 à 3 000 m, grâce aux intercepteurs de jet ;
- vitesse en fin de croisière de 190 m/s.

Nous parlerons ci-après des travaux des années 1960 sur le SS 11 : adaptation aux hélicoptères et téléguidage semi-automatique. Des études ont été effectuées sur ce dernier point parce que le téléguidage manuel exigeait un entraînement comportant des tirs de missile ; de plus, la probabilité d'atteinte moyenne, 70 %, n'était obtenue que pour une distance de tir comprise entre 1 000 et 2 000 m.

Ce missile a connu très vite un très grand succès auprès des utilisateurs ; au niveau mondial, c'est l'un des missiles réussis de l'époque. Il fut produit en France à 180 000 exemplaires, de 1956 à 1985, et a été adopté par 37 pays, dont l'Angleterre, l'Italie, le Canada, les États-Unis, qui ont acquis la licence, et les deux pays, l'Allemagne et l'Inde, qui l'ont produit sous licence. Il a été engagé au combat notamment en Algérie, dès avril 1956, à partir d'avions légers (MD 311) et avec une charge d'usage général contre des petits groupes adverses embusqués dans des grottes de parois rocheuses, ainsi qu'au Vietnam.

Les programmes américains et britanniques³

Ces deux pays, si brillants dans les autres programmes, avaient raté leurs missiles antichars. Contrairement à la France, ils avaient mal évalué les progrès des charges creuses de 1945 à 1955 et, de ce fait, ils avaient réalisé de gros missiles finalement inadaptés à un emploi opérationnel. Les Américains avaient développé le Dart (masse de 45 kg, dont 14 kg de charge, envergure d'un mètre) depuis 1952 ; il fut arrêté au début de 1958. Le Malkara australien (masse de 93 kg, dont une charge, dite « molle », de 26 kg) fut développé en association avec les Britanniques, mais fut peu déployé.

Finalement, les Américains ont évalué, en 1953, le SS 10 et ils ont participé au financement du développement du SS 11 au titre d'un contrat d'aide MWDP, dit « Larkin », signé en mai 1956. Après évaluation, ils ont acquis, dans les années 1960, environ 18 000 missiles SS 11 et 12 000 ENTAC.

LES MISSILES AIR-AIR

En 1950, la mission d'un air-air était de détruire les gros bombardiers (de type B 29), qui n'étaient pas vulnérables à la DCA, compte tenu de leur altitude de croisière (8 000 m). De plus, ils étaient très bien défendus par leurs tourelles canon contre les chasseurs les attaquant en secteur arrière. La spécification en résultait : destruction d'une cible de grandes dimensions, subsonique, volant à une altitude de 6 000 à 12 000 m, évoluant peu, à une distance de 3 à 4 km. Cela correspond, pour les air-air, à la première génération. Deux types de missiles ont été développés en France.

Nord 5103 (AA 20) téléguidé manuellement (cf. figure 11)

Cette version opérationnelle a succédé à la version antérieure, Ars 5101 (cf. figure 3), abandonnée en 1950 suite à des incidents⁴ ; elle a été définie en 1951, après les premiers essais du SS 10 et avant le lancement du SS 11. Ses essais en vol ont commencé à la fin de 1952.

Du SS 10, ce missile a conservé :

- le téléguidage manuel, donc le guidage suivant une trajectoire d'alignement (cf. annexe technique n° 3) ;
- le type de configuration : corps fuselé en auto-rotation à faible vitesse ;
- le même gyroscope à poudre ;
- le propergol solide, adopté pour des raisons de sécurité et de simplicité ; il évolua vers la modernité à la fin des années 1950 (version M 2 RT : accélérateur en plastolite et croisière en épictète).

Les différences concernent :

- les dimensions et les performances : 135 kg ; supersonique, accroissement de vitesse de 220 m/s et temps de vol maximum de 21 s ; distance de tir maximum en attaque arrière de 4 km ;

³ Informations tirées de la presse de l'époque.

⁴ Voir chapitre 3, Arsenal.

- l'adoption d'intercepteurs de jet du propulseur de croisière. Ils furent développés pour ce missile et adoptés pour tous les missiles, jusqu'en 1967, à commencer par le SS 11. La mise au point fut difficile, pour la détermination de la forme du couteau et pour le choix du matériau, le molybdène. Ils ont été brevetés par M. Stauff en 1948 ;
- la liaison de télécommande par radio VHF, réalisée par Derveaux ;
- la fusée de proximité métrique CSF et la charge à fragmentation STRIM de 23 kg.

La mise au point en vol du 5103 s'est achevée en 1959, surtout en effectuant des tirs (par exemple 50 tirs en novembre-décembre 1959). L'EMAA l'a retenu, en 1958, pour l'armement du SMB 2 équipé d'un viseur. Ce dernier est donc le premier avion français équipé d'un missile air-air. 4 000 missiles furent produits.

Si les performances du missile en guidage ont été satisfaisantes sur la cible prévue (attaque arrière et pas de manœuvre), les autres résultats étaient moins bons : la liaison était souvent brouillée par les radios ; la fusée de proximité avait eu tendance à se déclencher intempestivement avant qu'une solution ne soit trouvée ; le guidage exigeait un entraînement suivi des pilotes. En outre, le missile n'était utilisable que de jour. Il a surtout été expérimenté par le CEV et le CEAM ; il apparut (cf. chapitre 9) que l'utilisation de ce missile était plus satisfaisante en mission air-sol, d'où la mise au point de la version nommée AS 20. L'utilisation opérationnelle en air-air fut arrêtée par l'EMAA, le 1^{er} février 1961, suite à l'adoption du Sidewinder américain sur le SMB 2.

R 511 (AA 20) autoguidé – Matra (cf. figures 12 et 13)

Les études ont commencé en 1949. Le R 511 est la version retenue, qui fait suite à deux programmes expérimentaux qui différaient par la configuration aérodynamique : R 051, monovoilure, et R 052, de configuration classique cruciforme⁵.

Les caractéristiques du R 511 étaient les suivantes :

- autoguidage, avec détection de la cible dans une bande spectrale choisie parmi les trois envisageables : visible, infrarouge et électromagnétique ;
- loi d'autoguidage en « poursuite », avec un autodirecteur à champ fixe, qui convenait pour la mission en attaque arrière et qui semblait la seule solution réalisable. Mais cela entraîna le choix d'un champ de mesure de l'ordre de $\pm 10^\circ$, pour suivre la cible (cf. annexe technique n° 3) ;
- configuration canard/monovoilure pour le tangage, avec une gouverne verticale pour la stabilisation en lacet et l'orientation en roulis. À l'époque, cette configuration semblait intéressante, pour le passage du transsonique, pour une meilleure finesse et pour sa facilité d'implantation sous avion ;
- diamètre de 263 mm ; masse de 172 kg ;
- propulsion solide bi-étage Brandt (propergol en SD) ; Mach 1,8 ;
- servomoteurs électriques Matra ;
- stabilisation roulis/lacet par gyromètre ;

⁵ Pour plus de détails, cf. Roger MEGRET, Yves HEBEL *et al.*, *Il était une fois... Matra*, Matra, vers 1990.

- fusée de proximité ; charge à fragmentation Brandt (billes) de 25 kg.

Après des difficultés de mise au point du pilotage de la configuration canard, le vecteur était au point en 1953. La mise au point du missile dépendait alors de celle de l'autodirecteur.

Comme nous l'avons déjà indiqué, le premier tir avec autodirecteur optique Drivomatic eut lieu en septembre 1953, sur une cible naturelle (le soleil levant). Après la mise au point, une présérie de 100 exemplaires de cette version, appelée R 510, fut commandée par le STAé, en 1956, pour expérimentation. L'emploi opérationnel apparut difficile, car les conditions de tir devaient être telles que la ligne d'horizon, ou encore un nuage brillant, n'apparaissent pas dans le champ optique large de l'autodirecteur. Cette version fut abandonnée après les essais au CEV.

Les tirs de la version infrarouge en bande 1 eurent lieu en 1956 et 1957, avec des autodirecteurs Drivomatic et Turck : comme nous l'avons signalé, ce dernier avait été retenu, le nombre d'impacts sur la cible étant impressionnant. Mais, avec un tel champ de mesure, le contraste entre le rayonnement d'un avion et celui du bruit ambiant de jour était tel que cette version, appelée R 511 IR, n'était opérationnelle que de nuit. De plus, la fusée de proximité CSF avait une probabilité de déclenchement intempestif non négligeable. Malgré ses bons résultats de guidage, cette version ne fut pas retenue par l'EMAA pour le Vautour, compte tenu de son utilisation limitée à la nuit : la différence entre chasseur de jour et de nuit s'estompait alors.

Les premiers tirs de la version électromagnétique, R 511 EM, fondée sur un autodirecteur CFTH semi-actif en bande X (tributaire des techniques de l'époque : à impulsions, avec scanning mécanique – cf. annexe technique n° 3) ont été effectués en 1956. Cette version avait un fonctionnement satisfaisant, avec des bémols, du point de vue de la fiabilité, résultant de la technologie « tube », et du point de vue de l'imprécision (15 m) de la mise à feu de la charge, qui était commandée par l'autodirecteur (une télémétrie fine, près de la cible, était utilisée pour éviter l'utilisation de la fusée de proximité CSF). La première cible CT 20 fut abattue en 1959.

En août 1958, l'EMAA décida de l'armement du Vautour : il choisit uniquement la version électromagnétique du R 511, couplée avec le radar de bord CSF Drac 32, ce dernier devant en particulier fournir à l'autodirecteur la distance de la cible avant le tir et illuminer la cible durant le vol du missile. Une série de 900 exemplaires fut produite de 1961 à 1965 et le R 511 resta opérationnel, avec le Vautour, jusqu'en 1973. Ce missile équipa aussi le Mirage III C jusqu'en 1964, dans l'attente du R 530, ainsi que l'Aiglon de la Marine.

Ainsi, le R 511 fut le premier missile air-air autoguidé de l'armée de l'Air et de l'Aéronavale. Si son efficacité était limitée, ce fut néanmoins l'occasion, pour les armées, le STAé et Matra, d'aborder tous les problèmes de maintenance et de mise en œuvre. En outre, les connaissances acquises sur l'autoguidage permettaient d'aborder la conception d'une deuxième génération, sans erreur de concept.

La situation des programmes américains en 1958

Comme nous l'avons déjà signalé, en 1958, les États-Unis révélèrent leurs résultats classifiés, lors de deux missions dirigées par le général Crépin et l'IGA Fournier. Pour les responsables officiels et les industriels, ce fut une surprise, car un décalage important existait sur le concept de la loi d'autoguidage ; en revanche, le retard était faible en matière de technologie.

Si les Américains avaient commencé par développer un missile en alignement (Sparrow I), ils avaient choisi, dès 1947, l'autoguidage suivant une loi en navigation proportionnelle (cf. annexe technique n° 3), seule à permettre une faible distance de passage sur une cible attaquée dans une direction hors de son secteur arrière et pouvant manœuvrer. De ce fait, ils avaient conçu des autodirecteurs avec une antenne stabilisée (« tête gyroskopique », consistant en une antenne montée sur la toupie d'un gyroscope, ce qui nécessite, par exemple, une rotule hyperfréquence). En outre, l'optimisation du guidage nécessitait la connaissance des résultats de la résolution, par le calcul, de l'équation différentielle très complexe de la navigation proportionnelle, faute de moyens suffisants de simulation. Les Américains de Hughes Aircraft avaient réussi cette résolution en 1952, mais ces résultats ne furent connus du STAé qu'en 1959⁶.

Trois familles de missiles étaient, en 1958, soit en production, soit en fin de développement : Falcon, Sidewinder et Sparrow. Nous décrivons ces missiles car ils ont été des concurrents pour les Français durant 25 ans et ont servi d'exemples, bons ou mauvais.

Pour l'*US Air Force*, Hughes Aircraft produisait le Falcon depuis 1954. C'était le premier missile air-air opérationnel moderne, du point de vue du guidage. Ses principales caractéristiques étaient les suivantes :

- deux versions, chacune ayant un autodirecteur à tête gyroskopique dont l'axe de la toupie pouvait se débattre dans un cône de 60° au sommet : une version électromagnétique (bande X, semi-actif, scanning mécanique) et une version infrarouge, en bande 1, qui fonctionnait de nuit et de jour, grâce au champ optique faible (3° environ) ;
- électronique à tubes ;
- missile à configuration canard et propulsion solide ;
- portée de 4 à 5 km ;
- concept de missile à impact direct : pas de fusée de proximité, charge très réduite, donc missile de faible masse (50 à 60 kg).

Ce missile était très optimisé en guidage, avec des réglages (altitude et autres) sous avion, avant le tir. Mais les ingénieurs avaient été trop optimistes, compte tenu de leur science. Avec cette technologie, le scanning en particulier, la probabilité d'impact, pour la version électromagnétique, n'était que de 20 %. Ce missile a été abandonné dans les années 1960, malgré des améliorations. Il a

⁶ Après qu'une communication à l'OTAN ait cité en référence ce document classé « secret confidentiel », les autorités américaines le remirent sur ma demande en tant qu'ingénieur du STAé.

toutefois équipé de nombreux chasseurs de l'Air Force, qui tiraient le missile après une poursuite sur la cible : il était alors présenté comme une merveille.

Pour l'exportation, Hughes développa la version HM 55, composée de la partie avant du Falcon et d'une partie arrière gonflée, avec une charge de 20 kg et une fusée de proximité. Ce missile eut un succès limité à la Suède et à la Suisse (armement du Mirage III pour cette dernière).

Le Sidewinder infrarouge AIM 9 B fut, lui, développé, à partir de 1949, par la Navy, dans son arsenal de China Lake. L'autodirecteur fut étudié à partir de 1951 par la société Philco, qui développait des cellules infrarouges. C'était un missile très astucieux, avec des solutions originales et peu copiées ensuite (pilotage en couple, *rollerons*⁷...). La première version, 9 A, avait un défaut en roulis. La deuxième, 9 B, adoptée par l'Air Force, fut opérationnelle à partir de 1958. La première utilisation d'un air-air eut lieu en octobre 1958, avec ce missile, tiré par un F 86 taiwanais contre un Mig 17 chinois (14 avions furent détruits en une journée). Cette version eut un grand succès, avec un prix de vente toujours inférieur à celui de la concurrence : fabrication de 80 000 exemplaires et adoption par de nombreux pays, dont la France⁸.

Ses principales caractéristiques étaient les suivantes :

- masse de 70 kg ;
- configuration canard, avec une partie arrière sans électricité (charge et propulsion) ;
- propergol solide ;
- portée de 3 km ;
- guidage en navigation proportionnelle, mais avec un pilotage en couple ;
- autodirecteur infrarouge en bande 1 à tête gyroskopique (champ optique de $\pm 1,6^\circ$, débattement de la toupie de $\pm 20^\circ$) ;
- électronique à tubes ;
- fusée de proximité infrarouge passive et charge à fragmentation de 4,5 kg ;
- des *rollerons* furent montés en bout d'ailes à partir de la deuxième version.

Ce missile pouvait équiper tout avion avec facilité, car il n'y avait aucune liaison avec la conduite de tir. Pour le tir, le pilote pointait son avion sur la cible avec son viseur. En cas d'accrochage de l'autodirecteur sur la cible, un signal audio était envoyé au pilote et la tête gyroskopique était débloquée. L'idée du signal audio a été copiée ensuite. Ses seuls et importants défauts – sa tendance à accrocher sur un nuage brillant ou sur une cible au sol et l'attaque limitée à l'attaque arrière et dans une zone hors d'un cône de $\pm 20^\circ$ centré dans la direction du soleil – résultaient de l'utilisation de la bande 1, d'où l'intérêt d'une version ultérieure en bande 2⁹.

Le Sparrow III AIM 7 électromagnétique doppler fut conçu par un arsenal. La Navy confia son développement à la Division missiles de Raytheon en 1956 : celle-ci développait le sol-air Hawk (cf. *infra*). Ce missile fut produit en série à

⁷ Amortisseur en roulis. Le pilotage en couple, valable pour le domaine de vol de ce missile, évite les équipements de stabilisation du pilotage.

⁸ Voir chapitre 9.

⁹ Voir chapitre 9.

partir de 1960. En 1957, les Américains ne révélèrent que quelques-unes de ses caractéristiques. Il sera plus longuement évoqué plus loin, car il peut être classé dans la deuxième génération, du fait de sa mise en service au début des années 1960.

Au total, l'avance des Américains résidait principalement dans le concept d'autoguidage, incluant la connaissance de la loi de guidage moderne et la réalisation d'autodirecteurs à tête gyroscopique. Leurs propergols, leurs fusées de proximité et leur technique des équipements électromagnétiques étaient en avance. En revanche, leur technologie infrarouge, en bande 1, était identique à celle des Français.

Malgré le retard de la France, la DTIA et l'EMAA continuèrent leur politique visant, pour l'industrie française, à l'acquisition de la maturité dans le domaine air-air. Mais la connaissance de ce retard joua le rôle d'un accélérateur pour le développement du Matra R 530, lancé en 1958. En 1965, les missiles français étaient compétitifs face à ceux de l'industrie américaine.

Notons qu'un missile air-sol, Bullpup, télépiloté manuellement (masse de 380 kg, avec une charge de 125 kg), avait également été présenté par les Américains. Il était en développement depuis 1954 et entra en production en 1958. Ce missile poussa l'EMAA à lancer des programmes similaires, AS 20 et AS 30.

La situation des programmes britanniques en 1958

Les échanges franco-britanniques n'ont commencé qu'en 1959.

Bien entendu, les Britanniques connaissaient les travaux des Américains sur l'autoguidage. Après le développement inachevé d'un missile guidé sur faisceau, le Fireflash, par Fairey, le ministère avait choisi, en 1950, la solution de l'autoguidage et lancé les études du Firestreak chez De Havilland Propellers (devenu HSD, Hawker Siddeley Dynamics, puis BAe Dynamics). Les caractéristiques du Firestreak étaient les suivantes :

- autoguidage en navigation proportionnelle ;
- autodirecteur infrarouge en bande 1, avec un débattement de $\pm 45^\circ$ (nettement supérieur à celui du Sidewinder) et un irdôme¹⁰ pyramidal, pour réduire la traînée (originalité reprise par le Mistral) ;
- masse de 180 kg (deux fois celle du Sidewinder, pour les mêmes performances), avec une charge de 30 kg et une fusée de proximité infrarouge passive ;
- propergol solide ; portée de 7 à 8 km.

Ce fut le premier missile britannique opérationnel, produit à partir de 1960. Il arma tous les chasseurs britanniques pendant les années 1960. 3 000 à 4 000 exemplaires ont été fabriqués. De Havilland, développant l'autodirecteur infrarouge, milita auprès des services officiels pour ne pas développer une version électromagnétique avec un autodirecteur Marconi (du fait d'une antipathie entre ces deux sociétés), refus renouvelé pour la version suivante, le Red Top.

¹⁰ « Nez » (dôme) d'un missile à autodirecteur infrarouge (mot formé sur l'exemple du « radôme »).

LES MISSILES SOL-AIR

En 1950, la mission de ces missiles était de protéger les concentrations urbaines et les bases aériennes contre les raids de bombardiers stratégiques. Ces derniers étaient subsoniques et volaient à une altitude de l'ordre de 8 000 à 10 000 m, qui les mettait à l'abri des canons de la DCA. Un système de défense à base de missile sol-air était donc attrayant pour l'EMAA et l'EMAT : cela explique le nombre important de projets développés, en France comme aux États-Unis. Les principales performances de ces missiles devaient correspondre à une portée de l'ordre de 30 à 40 km et à une altitude variant de 8 000 m à 15 000 m (pour une future cible supersonique) ; ils sont aujourd'hui classés parmi les SAMP.

Pour la DTIA, deux constructeurs français ont travaillé sur le programme SA 20 : les sociétés Matra et SNCASE ont développé chacune leur propre famille. Il faut y ajouter le PARCA étudié par le LRBA (cf. *supra*). À cette époque, ni les sociétés françaises ni les services officiels n'avaient la compétence nécessaire pour traiter ce programme au niveau du système. Ce système devait comprendre :

- un radar d'acquisition et de poursuite de la cible. Le radar Cotal fut développé par la CFTH sous la responsabilité de la SEFT, au début des années 1950. Son fonctionnement étant très satisfaisant, il fut retenu dans tous les projets ;
- une conduite de tir au sol, qui dépendait du type de guidage retenu pour le missile ;
- le missile, comportant le véhicule (propulsion et pilotage), l'autodirecteur et l'ensemble fusée de proximité et charge ;
- les matériels annexes, comme les bancs de maintenance.

La solution adoptée pour le guidage provenait des systèmes allemands : la SNCASE avait retenu le guidage par faisceau électromagnétique, le plus utilisé par les Allemands ; il fallait pour cela un ordinateur puissant et travaillant en temps réel, pour déterminer l'orientation du faisceau, compte tenu de la localisation cible par un radar séparé. Matra avait, elle, retenu une phase de téléguidage radar ; un radar déterminait la position du missile et un ordinateur, travaillant en temps réel, déterminait l'ordre de guidage (écart entre les informations du radar cible et du radar missile), qui était transmis par télécommande au missile. Ces systèmes étaient très complexes, en particulier le ordinateur, et ils ne permettaient pas d'obtenir, pour les portées envisagées, une distance de passage acceptable (10 m maximum).

Un autoguidage final devait être prévu. Or la phase d'autoguidage avait été peu étudiée, par manque de connaissances techniques.

Aucun missile ne prévoyait l'autoguidage intégral, car outre les difficultés technologiques pour réaliser l'autodirecteur, la portée souhaitée pour les missiles était supérieure à celle qui était envisageable pour un autodirecteur.

Jusqu'en 1957, face à l'ampleur de la tâche, les constructeurs se sont finalement occupés surtout du véhicule. C'est à cette date qu'il faut faire le point.

SE 4100 (SA 10), SE 4300 (SA 11) et SE 4400 (SA 20) – SNCASE¹¹

Dans cette famille (cf. figures 14 à 16), seul le dernier missile était prévu pour une utilisation opérationnelle.

Le SE 4100 fut conçu, dès 1946, par la SNCAC (remplacée par la SNCASE en 1949) comme un missile expérimental. Il utilisait le radar allemand Würzburg, de 50 cm de longueur d'onde, avec un faisceau illuminateur modulé. Ses principales caractéristiques étaient les suivantes :

- tir vertical ;
- propulsion à propergols liquides pour la croisière (SEPR) et accélérateurs (propergols liquides, remplacés par le propergol solide après 1950) ;
- configuration cruciforme ;
- masse de 1000 kg, plus l'accélérateur de 500 kg ;
- pilote avec des équipements SFENA et un gyroscope de roulis ECA ;
- performances limitées : subsonique et altitude maximale de 11 000 m.

De 1949 à 1956, 78 missiles furent tirés, dont 60 de 1951 à 1953. Les 40 derniers étaient équipés d'un récepteur du faisceau et étaient guidés. Ce fut pour la SNCASE un banc d'essai pour la propulsion et pour la mise au point du pilotage.

Le SE 4300 fut encore un missile expérimental, destiné à servir de vecteur pour la mise au point du système de guidage et pour l'entraînement du CEAM à l'utilisation de missiles sol-air à propulsion à liquides. Son étude commença en 1953. Ses principales caractéristiques étaient les suivantes :

- vecteur subsonique utilisant le propulseur de croisière à propergols liquides du missile de la Marine, le Maruca, réalisé par Ruelle. Il était plus performant que celui du SE 4100 ;
- accélérateur à propergol solide (SEPR ou STRIM, suivant la version) ;
- équipements de pilotage du SE 4100 ou améliorés ;
- masse de 600 kg, plus 400 kg d'accélérateur (cela représentait un progrès par rapport au SE 4100) ;
- performances : Mach 0,85, altitude maximale de 23 000 m, portée de 35 km à 8 000 m d'altitude ;
- système de guidage : radar Pénélope (CSF), avec émission d'un faisceau modulé pour le guidage ; longueur d'onde de 10 cm ; récepteur du missile Pénélope (CSF ou CNET), avec répondeur pour mesure au sol de la distance radar-missile (accrochage autodirecteur) ; calculateur sol SACM, pour la détermination de l'orientation du faisceau compte tenu de la cible (radar Cotal) ; autodirecteur prévu pour la phase finale.

125 missiles furent tirés de 1954 à juin 1957 (au moins 175 furent produits), dont 23 pour expérimentation tactique. Le système de guidage fut expérimenté à la fin de 1955 (75 tirs), sur cible simulée et sur quelques cibles SE 1524, et le

¹¹ Pour plus de détails, on peut se référer aux interventions de Philippe Jung lors des congrès de l'*International Astronautical Federation* : IAA 89 (SE 4100), 90 (SE 4300) et 88 (SE 4400).

résultat fut satisfaisant. 5 tirs de missile avec autodirecteur furent effectués sur cible (3 SE 1524 C et 2 CT 20), sans succès pour l'interception.

Le SE 4400 fut la version opérationnelle, lancée en étude en 1953. Ses principales caractéristiques étaient les suivantes :

- propulsion par un statoréacteur mis au point par la SNCASE, avec un accélérateur solide SEPR ou STRIM, suivant la version ;
- équipements et système sol mis au point pour le SE 4300 ;
- masse de 355 kg, plus 870 kg d'accélérateur ;
- performances : vitesse de croisière de Mach 2,3 ; vitesse maximale du vecteur : Mach 3,7 à 7 000 m d'altitude (record en 1958¹²).

77 tirs eurent lieu d'avril 1954 à juin 1957 (plus 15 ensuite pour des essais de performances, dont l'altitude de 67 000 m). En juillet 1957, l'équipe de la SNCASE avait mis au point le véhicule. Le statoréacteur fonctionnait tout en présentant des difficultés, non résolues, pour son pilotage en incidence¹³. La mise au point du guidage n'était pas achevée, sans parler de l'autoguidage terminal. Il restait aussi celle de la fusée de proximité.

En juillet 1957, la DTIA décida d'arrêter les travaux sur ce programme SE 4400 et de restreindre les tirs de 12 à 16, pour des essais de performances du véhicule. Devant les restrictions budgétaires et les critiques relatives à la multitude d'études de missiles (cf. *supra*), la DTIA avait retenu le programme Matra R 422, qui était le plus évolué, avec un vecteur ayant un bon fonctionnement¹⁴ et un système de téléguidage utilisant deux radars pour la première phase de guidage.

R 431 (SA 20) et R 422 (SA 20) – Matra¹⁵ (cf. figures 17 et 18)

Les études commencèrent en 1948 par des programmes expérimentaux, M 04 et R 04. Le M 04 était un missile cruciforme équipé d'un propulseur à ergols liquides et largué d'avion Halifax ; le R 04 était tiré du sol, avec une propulsion à ergols liquides. Cette phase expérimentale avait pour objet la mise au point d'un vecteur piloté en supersonique (l'aérodynamique, surtout en transsonique, était mal connue) et de la propulsion à liquides. Elle s'acheva en 1954 avec l'abandon de ce type de propulsion ; en revanche, le pilotage du missile en phase supersonique avait été mis au point dès le milieu de l'année 1952.

Cette phase fut poursuivie par la mise au point de deux programmes de missiles tirés verticalement.

Le R 431 était la version statoréacteur supersonique avec accélérateur à poudre, monté en tandem et largable. Le stato fut étudié par Matra, de 1950 à 1955, sous la direction du professeur allemand Schrenck (surtout pour l'aérodynamique). La chambre de combustion et le système d'injection furent rapidement confiés à l'Arsenal. La régulation était hydromécanique – choix

¹² *Revue scientifique et technique de la Défense*, numéro spécial de 1998 consacré à la recherche aéronautique.

¹³ Note du STAé/ES du 24 mai 1957, SHAA, dossier E 6615.

¹⁴ *Ibid.*

¹⁵ Roger MEGRET, Yves HEBEL *et al.*, *Il était une fois... Matra*, Matra, vers 1990.

classique à l'époque. Ce missile pesait 525 kg, et 1 500 kg avec son composite. Il était capable d'une portée de 150 km à 20 000 m d'altitude, entre Mach 2,3 et 2,7.

40 tirs de véhicules eurent lieu de 1954 au début de 1958, le premier tir du missile piloté datant de 1956. Les résultats obtenus furent excellents (bon fonctionnement à fortes incidences, notamment). C'était le moment de définir la version opérationnelle ; mais le R 422 fut choisi, car il était en avance et plus « opérationnel », avec sa propulsion à propergol solide.

Le R 422 était la version à propergol solide. Ses principales caractéristiques étaient les suivantes :

- la configuration était un canard, mais avec une originalité : la partie avant (équipements) était stabilisée en roulis et la partie arrière était en autorotation ;
- tir vertical d'une rampe inclinée à 80° ;
- propulseurs SEPR à propergol solide ;
- diamètre de 340 mm ; masse de 650 kg, 1 600 kg avec l'accélérateur ; masse de 100 kg pour la charge prévue ;
- performances : maximum Mach 2,8 et portée (distance de retour à Mach 1,5) variant de 28 km à 48 km suivant l'altitude (de 8 000 m à 18 000 m) ;
- équipements de pilotage Matra ;
- système de guidage : après le tir, le missile basculait pour atteindre l'altitude de la cible ; il suivait une trajectoire en navigation proportionnelle dans le plan de la cible, en téléguidage puis en autoguidage. Pendant la phase de téléguidage, la cible était localisée par un radar Super Cotal (de portée augmentée à 110 km) ; pour la localisation du missile, deux solutions furent étudiées : Matra commanda en 1955 à Derveaux un système tristatique à impulsions, Super Ulysse, qui utilisait un ordinateur numérique SEA, CAB 3018, et ce système fut expérimenté en 1956. La solution retenue en 1957 utilisait un radar Cotal avec un ordinateur analogique SEA ; le ordinateur déterminait l'ordre de guidage, qui était transmis au missile par une télécommande SFENA. Enfin, l'autoguidage final électromagnétique semi-actif était dû à SFENA ou CFTH. Il était à antenne fixe, d'où l'impossibilité d'obtenir une faible distance de passage.

Après la phase des tirs de mise au point du vecteur piloté, qui eurent lieu en 1956 et 1957, les premiers tirs du missile guidé (phase de téléguidage) suivirent ; au printemps 1958 eurent lieu avec succès des tirs d'abord sur parachutes, puis contre avions télécommandés Mistral. Ils furent suivis par 4 tirs avec autoguidage final. Le dernier résultat, lors d'un tir sur CT 20 avec l'autodirecteur SFENA, fut une distance de passage de 45 m, obtenue après pompage. 70 tirs avaient eu lieu en 1958 et dans les premiers mois de 1959.

Les résultats étaient encourageants ; il restait à améliorer l'autoguidage (sa technique et sa technologie), développer la partie armement, fusée de proximité et charge, industrialiser le missile et surtout le système sol (dont le ordinateur) et concevoir la maintenance. A la demande de l'armée de l'Air, en 1958, un projet de missile amélioré de 80 km de portée fut envisagé sous le nom de Phénix. Après la décision d'arrêt du programme, du 4 août 1958, faisant suite à celle du 15 avril

1958¹⁶ de ne pas le mettre en service, le STAé accepta que la fin des travaux soit reportée en mars 1959.

La situation des systèmes sol-air américains et britanniques

Dès la fin de la guerre, les Américains lancèrent des systèmes dits à longue portée ou à moyenne portée, à charge militaire classique ou nucléaire, dérivés des concepts amenés par les ingénieurs allemands (guidage par faisceau électromagnétique) : Nike Ajax (40 km de portée) et Nike Hercules (140 km de portée), qui équipèrent les forces américaines en Europe jusqu'aux années 1980, Bomarc (400 km de portée) et deux autres tirés de navires, Talos (120 km de portée) et Terrier (35 km de portée, soit une moyenne portée). Ces trois derniers missiles furent ultérieurement équipés d'un autodirecteur en phase terminale.

Dès le début des années 1950, les Américains étaient conscients que la solution de l'autoguidage, au moins terminal, serait préférable, sinon nécessaire avec une charge classique. En outre, ils avaient acquis un tel niveau de connaissance sur le guidage (loi de navigation proportionnelle, technique et technologie de l'autodirecteur électromagnétique) que des systèmes fondés sur l'autoguidage intégral pouvaient être lancés. Ces derniers systèmes ont des qualités opérationnelles supérieures en termes d'efficacité et d'emploi (mobilité). En effet, ils ne nécessitent qu'une conduite de tir simplifiée (radar de poursuite de la cible avec illuminateur émettant sur la même antenne) et sont supérieurs en termes de probabilité de destruction, grâce à la distance de passage réduite. Les deux premiers programmes modernes de ce point de vue sont pour l'Army le Hawk, lancé en 1953 et mis en service en 1959, et pour la Navy le Tartar, dont la mise en service n'eut lieu qu'en 1961.

Le Hawk est un système mobile développé par Raytheon (missilier et radariste), fondé sur l'autoguidage semi-actif en électromagnétique¹⁷ (cf. figure 19) :

- système avec radars d'acquisition à impulsions pour la moyenne altitude et doppler pour la basse altitude ;
- conduite de tir avec illuminateur ;
- missile : longueur de 5 m et diamètre de 360 mm ; masse de 580 kg ;
- charge de 70 kg (élevée, mais correspondant à une conception de 1953) ;
- propulsion à propergol solide ;
- portée de 25 km (liée à celle de l'autodirecteur) ; plafond de 12 000 m ;
- guidage en navigation proportionnelle ;
- autodirecteur à antenne stabilisée par gyromètres montés sur l'antenne (scanning et technologie tube). C'est le premier autodirecteur du type doppler (avec illuminateur sol à ondes continues), capable de poursuivre des cibles à basse altitude.

La première amélioration concernant le système (radar d'acquisition) et surtout le missile (version B : masse de 630 kg, portée de 45 km et plafond de 18 000 m) fut effectuée pour une mise en service en 1972.

¹⁶ Décision ministérielle N° 246 DN/CAB/ARM du 15/04/1958 – dossier 26R4 du SHAT

¹⁷ Pour plus de détails, cf. Comité pour l'histoire de l'armement terrestre, *Armements sol-air*, par l'ingénieur général Collet-Billon (†) puis l'ingénieur général Bienvenu (tome 11), 2002.

Les armées américaines commandèrent 17 000 missiles (des deux versions) de 1956 à 1991. Avec la production européenne (11 000 missiles) et l'exportation, environ 37 000 missiles au total furent réalisés. Le Hawk a été opérationnel dans 23 pays et, en 1995, il était toujours en service, après plusieurs améliorations.

Comme pour les air-air, les présentations et les démonstrations des missiles américains aux missions françaises de 1957 et 1958 furent une découverte. Entre le Hawk et les divers programmes français, l'écart en matière d'avancement et de performances attendues justifiait techniquement la directive prise, le 4 août 1958, par le ministre, en vue d'arrêter l'ensemble des programmes terrestres et d'adopter le Hawk¹⁸.

En Grande-Bretagne, l'étude d'un système fondé sur le guidage par faisceau électromagnétique avec un autoguidage final fut lancée en 1950, et ce système fut mis en service en 1961 : c'était le Sea Slug 1, dans la Marine. Deux systèmes plus modernes, à autoguidage intégral semi-actif, pour une utilisation terrestre, les Thunderbird et Bloodhound, furent aussi lancés et mis en service dans les années 1960. Leurs performances étaient inférieures à celles du Hawk.

LES MISSILES SOL-SOL D'ARTILLERIE¹⁹

Deux projets furent développés par la SNCASE, dont le premier a fait l'objet d'une expérimentation tactique prolongée par l'armée de Terre, commencée avant même la fin de sa mise au point.

SE 4200 (SS 40)

Il a été conçu dès 1946 par la SNCAC pour répondre à la spécification du STAé : 30 km de portée, subsonique, altitude maximale de 2 000 m, 100 kg de charge. L'objectif de l'industriel était de réaliser un missile d'un coût très faible : inférieur à celui de la Traction avant Citroën ! Cela explique le choix d'ailerons en bois et celui du statoréacteur, malgré son manque de connaissances en la matière.

Les caractéristiques étaient les suivantes :

- la portée souhaitée a augmenté : en 1952, 50 km (suite aux résultats) ; en 1954, 100 km (suivant la demande de l'EMAT) ;
- tir d'une rampe inclinée de 20° et de faible longueur, à l'aide d'un chariot largable, avec deux propulseurs d'accélération STRIM à propergol solide ;
- configuration : aile volante ;
- masse du missile de 935 kg (en version définitive) avec le chariot accélérateur ;
- charge SNCASE de 135 kg, installée en position pendulaire sous le fuselage ;
- propulsion de croisière par statoréacteur, d'un diamètre de 500 mm, mis au point par la SNCASE ;

¹⁸ Voir chapitre 7, DEFA.

¹⁹ Cf. Philippe Jung lors des congrès de l'*International Astronautical Federation* : IAA 93 (SE 4200) et 95 (SE 4500).

- performances : Mach 0,8 ; vol à altitude constante d'environ 400 m, contrôlée par un altimètre barométrique SFENA ;
- guidage en direction fondé sur le maintien dans un plan directeur radar vertical passant par la rampe de lancement et par l'objectif : deux antennes, dont l'une pour la phase de départ, avec un lobe de 12°, et l'autre pour la croisière, avec un lobe de 2° (3,6 GHz) ; un détecteur radar, à bord du missile, déterminait l'écart par rapport au plan directeur ; une télémessure radar au sol avec un répondeur (1 GHz) mesurait la distance parcourue par le missile et transmettait l'ordre de télécommande pour la descente ; l'antibrouillage devait être amélioré ; le plan directeur et la télémessure étaient développés par la CSF ;
- pilote automatique SFENA avec gyromètre roulis/lacet ;
- précision obtenue au cours de l'expérimentation sur 30 missiles : 80 % d'impacts étaient compris dans un carré de 25 m de côté ; la précision était plus correcte en direction qu'en distance ;
- une unité mobile permettant le tir simultané de quatre missiles sur la même cible (15 s entre le tir de deux missiles), pour l'utilisation opérationnelle, avait été réalisée.

La société ne disposant de la soufflerie de Modane qu'en décembre 1952, la mise au point du statoréacteur (injecteurs) fut effectuée à l'aide de tirs, et elle fut longue ; de même pour la mise au point du plan directeur. Le premier tir avec le stato eut lieu en octobre 1950, celui avec le guidage en avril 1954. 287 tirs ont été effectués de 1950 à 1958 pour la mise au point, dont les 18 premiers sur la plage de Pampelonne.

À partir de juin 1954, l'EMAT désirait expérimenter le tir des missiles : 100 missiles formant trois lots de versions évolutives (par exemple 60 SE 4263 sans guidage) et une présérie de 180, en deux versions, SE 4246 et 4280, furent tirés respectivement de 1955 à 1958 et de 1960 à mars 1963 par les 701^e et 702^e GAG. Pour la présérie, les campagnes de tir duraient 15 jours et 20 à 30 missiles étaient tirés, dont certains en salve de deux ou quatre missiles.

En avril 1958, l'EMAT décida de ne pas mettre en service ce programme à charge conventionnelle, tout en achevant jusqu'en 1963 ses expérimentations tactiques²⁰ : des tirs après deux années de vieillissement, quelques tirs, sans succès, avec un autodirecteur passif (ondes VHF) et un tir avec un brouilleur Tatou de Thomson.

SE 4500 (SS 40) (cf. figure 22)

Il a été lancé à la fin de 1955. C'était un SE 4200 agrandi à l'échelle 4/3 et capable de porter une charge de 700 kg ; la masse du missile, avec accélérateur, passait de 935 kg à 1400 kg. La portée de 100 km était maintenue. Tous les équipements de guidage et de pilotage, dans la dernière définition du SE 4200, étaient utilisés.

62 tirs de missiles, de 1956 à la mise en veilleuse des travaux à la fin de 1958, avaient permis la mise au point.

²⁰ Décision ministérielle N° 246 DN/CAB/ARM du 15/04/1958 – dossier 26R4 du SHAT

Ce programme reçut une aide financière des Américains, égale à 40 % des dépenses de développement HT durant deux années (du 11 juin 1956 au 30 juin 1958), au titre d'un contrat MWDP (*Mutual Weapon Development Projects*, dits « Larkin »). Des discussions avec la Suède, pour une utilisation des SE 4200 et SE 4500 en batterie côtière, eurent d'autre part lieu en 1958.

Ce missile avait été lancé pour un équipement éventuel avec une charge nucléaire. Mais, en 1955, il n'y avait pas de programme nucléaire défini ; le projet de SSBT (Casseur, de 100 à 300 km de portée) démarra en 1956. La directive ministérielle du 4 août 1958 décida de lancer, en plus du SSBS, un programme de missile balistique tactique et d'arrêter les tirs de SE 4500, sans annuler, pour le moment, le programme. La décision définitive sur la poursuite de ce programme était subordonnée à la certitude d'obtenir une charge nucléaire adéquate, française ou américaine, en temps utile pour qu'il soit mis en service suffisamment longtemps avant l'aboutissement du SSBT. À la fin de 1958, les Américains indiquèrent que ce missile était incapable de recevoir une telle charge. En août 1959, il fut décidé que les efforts devaient être consacrés uniquement au SSBS : en octobre 1959, le projet du Casseur et le SE 4500 furent arrêtés.

LES CIBLES AERIENNES

Le besoin de cibles aériennes se fit sentir dès 1946 pour l'entraînement aux tirs canons et dès 1953 pour la mise au point des premiers missiles antiaériens. Des solutions provisoires furent utilisées de 1951 à 1957 : d'une part, des engins planants téléguidés de la famille SE 1500, largués des avions Léo 45, Lancaster et Canberra (les versions cibles sont le SE 1502 pour la Marine et le SE 1524 pour l'Air, avec 31 vols à Colomb-Béchar²¹) ; mais ces engins étaient trop lents. D'autre part, on utilisait des conteneurs cibles, dotés de trois parachutes et éventuellement de flammes, pour la mise au point des missiles à autodirecteur²². Trois programmes de cible aérienne téléguidée furent lancés par le STAé/ES à l'Arsenal (puis à Nord-Aviation).

CT 10 (Ars 5501) – Arsenal de l'aéronautique (cf. figure 4)

Les études ont commencé dès 1946, le besoin de base ayant été défini par le STAé ; le premier vol date de décembre 1949, au CIEES. Durant cette campagne d'essais, un fonctionnement intempestif des fusées (induction électromagnétique) provoqua la mort du responsable du CT 10, l'ingénieur de l'Arsenal, M. Léger²³.

²¹ Cf. Philippe JUNG, *op. cit.*

²² Cf. Roger MEGRET, Yves HEBEL *et al.*, *Il était une fois... Matra*, Matra, vers 1990 et *Le Centre d'essais en vol 1944-1994*, Association amicale des essais en vol, Union de publicité et d'édition, 1994.

²³ C'est toujours, au 31 décembre 2002, l'unique décès déploré lors d'essais de missiles tactiques français.

Ses principales caractéristiques étaient les suivantes :

- véhicule inspiré du V 1, avec sa propulsion de croisière par un pulsoréacteur. Sa mise au point, avec l'assistance d'Allemands, fut assez rapide, malgré les difficultés en matière de régulation ;
- accélérateur à propergol solide ;
- commande par une gouverne de profondeur et des *spoilers* aérodynamiques sur les ailes, pour le contrôle du roulis (« gyro » d'assiette) ;
- masse en vol de 600 kg ;
- téléguidé en boucle ouverte ; localisation par un interrogateur-répondeur IFF (*Identification Friend and Foe*), servant de télémessure, réalisé par Derveaux ;
- tir d'une rampe courte (à Colomb-Béchar, c'était un socle de béton avec des rails de chemins de fer) et récupération par parachute. Là se situaient les différences fondamentales avec le V 1 : pour ce dernier, la rampe avait une longueur de 45 m ;
- performances : vitesse de 420 km/h et plafond de 4 000 m : elles étaient trop limitées pour les essais de missiles ; en outre, la maniabilité était incertaine.

Le CT 10 fut opérationnel en 1952 ; il fut néanmoins produit à 413 exemplaires et utilisé dès cette année par les Britanniques (75 exemplaires).

CT 20 (Ars 5510) – Arsenal de l'aéronautique (cf. figure 24)

Les études du CT 20 commencèrent en 1953. Ses principales caractéristiques étaient les suivantes :

- il a été conçu autour du Marboré II, petit turboréacteur (poussée de 400 kgp), développé par Turboméca pour les avions légers d'entraînement ;
- masse en vol de 660 kg ;
- configuration avion, équipé des *spoilers* d'ailes ; empennage en V ;
- pilotage 3 axes : gyroscope SFENA et directionnel SFIM ;
- tir d'une rampe inclinée, avec un chariot accélérateur à propergol solide ;
- récupération terrestre et maritime par parachute, avec peu de dégâts sur un champ de tir terrestre ;
- localisation par radar Cotal (avec répondeur) ; télécommande SFENA ;
- performances valables pour l'époque : Mach 0,8 et altitude de 13 000 m ; vol de croisière de 50 minutes ; portée sûre de 40 km.

Le premier vol date de janvier 1955 et la cible fut opérationnelle à partir de 1958. Ce fut la cible de mise au point et d'entraînement pour le R 511 et pour tous les missiles antiaériens de la deuxième période. Elle a été utilisée jusqu'à la fin des années 1980. Elle fut produite à 1 569 exemplaires et exportée dans cinq pays. Elle fut utilisée pour les campagnes de tir d'entraînement OTAN (Hawk) réalisées sur le champ de tir de Crète à partir de 1968 : ce fut un succès pour Nord-Aviation et pour le STAé. Deux dérivés furent développés : le M 20, sol-mer suédois et le R 20, missile de reconnaissance.

Mais il fallait que le CT 20 soit « valable », c'est-à-dire comparable à un avion, du point de vue des essais. Cette cible dut donc être équipée de flammes infrarouges et de lentilles pour simuler la SER (cf. annexe technique n° 3). On augmenta son plafond, avec le Marboré VI, et on réalisa une version basse

altitude. Mais elle n'avait pas les dimensions d'un avion, pour les essais de missile à charge : cela explique la mise au point par le CEV du Mistral télépilote et son utilisation de 1958 à 1965. On voulut aussi simuler les avions supersoniques : on lança le développement d'une cible supersonique.

CT 41 (Narval) – Nord-Aviation (cf. figure 23)

Les études commencèrent en 1956 ; c'était l'époque des projets d'engin robot. Après des hésitations, au stade de l'avant-projet, entre le lancement d'un CT 30 propulsé à Mach 1,7 par turboréacteur avec postcombustion et celui d'un CT 41, avec une propulsion par statoréacteur, c'est ce dernier projet qui fut choisi : le stato était à la mode et l'optimisme régnait.

Le CT 41 était inspiré de l'avion Nord-Aviation Griffon, avec ses deux statos Nord Sirius de 625 mm de diamètre en bout d'aile. C'était un très bel « oiseau ». Sa vitesse de croisière était de Mach 2,5 et le plafond de 25 000 m ! Mais l'autonomie était très faible (14 mn). Sa masse en vol était de 1 250 kg ; avec le chariot de lancement, elle passait à 2 500 kg.

Les tirs de mise au point commencèrent en janvier 1959 et ils furent catastrophiques, avec un temps de vol limité à quelques minutes, voire quelques secondes. Des phénomènes d'aéroélasticité se produisaient. Le projet fut alors réétudié, en particulier avec les experts du STAé/EG ; les vols devinrent très satisfaisants vers 1962.

À la fin de 1962, la Marine américaine, très intéressée, acheta 6 CT 41 pour évaluation ; sur 3 tirs effectués en juillet 1963, 2 vols furent corrects : elle ne le retint pas.

Plusieurs expérimentations de tir de missile air-air R 530 furent tentées, en 1964 et 1965, au CEL (Centre d'essais des Landes). Les interceptions ne purent avoir lieu, le tir devant être effectué dans une zone très petite, compte tenu de la portée des cinéthéodolites, nécessaires pour la détermination de la distance de passage, et des limites de la zone de récupération. Cela conduisait à un chronométrage à la seconde près.

En 1965, après 29 essais en vol, le programme fut abandonné : cela arrêta toute étude expérimentale sur le statoréacteur jusqu'en 1972.

Il y avait eu, à la base même du programme, deux erreurs d'appréciation : d'une part, une cible supersonique et lancée du sol ne pouvait pas avoir un temps de vol suffisant pour être utilisable, avec les missiles de l'époque, sans être très grosse ; d'autre part, si l'on voulait éviter de lui faire survoler des régions habitées, le champ de tir devait être très étendu (en 1957, le champ de tir envisagé était Colomb-Béchar, et non le CEL).

CHAPITRE 5

CONCLUSIONS SUR LA PREMIÈRE PÉRIODE

LA SITUATION DES PROGRAMMES APRES LA DIRECTIVE DU 4 AOUT 1958¹

Programmes maintenus ou à lancer

- air-air : fabrication limitée des engins actuels, Nord 5103 et le R 511 ; études maintenues pour les programmes AA 25 et AA 26, destinés au Mirage III ;
- air-sol : développement de l'utilisation air-sol du Nord 5103 ; lancement d'un missile utilisant la même technique, avec une charge plus importante : le programme AS 30 ;
- sol-air longue portée (SALP) : sous la responsabilité de la DEFA, études des principes des projets du SALP de la DTIA et du Masalca de la DCCAN de manière à définir une solution unique pouvant satisfaire les trois armées. Pour des raisons budgétaires, ces études furent stoppées le 26 mai 1959 par décision ministérielle².
- sol-air moyenne portée terrestre : adoption du Hawk (la DEFA en étant responsable) ;
- sol-sol SE 4500 poursuivi sous conditions. Il fut arrêté en octobre 1959.
- programmes de la DCCAN maintenus : le surface-surface Malaface et le lance-torpille Malafon. Le Malaface sera arrêté à la fin de 1958.
- antichars (sol-sol ou air-sol) et cibles aériennes : continuation de la production des SS10, Entac, SS11 et CT20 et du développement du SS12 et du CT41 ; ces programmes n'étaient pas cités, dans la décision N°509 car ils avaient été confirmés par le CTPFA du 13 février 1958³

Programmes arrêtés ou mis en sursis

- sol-air R 422, ACAM et PARCA (DEFA) : arrêtés ;
- SAMP Masurca, sous la responsabilité de la DCCAN : arrêté, si possible. La décision ministérielle du 26 mai 1959 le confirma finalement.

L'EVOLUTION DES BESOINS DES ARMEES

Le besoin en missiles antiaériens est resté primordial. Mais l'achat aux États-Unis d'un sol-air de défense du champ de bataille et l'arrêt des études de sol-air de plus grande portée ont conduit à fonder la défense aérienne du territoire sur

¹ Il s'agit là des programmes sous responsabilité de la DTIA, sauf indication contraire. La directive, note n° 509 MA/CAB/ARM du 4 août 1958, est archivée au SHAA, dossier E 6615.

² SHAA, dossier E 6615.

³ Document N°122 DN/CAB/ARM du 20 février 1958 – dossier 26R4 du SHAT

des intercepteurs. Pour l'armée de l'Air, la politique envisagée au début de 1958 et concrétisée par le mot d'ordre du « virage engins » ne fut pas retenue en août 1958.

Au début des années 1950, la mise au point de petits missiles antichars, efficaces grâce à la charge creuse, a en revanche entraîné, pour toutes les armées de Terre, le besoin prioritaire de s'équiper avec de tels missiles.

Enfin, le besoin de missiles air-sol est apparu en France en 1957, du fait du choix par l'EMAA du chasseur-bombardier de préférence à l'intercepteur léger.

L'ÉVOLUTION DES SOLUTIONS TECHNIQUES

La propulsion

La propulsion à propergols liquides, qui avait été un point fort des Allemands en 1945, est totalement abandonnée pour les missiles tactiques, au profit des propergols solides : ces derniers sont plus sûrs, plus facilement utilisables en opérations et leur retard en matière de performances se réduit.

La propulsion par statoréacteur, qui semblait représenter l'avenir dans les années 1950, perd tout intérêt : les missiles supersoniques à grande portée ne sont plus d'actualité et l'adoption du propergol solide permet une utilisation plus opérationnelle. Il faut finalement attendre l'ASMP, mis en service en 1986, pour qu'une armée française utilise un missile aéroporté propulsé par statoréacteur ; entre-temps, de nouveaux concepts ont été imaginés et des progrès dans les moyens de mesure ont été réalisés. En revanche, des missiles sol-air américains et britanniques équipés d'un statoréacteur ont été opérationnels dans les années 1960.

Le guidage pour les missiles de longue portée

Tous les systèmes de guidage envisagés par les Allemands pour les missiles antiaériens (guidage par faisceau radar ou téléguidage radar suivi d'un autoguidage terminal), et qui avaient servi de modèle pendant les années 1950, sont abandonnés au profit de l'autoguidage intégral, dont les États-Unis ont été les précurseurs. Il faut attendre la mise au point du guidage inertiel « à faible coût », en 1980, pour que soient réalisés des missiles antiaériens à longue portée avec deux phases de guidage (guidage mi-course inertiel suivi d'un autoguidage final).

ÉVALUATION DES DEPENSES DE CETTE PERIODE

Nous n'avons pas pu consulter de documents financiers détaillés. La présente estimation repose sur deux documents globaux, détaillés en annexe 1. Il en résulte que l'ordre de grandeur des dépenses effectuées pour les études et prototypes d'engins spéciaux des trois armées, de la Libération à 1957, est de 40 milliards de francs courants. Le budget prévu pour 1959 par chaque direction, pour l'ensemble de leurs projets (y compris les projets d'un SALP et d'un sol-sol

de 300 km pour la DTIA), était de 8 milliards de francs pour la DTIA, 7 milliards pour la DEFA et 4 milliards pour la DCCAN.

À partir de ces données, nous avons établi l'ordre de grandeur des dépenses d'études des missiles, en francs de 1995. Il s'établit : pour la période de 1945 à 1957, à 7 milliards de francs pour les trois Directions [1,17 milliard d'euros de 2002], dont 3 milliards pour la DTIA [500 millions d'euros de 2002] ; pour l'année 1957, à 1,3 milliards de francs pour les trois Directions [220 millions d'euros de 2002], dont 550 millions pour la DTIA [93 millions d'euros de 2002].

En 1957, la part du budget français consacrée aux missiles tactiques correspondrait ainsi à 2,2 % environ des dépenses militaires d'équipement (soit environ 60 milliards de francs de 1995, ou encore 9 milliards d'euros de 2002)⁴.

BILAN EN 1958, POUR LES ACTIVITES DIRIGÉES PAR LA DTIA

Les aspects positifs

L'équipement de nos armées avec des missiles français commençait. L'armée de Terre possédait des missiles antichars SS 10, ENTAC et SS 11, les meilleurs du monde à l'époque, et les utilisait. L'armée de l'Air avait armé, en air-air, le SMB 2 avec le Nord 5103 et le Vautour avec le Matra R 511 tous temps. L'Aéronavale avait retenu le R 511 pour l'Aquilon. L'efficacité de ces missiles était limitée, tout en étant largement supérieure à celle du canon.

Un tissu industriel était créé, composé essentiellement de PME. Deux missiliers, avec des expériences différentes, abordaient les années 1960⁵ : Nord-Aviation, spécialisé dans le téléguidage, et Matra, spécialisé dans l'autoguidage. Nord-Aviation commençait à avoir une réputation mondiale pour ses antichars et à les exporter. Matra, avec ses missiles aéroportés plus complexes, avait le potentiel pour devenir compétitif dans les années 1960.

Des équipementiers compétitifs avaient fait leur percée : la Direction des poudres pour les propergols et les explosifs, Brandt pour les charges et les propulseurs à poudre des missiles tactiques⁶, STRIM pour les charges et Turck pour l'infrarouge.

Soulignons enfin que la disponibilité d'un champ de tir terrestre comme Colomb-Béchar avait été un facteur déterminant pour le niveau d'avancement obtenu en 1958 par les missiles français.

Les aspects négatifs

La décision d'arrêt des sol-air avait eu deux conséquences : la responsabilité de la DTIA en ressortait très amoindrie et surtout deux missiliers voyaient leur activité future très réduite. La SNCASE, qui n'avait pas démérité, dut abandonner

⁴ Centre d'études d'histoire de la Défense, *La IV^e République face aux problèmes d'armement*, ADDIM, 1998.

⁵ Il faut y ajouter les missiliers travaillant, dans les années 1960, pour les autres directions : l'APX pour la DEFA (ACRA et Hawk), ainsi que l'ECAN de Ruelle (Masurca) et Latécoère (Malafon) pour la DCCAN.

⁶ Pour les missiles balistiques, il faut y ajouter la SEPR.

totalemment son activité de missilier tactique en 1959, car son programme sol-sol était également arrêté. Matra devait se contenter des programmes air-air.

La France avait, par rapport aux États-Unis, un retard technique de l'ordre de quatre années dans les domaines des concepts de guidage et de l'architecture des systèmes complexes, comme ceux des sol-air. Il lui manquait une connaissance fine de la loi de navigation proportionnelle et de la réalisation d'autodirecteurs adaptés. Le retard portait aussi sur la technologie des autodirecteurs électromagnétiques : de ce fait, des types de guidage dépassés étaient employés, faute d'autoguidage intégral. Mais, les visites aux États-Unis de 1957 ayant mis en évidence ces retards, ceux-ci furent vite comblés.

Conclusion

Le missile SS 11 antichar est reconnu comme l'un des trois meilleurs missiles du monde développés dans cette période. Les deux autres sont américains : il s'agit de l'air-air Sidewinder et du sol-air Hawk. Ces missiles ont été utilisés par la plupart des pays occidentaux et ont eu une durée de vie de trente à quarante années (avec des versions améliorées).

Les principaux responsables de l'existence d'une industrie missilière française, qui commençait à rencontrer des succès, confirmés par la suite, sont :

- du côté des services officiels, de nombreux ingénieurs militaires de l'Air (ICA et IGA) et des officiers, déjà cités ;
- du côté de l'industrie, cinq personnalités : Pierre Barchewitz, Marcel Chassagny, Yves Hébel, Émile Stauff et Jean Turck. Leur rôle a été soit de fonder une société gagnante, soit d'avoir été le « père d'une famille de missiles », soit, en tant qu'universitaire, d'orienter les recherches techniques.

ENCART 1/1

ENCART ½

ENCART 1/3

ENCART ¼

ENCART 1/5

ENCART 1/6

ENCART 1/7

ENCART 1/8

ENCART 1/9

ENCART 1/10

ENCART 1/11

ENCART 1/12

ENCART 1/13

ENCART 1/14

ENCART 1/15

ENCART 1/16

**De 1959 à 1979 :
la maturité**

CHAPITRE 6

INTRODUCTION À LA PÉRIODE 1959-1979

1959-1970 : L'ACCESSION A LA MATURETE ET LA COOPERATION INTERNATIONALE

Dans cette période d'activité intense, l'étendue des responsabilités du STAé en matière de missiles fut modifiée, la directive ministérielle de 1958 entraînant une réorganisation l'année suivante.

Le GEB (Groupement des engins balistiques) fut créé en juin 1959 au sein du STAé. Il rejoignit la DMA à sa création, en avril 1961, comme Département des engins, avant d'être transformé, en 1965, en Direction technique des engins (DTEN).

Le STAé/ES vit son domaine de responsabilité limité aux missiles tactiques aéroportés, aux cibles aériennes et aux antichars de Nord-Aviation. De plus, en 1961, ces derniers quittèrent la DTIA, le général Lavaud, chef d'état-major général des armées, ayant décidé le 19 janvier 1960¹ de confier la responsabilité totale du domaine antichar à la DEFA.

Jusqu'en octobre 1970, la création de la DMA n'entraîna pas d'autre modification des responsabilités dans le domaine des missiles tactiques. À cette date, le développement des nouveaux missiles fut confié à la DTEN.

À partir de 1959, les relations internationales (échanges techniques et opérationnels et coopérations) furent très nombreuses, mais elles s'amenuisèrent à la fin des années 1960.

Dans le cadre de l'OTAN, l'activité fut intense de 1960 à 1965, sous deux formes :

- par l'échange d'informations au sein de nombreux groupes mixtes de travail. L'objet était, d'une part, le choix de l'armement de l'avion américain F 104 G, acquis, à la fin de 1958, par de nombreux pays européens, d'autre part l'établissement de fiches de caractéristiques communes pour de futurs missiles air-sol et antichars ;
- dans le cadre d'agences OTAN pour la production européenne de missiles américains sous licence : Hawk et Sidewinder.

Avec les États-Unis, les relations passaient soit par des contrats MWDDEA (*Mutual Weapon Development Data Exchange Agreement*), échanges sur des thèmes techniques précis, soit, par des contrats MWDP (*Mutual Weapon Development Projects*), dits aussi « Larkin », correspondant à une participation financière (se montant en principe à 50 % hors taxes) aux dépenses de développement de programmes comme l'AS 12, le R 530 et l'AS 30. En contrepartie, un état semestriel d'avancement devait être fourni. Notons qu'avant 1959, des aides américaines avaient déjà été fournies pour le SS 11 et le SE 4500.

¹ SHAA, dossier E 6615.

Entre la France et le Royaume-Uni, outre des échanges d'informations techniques sur des thèmes précis, c'est la grande période de coopération : Jaguar, famille d'hélicoptères, Concorde... La coopération Martel, commencée en 1962, rencontre le succès. Il n'en va pas de même pour l'avion à géométrie variable et pour le missile air-air qui lui est associé.

Enfin, les coopérations franco-allemandes correspondent au retour, en 1960, de l'Allemagne au sein de l'industrie missilière. Elles concernent d'une part le programme expérimental AS 33, d'autre part la possibilité, pour le Centre d'essais en vol allemand, de s'implanter à Cazaux. La coopération est ensuite élargie aux missiles terrestres (sous la responsabilité de la DEFA) et elle s'avère durable.

Parallèlement, les conflits au Proche-Orient ont mis en évidence de nouveaux besoins opérationnels, qui n'avaient pas été envisagés auparavant, mais qui peuvent être satisfaits grâce aux progrès techniques. Naissent ainsi le missile air-air de combat Magic et le missile antinavire Exocet. En outre, le conflit au Vietnam et la guerre du Kippour ont montré l'importance des systèmes de missiles sol-air.

Au total, l'accession à la maturité était en cours. Trois raisons peuvent l'expliquer :

- les leçons ont été tirées des visites effectuées aux États-Unis en 1957 et 1958, visites qui avaient permis de constater un retard en matière d'autoguidage ;
- les états-majors ont pu définir les besoins opérationnels pour des missiles réalisables : c'est la fin des missiles « d'ingénieurs ». En effet, grâce à l'utilisation opérationnelle des missiles des années 1950 et 1960 et aux échanges avec leurs homologues des pays occidentaux, les états-majors devinrent des experts en la matière ;
- les progrès de la technologie électronique (transistorisation) – améliorant en particulier la fiabilité –, les études plus poussées grâce aux moyens de simulation, la prise en compte de l'aspect système et le dynamisme des équipementiers et des missiliers ont également été des facteurs déterminants.

La majorité des programmes français (nationaux ou en coopération) opérationnels jusqu'aux années 1980 et même 1990 ont été développés, ou au moins lancés, dans les années 1960. La plupart étaient équivalents aux réalisations américaines de l'époque. Il faut ainsi citer :

- l'air-air R 530 pour l'armement du Mirage III et ses améliorations, le Magic 1 et le Super 530, lancés à la fin des années 1960 ;
- en air-sol, l'AS 30 et le Martel (ou AS 37) ;
- le programme air-surface ou mer-mer léger AS 12 ;
- le mer-mer MM 38, ou Exocet, lancé à la fin des années 1960, les antichars de deuxième génération Milan et Hot et le sol-air courte portée Roland, ces trois derniers types de missiles étant sous la responsabilité de la DCCAN ou de la DEFA.

Tout cela permet de caractériser cette période comme celle de l'accession à la maturité.

1971-1979 : LA REORGANISATION DE LA DMA POUR LES MISSILES ET LA COMPETITION INTERNATIONALE

La réorganisation de 1970 fut, pour les services officiels, l'un des événements les plus importants de cette décennie. Les responsabilités, pour la plupart des nouveaux programmes en développement (Magic 1 et Super 530 pour la DTCA, MM 38 pour la DTCN et ACRA pour la DTAT), furent transférées à un nouveau service créé au sein de la DTEN : le Service technique des engins tactiques (STET). Les autres programmes, en particulier ceux qui relevaient de la coopération internationale, restèrent gérés par leurs directions. Tous les futurs programmes furent, eux, développés sous la responsabilité de la DTEN, sauf pour les antichars, comme les TRIGAT (*Tripartite Guided Antitank*), qui restèrent jusqu'en 1994 sous la responsabilité de la DTAT.

Parallèlement, les relations entre les services officiels et l'industrie évoluent. Cette évolution vers des relations « acheteur-vendeur », qui s'intensifie dans les années 1980 et 1990, peut s'expliquer par plusieurs facteurs :

- l'esprit du « développeur » tend à remplacer celui de « l'inventeur » ;
- les budgets sont réduits, tandis que la technicité est croissante. L'organisation de la DMA, avec son « bras séculier », la DPAI (Direction des programmes et des affaires industrielles), accroît les tâches administratives des ingénieurs. Tout cela conduit à une distinction plus nette entre les tâches étatiques et les tâches industrielles ;
- les contrats sont totalement forfaitaires et une participation de l'industrie au financement du développement des programmes exportables est demandée.

Cette période est aussi celle du lancement de nombreux programmes matures et de la préparation des « missiles intelligents ». En la matière, 1970 n'est pas réellement une date clé. Il n'y a plus de « nouvelle formule » à mettre au point, comme c'était le cas dans la décennie 1960 avec l'autoguidage, le guidage mi-course inertiel pour les « gros missiles » et les téléguidages semi-automatique et automatique.

En revanche, durant la décennie 1970 et une partie des années 1980 sont créées plusieurs familles à partir de missiles développés dans les années 1960 : famille air-air, avec le Magic 2 et le Super 530 D, versions améliorées du Magic 1 et du Super 530 F ; famille antinavire Exocet, avec d'une part les versions AM 39 et SM 39, qui complètent le MM 38, d'autre part le MM 40, qui remplace ce dernier en améliorant ses performances. Le développement de la cible C 22, en remplacement du CT 20, a aussi commencé.

Le développement d'un seul nouveau type de missile tactique a été lancé : c'est l'AS 30 laser. Il faut aussi citer le lancement, en 1978, du programme ASMP, malgré sa classification comme missile préstratégique, compte tenu de sa charge nucléaire. En effet, il est équipé d'une propulsion par statoréacteur, qui aurait pu équiper un missile tactique à longue portée, comme un antinavire.

C'est la préparation des missiles intelligents, développés dans les décennies suivantes, qui caractérise cette décennie 1970. Elle est concrétisée par la mise en place de développements exploratoires. Mais ces nouveaux missiles ont pu être

conçus grâce aux possibilités apportées par leur numérisation, résultant des progrès de la microminiaturisation de l'électronique.

Enfin, la compétition internationale commence. Le marché à l'exportation devient très important, en particulier au Moyen-Orient, en lien avec les recettes du choc pétrolier et les conflits. C'est alors principalement un affrontement entre la France et les États-Unis qui a lieu, ce qui montre que nos matériels étaient compétitifs. Le Royaume-Uni en est absent, sauf pour les sol-air, et la Russie ne devient compétitive que dans les années 1990. Les principales compétitions eurent lieu entre :

- les antichars Hot et Tow, le Milan n'ayant pas de concurrent ;
- les air-air Magic et Sidewinder ;
- les antinavires MM 38 (et l'Otomat franco-italien) et Harpoon ;
- les avions de combat armés de missiles air-air et air-surface : la France a gagné en Libye avec le Mirage III et en Irak avec le F1 ; les États-Unis ont gagné le « marché du siècle » en vendant le F 16 en Europe.

Les missiliers français ont su s'adapter à cette situation et leurs moyens financiers ont permis de compléter les budgets de développement, alors en régression, et d'augmenter leurs plans de charge en production, ainsi que ceux de leurs équipementiers partenaires, appelés « coopérants ».

CHAPITRE 7

LES ACTEURS OFFICIELS ET LEURS POLITIQUES

LA DTIA¹ ET LE STAE /ES, 1959-1970

Outre la diminution des responsabilités de la DTIA et du STAé/ES, il faut noter les éléments suivants (nous insisterons surtout sur leurs conséquences) :

- de 1957 à 1960, le renouvellement du personnel du STAé/ES, avec la mutation d'une équipe au GEB et l'arrivée de jeunes ingénieurs ;
- en 1959, le choix difficile de l'air-air destiné à armer le Mirage III ;
- de 1960 à 1965, la participation aux groupes OTAN air-sol, air-air et infrarouge ;
- en 1961, la fin de la responsabilité de la DTIA pour les antichars ;
- de 1962 à 1967, la coopération franco-allemande pour les air-sol ;
- à partir de 1963, la coopération franco-britannique pour le Martel ;
- à partir de 1967, le lancement des missiles air-air de troisième génération ;
- à la fin des années 1960, les difficultés budgétaires, devenues très sérieuses.

Parallèlement, les méthodes de travail du STAé/ES avec les autres entités des services officiels et avec l'industrie connurent une évolution notable.

Méthodes de travail du STAé/ES

La coopération du STAé/ES avec d'autres entités de la DTIA fut plus importante qu'auparavant.

La section Armement du STAé joua un rôle de conseiller, pour les propergols et les explosifs performants, grâce à ses relations étroites avec la Direction des poudres. L'ICA Robert Boucq, chef de la section, consacra beaucoup de son temps et de son énergie à la mise au point du propulseur du Martel devant fonctionner à une température stabilisée de -45°C , pour le Nimrod. Elle fut longue, avec de nombreux rebondissements. Le propulseur d'accélération chargé d'isolane était qualifié de -35°C à $+50^{\circ}\text{C}$. Pour l'équipement du Nimrod, les Britanniques demandèrent -45°C . Au premier essai à -45°C , le propulseur fonctionna, mais ensuite il explosa à -45°C , à -40°C et à -35°C . La Direction des poudres fournit alors les premiers blocs en butalane ; le propulseur fut ainsi qualifié à -45°C .

La section Avions du STAé avait en charge l'intégration des missiles au Mirage III, au F1 et au Jaguar. Les essais de départ des missiles concernaient plusieurs organismes : le STAé/A, responsable de l'avion, le STAé/ES (ensuite le STET) pour les contrats de fourniture des missiles, l'avionneur, le missilier et le CEV, qui effectuait les tirs – sauf les premiers, sous la responsabilité de

¹ DTCA après 1965 et STAé/AM (armements missiles) après 1967

l'avionneur. De nombreux essais étaient nécessaires : études et essais en soufflerie de l'ONERA, pour la séparation avion-missile ; vérification du comportement du missile lors d'un largage ; tir de maquettes propulsées et pilotées, pour l'étude de la phase de départ et du comportement du réacteur de l'avion tireur à l'injection des gaz du propulseur. Le coût et la durée de cette phase d'intégration étaient loin d'être négligeables.

Les relations furent étroites avec les différents ingénieurs de marque, qui étaient les leaders de l'intégration, comme l'ICA Goulias pour le Mirage III. Tout en admettant les limites des avions, les missiliers ont néanmoins regretté que l'armement semble pas prioritaire à ces ingénieurs. Par exemple, le STAé/ES aurait souhaité armer le Mirage III avec deux missiles R 530 sous voilure, au lieu d'un seul sous fuselage.

L'expertise du STTA fut, elle, sollicitée pour les choix de nouveaux équipements. Par exemple, l'avis de l'ICA Michel Monpetit pesa sur le choix des principes de l'autodirecteur et de la fusée de proximité (à corrélation) pour le Martel. Les relations étaient étroites avec la Section des radars de bord, pour l'harmonisation du radar avec le missile – tout particulièrement avec l'ICA Bacou pour le Mirage III.

À la fin des années 1960, le SMPA (Service des marchés et de la production aéronautique) devint le SPAé (Service de la production aéronautique). Une section Engins armement y fut créée en 1966 ; l'ICA Félix Gadelle en fut le chef jusqu'en 1974. Il marqua les Britanniques par son style de management dans la production en coopération du Martel.

Le CEV, section Armes et engins, résultait de la fusion des sections Armement et Engins spéciaux, réalisée en 1959. L'importance des essais, pendant cette période, renforça les relations avec le STAé, avec quelques modifications de méthode liées au départ de Colomb-Béchar pour Cazaux.

Les chefs de la section étaient souvent des militaires qui avaient passé, au préalable, deux ou trois ans au BPM (Bureau des programmes de matériels)/Engins de l'EMAA. Ils avaient participé à la rédaction des fiches-programmes des missiles de cette période : ils étaient très compétents et furent d'excellents conseillers pour l'utilisation opérationnelle. Ce fut le cas du colonel Amédée Mollard et du colonel Jean Fonvielle, respectivement en poste de 1959 à 1963 et de 1965 à 1968.

L'ICA Emile Durand, au CEV/Engins de 1955 à 1965, adjoint puis successeur du colonel Mollard, assumait la responsabilité de toutes les campagnes d'essais exceptionnelles. Il y eut, à Colomb-Béchar, des campagnes de démonstration OTAN de nos missiles, avec des incidents classiques : en 1961, pour l'AS 30, avec 4 tirs réussis sur 6, et en 1962, pour le R 530, avec 5 tirs réussis sur 7. En 1965, à Woomera, eut lieu une campagne comportant des tirs de missiles R 530 du Mirage III 0 sur la cible australienne Jindivik, à 18 000 m d'altitude (tirs effectués par des pilotes d'essais du CEV). Ces essais conditionnaient l'achat des missiles par les Australiens, une clause du contrat ayant prévu la vérification du plafond du missile. Or la France n'avait pas de moyens d'essais en vol, le plafond du CT 20 étant à 12 000 m. Dans le cadre de l'intégration du R 530 au Crusader,

acheté par l'Aéronavale, des maquettes furent aussi tirées aux États-Unis, par des pilotes américains, pour vérifier le départ des missiles. Le CEV fut surpris que les règles de sécurité soient différentes : les pilotes firent entièrement confiance au CEV, en ne vérifiant pas les résultats des essais au sol du propulseur (or, à cette époque, le risque d'explosion ne semblait pas totalement maîtrisé).

Entre les officiers des états-majors, en particulier ceux du BPM de l'EMAA, et les ingénieurs du STAé, les relations ont été étroites et constructives, ce qui a représenté un facteur très positif pour la définition et la réussite des programmes. Les motifs des contacts étaient nombreux : rédaction des multiples fiches-programmes, suivi des programmes – avec recalage éventuel des spécifications, car, pendant cette période, elles s'établissaient parallèlement aux essais –, participation commune à tous les groupes de travail internationaux, particulièrement ceux de l'OTAN, et participation des officiers à la plupart des comités *ad hoc* créés pour gérer les coopérations, notamment pour le Martel.

Malgré le temps limité passé par les officiers dans leurs postes, le circuit des « trois valises » (BPM, CEAM, CEV) permettait de leur conférer une connaissance approfondie des différents aspects des missiles. Outre les deux officiers qui commandèrent le CEV/AE, nous citerons, parmi une longue liste au BPM/Missiles, le capitaine Élie Cadoux (R 530, AS 30), le colonel Jean Fleury (Martel), le colonel Maalberg (Magic) et les chefs du BPM, les colonels Soula, Roland Glavany et Jean Rajau.

Quant aux relations avec l'Aéronavale, plus limitées, car celle-ci n'était pas le leader des programmes aéroportés (sauf pour l'adaptation de missiles au Crusader et à l'Atlantic), elles ont toujours été bonnes. Il en allait de même avec l'EMAT, bien que ces relations, après 1961 et la perte de responsabilité sur les antichars, ne portent que sur le R 20.

Les relations étaient très étroites entre le STAé/ES et les industriels – missiliers maître d'œuvre et principaux équipementiers, comme ceux chargés des autodirecteurs, appelés « coopérants ». C'était ensemble que les problèmes étaient découverts et les solutions recherchées, avec un objectif commun : développer des missiles compétitifs face aux missiles américains connus. Dans certains domaines, comme l'infrarouge, c'est le STAé qui « imposa » son choix au missilier. Par exemple, en 1959, la bande spectrale 2 fut choisie, pour le R 530, avec dix années d'avance par rapport à la décision identique prise par les Américains pour leurs air-air, et ce alors que le missilier français aurait plutôt eu tendance à retenir une solution éprouvée. Le STAé bénéficiait en effet d'un avantage : il connaissait les travaux des laboratoires américains et ceux du centre britannique (le RRE, *Royal Radar Establishment* de Malvern, où étaient mis au point des composants infrarouges), grâce à des contacts au titre d'accords d'échanges.

Quant à la forme des contrats avec les industriels, la part de ceux qui étaient passés « en dépenses contrôlées » diminua. En général, toutes les fournitures et les études d'équipements faisaient l'objet de contrats forfaitaires (et de sous-contrats approuvés par le STAé pour les coopérants). Seul le financement de l'équipe de synthèse et d'essais du missilier était assuré « en dépenses contrôlées », car la responsabilité de la définition des études de synthèse à

effectuer et de la durée du développement était partagée. Les premiers contrats forfaitaires pour les développements apparurent pour l'AS 30 et le R 20. Mais il fallait définir le nombre exact de tirs d'essais et les critères de réussite. Cela semblait, à cette époque où les tirs étaient le moyen prioritaire d'essais, tendre à restreindre la connaissance du produit – situation qui se modifia dans les années 1970, à mesure que les simulations prenaient de l'importance.

En 1968, un engagement sur le prix de série fut demandé pour la première fois lors de la négociation du contrat de développement : il s'agissait du Magic 1, dont le prix était, pour l'EMAA, un critère aussi important que les performances. L'objectif était de 100 000 F aux conditions économiques de 1967, puis à celles de 1968, avec une inflation élevée. La définition dut être revue, au grand dam du missilier. Le prix d'engagement fut respecté, sauf pour la fourniture de la Direction des poudres (propergol) ; l'enquête ultérieure de prix montra que la marge de l'industriel avait été nulle.

Les deux missiliers furent parfois mis en concurrence (ainsi pour l'AS 37 et le Magic). Les choix étaient effectués par le STAé, parfois après avis du STTA. Compte tenu de la spécialisation de chaque société, les choix tendaient, au début, à s'imposer. Mais, à la fin des années 1970, la concurrence entre les deux missiliers devint plus âpre : leurs compétences étaient moins différentes et chacun recherchait un plan de charge. La mise en concurrence entre les équipementiers pour les autodirecteurs électromagnétiques (R 530, Martel) fut en tout cas un facteur de dynamisme pour la société gagnante.

Le choix, en 1959, de l'air-air pour l'équipement du Mirage III C

Lors de la commande en série de l'avion, en octobre 1958, le choix n'avait pas été effectué entre le Nord 5104 (AA 25) à téléguidage automatique et le Matra R 530 (AA 26) autoguidé, dont les développements venaient de commencer. La conduite de tir était différente, car le Nord 5104 nécessitait un radar double chaîne² et un localisateur de prise en charge. Une décision s'imposait en 1959, et elle fit l'objet d'un long débat interne au STAé³.

Pour les « modernes », le choix technique de l'autoguidage s'imposait, car c'était la seule solution qui permette d'obtenir une faible distance de passage pour des tirs à grande portée ou sur une cible se dérobant. En outre, c'était la solution retenue par les Américains et les travaux effectués sur le guidage et l'autodirecteur, depuis 1957, par le STAé et Matra permettaient d'être optimiste. En revanche, le pessimisme régnait quant à la mise au point d'une conduite de tir pour le téléguidage automatique.

Les « conservateurs », eux, soutenaient Nord-Aviation, car cette société avait à son actif le succès industriel de l'antichar SS 11. Ils doutaient qu'une PME comme Matra puisse réaliser industriellement des missiles. De plus, ils n'étaient pas favorables à des solutions choisies par les Américains, car celles qu'ils avaient retenues pour leurs antichars avaient conduit à un échec.

² Un seul lobe d'émission éclairant la cible et le missile et deux récepteurs, l'un poursuivant la cible et l'autre le missile.

³ Au STAé, j'étais le leader des « modernes » et l'ICA Bastien-Thiry était celui des « conservateurs ».

Le chef de la Section et le directeur du STAé décidèrent de proposer le choix de l'autoguidage. Dans le cas contraire, la France aurait finalement dû acheter des missiles américains, et l'exportation d'avions de combat aurait été compromise⁴. Le délégué ministériel pour l'Air avalisa cette proposition le 22 septembre 1959⁵.

Les groupes mixtes de travail de l'OTAN (opérationnels et ingénieurs)

Dès 1958, des groupes de travail furent créés, et leurs travaux principaux se déroulèrent de 1960 à 1965. Le STAé et les états-majors y participaient. Leur activité dépendait de leur président, qui était souvent un Américain, car la plupart des pays étaient demandeurs d'informations. Les principaux groupes où le STAé/ES assurait la représentation française étaient les suivants :

- groupe air-sol à courte portée AC 169. Son activité a consisté principalement à la promotion des deux programmes concurrents téléguidés : AS 30 français et Bullpup américain. Ils étaient similaires et furent exportés. Ce groupe a permis des échanges entre les officiels français et allemands.
- groupe air-sol futur AC 190, L'objectif était le développement d'un système d'arme air-sol tactique « tous temps » et autonome sur des cibles non spécialisées (sans autoguidage). Le groupe procéda à un examen prospectif des possibilités ; il a rapidement approuvé la position française reconnaissant la nécessité d'une charge atomique. Le général Lavaud, chef d'état-major général des armées, dans une note du 14 octobre 1960⁶, avait indiqué son intérêt pour un tel missile, avec une charge fournie par les Américains. En octobre 1961, la France présenta des projets d'AS 31 et d'AS 33 à charge nucléaire ! Il n'y pas eu de programme commun OTAN ; mais les Français et les Allemands étaient ainsi préparés à une coopération sur un programme expérimental, AS 33 (cf. *infra*) ;
- groupe antichar AC 172. Il eut une activité de présentation et d'échange entre les états-majors, bénéfique pour la promotion des missiles français (SS 10, ENTAC, SS 11). La spécification du SS 12 y fut établie. Les échanges entre les délégations allemandes et françaises furent un autre point très positif ; ils se concrétisèrent par des spécifications communes pour les missiles de deuxième génération et par un travail en coopération ;
- groupe air-air AC 173. L'objectif des Américains était d'armer de leurs missiles (HM 55, dérivé du Falcon, Sidewinder ou Sparrow) les avions F 104 G choisis par plusieurs pays européens (RFA, Italie, Pays-Bas...). Mais ce fut aussi une bonne occasion pour présenter le missile R 530. Compte tenu de la conduite de tir du F 104 G, seuls le R 530, avec ses versions électromagnétique et infrarouge, le HM 55 et le Sidewinder infrarouge pouvaient y être intégrés. La France fit des efforts importants de promotion en 1962 et 1963 : invitation à une campagne de tirs à Colomb-Béchar ; étude de l'adaptation à l'avion et au radar, par l'envoi d'une mission STAé et Matra chez Lockheed (entreprise qui

⁴ Contrairement à ce qu'indique l'ouvrage du GIFAS, *L'industrie aéronautique et spatiale française 1907-1982*, 1984, cette décision ne fut pas accompagnée d'une répartition des programmes attribuant les air-sol à Nord-Aviation : Matra fut le maître d'œuvre du Martel et Nord-Aviation fut celui de l'AS 30 et de l'AS 33.

⁵ Comptes rendus des réunions entre M. Blancard et la DTIA (SHAA, dossier E 7433).

⁶ Note archivée au SHAA, dossier E 2117.

n'était guère désireuse de coopérer) ; tournée de présentation du missile dans toutes les capitales intéressées, avec un exemplaire en fonctionnement (au sol) – tournée réalisée par le STAé, l'EMAA et l'industrie. Mais l'Allemagne, acheteur principal, décida, sous la pression des Américains, de s'équiper uniquement de missiles Sidewinder. Son armée de l'Air ne réalisa pas de mission de défense aérienne tous temps avant les années 1990.

- groupe infrarouge lointain AC 194. Ce fut un groupe d'échange d'informations sur les techniques, les technologies et le rayonnement des avions. Les représentants des services officiels américains, britanniques et français fournirent l'état d'avancement de leurs travaux, sans arrière-pensée commerciale. Son existence se prolongea dans les années 1970.

En outre, des organismes subsidiaires autonomes, pour la production européenne de missiles sous licence américaine, furent créés sous l'égide de l'OTAN : ce fut le cas pour le Sidewinder, la France n'y participant pas, et pour le Hawk, avec une participation de la DEFA.

La coopération franco-allemande : l'air-sol AS 33

Cette coopération⁷ est due à la conjonction heureuse de quatre éléments :

- un excellent climat politique, existant depuis 1957 et confirmé par la signature, le 22 janvier 1963, par le général de Gaulle et le chancelier Adenauer du « traité de l'amitié et de coopération franco-allemand » ;
- pour les Allemands, le désir de relancer leur industrie d'armement ;
- des objectifs communs pour des missiles air-sol successeurs de l'AS 30 (et pour des antichars de deuxième génération), établis dans le cadre des groupes OTAN, et d'excellentes relations entre les responsables, ingénieurs et officiers ;
- un souhait de franche coopération industrielle entre Nord-Aviation et Bölkow, concrétisé par un accord de principe de coopération signé en septembre 1962. Ce désir, dont les Français étaient les moteurs, concernait principalement les missiles antichars, pour lesquels les Américains n'étaient pas concurrents.

L'accord de coopération sur l'AS 33 (étude expérimentale d'un guidage inertiel) date de la fin de 1962. Il fait suite à l'achat de missiles AS 20 et AS 30 pour l'armement du F 104 G et à l'autorisation pour le Centre d'essais en vol allemand (E Stelle) de s'implanter à Cazaux pour effectuer les tirs d'adaptation. Compte tenu de son caractère expérimental, l'organisation de la coopération fut simple. Les autorités des deux pays, le STAé et le BWB (*Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung*), se concertaient pour toute décision, et il y avait égalité des droits et obligations. Le financement fut partagé entre les deux pays. Le STAé passa un contrat à Nord-Aviation, qui en sous-traita 50 % à Bölkow : la répartition des tâches devait être égale. Il n'y avait pas de responsabilité solidaire. Les travaux sur l'AS 33 durèrent de 1962 à 1967 ; les résultats furent satisfaisants, le principal acquis étant la possibilité de réaliser, à un coût acceptable, un guidage mi-course inertiel simplifié.

⁷ Qui concerna aussi les antichars Milan et Hot et le sol-air Roland, sous la responsabilité de la DTAT.

Il n'y eut en revanche aucune suite du côté des armées de l'Air, l'Allemagne n'envisageant pas de développer de missile air-sol télévision ou antiradar et les deux industriels étant moins motivés par ces programmes que par les antichars. En 1962, les responsables du STAé/ES pensaient que leurs homologues allemands avaient coopéré avec un espoir « secret » : il est probable qu'ils envisageaient de développer ultérieurement un missile tactique avec une charge nucléaire américaine ou française.

En revanche, le guidage mi-course inertiel fut utilisé pour deux programmes antinavires décidés respectivement en 1964 et en 1968 et menés hors de toute coopération officielle :

- le missile allemand Kormoran (spécification franco-allemande AS 34, projet Nord-Aviation), développé sous la maîtrise d'œuvre contractuelle de Bölkow, avec sous-traitance à Nord-Aviation. La Marine française n'avait pas, en 1965, de besoin de missile air-mer du type AS 34 ou Kormoran : alors que le F 104 G était équipé d'une centrale inertielle, la Marine française attendit les années 1970 pour s'équiper du Super Étendard, avec une conduite de tir capable d'initialiser un tel missile.
- l'Exocet, réalisé par Nord-Aviation. L'absence de coopération, pour l'Exocet, s'explique par le désir de Nord-Aviation de ne pas subir de contraintes à l'exportation liées à la politique allemande, mise en évidence en 1968, et par des relations tièdes entre les deux Marines.

La coopération sur les missiles des armées de Terre (Milan, Hot, Roland) se conclut par un succès. La cohésion entre les services officiels et les industriels y étant plus importante, les difficultés techniques et politiques rencontrées à la fin des années 1960 purent être surmontées.

La coopération franco-britannique : l'air-sol Martel

Au début de 1962, les deux chefs d'état-major des armées de l'Air prirent l'initiative d'une coopération pour les avions et les missiles. Le groupe de travail missiles conclut, à la fin de 1962, à des besoins communs en matière de missiles air-sol antiradar et télévision. Quant au besoin en missiles air-air, il était lié au projet d'un avion commun de combat.

Au début de 1963, le service officiel britannique le MOA (*Ministry of Aviation*), avait entrepris des études préparatoires sur la détection télévision au RAE (*Royal Aircraft Establishment*, dont la division *Guided Weapons* était un centre technique important, d'environ 400 techniciens et scientifiques) et à la société Marconi et consultait les sociétés BAC et HSD, qui pourraient devenir leaders techniques du missile, sans être maîtres d'œuvres. Il s'agissait là du programme AJ 168. D'autre part, les services officiels étaient intéressés par un antiradar, sans disposer du budget nécessaire.

En revanche, en réponse à un besoin exprimé par l'EMAA, le STAé avait lancé deux consultations, l'une à Nord-Aviation et à Matra pour le projet d'un missile antiradar (AR) AS 37 et l'autre pour le projet de son autodirecteur. Le choix du missilier s'était porté sur Matra, car la partie autoguidage de son projet était plus étoffée. Pour le missile télévision, l'EMAA était intéressé, mais ne le retenait pas

dans son budget. Le STAé avait fait réaliser un projet, nommé AS 36, par Nord-Aviation (véhicule AS 30 avec un guidage télévision).

Après confrontation des besoins et des projets, le RAE et le STAé arrivèrent à la conclusion qu'un programme commun était envisageable, les portées à basse altitude (30 km) et la masse du missile (500 kg) étant proches. En septembre 1963, la décision fut prise par le MOA et la DTIA de demander à HSD et à Matra d'approfondir ce concept. Ce choix était lié aux relations antérieures d'HSD avec Matra.

Lors d'une réunion en décembre 1963, les deux sociétés présentèrent aux deux délégations des services officiels, dirigées par M. Dickins, directeur général des missiles du MOA, et par l'IGA Lecamus, directeur à la DTIA, un projet jugé très prometteur : un véhicule piloté commun et des équipements spécifiques à chaque version (antiradar ou télévision) constitués par le bloc de guidage et la charge. Les deux directeurs décidèrent de coopérer et de retenir ce projet.

Deux anecdotes peuvent donner une idée de l'atmosphère de cette époque. Au cours du déjeuner, le président d'HSD indiqua que le plus difficile problème était le choix du nom du programme : Janus, le Dieu à deux têtes ? C'était délicat, car le récepteur commun de l'autodirecteur de la version antiradar devait avoir plusieurs têtes spécifiques des radars à attaquer, de la bande J à la bande L. Après cette réunion, le responsable HSD de l'équipe du projet fut remplacé. HSD, n'ayant guère confiance dans ce projet, n'avait pas choisi à l'avance son chef, contrairement à Matra, qui avait désigné un ingénieur capable de mener le programme à son terme.

Dès le premier trimestre de 1964, les bases de la coopération étaient adoptées et le MoU (*Memorandum Of Understanding*) préparé. Les travaux commencèrent le 1^{er} avril 1964 et le MoU fut signé en octobre 1964. C'étaient les méthodes de l'époque : un directeur technique avait une large marge de décision. Une consultation au sujet du nom fut organisée ultérieurement par l'IGA Munnich, président de la délégation française au Comité directeur : celui de missile antiradar télévision, ou Martel, fut choisi.

Les modalités de cette coopération présentaient quelques originalités. L'organisation des services officiels reposait sur un Comité directeur (*Steering Committee*) et un Sous-comité technique (SCT), au niveau du STAé et du MOA, responsable du développement. Ce sous-comité créait des groupes spécialisés, comme le Groupe essais, comprenant les représentants des organismes intéressés (pour la France : STAé, EMAA, EMM, CEV, CEAM et Matra, et les services correspondants pour le Royaume-Uni). Les deux maîtres d'œuvre industriels se coordonnaient et rendaient compte mensuellement au SCT de l'avancement des travaux. Un Sous-comité production fut créé par la suite.

Chaque version était sous la responsabilité contractuelle et financière d'un pays, qui choisissait le maître d'œuvre industriel : pour l'antiradar, la France et Matra, pour la télévision, le Royaume-Uni et HSD. Un partage équilibré fut réalisé pour les équipements communs, et le principe du financement par chaque pays responsable fut maintenu.

Pour la production de série, la formule avait été imaginée par l'IGA (M) René Bloch, responsable des relations internationales à la DTIA : dans l'ensemble des commandes des deux pays, chacun bénéficiait d'une part liée à son financement

du développement et à sa commande de matériels opérationnels⁸. La production pour les commandes d'exportation devait être répartie également entre les deux pays.

Le climat de la coopération entre les services officiels et les maîtres d'œuvre industriels fut excellent durant la phase de développement ; les échanges furent équilibrés et constructif. Une amitié s'était créée entre les responsables, en particulier entre l'IGA Munnich et Bernard Holdin, qui était francophone : des explications franches purent avoir lieu. Les bases du MoU choisi (application par chaque pays de ses procédures administratives, absence de financement commun et désignation claire de l'autorité responsable) ne sont pas pour rien dans ce succès.

Il faut noter que le RAE avait beaucoup plus d'experts techniques que la DTIA ; le principe de certains circuits de l'autodirecteur, pour la discrimination des échos de sol créés par les antennes tournantes des radars de surveillance, fut proposé par le RAE. Le développement s'acheva en 1969 avec succès, malgré de nombreuses difficultés techniques qui résultaient des innovations du programme.

Un « carnet noir » de cette coopération existe toutefois, suite aux difficultés politiques.

Le STA commanda à Matra, en 1965, des missiles air-sol de prélèvement de poussières nucléaires, tirés lors d'essais aériens. Il s'agissait du 637, fondé sur le véhicule du Martel et qui comprenait des équipements de pilotage produits par HSD. Le MOA, mis au courant, accepta la commande de Matra à HSD sous le nom de *Special Rounds* ; mais ces matériels furent bloqués à la douane... et livrés une semaine avant les tirs. Le gouvernement du Royaume-Uni ne voulait pas soutenir officiellement les essais nucléaires français ! Matra dut donc développer et produire rapidement ces équipements.

En 1969, lors du lancement de la production, la France décida de ne pas commander le Martel télévision. Le prétexte était que le guidage de cette version exigeait un avion biplace, alors que le Jaguar était monoplace. L'argument était discutable. En plus des contraintes budgétaires réelles, il y avait un esprit antibritannique latent à l'EMAA. L'équilibre créé par le MoU pour la production était rompu, et ce d'autant plus que des clients très intéressés en 1966 et 1967 renoncèrent : pour les États-Unis, il fallait une livraison au plus tard sous un an, l'intervention au Vietnam devant s'achever. Pour l'Allemagne, le budget n'était pas compatible avec le stock prévu. La franche coopération était morte.

En 1977, enfin, le Royaume-Uni était hostile à une exportation du Martel antiradar vers l'Irak. Or c'était la condition posée par ce pays pour l'achat du Mirage F1. Matra dut donc produire une version dérivée : Armat (antiradar Matra). La coopération était terminée. Dans les années 1980, le Royaume-Uni développa son propre missile antiradar, Alarm.

⁸ La part de la production pour chaque pays était : 0,5xFDP/FDG + 0,5xCPP/CPG. FDP : financement du développement par le pays ; FDG : financement global du développement ; CPP : commandes de production série par le pays ; CPG : commandes de production série globales.

Le lancement des missiles air-air de la troisième génération

L'utilisation du missile R 530 montra que des améliorations des caractéristiques étaient nécessaires. La troisième génération put être lancée à la fin des années 1960. Le Magic 1 eut la faveur de l'EMAA, tandis que le Super 530 fut moins favorisé du point de vue budgétaire, ce qui entraîna des conséquences imprévues, indiquées ci-après.

Les difficultés budgétaires

Avant 1968, la première conséquence de ces difficultés fut la réduction régulière des commandes de série par rapport à la quantité prévue lors du lancement de la production. Les contrats prévoyaient des tranches optionnelles annuelles, dont la dernière était supprimée : ce fut le cas pour le R 530 et l'AS 30. D'autre part, les difficultés budgétaires motivèrent le non-lancement d'un programme (air-sol télévision), et le montant du budget des études générales resta faible.

À la fin des années 1960, les difficultés devinrent plus sérieuses pour deux programmes, le Martel et le Super 530.

Pour le Martel, l'EMAA avait envisagé une commande de 500 à 1 000 missiles. En 1969, lors de la préparation du contrat de production, la commande française fut ramenée à 150 missiles antiradar, dont 100 pour l'armée de l'Air et 50 pour la Marine (Atlantic), et aucun missile télévision. Les Britanniques, devant aussi faire face à des réductions de crédit, modifièrent leur plan, qui était de 1 000 missiles : ils commandèrent 200 missiles télévision et, comme la France, seulement 150 missiles antiradar. Ce fut la fin du rêve des industriels de fabriquer 6 000 missiles, aucune vente de Martel à l'exportation n'ayant eu lieu. Les Britanniques exigeant un respect rigoureux de la règle du MoU, l'industrie française dut transférer 15 % environ de sa production à des industriels britanniques, qui ne furent pas toujours de bonne foi sur leurs prix.

Quant au Super 530, le programme avait été lancé en 1969, car l'armement du Mirage F1 et l'évolution des menaces nécessitaient un successeur du R 530. Mais, dans le cadre de la préparation de la loi de programme 1971-1975, l'EMAA décida de supprimer son financement, pour offrir le maximum de crédits aux moteurs, et de financer les missiles dans la loi suivante. La DTCA protesta et le délégué ministériel pour l'armement, Jean Blancard, en référa à son ministre de la Défense, Michel Debré, qui n'accepta pas que le F1 soit développé sans armement air-air adapté. Bien entendu, l'EMAA rétablit seulement une partie des crédits, ce qui entraîna la suppression de la version infrarouge et un étalement du développement. Cette décision fut prise lors d'une réunion en juillet 1970 chez le ministre, qui avait convoqué le délégué ministériel pour l'armement, les chefs des états-majors Air, Marine et Terre, les quatre directeurs techniques et la DPAI pour examiner la situation des programmes de missiles tactiques et pour régler le cas du Super 530. Cette réunion servit de catalyseur à la décision de réorganiser la DMA, du point de vue des responsabilités pour les missiles tactiques.

Les conséquences de la création de la DTEN en 1965

De 1965 à 1970, l'activité de coordination des missiles tactiques concernait surtout la supervision du Crotale, développé pour l'exportation par Thomson. Mais le rendez-vous annuel, pour les missiles tactiques, consistait en une réunion d'examen du catalogue des programmes, présidée par le directeur de la DPAI, l'IGA (GM) Ravaud, à laquelle participaient les représentants des directions techniques et des états-majors. Pour qu'un programme ne fasse pas l'objet de critiques véhémentes de la part de la DPAI, il fallait que les résultats de l'année soient acceptables et qu'une bonne harmonie existe entre les ingénieurs et les officiers responsables ; ce fut le cas, en général, pour l'Air.

En 1969, lors de la nomination de l'IGA (M) Maurice Brunet comme Directeur technique des engins, la DTEN demanda le regroupement des missiles tactiques, arguant de la cohérence nécessaire en matière d'études et d'actions industrielles et soulignant que la situation existante ne favorisait pas les programmes interarmées. La DTCA n'était pas favorable à ce regroupement ; elle insistait sur les liens du missile avec les conduites de tir des avions. C'était l'époque où le rôle d'un systémier était reconnu comme indispensable. En outre, la DTCA et la DTAT jugeaient qu'elles n'avaient pas démerité et qu'il n'existait ni conflits, ni duplications entre les trois directions.

Au cours de la réunion de juillet 1970 évoquée plus haut, le ministre de la Défense demanda au délégué ministériel pour l'armement quelles étaient les raisons du retard pris sur la réduction du nombre de missiliers⁹, qui avait été envisagée l'année précédente. Le délégué indiqua qu'il fallait commencer par réorganiser la DMA ; en conséquence, il proposa de confier la responsabilité de l'ensemble des missiles à la DTEN, qui n'avait pas la charge d'arsenaux. Michel Debré, dont le désir était de réformer l'administration, adopta cette proposition ; la décision fut notifiée en octobre 1970 et appliquée au début de 1971.

Ce sont les modalités du transfert qui peuvent surprendre : seuls les programmes qui en étaient au stade du début du développement et les futurs programmes (sauf les antichars) étaient transférés à la DTEN. Il s'agissait du Magic et du Super 530 de la DTCA, du MM 38 de la DTCN et de l'ACRA de la DTAT. Les autres programmes, dont ceux menés en coopération, n'étaient pas affectés par cette décision : AS 12, AS 30, Martel, R 530, CT 20, R 20, etc. pour la DTCA, Masurca et Malafon pour la DTCN, Milan, Hot, SS 11, Roland, Hawk pour la DTAT.

La DTCA proposa que l'ensemble de ses programmes et de son personnel directement affecté à eux soit transféré. Les arguments avancés étaient les suivants : il semblait souhaitable que ce nouveau service connaisse les problèmes rencontrés par les missiles en service, et il était difficile pour la DTCA de conserver du personnel motivé par les missiles. La DTAT, elle, était plutôt satisfaite, car, « ne voulant pas se laisser dépouiller », elle avait négocié avec la

⁹ Il existait alors quatre entités : deux sociétés, Matra et Nord-Aviation, et deux arsenaux, l'APX et l'ECAN de Ruelle. Notons que, comme responsable des missiles au STAé, j'avais accompagné le directeur de la DTCA à cette réunion.

DTEN et avec le délégué entre juillet et octobre 1970. La DTGN était neutre, l'IGA Brunet et l'IGA Labrunie, futur directeur du STET, étant issus de ses rangs.

La Section missiles du STAé dut adapter son organisation à cette décision : il fallut proposer aux jeunes ingénieurs de l'armement motivés par l'avenir des missiles de se faire affecter au STET pour s'occuper de missiles dont ils n'étaient pas obligatoirement chargés au STAé, et conserver quelques ingénieurs expérimentés pour gérer les « anciens missiles » – des ingénieurs qui acceptaient de faire la suite de leur carrière hors du domaine des missiles. Ce fut le cas de l'ICETA Jean-Louis Vrolyk. Il faut remarquer qu'un dernier programme proche d'un missile fut développé par le STAé : la bombe guidée laser, à la fin des années 1970 (il n'y avait pas de propulsion et la charge était constituée par le corps d'une bombe).

Les ingénieurs qui ont joué un rôle majeur

À la DTIA, devenue DTCA après 1965, trois directeurs ont été impliqués directement dans les décisions suivantes :

- l'IGA Bonte, de 1958 à 1960 : choix de l'air-air, la décision étant prise au niveau de Jean Blancard, délégué ministériel pour l'Air ; lancement d'une compétition pour les autodirecteurs électromagnétiques des air-air ;
- l'IGA Lecamus, de 1962 à 1964, en tant que directeur adjoint : lancement de la coopération Martel ;
- l'IGA Soissons, de 1970 à 1971 : gestion des conséquences de la décision (proposée par le délégué ministériel pour l'armement, Jean Blancard, au ministre) relative à la réorganisation des responsabilités des directions techniques pour les missiles.

À la direction du STAé, durant cette période, deux directeurs se sont impliqués dans toutes les affaires relatives aux missiles, dans l'esprit d'une large délégation aux responsables de la Section : l'IGA Gérardin, de 1954 à 1960, et l'IGA Vialatte, de 1962 à 1970. L'IGA Munnich, sous-directeur du STAé de 1960 à 1969, s'est, lui, investi dans la coopération franco-britannique Martel, comme président de la délégation française au Comité directeur.

Au STAé/ES, devenu après 1967 STAé/Armement missiles (après le regroupement des sections Armement et Missiles), le personnel fut réduit, après le départ des ingénieurs de la sous-section sol-air et sol-sol balistiques et de l'ICA Chamouton. Les principaux ingénieurs qui y exercèrent une responsabilité, cités par ordre d'arrivée à la section, sont :

- l'ICA Maurice Pély, chef de la section depuis 1954, et qui le resta jusqu'en 1962 ;
- l'ICA Jean-Marie Bastien-Thiry, de 1955 à 1962, responsable des antichars, des cibles et du R 20 et défenseur inconditionnel des missiles air-air téléguidés ;
- l'ICA René Carpentier, de la fin de 1956 à 1971, responsable des études générales (infrarouge) et des missiles aéroportés autoguidés (R 530, Martel...), puis de l'ensemble des missiles à partir de 1967 ;

- l'ICETA Jean-Louis Vrolyk, à partir de 1959, adjoint du précédent. C'était un excellent technicien ; il devint l'expert en optronique de la DTCA jusqu'en 1985 ;
- l'ICA Jean Germain, de 1959 à 1966, expert en aérodynamique, qui fut responsable des missiles air-sol (AS 33) et chef de la section de 1962 à 1966 ;
- l'ICA Jean-Pierre Lepreux, de 1960 à 1970, responsable des cibles, puis du Martel après 1967, et qui fut muté, en 1971, à la DTEN, comme responsable des missiles aéroportés.

LA DTEN ET LE STET, 1970-1979

L'organisation et les méthodes de travail

Le Service technique des engins tactiques (STET) fut ainsi créé, à la fin de 1970, à partir des équipes mutées des autres directions techniques et des budgets affectés aux programmes. Trois groupes techniques principaux furent créés : les missiles aéroportés (Magic et Super 530), l'antinavire MM 38 et les études générales pour préparer les missiles futurs ; il faut y ajouter les activités liées à l'antichar ACRA, arrêté en 1971, et au Crotale, déjà géré par la DTEN. Trois nouveaux groupes furent ensuite créés : les systèmes sol-air et les systèmes sol-sol (cible, drone), pour gérer les nouveaux programmes, et les missiles en service, pour gérer la production du Magic et de l'Exocet et leur suivi.

L'ensemble des missiles sol-air, sauf le Masurca, furent gérés par le STET à partir de 1977. Une décision affecta à la DTEN les programmes internationaux sol-air gérés par la DTAT : Hawk en 1971, Roland en 1977. Dans les deux cas, la responsabilité s'exerçait au niveau du Comité directeur (en particulier sur le budget de la part française) et des entités internationales assuraient la gestion : le BPFA (Bureau de programmes franco-allemands) pour le Roland et l'agence OTAN pour le Hawk.

Pour les programmes antichars futurs (lancés dans les années 1980), la direction du programme resta sous la responsabilité de la DTAT, le STET étant l'expert pour le guidage et la propulsion.

Pour les cibles et les drones, deux décisions prises en 1977 par la DGA affectèrent ces nouveaux programmes à la DTEN.

Le LRBA n'avait plus que des fonctions étatiques après 1971. Il devint le centre technique de la DTEN pour les missiles tactiques, en plus de sa mission de centre pilote de la DMA dans le domaine inertiel. La méthode de travail évolua dans les années 1970 : un directeur de programme, au STET, travaillait avec des experts techniques du LRBA – méthode souvent utilisée à l'étranger.

Pour l'intégration des sous-systèmes missiles aux systèmes d'armes, la question majeure était la détermination des responsabilités. Pour les différents types de missiles, des protocoles furent négociés entre la direction responsable de la plate-forme (avion, navire, véhicule) et celle qui était responsable du missile. Les relations entre les divers responsables furent plus lointaines et, en cas de difficulté grave (de planning, par exemple), une discussion au niveau des

directeurs techniques était nécessaire. Toutefois, tous les missiles furent intégrés sans difficulté majeure.

L'activité de préparation de l'avenir fut le point fort du STET. En effet, durant ses premières années d'existence, la DTEN augmenta sensiblement le budget d'études générales (ou « amont ») prévu pour les missiles tactiques, par un transfert à partir de celui qui était prévu pour les missiles stratégiques. C'était en effet le point faible de la situation antérieure, les directions ayant d'autres priorités que les missiles tactiques. En outre, cette période coïncida avec la politique des « développements exploratoires » (DE) de la DGA : des crédits relativement importants purent être débloqués pour des opérations qu'un état-major pouvait accepter tout en ne voulant pas rédiger de fiche-programme (parce que le besoin était mal cerné, ou pour diminuer les risques de développement).

Dans ce domaine, on peut citer quelques exemples caractéristiques :

- des études fondamentales sur l'aérodynamique à grande incidence (de 30 à 45°) ;
- les études et les essais de nouveaux concepts pour l'utilisation du statoréacteur, effectués à l'ONERA¹⁰, à partir de 1972, par l'équipe de l'IGA (FA) Roger Marguet. Les résultats permirent de lancer le développement de l'ASMP en 1978, avec un stato kérosène (cf. figure 68). L'utilisation du « stato » pour un missile antinavire était alors envisagée ;
- le DE autodirecteur laser (cf. *infra*) ;
- le DE Scorpion, de 1979 à 1986, correspondant au « développement » d'un drone porteur d'un illuminateur laser, pour le tir d'armements autoguidés lasers. Le besoin était discuté par les états-majors : malgré les essais satisfaisants de ce DE, ce projet n'eut pas de suite ;
- les études de préparation du Mica, commencées en 1978. Il s'agissait d'une maquette d'autodirecteur actif, d'une centrale inertielle à éléments liés et d'un vecteur probatoire, pour la mise au point d'une déviation de jet du propulseur d'accélération par des volets liés mécaniquement aux gouvernes (avec une rotation du missile de 100° en une seconde environ) ;
- les études de préparation d'un SAMP, en coopération entre Thomson et Matra ;
- les études de restitution de missiles étrangers, en particulier soviétiques, poursuivies par le STET à la demande de l'EMAA – elles étaient auparavant effectuées par le STAé/ES. Réalisées par les industriels (principalement Matra), elles ont permis de mieux apprécier l'avancement de ces pays.

Cette politique d'études générales fut une réussite pour les futurs programmes de missiles ; elle est à porter au crédit de la création du STET. Le STAé l'avait

¹⁰ Nouveaux concepts mis au point (cf. *Revue scientifique et technique de la Défense*, numéro spécial de 1998 consacré à la recherche aéronautique) : entrées d'air latérales, peu sensibles à l'incidence ; chambre de combustion tourbillonnaire, permettant la suppression des « accroche flammes » ; adoption de l'accélérateur intégré (concept apparu en 1973 sur le SA 6 soviétique) ; phase de transition entre les deux phases d'accélération et de croisière, durant 0,2 s environ. Ajoutons que le succès obtenu sur l'ASMP est aussi dû aux progrès importants réalisés depuis 1960 sur les moyens de mesure des différents paramètres (pression, débit), en précision et en temps de réponse, et aux progrès des calculateurs.

amorcée, mais les moyens budgétaires et les objectifs avaient été limités, puisque le STAé n'était responsable que des missiles aéroportés.

Du côté des relations avec les industriels, l'ensemble de la DGA agissait de plus en plus comme un « acheteur » face à une industrie devenue majeure. La consultation, si elle était possible, les contrats de développement à prix forfaitaire, les engagements sur un prix objectif de série lors du lancement du programme, et même la généralisation d'une participation financière de l'industriel au développement, à partir des années 1980 (justifiée par des perspectives d'exportation), furent les bases de ces nouvelles relations.

En outre, les problèmes budgétaires et la faible disponibilité des champs de tir, liée à la charge prioritaire des missiles stratégiques durant les années 1970, contribuèrent à étaler les programmes. Tout cela ne pouvait améliorer les liens entre les services officiels et l'industrie.

La politique industrielle

La politique industrielle est caractérisée par plusieurs grands choix.

C'est tout d'abord, à la fin de 1971, le choix de l'antichar longue portée et l'arrêt de l'ACRA. Celui-ci, tiré du canon d'un char, était assez futuriste pour l'époque. Mais le choix se porta sur le Hot. En effet, l'EMAT n'avait pas prévu, en 1969, l'ACRA pour armer l'AMX 30, compte tenu des progrès des obus-flèches. La DPAI, elle, avait conclu que l'ACRA ne pouvait être qu'un armement très coûteux. Au contraire, le Hot commençait à bien fonctionner, pouvait être tiré d'hélicoptère et était développé en coopération. En conséquence, jusqu'en 1994, le STET n'eut plus jamais la responsabilité d'un programme antichar, en dehors des études amont.

En 1974 eut lieu le choix du missilier pour les missiles antinavires pour tir d'avion, suivi en 1978 par le choix concernant cette fois le tir depuis les sous-marins¹¹. Il y eut deux compétitions entre les solutions AM 39 et SM 39 de l'Aérospatiale, qui étaient dérivées du MM 38, et celles de Matra, dérivées du véhicule Martel et des équipements de guidage de l'Otomat. La version Matra pour le tir à partir de sous-marins aurait été développée en coopération avec l'ECAN de Ruelle, ce dernier ayant la responsabilité du « véhicule sous-marin ». Dans les deux cas, le choix fut fait en faveur de l'Aérospatiale. Les principales raisons étaient l'attachement de l'EMM à l'autodirecteur du MM 38 (antibrouillage) et l'expérience de l'Aérospatiale dans le domaine antinavire. Finalement, la famille Exocet fut créée : ce fut la fin de Ruelle comme missilier.

Le lancement du missile air-sol laser a marqué l'année 1975.

Les Américains avaient utilisé, au début des années 1970, au Vietnam, des bombes guidées laser avec un illuminateur équipant un autre avion. En France, la DRME (Direction des recherches et moyens d'essais) investissait à la CGE

¹¹ À la demande de la *Royal Navy*, des études de faisabilité d'un missile anti-sous-marin eurent lieu, à partir de la fin de 1969, entre les Français et les Britanniques ; mais, en 1977, la *Royal Navy* ne donna pas suite.

(laboratoires de Marcoussis) dans la mise au point des lasers solides, pouvant équiper un illuminateur. En 1968, le STAé était très intéressé par ce type de guidage pour missile air-sol. Il proposa aux industriels un contrat finançant partiellement la réalisation d'un autodirecteur, pour faire des mesures d'albédo¹² ; seul Matra accepta d'investir dans ce nouveau domaine.

En 1973 et 1974, Matra proposa à l'EMAA et aux directions compétentes (le STAé pour le pod avion, la DRME pour le laser et le STET pour le missile) différents systèmes d'armes. Ces projets étaient établis avec Thomson-CSF, pour le pod de désignation, avec Cilas (filiale spécialisée de la CGE) et avec Martin-Marietta. Cette dernière société avait développé les équipements de base et acceptait de vendre une licence pour un prix acceptable. Elle concernait un autodirecteur très simple et un système de poursuite TV des cibles par leur contour pour l'équipement du pod. La solution Thomson (Tanagra, étudié au titre de contrats DRME), elle, était jugée plus complexe.

Le premier système était fondé sur un illuminateur sol (confié à l'armée de Terre) et sur des petits missiles air-sol autoguidés (utilisant le corps de la roquette de 100 mm de Brandt pour réduire le prix). Cette solution fut rejetée par l'EMAA, qui jugeait peu opérationnelle la communication air-sol.

Un deuxième système fut fondé sur les mêmes missiles et sur un pod illuminateur équipant l'avion tireur. Le principe fut approuvé, mais l'EMAA choisit comme véhicule celui de l'AS 30, mieux adapté aux objectifs durs que les petits missiles.

L'EMAA était intéressé, mais n'avait pas de budget pour financer un tel programme. En 1975 furent lancés simultanément un développement exploratoire pour l'autodirecteur, par le STET, et la réalisation pour évaluation d'un pod Atlis (autopointeur télévision et laser d'illumination au sol), par le STAé. Après consultation pour l'autodirecteur, le STET choisit Thomson-CSF, qui avait proposé le prix le moins élevé (autodirecteur Ariel). Le STAé confia la maîtrise d'œuvre du pod à Thomson-CSF, avec sous-traitance à Cilas pour le laser ; Thomson et Martin-Marietta coopérèrent sur le pod, pour l'électronique de poursuite de cible. En outre, des études systèmes concernant l'équipement du Jaguar furent lancées.

En définitive, après qu'une pré-évaluation opérationnelle eut montré la validité du concept d'utilisation du pod sur avion monoplace à basse altitude, un programme, nommé AGL (armement guidé laser), prit la suite en 1977. La DTCA fut nommée direction menante du système d'arme et la DTEN direction coopérante pour le missile. Le système comportait l'AS 30 laser, sous la maîtrise d'œuvre de l'Aérospatiale, et le pod de désignation Atlis. Ce programme fut un succès.

Matra, qui avait assuré la promotion, n'eut droit qu'à un programme laser secondaire : le développement de la bombe (de 1 000 kg) guidée laser, avec un autodirecteur adapté développé par Thomson-CSF, au titre d'un contrat du STAé.

Les États-Unis, eux, adoptèrent en 1979 un pod avion valable de jour et de nuit et développé par Martin-Marietta (Lantirn), et ce fut la fin de la coopération entre Thomson-CSF et Martin-Marietta (à cette époque, Atlis n'était valable que de jour).

¹² Coefficient de réflexion diffuse des corps (de la cible ou de l'environnement).

En 1977, le missileier pour la cible C 22 fut choisi. Une consultation eut lieu sur le successeur du CT 20, en particulier pour accroître sa manœuvrabilité. Le STET choisit Matra. Mais l'Aérospatiale, mécontente de ne pas être retenue, intervint auprès du délégué général pour l'armement et du ministre de la Défense. Matra accepta de perdre ce programme, moyennant une compensation à l'exportation.

L'année suivante, en 1978, eut lieu le choix du missileier pour l'ASMP. Les projets de l'Aérospatiale et de Matra étaient proches, avec le même stato et la même centrale inertielle. Le choix se porta sur l'Aérospatiale, les deux raisons connues étant les suivantes :

- le coût de développement proposé par l'Aérospatiale était inférieur, compte tenu d'un autofinancement. Matra avait peu exporté à l'époque et ne désirait pas investir dans les programmes nucléaires (donc non exportables), tandis que l'Aérospatiale voulait investir dans le statoréacteur pour pouvoir en équiper de futurs missiles tactiques ;
- l'EMA préférait le projet de l'Aérospatiale, car les portées proposées par Matra étaient supérieures à celles spécifiées par cet état-major pour l'ASMP (domaine comparatif entre l'ASMP et le futur Hadès).

D'autres programmes furent lancés sans compétition. Ce fut le cas, à la fin des années 1970, de trois programmes de missiles améliorés compte tenu des progrès technologiques : Magic 2 (« tous secteurs ») et Super 530 D (version doppler pour Mirage 2000) chez Matra, MM 40 (un MM 38 à la portée améliorée) à l'Aérospatiale.

Ainsi, à la fin des années 1970, il n'y a plus que deux missileiers, avec un gel des domaines de compétence de chacun. Celui de l'Aérospatiale est l'antichar (Milan, Hot, troisième génération) et l'antinavire (famille Exocet). Celui de Matra est l'air-air autoguidé (Magic et Super 530, le projet Mica) et l'antiradar. En revanche, il n'y a pas de domaine réservé pour les futurs drones, et une compétition s'ouvre, en 1979, pour le futur sol-air très courte portée (SATCP) autoguidé et de faible coût.

Thomson-CSF prétendait être le futur systémier des systèmes sol-air et leur maître d'œuvre. En effet, après avoir été le leader de la production du Hawk, elle était le maître d'œuvre du système d'armes Crotale (en coopération avec Matra pour le missile) et le seul radariste sol. Au contraire, les deux missileiers voulaient participer à la maîtrise d'œuvre et considéraient cette société comme un radariste et un partenaire pour le système.

Les conséquences de l'exportation

Le STET participait à la supervision des programmes faisant l'objet de contrats d'État à État, avec garantie de la France, et comportant des développements de missiles. Ce fut le cas de deux contrats avec l'Arabie saoudite :

- le contrat Shahine, passé à Thomson-CSF en 1974, qui nécessita le développement d'un missile différant du Crotale par ses performances en portée ;
- le contrat naval Sawari, à la fin des années 1970, comportant la commande de navires réalisés partiellement par la DTCN et équipés d'une part de missiles

mer-mer Otomat, développés par Matra, et Otomélara, d'autre part d'une défense contre les missiles antinavires volant à très basse altitude (version modifiée du Crotale naval, nommée EDIR : écartométrie différentielle infrarouge).

Le STET, dans les deux cas, dut mettre en place une équipe de direction de programme et « rendre compte » au client.

D'autres programmes, développés par l'industrie pour l'exportation, furent finalement adoptés par les armées françaises. Ce fut le cas du Crotale, dont la décision de choix, après compétition avec le Roland, fut prise par l'armée de l'Air en 1970 et par la Marine en 1973 pour une version navalisée. En outre, la Marine adopta, à la fin des années 1970, la version Crotale EDIR pour sa défense anti-missile, en attendant une version « tous temps et multicible » qui devrait être opérationnelle dans les années 2000 (SAAM Aster).

Une certaine compétition à l'exportation existait entre missiles français. Ce fut le cas entre les programmes financés par la France (le Roland pour l'utilisation terrestre et le mer-mer Exocet) et ceux développés par l'industrie pour l'exportation (le Crotale et l'Otomat, ce dernier étant aussi vendu par l'Italie). Certaines différences de performances existaient et pouvaient être un critère de choix pour le client.

Les personnes qui ont marqué cette période

À la DTEN, nous avons déjà cité l'IGA (M) Maurice Brunet, qui en était le directeur lors de la création du STET. Son successeur de 1974 à 1983, l'IGA (T) Antonin Collet-Billon, était un excellent technicien des missiles, qui fit toute sa carrière dans les missiles tactiques et stratégiques. Il avait débuté au LRBA à l'époque du PARCA. Il avait poussé au choix du statoréacteur pour l'ASMP et avoua qu'il avait compris, lors de son développement, que les difficultés avaient été sous-évaluées¹³.

Au STET, la première équipe était formée de responsables transférés des différentes directions. Le directeur fut l'IGA (M) Henri Labrunie et les chefs de groupe furent l'ICA Jean-Pierre Lepreux, pour les aéroportés, l'ICA (M) François Simon, pour l'Exocet, et l'ICA (T) Bernard Laurent, qui n'était pas missilier, pour les études générales. L'ICA Gilbert Bonn arriva de la DTEN, avec le transfert du programme Crotale ; il devint, à partir de 1975, le responsable du groupe « aéroportés », puis fut directeur adjoint.

Les successeurs de ce premier groupe furent l'IGA (T) Daniel Coulmy, directeur de 1979 à 1984 ; l'IGA (T) Didier Bienvenu, qui arriva de la DTAT, en 1977, avec la responsabilité du Roland ; l'ICA (T) Michel Dunaud (sol-air), qui introduisit la démarche qualité ; l'ICA (T) Jean-Benoît Ramé (sol-air), qui eut à superviser la mise au point du Shahine (qui comportait un propulseur à la limite des possibilités) et eut ensuite à établir la proposition de choix pour le SATCP, après une étude technique comparative très fouillée ; l'ICA Maximin Lisbonis (aéroportés) ; l'ICA (T) Philippe Collignon (pour le Super 530) ; l'ICA Robert Dubarry-Barbe, qui créa le groupe des missiles en service et dut résoudre tous les problèmes de

¹³ Cf. son interview dans *DEN Actualités*, numéro spécial du 29 novembre 1990.

rechanges et de documentation, inconnus auparavant au STET ; enfin l'ingénieur civil Charles Écary, ancien directeur technique d'ECA, qui joua, dans la période de démarrage du STET, un rôle technique important pour la définition des études générales (guidage, pilotage, propulsion).

L'ACTIVITE RESUMEE DES DEUX AUTRES DIRECTIONS TECHNIQUES

La DEFA (devenue DTAT après 1965)¹⁴

Après l'arrêt du PARCA au LRBA, un seul arsenal de la DEFA, l'APX (Atelier de Puteaux), conservait une activité de développement de missiles, qui s'acheva en 1971 avec l'arrêt de l'ACRA. En revanche, la DEFA était devenue responsable de programmes confiés à l'industrie : les antichars (SS 10 et SS 11, transférés de la DTIA en 1961, ainsi que Milan, Hot et leurs successeurs) et les sol-air Hawk et Roland, jusqu'à leur transfert à la DTEN.

Le missile antichar ACRA avait été lancé en 1961. Il était conçu pour être tiré du canon d'un char. Avec un accélérateur allumé après avoir quitté le tube, sa vitesse atteignait 500 m/s et son temps de vol, à 3 300 m de portée, était de 7 s. Il était guidé par faisceau laser modulé. Ce programme comportait des difficultés techniques, car c'était la première application du laser. Les sous-traitants de l'APX étaient la CGE pour l'émetteur à 1,06 micron et TRT pour le récepteur. Le prototype fonctionnait en 1971, mais le programme fut arrêté à cette date. C'était la fin de l'APX comme bureau d'études de missiles antichars.

La fabrication sous licence de Hawk, dans le cadre de l'OTAN (pays participants : France, Allemagne, Belgique, Italie et Pays-Bas), fut décidée en 1959. Un office OTAN fut créé pour assurer la gestion ; il était situé à Rueil, près de l'APX. Une société européenne, la SETEL (Société européenne de téléguidage, nom surprenant pour un système autoguidé !), SARL de droit français avec cinq sociétés actionnaires¹⁵ et un gérant français (CFTH), fut créée pour assurer le rôle de premier contractant européen. Cette société était assistée pour les tâches de coordination par une société mandatée, la CFTH, dont la direction spécifique compta jusqu'à 525 personnes – dont très peu d'étrangers détachés.

La production eut lieu de 1960 à 1977. Trois régiments de l'armée de Terre (douze batteries de tir) en furent équipés entre 1963 et 1966. De nombreuses améliorations furent effectuées, en particulier en 1974 (HELIP : missiles améliorés en performances et en fiabilité et prêts au tir sans préparation). Ce système doit être retiré du service dans les années 2000 et remplacé par le SAMP/T (Aster).

¹⁴ Pour plus de détails, voir les publications du Comité pour l'histoire de l'armement terrestre, *Armements antichars*, par M. Stauff (†), puis par MM. Guillot et Dubernet (tome 10), 2002, et *Systèmes de missiles sol-air*, par l'ingénieur général Collet-Billon (†) puis l'ingénieur général Bienvenu (tome 11), 2002.

¹⁵ Ses actionnaires étaient les ACEC (Ateliers de constructions électriques de Charleroi) pour la Belgique, CFTH, Finmeccanica pour l'Italie, Philips pour les Pays-Bas et Telefunken pour l'Allemagne.

En France, ce sont l'industrie électronique, la CFTH et la CSF, la Direction des Poudres (avec la fabrication du propergol isolane sous licence et une production importante, permettant une amélioration de la qualité) et SAGEM qui furent les bénéficiaires des contrats. Jusqu'en 1974, les missiliers ne bénéficièrent en revanche d'aucune compensation industrielle ni d'aucune « étude générale » dans le domaine SAMP.

Enfin, la DEFA s'occupait des programmes en coopération franco-allemande Milan, Hot et Roland. Comme nous l'avons déjà indiqué, tous les ingrédients étaient réunis, en 1963, pour une coopération sur ces trois missiles à téléguidage semi-automatique pour les armées de Terre : coopération politique entre les deux pays, accord de coopération industrielle entre Nord-Aviation et Bölkow, difficultés budgétaires pour les deux pays, besoins opérationnels proches pour la deuxième génération d'antichars et pour un sol-air de courte portée (6 à 8 km)¹⁶, et enfin mise au point du principe de ce téléguidage semi-automatique sur le SS 11, par contrat DTIA.

Les accords gouvernementaux pour ces trois programmes furent signés en 1963-1964. Les modalités étaient les suivantes :

- direction conjointe par les deux gouvernements ;
- partage du financement et des tâches, d'où une coopération pour les principaux sous-traitants (SAT et STRIM) ;
- surveillance de l'industriel uniquement par son gouvernement ;
- contrat, en dépenses contrôlées, passé par la DEFA à Nord-Aviation, mais avec une sous-traitance de 50 % à Bölkow.

En 1969, les programmes étaient dans l'impasse : les budgets étaient dépensés, les retards étaient patents et la mise au point n'était pas acquise. Il n'y avait pas de relation de confiance : le BWB estimait ne pas être informé des travaux réalisés en France. La gestion des contrats par la DTAT était presque impossible, le BWB et la DTAT donnant directement des ordres à leur industriel, sans concertation. Enfin, les besoins militaires étaient déphasés, la RFA désirant un Roland tous temps et la France voulant se limiter au temps clair.

De nouveaux accords furent signés en 1970 pour les antichars et en 1972 pour le Roland. Les deux gouvernements créaient un organisme commun responsable de la gestion : le Bureau de programmes franco-allemand (BPFA), installé en France (à Rueil) et placé sous la direction d'un Français et d'un adjoint allemand, était chargé des Milan, Hot et Roland I (temps clair) ; le bureau installé en RFA, sous la direction d'un Allemand et d'un adjoint français, était, lui, chargé du programme Roland II (tous temps). Parallèlement, les deux sociétés, devenues la SNIAS et MBB, s'associèrent de manière solidaire en créant, en 1972, le GIE Euromissile, qui devenait le seul contractant pour les activités relatives à ces trois systèmes et qui avait la responsabilité de la commercialisation. Les trois missiles furent mis en service entre 1973 et 1978 et connurent alors le succès.

¹⁶ La spécification avait été rédigée avec les Britanniques, mais ces derniers développèrent un programme national : Rapier.

La DCCAN (devenue DTCN après 1965)

Comme nous l'avons déjà indiqué, cette direction réorienta en 1959 le développement de son missile Masurca, effectué sous l'autorité de l'ECAN de Ruelle. La DTCN eut la responsabilité, en 1969, de démarrer le programme MM 38, qui fut transféré à la DTEN en 1970. Nous ferons ici quelques commentaires sur le Masurca, et nous décrirons plus loin le lancement du MM 38¹⁷.

L'originalité du programme Masurca est son évolution durant son développement, qui commença en 1955. En 1959, compte tenu de la connaissance du Terrier américain (à la suite d'une offre américaine de cession), le véhicule fut modifié pour diminuer les risques et pour gagner en rapidité. C'est la version MK2 :

- configuration du Terrier, avec sa voilure à ailes longues et avec des dimensions majorées pour tenir compte de l'écart des niveaux techniques ;
- accélérateur largable ; propulsion solide, avec le propergol récemment mis au point, plastolite ;
- performances : Mach 3, 23 000 m d'altitude, portée de 40 km.

Le téléguidage automatique, fondé sur la détection de la cible et du missile par deux radars, était conservé, mais une innovation était apportée avec l'adoption d'un calculateur numérique, en temps réel, commandé à la société IBM-France, qui venait d'être créée. Ce fut le calculateur français le plus puissant de l'époque. Cette version MK2 mod 2, malgré des performances limitées, fut mise en service en 1966 – et retirée en 1975.

En 1959, grâce à la connaissance détaillée du Tartar (cf. figure 20), missile autoguidé américain commandé pour l'armement de quatre escorteurs, la DCCAN lança la version MK2 mod 3, fondée sur un autoguidage intégral semi-actif électromagnétique doppler (comme pour le Hawk et le Tartar). Le missile pouvait attaquer une cible à basse altitude. Bien entendu, pour un navire comportant deux radars de poursuite équipés chacun d'un illuminateur, seulement deux cibles pouvaient être attaquées de manière simultanée. Les radars de veille furent réalisés par CFTH et les illuminateurs et les autodirecteurs par CSF.

Si Ruelle était compétent pour les études, une certaine rigueur lui manquait pour achever la mise au point du missile. Aussi, la DMA demanda à Matra d'assurer la co-maîtrise d'œuvre du missile avec l'ECAN entre 1966 et 1972 (harmonisation des spécifications et qualification des équipements, assistance aux tirs...). C'est Émile Durand, ancien du CEV, qui exerça cette mission avec tact et efficacité.

Le système fut mis en service en 1970, sur trois navires ; en 1995, les frégates *Suffren* et *Duquesne* sont toujours opérationnelles – avec des missiles améliorés au début des années 1980. Du point de vue de la réalisation, il s'agit d'un ensemble mécanique complexe : il n'est que de voir le système de chargement automatique, sous le pont, alimentant une rampe double de missiles Masurca de 8,6 m de longueur et pesant 2 tonnes, pour un chargement effectué en moins de 10 s ; il a été conçu par Ruelle.

¹⁷ Voir chapitre 8, Nord-Aviation.

Suite à la coopération réussie sur le Masurca, la DTCN et Matra souhaitaient qu'elle soit poursuivie sur d'autres programmes navals. En 1966, Matra fut nommé maître d'œuvre du projet de surface-air antimissile à courte portée Mandragore, très coûteux car voulu très ambitieux par le STCAN. Mais le projet fut arrêté en octobre 1968, au profit de l'antinavire Exocet. Le ministre Pierre Messmer déclara alors, dans une conférence de presse retentissante : « Les gens raffinés trouvent qu'il est très élégant, quand vous avez quelqu'un qui vous menace d'un pistolet, d'attendre qu'il ait tiré pour dévier sa balle avec un projectile ; c'est exactement le projet Mandragore. Les gens plus simples trouvent que le bon sens, c'est de couler le navire qui tire sur vous ou de descendre l'avion qui vous envoie un projectile, ce qui vous donne de meilleures chances de vous sortir d'affaire. En d'autres termes, le programme Mandragore, du point de vue militaire, est un mauvais programme et je l'ai exécuté le cœur léger... »

Parmi les responsables de la DCCAN pendant cette période, il faut citer l'IGA (M) Maurice Brunet, chef du Groupe engins au STCAN à partir de 1958 et chargé de mission à l'IGPFA ; il fut ensuite directeur du STCAN de 1966 à 1969, avant d'être nommé directeur de la DTEN en 1969. Ses successeurs comme chef du groupe furent l'IGA (M) Malandain et l'IGA (M) Henri Labrunie ; ce dernier devint le premier directeur du STET en 1970.

LES CENTRES DE TIRS DES MISSILES

Le CIEES de Colomb-Béchar

Nous avons déjà indiqué le rôle que ce centre a joué dans le développement des missiles. Mais sa localisation géographique a limité son existence : son utilisation s'est achevée le 30 juin 1967, compte tenu de l'application des Accords d'Évian. Les derniers tirs de missiles tactiques eurent lieu en mars.

La plupart des tirs furent transférés au CEL dès 1964. Mais, pour certains programmes où un champ de tir terrestre était primordial, le 30 mars 1967 devint l'objectif à respecter. Ce fut le cas du Martel (AR), dont le développement avait commencé en 1964 et dont l'objectif était de réussir le tir avec charge sur une antenne d'un radar sol.

Le Centre d'essais des Landes (CEL)

Le CEL a été créé le 4 juillet 1962, là où il n'y avait qu'une forêt. C'est un champ de tir maritime prioritairement destiné à tirer des missiles balistiques de grande portée. En outre, sa situation, près de la base de Cazaux et de son annexe, le CEV, avait été bien choisie pour les missiles aéroportés. Il est devenu le premier champ de tir européen. L'installation fut rapide pour les missiles tactiques et, dès mars 1964, la première cible CT 20 et le premier missile, l'AS 30, purent être tirés.

La principale difficulté, entre 1975 et 1985, fut la faible disponibilité du champ de tir pour les missiles tactiques, la priorité étant le missile balistique.

Il fallut mettre au point, pour les missiles, des cases d'équipements, interchangeables avec la charge et comportant en particulier la télémessure (émetteur, antenne...), la télécommande d'autodestruction, des capteurs de distance de passage... Pour des missiles tactiques, c'était un équipement coûteux.

Nous avons déjà signalé les conséquences du passage au CEL sur la mise au point en vol des missiles : augmentation de la durée et du coût, due à la nécessité de la télémessure et à la faible disponibilité du champ de tir, et réduction des contacts entre les responsables. Mais des avantages apparurent également : le champ de tir était en métropole, d'où une meilleure communication ; l'utilisation de télémessures, à l'époque des simulations, permettait une exploitation plus rapide et plus complète : le « blues » des anciens de Colomb-Béchar disparut.

Pour les missiles tactiques, les deux directeurs qui ont marqué le Centre de leur empreinte furent « le créateur du CEL », qui le rendit opérationnel, l'IGA Jean Soissons (1962-1969) et celui qui améliora le « service », l'IGA (M) Michel Deforges (1983-1990)¹⁸.

Le Centre d'essais de la Méditerranée (CEM)

Ce champ de tir maritime a succédé, en 1968, au CERES, qui fonctionnait depuis 1952¹⁹. Il est adapté aux missiles tirés de navires ou aux missiles de courte portée. De nombreux tirs de tels missiles y ont été effectués : Masurca, Exocet, Crotale Naval et Mistral, dans les années 1980. Il a été utilisé pour les essais de récupération marine des cibles et pour l'évaluation des missiles air-air de l'Aéronavale : R 511 sous Aquilon et R 530 sous Crusader.

¹⁸ Le CEL n'ayant pas subi de modification importante après 1980, nous n'en parlerons pas dans la troisième période, malgré son importance pour la mise au point des missiles.

¹⁹ Voir chapitre 2, DCCAN.

CHAPITRE 8

LES ACTEURS : L'INDUSTRIE

LES MISSILIERS

Nord-Aviation (après 1970, SNIAS, après 1984, Aérospatiale)

Les principaux événements, durant cette période, furent la coopération avec Bölkow et l'évolution de la stratégie technique concrétisée par le lancement de l'Exocet.

Les nombreuses raisons ayant poussé à la coopération franco-allemande sur les missiles Milan, Hot et Roland ont été décrites au chapitre précédent ; il faut y ajouter la volonté de coopérer manifestée par M. Stauff dès le début des années 1960. Il acceptait que Nord-Aviation perde son rang de leader, alors que son missile SS 11, supérieur au missile Cobra allemand, commençait à connaître un succès mondial. M. Stauff, alsacien, était plus à l'aise avec les Allemands qu'avec d'autres nationalités et il était convaincu de l'étroitesse du marché national et de la nécessité de coopérer. Il voulait assurer l'avenir de sa société.

En 1968, après l'enthousiasme lié au démarrage de la coopération, des difficultés intervinrent concernant le management des programmes développés dans ce cadre. En outre, la différence de politique entre les deux pays pour les autorisations d'exportation pouvait limiter le succès d'un programme. En définitive, M. Stauff orienta son projet d'Exocet, conçu à cette date, vers un programme national, cette position étant partagée par les services officiels.

La filière du missile simple et téléguidé manuellement, choisie comme stratégie fondamentale par l'Arsenal pendant la première période, avait été un succès ; elle avait aussi été la seule voie française pour réussir industriellement, compte tenu de l'état de la technologie électronique ; ce succès a été confirmé pour les programmes lancés en 1959 : SS 12 et AS 30.

Mais la nécessité d'un tireur entraîné créait des limitations. Avec l'adoption du téléguidage semi-automatique infrarouge, qui permettait d'accroître l'utilisation opérationnelle pour une augmentation acceptable du coût du poste de tir, le succès mondial a été assuré pour les missiles lancés dans cette période (antichars de deuxième génération Milan et Hot ; sol-air Roland).

Toutefois, le domaine de la filière du téléguidage restait limité aux missiles à courte portée et sur des cibles peu manœuvrantes ; l'autoguidage s'imposait pour les autres missiles, d'autant que la technologie électronique progressait. En 1959, le choix de l'air-air autoguidé Matra R 530 au lieu du Nord 5104 avait montré cette limite.

En septembre 1968, M. Stauff, percevant l'intérêt industriel du missile antinavire, définit le MM 38, premier mer-mer moderne ; c'était un missile sophistiqué (guidage mi-course inertiel et autoguidage final), avec l'avantage de la

nouveauté. Nord-Aviation avait trouvé sa deuxième filière, la famille Exocet ; cela a imposé un « virage » du point de vue stratégique, mais ce choix a conforté Nord-Aviation, le marché du téléguidage devenant mineur dans les années 1990.

Les conditions de la naissance du MM 38 méritent d'être connues. Jusqu'en 1967, le missile antinavire n'était pas pris en considération par les Marines française, américaine et britannique ; l'Allemagne développait lentement le Kormoran pour son Aéronavale et avait commandé l'autodirecteur à CSF. En France, des études générales étaient financées par le STAé à Nord-Aviation : l'AS 33 pour le guidage inertiel et des études du vol à très basse altitude, en association avec le RAE, dans le cadre d'un projet d'AM 15 pour l'armement d'hélicoptères. En 1967, la Grèce avait négocié une commande de vedettes françaises armées de missiles non définis ; Nord-Aviation et le STAé prévoyaient la vente du MM 12 (6 km de portée).

Seuls les Soviétiques, n'ayant pas d'aviation embarquée, avaient mis en service, au début des années 1960, le Styx ; c'était un gros missile relativement simple, du type avion, pesant 2 300 kg, équipé d'une charge de 500 kg et ayant une portée de 40 km. Le 21 octobre 1967, le navire *Eilat* israélien, patrouillant au large de Port-Saïd, fut coulé par trois missiles Styx (chacun avait fait l'impact) tirés d'une vedette égyptienne. L'émotion fut considérable ; mais il fut jugé que c'était une agression menée par surprise et aucun programme ne fut lancé immédiatement, en Occident.

Cependant, en 1968, les Grecs exigèrent des missiles de grande portée ; la DAI poussait Nord-Aviation à faire une proposition dans ce sens. La direction générale de la SNIAS prit alors le risque du lancement du MM 38, sous réserve d'un intérêt de la Marine française, qui fut acquis rapidement ; le ministre donna son accord en octobre 1968¹ et le contrat d'étude du STCAN fut signé à la fin de décembre 1968, ainsi que le contrat grec. La famille Exocet est un grand succès.

D'autres programmes, ne faisant pas partie des deux filières de base, furent ou commencèrent à être développés : les dérivés de la cible CT 20, le R 20 et le M 20 (programme Suédois RB 08) ; la cible C 22 ; l'AS 30 laser et l'AS 15 TT. Il faut y ajouter le missile préstratégique, l'ASMP, qui possède alors, avec son statoréacteur, une technologie de grand avenir pour la propulsion des missiles tactiques.

La situation de la Division à la fin des années 1970 était la suivante. Compte tenu des importantes commandes de missiles antichars reçues à la fin des années 1950 (ENTAC, SS 11), Nord-Aviation avait installé ses moyens de production à Bourges ; la société a dû les augmenter dans les années 1960, avec l'augmentation des cadences et les nouvelles productions : AS 20, AS 30... Le Centre pyrotechnique du Subdray, près de Bourges, fut créé, en particulier pour les moyens d'essais (240 hectares). Avec les Milan, Hot, Roland et la famille

¹ Voir chapitre 7, DTCN.

Exocet, le plan de charge en production semblait assuré pour les années 1980. La part du chiffre d'affaires à l'exportation était de 70 % environ.

Le plan de charge en études reposait sur la fin des développements de l'AS 30 laser, du SM 39 et de l'ASMP, sur les améliorations relatives principalement au Hot et au Roland et sur les projets de la troisième génération d'antichars.

En 1970, l'effectif de la Division était de 3 500 personnes ; il passa à 5 800 en 1976 et à 6 000 en 1980, dont 1 300 en « études et essais ».

Après 28 années de direction de la Division, Émile Stauff prit sa retraite de la SNIAS en 1974. C'est l'ICA (M) Michel Allier qui prit le relais. En plus des responsables déjà cités, qui avaient participé à l'aventure de la première période et dont l'activité s'est poursuivie pour la plupart, nous citerons M. Colette, directeur du programme Milan, M. Pinel, qui fut le responsable des missiles aéroportés et ensuite le directeur de programme de l'Exocet, et l'ICA Jean-Claude Renaut, qui fut le directeur des fabrications modernes, comme les structures composites, la microélectronique, les piles thermiques, etc.

Matra

La société Mécanique Aviation Traction est devenue, en 1960, société Engins Matra puis, en 1977, société Matra. Ces changements de nom traduisent l'évolution de la stratégie de la société. En 1960, elle fonde son avenir seulement sur les engins ; en 1977, « Matra » est devenu non plus un sigle, mais une véritable marque, avec les succès remportés par les missiles et par les courses automobiles. En plus des succès techniques et commerciaux, cette société a été dynamisée par Jean-Luc Lagardère, recruté le 1^{er} janvier 1963 par Marcel Chassagny comme directeur général. En 1977, M. Lagardère le remplace comme PDG.

La chronologie des événements clés permet de comprendre l'évolution de Matra.

En octobre 1959, la société a gagné, avec le R 530, la compétition pour l'air-air du Mirage III. Elle le développe ; il est mis en service en 1964 : c'est le premier missile antiaérien français équivalent aux missiles américains. Elle commence aussi la production du R 511 (20 par mois). Elle espère obtenir de la SEREB, dont elle est actionnaire, quelques études sur les missiles stratégiques et elle produit des lance-roquettes. L'avenir semble limité.

Des contacts se sont créés, au début de 1960, avec la société britannique De Havilland Propellers sur l'air-air ; cette société, avec l'appui de ses autorités officielles, désirait l'adoption sur le R 530 de son autodirecteur infrarouge, prévu pour le Red Top. Les responsables techniques de Matra, ainsi que ceux du STAé, n'étaient pas favorables. En effet, d'une part, les Britanniques ne voulaient pas développer de version électromagnétique avec l'autodirecteur français ; d'autre part, cette coopération aurait arrêté toute étude d'autodirecteur infrarouge en France. À la fin de 1960, cette proposition britannique fut rejetée par M. Blancard, délégué ministériel pour l'Air, à la demande de la DTIA.

En 1963-1964, trois opérations ont eu lieu, liées en partie à l'arrivée de M. Lagardère ; l'avenir devenait plus rose.

Avec l'appui de la DTCA, Matra a été choisie par les Australiens pour l'armement des Mirage III 0 avec des R 530, malgré l'influence des Américains sur la plupart des officiers australiens. L'une des conditions était de réussir des tirs à haute altitude, ce qui a imposé une campagne de tirs à Woomera. L'exportation de missiles commençait.

Dans le cadre de la coopération franco-britannique pour le Martel, Matra a été choisie comme maître d'œuvre de la version Martel (AR) et comme coresponsable, avec HSD, du véhicule commun ; cette dernière société a été choisie par le MOA du fait des relations entre Matra et HSD, qui étaient restées cordiales². Ce fut le développement d'un nouveau type de missile complexe pour l'époque ; il a assuré une charge de développement pendant huit années et des espoirs pour une production importante – qui se révélèrent vains.

La CFTH, maître d'œuvre du SACP téléguidé Crotale au titre de l'exportation, a proposé à Matra d'être responsable du missile. Matra a accepté cette coopération alors que Nord-Aviation avait refusé cette offre. C'était l'entrée de Matra dans les « petits missiles » ; ce programme de véhicule assura 15 années de développement, avec les différentes versions, et une production de 6 400 missiles.

Mais c'est entre 1967 et 1969 que l'avenir de Matra se joua.

Les Israéliens avaient acheté un nombre très limité de R 530 pour armer leurs Mirage III J. Ils les ont tirés à partir de 1965 contre des Mig 17 ou 19, lors de combats aériens fréquents sur leurs frontières. Le résultat a souvent été un échec, car les conditions de tir étaient « hors domaine » : les interceptions étaient réalisées à vue et à distance faible. Le missile R 530 n'était pas adapté. En plus des missiles classiques, dits « d'interception », des missiles de combat tournant, dits « *dogfight* », se révélaient indispensables.

Après discussions avec les Israéliens, Matra comprit que ce nouveau besoin allait s'imposer à toutes les armées de l'Air si son coût était abordable. L'EMAA et le STAé adoptèrent ce besoin et des spécifications furent établies (l'accord sur le prix maximum fut plus difficile, l'EMAA étant très exigeant) ; après consultation industrielle, Matra fut choisie et le contrat de développement du Magic fut notifié en 1969. Le Magic est un petit missile autoguidé infrarouge très manœuvrant et peu cher ; les Américains ont amélioré leur missile Sidewinder, qui resta cependant inférieur au Magic. Les livraisons en série commencèrent en 1975 (2 500 exemplaires avaient été commandés pour l'exportation avant la sortie du premier).

C'est le missile Magic qui a permis à Matra de devenir une véritable société industrielle et d'être considérée par les Américains.

En 1970, le contrat de développement du Super 530, successeur du R 530 devant équiper le Mirage F1, était notifié à Matra. Par rapport au R 530, c'était un missile mature.

En 1970 également, Matra, recherchant des dérivés pour le Martel, s'était associée avec Oto Melara pour développer un missile antinavire spécifié pour la Marine italienne et pour l'exportation. C'est l'Otomat, qui a une originalité par

² Ces relations Matra-HSD furent intensifiées avec un accord de coopération pour l'espace signé en 1964.

rapport à l'Exocet : sa grande portée, grâce à sa propulsion par turboréacteur. Les relations entre les deux coopérants furent très cordiales et le missile eut un succès correct. L'évolution de Matra était nette ; elle avait pu financer une partie d'un développement de missile exportable.

Enfin, entre 1963 et 1972, la DIRCEN (Direction des centres d'expérimentation nucléaire, direction de la DAM du CEA) a passé d'importantes commandes de missiles de prélèvements de gaz et de poussières, par l'intermédiaire du STAé. Ces missiles étaient tirés dans les nuages lors des essais aériens des charges nucléaires : c'étaient les R 536 (véhicule R 530), R 637 et R 638 (véhicule Martel). Cela assura un bon plan de charge en production.

On peut ainsi résumer la situation de Matra à la fin des années 1970. La société était devenue l'un des missiliers les plus compétents au niveau mondial pour les air-air infrarouges et électromagnétiques et pour les antiradars. Son bureau d'études était innovant ; Matra avait consacré beaucoup d'énergie à essayer d'accroître son domaine ; mais il y avait eu beaucoup d'échecs.

La société avait fait l'expérience de la coopération avec les Italiens et avec les Britanniques ; avec ces derniers, le résultat était mitigé. Matra n'avait pas trouvé de place en Allemagne, celle-ci achetant ses air-air aux États-Unis. Les tentatives de coopération avec les sociétés américaines s'étaient traduites par un échec.

Durant les années 1970, Matra était devenue exportatrice, pour 75% environ de sa production. Son plan de charge en production semblait assuré pour les années 1980 ; en revanche, ce n'était pas le cas pour les développements, sans nouveaux programmes ; l'espoir reposait sur les projets de sol-air en cours.

En 1966, Matra s'était installée sur le plateau de Vélizy, pour ses moyens d'études ; ses moyens de production étaient en Sologne : à Salbris depuis 1956 et à Selles-Saint-Denis, centre d'intégration pyrotechnique très moderne créé à la fin des années 1970. L'effectif de la Division missiles était d'environ 3 500 personnes.

Les personnes ayant marqué cette période, en plus de celles déjà citées, Marcel Chassagny, Jean-Luc Lagardère et Yves Hébel, sont, classées suivant la date de leur arrivée :

- Jean Paolorsi, directeur de programme des « gros missiles », comme le Martel, et concepteur de l'Otomat ;
- Jean-Élie Cadoux, ancien capitaine de l'armée de l'Air, l'un des concepteurs opérationnels du Magic ;
- Émile Durand, chargé du Masurca, puis de la Direction industrielle, qui devint directeur de la branche de 1975 à 1986 ;
- Jacques Amann, avec son expérience acquise au SADTC (*SHAPE Air Defense Technique Center*), dirigea les études de systèmes et de prospective ;
- René Carpentier, directeur adjoint de la branche, dirigea la préparation de l'avenir et les coopérations des années 1970 et 1980.

Remarques communes aux deux missiliers

Les missiles conçus dans la deuxième période sont en général équipés d'un ordinateur pour le guidage. Les missiliers en ont gardé la responsabilité,

considérant que c'était le cœur du missile et que le logiciel serait évolutif avec les résultats des essais.

La méthode de développement des missiles a totalement évolué entre les années 1950, où les tirs furent très nombreux (peut-être trop), compte tenu du peu de moyens de simulation, et les années 1970, où le missile fut totalement simulé et où quelques tirs (souvent pas assez) furent seulement prévus pour la vérification et la qualification.

LES SYSTEMIERS

Pour l'intégration aux avions et aux navires des missiles les armant, ce sont les directions de la DMA (DTCA ou DTCN) qui ont assumé cette responsabilité avec, en général, une coordination industrielle. Le problème restait posé pour les systèmes terrestres, particulièrement pour les sol-air.

Nord-Aviation et MBB ont rempli ce rôle pour le Roland, Matra et Oto Melara pour la batterie côtière sol-mer Otomat développée pour l'Égypte.

CFTH, Division des systèmes électroniques (DSE)³

Ce radariste est devenu un maître d'œuvre systémier après l'expérience acquise avec la production du Hawk. Il a obtenu de l'Afrique du Sud, en 1964, un contrat (appelé Cactus) pour le système sol-air à téléguidage automatique Crotale. Thomson s'engageait à le développer avec la participation d'ingénieurs sud-africains (pour la formation). Ce contrat a été obtenu grâce à un réseau commercial efficace. La DSE a alors été créée.

Son importance s'est nettement accrue d'une part avec l'adoption du Crotale, dans les années 1970, par l'EMAA et par l'EMM, d'autre part avec les exportations, suite à la guerre israélo-arabe de 1973. Les clients furent la Libye et les pays du Golfe, puis l'Arabie saoudite, qui passa, en novembre 1974, l'important contrat Shahine pour l'arme blindée (système monté sur châssis AMX 30 et missile de portée augmentée). À la fin de 1976, la DSE avait 84 mois de production en carnet, dont 90 % à l'exportation.

La création, à la fin des années 1970, du système naval de défense antimissile Crotale EDIR (écartométrie différentielle infrarouge), adopté par l'Arabie saoudite (contrat Sawari) et par la Marine française, a été aussi un facteur de croissance.

Mais le succès majeur de la période s'appelle *Al Thakheb*, « le perforant » : c'est un contrat de 6 milliards de dollars (selon des sources de Thomson-CSF), passé en 1985 par l'Arabie saoudite, qui faisait suite au contrat Shahine et avait pour objet la couverture complète de défense antiaérienne du territoire (avec missiles) ; la place de Thomson comme systémier était renforcée.

L'activité Crotale et Shahine s'est déroulée sur 27 années d'études et de production, et le programme continue avec la nouvelle génération⁴.

³ Thomson-Houston Hotchkiss-Brandt en 1966, Thomson-CSF en 1968.

⁴ Voir chapitre 14.

Comme nous l'avons déjà indiqué, Thomson a sous-traité la responsabilité des missiles à Matra ; la coopération technique entre les deux sociétés, fondée sur la complémentarité, a été constructive. En outre, ces deux sociétés coopéraient sur des projets de SAMP, au titre de contrats du STET. Mais le rôle que voulait jouer Thomson dans les missiles pour les années 1980 semblait plus ambitieux.

Les personnes qui ont marqué cette période sont Julien Binard, directeur de DSE jusqu'en 1982, M. Gras, qui a conçu le projet Crotale et a été le premier chef du programme (il avait fait partie de l'équipe du LRBA, où il était chargé du PARCA), son successeur, Roger Pagazani, de 1974 à 1980, et Jean-François Briand, directeur de programme du Shahine et qui succéda à Julien Binard comme directeur de DSE.

LES EQUIPEMENTS OPTRONIQUES

En plus des équipements infrarouges, fondés sur la détection du rayonnement émis par la cible, les premiers équipements lasers sont apparus à la fin des années 1960. Ils sont fondés sur la détection du rayonnement provenant d'un illuminateur comportant une source laser (émission dans la bande spectrale IR) et réfléchi par la cible.

En outre, à partir de 1970, des études du leurrage infrarouge et surtout de la lutte contre les leurres furent lancées par le STAé/ES ; Matra effectua des études de protection des autodirecteurs et la SAT commença l'étude d'un détecteur aéroporté de départ de missiles par détection du rayonnement du propulseur.

La SAT (activité infrarouge)

Nous avons indiqué plus haut que, durant la première période, les bases de la détection infrarouge, en particulier les lois de la transmission de l'atmosphère, avaient été explicitées. La technologie infrarouge (cellules détectrices, filtres, grille pour la détermination de l'écartométrie) relative à la première bande spectrale⁵ avait été mise au point et avait permis aux Éts Turck de réaliser de premiers équipements : prototype de goniomètre pour le SS 11 et autodirecteur pour le R 511 (non produit en série).

Pendant la deuxième période, les axes d'étude et les équipements développés sont les composants infrarouges et la mesure du rayonnement des avions, les autodirecteurs pour les missiles Matra air-air en bande 2, les goniomètres pour les postes de tir des missiles téléguidés de Nord-Aviation, en bande 1, et l'analyseur infrarouge monoligne pour avion ou missile de reconnaissance. Nous allons les évoquer successivement.

En 1958, le STAé/ES orienta les études vers la mise au point de la technologie de la bande spectrale 2. L'objectif était de réaliser un autodirecteur IR détectant dans cette bande pour l'équipement du Matra R 530, qui devait être lancé en développement en septembre 1958. L'intérêt opérationnel était considérable, car

⁵ Bande 1 : 1,8 à 3 microns ; bande 2 : 3 à 5 microns ; bande 3 : 8 à 13 microns. Cf. annexe technique n° 3.

cette bande permettait une détection « tous secteurs » des avions, contrairement à la bande 1, qui limitait la détection à la zone arrière des avions. C'était un pari, car le missile américain Sidewinder 9 B, révélé en 1957, utilisait la bande 1 ; ce n'est qu'à partir de 1978 que la version 9 L fut opérationnelle en bande 2.

La SAT réussit ce pari difficile en un temps record de deux années. La technologie était complexe : cellule détectrice InSb (composé binaire d'antimoniure d'indium à effet photovoltaïque) ; refroidisseur à la température de fonctionnement de la cellule, soit 77° K (par réservoir d'azote liquide), réalisé en coopération avec la société Air Liquide ; irdôme de forme hémisphérique en matériau résistant et transparent (germanate de plomb), conçu en coopération avec Paramontois (devenu ensuite Sovirel).

D'autre part, de 1957 à 1962, le STAé fit effectuer au CEV un important programme de mesures au sol et en vol du rayonnement du jet des réacteurs. Pour la mesure des spectres, des spectroscopes adaptés étaient nécessaires ; ils furent réalisés par la SAT d'après les indications fournies par le professeur Barchewitz.

Toutes ces études de composants infrarouges et ces mesures du rayonnement furent financées par le STAé/ES, jusqu'en 1970, par des contrats annuels au titre des études générales. Le soutien du STAé fut constant.

Les autodirecteurs (AD) pour les missiles Matra air-air en bande 2 concernaient le R 530 et les Magic 1 et 2.

Celui du R 530 était un autodirecteur moderne adapté à la navigation proportionnelle (cf. annexe n° 3). Avec sa bande spectrale, il permettait le tir « tous secteurs » de jour et de nuit, sauf dans un cône de $\pm 5^\circ$ par rapport à la direction du soleil ; la tête gyroscopique était réalisée par SAGEM. L'électronique comportait, au début, des tubes miniaturisés ; elle fut transistorisée en 1961.

Le calendrier fut le suivant :

- premier tir du missile (sans charge) en septembre 1961, avec une cible CT 20, détruite par un impact très spectaculaire ;
- pendant le développement et l'évaluation, de nombreux tirs avec impact eurent lieu ;
- au milieu de 1964, début de la livraison de série : 800 exemplaires environ furent produits.

Les progrès, depuis 1957, étaient considérables.

Des installations de production d'azote liquide ont été installées par l'Air Liquide sur les bases aériennes ; elles utilisaient les installations existantes pour l'oxygène. Le seul défaut apparu pour l'AD fut le remplissage de son bidon d'azote : c'était une opération simple, mais qui ne fut pas toujours appréciée par les mécaniciens de piste.

Le Magic 1 est le premier missile de combat avec uniquement un AD infrarouge ; le Magic 2 est la version plus performante, en particulier pour l'AD.

Par rapport au R 530, l'autodirecteur du Magic 1 était plus moderne et plus léger (10 kg avec le gyroscope pour la stabilisation, au lieu de 20 kg). En particulier, le réservoir d'azote liquide était remplacé par un refroidisseur Joule-Thomson utilisant la détente d'azote sec et sous pression (400 bars), stocké dans une bouteille installée dans le lance-missiles (conception britannique pour le refroidisseur) ; cette solution a été jugée opérationnellement satisfaisante.

L'AD du Magic 2 différait principalement du Magic 1 par l'utilisation d'un détecteur multiéléments, qui permettait d'accroître la portée. La solution « monocellule et modulateur » était morte : c'était un premier pas vers la solution de la barrette des années 1980. L'électronique était modernisée : technologie de 1980 et amélioration de la lutte contre le leurrage. Pour l'irdôme, un nouveau matériau (fluorure de magnésium fritté), plus résistant à l'érosion lors de la traversée des nuages, fut adopté ; il était réalisé par le céramiste, la société Desmarquet.

Les développements ont respectivement eu lieu, pour Magic1 et 2, de 1969 à 1975 et de 1978 à 1986. 12 000 autodirecteurs ont été produits.

Les goniomètres infrarouges, en bande 1, ont équipé les postes de tir des missiles téléguidés de Nord-Aviation. Ces missiles étaient équipés de deux traceurs émettant en bande 1 et servant de cible. Nous avons déjà indiqué que le prototype pour le SS 11 avait été conçu en 1953. La difficulté principale résidait dans l'obtention d'une précision d'écartométrie inférieure à 0,1 milliradian en utilisation opérationnelle ; elle fut résolue grâce à une grille mécanique créant une modulation de fréquence. Le guidage du missile fut mis au point en 1963.

Ce type d'équipement fut adopté pour l'AS 30 et surtout pour les missiles Milan, Hot et Roland temps clair. Les goniomètres de ces trois derniers missiles, développés en coopération franco-allemande, ont aussi fait l'objet d'une coopération (à parité des charges) entre SAT et Eltro, filiale de Telefunken. Le développement dura de 1964 à 1975 et environ 10 000 goniomètres furent produits de 1975 à 1995.

L'analyseur infrarouge monoligne (*IR line scanner*)⁶ pour avion ou missile de reconnaissance fut développé par la SAT à partir de 1963, sous la responsabilité de la Section ES (qui était le leader des études infrarouges du STAé). Ce fut la famille Cyclope :

- première version en bande 2, adoptée sur le R 20 et le Mirage III dès 1970 ;
- deuxième version Super Cyclope, en bande 3, mieux adaptée pour la détection terrestre, adoptée sur le Mirage III et le F1 CR ;
- troisième version Corsair, en bande 3, choisie après compétition pour l'équipement du drone CL 289 développé par les Canadiens (Canadair) et les Allemands (Dornier). La France adopta ce drone en 1977 : 250 équipements de bord Corsair et 15 stations sol ont été produits entre 1989 et 1993.

Tous ces équipements étaient compétitifs et parfois en avance, du point de vue technologique, sur les matériels concurrents américains.

Les personnes ayant marqué l'époque sont, en plus des deux personnalités déjà citées, qui ont continué à exercer leur fonction, trois ingénieurs ayant débuté dans les années 1950 : Jean-Jacques Baudot, responsable des autodirecteurs, Pierre Bézerie, responsable des goniomètres et qui imagina leur modulateur, et

⁶ L'image est formée longitudinalement par le déplacement du mobile et transversalement par le balayage mécanique du champ optique perpendiculairement à l'axe du mobile.

Pierre Lamelot, concepteur des télémessures Turck au début des années 1950 et responsable des activités infrarouges de 1970 à 1990.

Les équipements laser

Trois sociétés ont travaillé dans ce domaine.

La CGE Marcoussis a transféré cette activité, dans les années 1970, à une filiale : Cilas. Au titre de contrats de la DRME, elle a développé les illuminateurs lasers à 1,06 micron (émetteur solide) utilisés pour ACRA et le pod Atlis.

TRT (filiale de Philips) a été chargée, en 1964, du récepteur arrière de l'ACRA, dont l'étude s'arrêta en 1973. C'était les premières années d'application des lasers et une période d'innovation.

Enfin, comme nous l'avons indiqué en retraçant l'historique de l'armement guidé laser, Thomson-CSF (département Guynemer) a été chargée de deux équipements : le pod Atlis pour avion (poursuite et illumination laser de la cible), sous l'autorité du STAé et l'autodirecteur laser Ariel, sous l'autorité du STET. Ce type d'autodirecteur a équipé l'AS 30 laser et les bombes guidées laser (BGL) de Matra (AD Eblis, dérivé d'Ariel). 2 000 AD environ ont été produits de 1982 à 1995. Notons que la société réalisa aussi, dans les années 1960, un écartomètre infrarouge (bande 1) pour la prise en charge du sol-air Crotale, lui-même développé par Thomson-CSF⁷.

Les fusées de proximité optroniques (Matra)

Ayant acquis une filiale spécialisée dans l'optique (SFOM), Matra a développé des équipements nouveaux, qui intéressaient peu les sociétés optroniques.

Pour le Crotale, développé par Matra à partir de 1964, le choix de la fusée infrarouge (passive) s'était imposé. Matra a pris la licence de la fusée développée par HSD pour son missile air-air Red Top ; elle l'a francisée et a acheté à HSD les pièces détachées infrarouges.

Pour le Magic 1, le STAé a accepté le choix de ce type de fusée, mais il a fait franciser les composants infrarouges par la SAT. Ce sont les deux seules fusées infrarouges produites en France (11 000 exemplaires de 1974 à 1988).

Le Mistral, développé à partir de 1980, fut équipé d'une fusée laser active Matra, avec un fonctionnement plus satisfaisant que celui de la fusée infrarouge passive.

LES EQUIPEMENTS ELECTROMAGNETIQUES

Dans cette deuxième période, l'activité missiles a été répartie entre quatre sociétés : la CFTH et la CSF (avec un nouveau département), avant de fusionner, ont continué leur activité et les sociétés EMD et TRT ont commencé à s'intéresser aux missiles.

En 1957, la CFTH avait réalisé un équipement de missile valable du point de vue électronique, avec la technologie de l'époque (AD R 511). Le STAé/ES lui

⁷ Voir chapitre 9.

avait confié l'étude d'une maquette d'autodirecteur (FX) à tête gyroscopique⁸, pour préparer le R 530. Mais cette division manquait de dynamisme.

Électronique Marcel Dassault (EMD)

En 1954, Marcel Dassault avait créé un Département électronique au sein de la GAMD ; en 1962, ce département devint la société EMD. Pour éviter toute confusion avec l'activité des avions, nous traiterons aussi sous le titre « EMD » de l'activité de ce Département électronique entre 1954 et 1962.

L'anecdote suivante explique l'origine de l'aventure d'EMD pour les autodirecteurs. Depuis 1957, EMD étudiait le radar de bord Super Aïda pour le Mirage III, sous l'autorité du STTA. Mais, en juillet 1958, CSF présenta une maquette de radar concurrente du Super Aïda, avec une antenne « monopulse » ; cette innovation fut tellement appréciée que l'étude du radar EMD fut arrêtée en octobre 1958. Pour éviter la dispersion de l'équipe d'EMD, l'IGA Bonte, directeur de la DTIA, proposa au STAé de consulter EMD sur l'AD du R 530, pour dynamiser Thomson ; la compétition fut lancée en décembre 1958, avec la réalisation de prototypes. Au début de l'année 1960, EMD avait réalisé un prototype et Thomson avait six mois de retard (avec par exemple des difficultés pour obtenir de sa direction administrative l'autorisation d'acheter quelques oscilloscopes supplémentaires) ; en outre, EMD faisait le pari de la transistorisation, alors que Thomson voulait conserver la technologie « tube ». Le choix en faveur d'EMD fut prononcé en juin 1960⁹.

EMD fut choisie pour plusieurs programmes d'autodirecteur que nous évoquerons successivement : l'AD 26 pour R 530, l'AD 37 pour Martel, l'ADAC pour Exocet, le Super AD 26 pour Super 530 F et D.

L'AD 26 pour R 530 est un AD semi-actif, en bande X, à scanning mécanique et pesant 20 kg. Son étude a commencé au début de 1959 ; il fallait réaliser une tête gyroscopique pour la navigation proportionnelle avec l'antenne fixée sur la toupie, une rotule hyperfréquence, un radôme en alumine et une électronique transistorisée (choix d'EMD). C'était un pari difficile. EMD a défini le projet de tête et a sous-traité la réalisation de prototypes à trois sociétés spécialistes en gyroscopie : AOIP, SFENA et ECA ; six mois après, EMD avait trois têtes ; elle choisit AOIP (Association des ouvriers en instruments de précision).

Tout le développement a été réalisé avec le même dynamisme. Le calendrier a été le suivant :

- février 1960 : premiers essais en vol au CEV ;
- janvier 1961 : premiers tirs de missiles équipés avec l'AD 26 et réussite de tirs en attaque arrière et en attaque frontale (tirs d'avion de servitude du CEV, avec radar Cyrano prototype) ;
- début 1964 : premières livraison de missiles en série. 1 500 AD ont été produits.

⁸ Rappelons que le LRBA avait fourni une maquette d'une tête gyroscopique à SAGEM pour la réalisation d'un prototype d'AD par la CFTH. Voir chapitre 2.

⁹ Comptes rendus des réunions entre M. Blancard et la DTIA (SHAA, dossier E 7433).

L'AD 37 pour Martel est un AD passif, monopulse de phase, devant détecter les radars de la bande L (radar de veille) à la bande C (radar de poursuite) et pesant 32 kg. Deux gyromètres montés sur l'antenne permettent sa stabilisation.

De nouveaux paris techniques étaient à gagner :

- développer des antennes ayant une grande bande hyperfréquence (hélice). En 1965, la limite était de 20 % de la fréquence moyenne, d'où un autodirecteur avec un récepteur commun et trois parties avant (L, S et C) laissant exister des zones non couvertes entre les bandes (appelées « trous ») ;
- détecter des radars classiques à impulsion, des radars à émission continue et des radars à fréquence d'émission aléatoire ;
- « sélectionner » l'énergie provenant du trajet direct de celle des trajets ayant subi des réflexions.

L'étude a été lancée par le STAé/ES, en 1962, dans le cadre d'une compétition française. EMD a été choisie en 1963, compte tenu de la qualité de son projet et de son expérience sur l'AD 26. Le développement a été lancé au début de 1964 et le calendrier a été le suivant :

- en octobre 1965, premier tir réussi sur un cornet cible, après plusieurs échecs ;
- en mai 1966, à Colomb-Béchar, premier tir contre un aérien tournant (antenne récupérée), avec un spectaculaire impact ;
- à la fin de 1967, difficultés de sélection, dues à l'environnement radar français, rencontrées lors des premiers tirs au CEL ;
- au milieu de 1968, après des améliorations, excellents tirs au CEL ;
- mise en service en 1972.

En 1978, les progrès technologiques sur les composants hyperfréquences (antennes, etc.) ont permis d'améliorer l'AD de la version Armat en couvrant « sans trou » les trois bandes avec trois parties avant.

L'ADAC, pour Exocet, est un AD actif à impulsions et monopulse ; il comporte une fonction originale de télémétrie précise (1 m), près de la cible.

EMD a su saisir la chance : nous avons indiqué ci-dessus que Nord-Aviation ne souhaitait pas équiper son missile d'un AD sous la responsabilité du gouvernement allemand, bien qu'il soit développé par CSF (car il fallait l'autorisation de ce gouvernement pour l'exportation). Avec la recommandation du STAé/ES, des contacts furent noués entre Nord-Aviation et EMD.

M. Stauff avait invité à déjeuner, en septembre 1968, la direction d'EMD pour lui présenter la spécification de l'AD ; en huit jours, travaillant de jour et de nuit, EMD réalisa l'avant-projet, et en un mois le projet. Ce dernier satisfaisait Nord-Aviation ; en outre, EMD acceptait d'auto financer le développement. Le lancement eut lieu en juin 1969.

La conclusion fut la création d'un équipement excellent en performances et exceptionnel en fiabilité (50 tirs réussis consécutifs pendant la phase de développement) ; cela renforça la valeur de l'Exocet et la coopération entre les deux sociétés. Le premier tir réussi et la mise en service eurent lieu respectivement en juin 1971 et en 1972.

Une version améliorée, particulièrement pour la lutte contre les brouilleurs et les leurres, dont l'efficacité augmentait, a été développée pour le MM 40. En 1995, la production continuait et elle dépassait les 3 500 exemplaires.

Pour assurer sa part de compensation en charge de production consécutive à l'achat de missiles par la Grande-Bretagne, EMD sous-traita à Marconi. Des liens furent créés et ce fut l'amorce d'une coopération européenne.

Les autodirecteurs (Super AD 26) pour Super 530 F et D représentent, comme leurs missiles, les solutions matures pour l'air-air d'interception en mode semi-actif. Ce sont des autodirecteurs monopulses avec la technologie des années 1970, qui pèsent 30 kg (avec le gyroscope) ; par rapport à l'AD 26, la portée est nettement augmentée, en particulier grâce à l'antenne de diamètre plus important. Comme pour le Magic, la stabilisation de l'antenne est assurée à l'aide d'un gyroscope séparé (ce qui évite la tête gyroscopique). Le radôme, allongé d'un facteur 2, crée des difficultés pour l'autodirecteur (aberrations), contrairement à celui de l'AD 26 (hémisphérique) ; mais ce choix a permis une réduction de la traînée.

La différence entre la version F (conçue pour le Mirage F1) et la version D (doppler) résulte du choix du radar de bord. Lors de l'établissement du premier projet de Super 530, entre 1965 et 1967, la menace prise en considération était la basse altitude : seule une version discriminant les cibles des échos de sol par l'effet doppler pouvait convenir. Mais le radar de bord devait détecter les cibles à basse altitude et comporter un illuminateur à ondes continues pour le missile. Les essais, à la fin des années 1960, de la maquette du radar Thomson-CSF Cyrano IV, prévu pour le F1, ont montré que ses performances à basse altitude n'étaient pas suffisantes pour poursuivre une cible¹⁰. En conséquence, le radar du F1 ne fut pas équipé d'un illuminateur et c'est un Super AD 26 à impulsions qui fut adopté pour le Super 530 F, lancé en 1970. En outre, la menace prioritaire semblait évoluer vers la très haute altitude (Mig 25). Un retard était pris par rapport au missile concurrent américain, Sparrow à AD doppler, et aux radars de bord *pulse doppler* américains.

En 1975, lors du choix de la définition du système d'armes du Mirage 2000 DA, c'est un radar *pulse doppler* Thomson-CSF RDI¹¹ qui fut retenu pour la version définitive de cet avion (la durée de développement d'un tel radar était estimée à 10 années), et le Super 530 D, avec son AD doppler, fut lancé en 1977.

Le calendrier a été le suivant : pour le Super 530 F, lancement en 1970, premier tir réussi en 1974, mise en service en 1979 ; pour le Super 530 D, lancement en 1977, premier tir réussi en 1982, mise en service en 1987. 2 300 AD furent produits.

¹⁰ Dans les années 1960, la CSF, constructeur des radars de bord Cyrano, était réticente vis-à-vis du radar *pulse doppler* et avait proposé d'adopter un radar à impulsions doté d'un système d'élimination d'échos fixes ; ce fut un échec.

¹¹ Pour mémoire, un accord de promotion d'un système d'armes doppler – radar et autodirecteur – avait été signé en 1965, avec partage du travail ; EMD eut la responsabilité du Super AD 26 doppler, avec une sous-traitance à CSF, et le RDI fut développé en collaboration entre les deux sociétés, Thomson-CSF étant le maître d'œuvre (« doppler à impulsions » est la francisation du terme *pulse doppler*).

Ainsi, par son dynamisme et sa compétence, EMD a permis la réalisation d'autodirecteurs électromagnétiques compétitifs avec les Américains pour les missiles air-air, antiradars et antinavires ; en 1980, elle était devenue la première société européenne dans ce domaine.

Plusieurs personnes ont marqué cette période :

- Bertrand Daugny fut le chef du Département dès sa création, en 1954. Il avait été le responsable de la réussite du radar sol Cotal à la CFTH ; il recruta une équipe d'anciens Sup'élec de sa promotion et ce fut l'équipe dirigeante, qu'il anima avec dynamisme ; il succéda en 1986 à Serge Dassault, qui présidait EMD depuis 1967 ;
- Jean Climaud fut chargé des autodirecteurs lors de la consultation en 1958 pour le R 530, et il fut le directeur compétent, efficace et coopératif de cette activité jusqu'à la fin des années 1980, tout en assurant des responsabilités de direction générale ; il fut aussi l'animateur du projet d'AD pour l'Exocet ;
- Bernard Labey, alors directeur général adjoint d'EMD, fut un bon conseiller et Henri Le Tilly, chargé des réalisations mécaniques, fut l'ingénieur qui conçut d'une part la tête gyroscopique de l'AD 26, d'autre par la télémétrie de l'ADAC ;
- l'ICA Jacques Mijonnet, avec l'expérience des radars de bord acquise au STTA, prit la direction du Département autodirecteurs en 1971, avant d'assumer des responsabilités à la direction générale ; il fut le continuateur et le développeur de la politique de M. Climaud.
- deux ingénieurs ayant contribué au développement doivent enfin être cités : M. Guyot (ADAC) et M. Sorin (Super AD 26 D).

CSF, Direction AVS (devenue Thomson-CSF en 1968)

Durant cette deuxième période, elle n'a eu la responsabilité que de deux autodirecteurs, pour des missiles navals ; en revanche, depuis 1958, elle était chargée des radars de bord des avions d'interception.

Pour le Masurca, CSF a été chargée, au début des années 1960, de l'autodirecteur semi-actif à ondes continues doppler ; la connaissance de l'AD du Tartar a facilité sa réalisation. Son fonctionnement a été satisfaisant.

Au début des années 1960, CSF a été chargée par l'Allemagne, pour son programme national de missile air-mer Kormoran, de développer un autodirecteur actif classique à impulsions, monopulse et pesant 46 kg ; le projet de missile avait été établi en coopération avec Nord-Aviation. C'est avec la maquette de cet AD que les premières mesures des échos des navires furent effectuées et furent à l'origine de l'attaque à très basse altitude (*sea skimming*). Ce missile fut mis en service en 1977.

Mais, après le choix effectué par Nord-Aviation, en 1969, d'un autodirecteur EMD pour l'Exocet, CSF se rapprocha de Matra, avec l'objectif de participer à un développement d'un missile antinavire concurrent. En 1970, Matra s'associa avec Oto Melara pour le lancement de l'Otomat et l'autodirecteur CSF, dérivé du Kormoran, fut adopté sur la version pour l'exportation, sous la responsabilité de Matra ; pour la version nationale italienne de l'Otomat, un autodirecteur fut développé par la société italienne SMA.

Nous l'indiquons pour mémoire : au début des années 1980, une version très améliorée, Kormoran 2, fut lancée en développement avec sous-traitance à TST (Telefunken). La technologie de l'AD est celle des missiles dits « intelligents » (cf. *infra*) : émetteur à état solide et numérisation pour la lutte contre le brouillage. Il a été mis en service vers 1995.

TRT (groupe Philips) : fusées de proximité et radioaltimètres

Les fusées de proximité à fréquence métrique développées dans la première période n'avaient pas un fonctionnement satisfaisant.

À la fin de 1957, dans le cadre du projet du missile R 530, TRT proposa un projet de fusée novateur sur deux points :

- émission en bande X utilisant un klystron (émission d'une onde continue et modulée en fréquence, d'où une détection de la fréquence doppler de la cible et de sa discontinuité lors du passage travers) ;
- lobe d'émission et de réception bien défini (cône de révolution autour de l'axe du missile) grâce à des antennes plates directives, à disposer sur le fuselage.

Le STAé/ES et Matra adoptèrent avec plaisir ce type de fusée pour le R 530. Son fonctionnement a été très satisfaisant (pratiquement aucun déclenchement intempestif). L'un des points d'excellence de TRT a été la réalisation des antennes.

Ce type de fusée TRT fut par la suite adopté sur le sol-air Roland (après une compétition franco-allemande) et sur le Magic 2, car il était bien adapté, du point de vue des performances et du prix, à ces missiles.

Du même principe, TRT dérivait une famille de radioaltimètres qui eut un grand succès pour l'équipement d'avions et de missiles, comme l'Exocet.

M. Cossé, directeur de ce département, doit être cité, car il est à l'origine de ces équipements, qui ont permis à ces missiles d'être valables.

CFTH (devenue Thomson-CSF en 1968) : fusées de proximité

En 1959, l'échec lors de la consultation pour l'AD du R 530 fut une épreuve pour le département concerné. Pour le Martel (AR), CFTH fut consultée par le STAé/ES, en 1963 pour l'AD et en 1964 pour la fusée de proximité. Pour l'AD, son projet était techniquement satisfaisant, mais EMD fut préférée par le STAé et Matra.

Pour la fusée, CFTH présenta une solution novatrice par rapport au meilleur concurrent, TRT, qui proposait une solution dérivée de sa fusée du R 530. C'était un radar doppler à corrélation de phase avec une émission de faible puissance d'impulsions codées suivant un code pseudo-aléatoire. C'était la solution ayant le coût le plus élevé ; mais ses performances en discrimination d'un faible écho (antenne du radar) parmi les échos de sol ou de mer étaient supérieures. Le STTA, consulté en tant qu'expert, se déclara en faveur de la solution CFTH, l'estimant très intéressante sur le plan théorique. Le STAé, avec l'avis favorable de Matra, choisit cette solution.

La mise au point fut laborieuse, la théorie devant être approfondie ; les antennes durent être sous-traitées à TRT. Finalement, une fusée très performante et un peu chère fut mise au point. Elle équipa le Martel (AR) et fut choisie pour

équiper le Masurca (DTCN), les Super 530 F et D, la version EDIR du Crotale et la version Shahine, ainsi que le missile moderne Mica. Les progrès de la technologie permirent des réductions de coût.

Roger Pagazani, responsable du département à cette époque, doit être cité, car il a permis aux missiles français d'être équipés d'une excellente fusée ; il fut ensuite, à partir de 1974, directeur de programme du Crotale (cf. *supra*).

LES EQUIPEMENTS « ELECTROMECHANIQUES » : PILOTAGE ET GUIDAGE

Le pilotage

La politique des deux missiliers, Nord-Aviation et Matra, resta identique à celle de la première période : réaliser, si possible, leurs propres équipements. Il faut noter que, dans le cadre de la coopération, c'est MBB qui fabriqua les gyroscopes à poudre (de dimensions plus réduites que celui du SS 11) des missiles Milan et Hot, soit 400 000 exemplaires, et que Nord-Aviation adopta, pour la famille Exocet, des servomoteurs électriques Jeager.

Les équipements de stabilisation de l'antenne de l'autodirecteur

Trois solutions ont été utilisées :

- la tête gyroscopique : pour le Matra R 530, elle fut réalisée par SAGEM, en sous-traitance de la SAT, pour l'AD infrarouge et par AOIP, en sous-traitance d'EMD, pour l'AD électromagnétique ;
- le gyroscope séparé de l'antenne de l'AD : c'est la solution des Magic et des Super 530 ; les gyroscopes ont été réalisés par Matra ;
- deux gyromètres montés sur l'antenne de l'AD : c'est la solution du Martel (AR), de l'Exocet et de l'Otomat ; les gyromètres furent fournis par la SAGEM.

Les équipements du guidage mi-course

Deux solutions pouvaient être envisagées : la navigation sur cap et la navigation inertielle.

Pour l'Otomat, Matra utilisa une centrale gyroscopique dérivée de celle développée par la SFIM pour le Mirage III ; le calculateur fut réalisé par Matra. C'était la solution la plus simple.

Dans le cadre de la coopération franco-allemande pour l'air-sol, Nord-Aviation et Bölkow avaient envisagé une solution du type Otomat : le projet AS 31 ; mais elle ne fut pas choisie en 1962.

La solution retenue, le programme AS 33, était un système inertielle simplifié comportant deux gyroscopes classiques, l'un pour la verticale et l'autre axial ; le premier gyroscope porte les trois accéléromètres. Par rapport à l'AS 31, cette solution supprime l'erreur due à la dérive du vent.

En 1968, Nord-Aviation choisit pour l'Exocet le système AS 33, qui était développé. Une concurrence pour l'ensemble de l'AS 33 avait été établie entre la SAGEM et la SFENA ; les équipements des deux concurrents étaient satisfaisants

et interchangeable. Pour la famille Exocet, Nord-Aviation conserva cette double source.

Conclusion sur la politique des missiles

Ils ont essayé de continuer à réaliser leurs propres équipements. Pour les équipements plus sophistiqués, comme les centrales inertielles, ils ont coopéré avec les équipementiers, car les missiliers ne possédaient ni la technologie ni le financement nécessaires, les services officiels ne les aidant pas.

Il faut noter que, dès la fin des années 1960, les missiliers ont adopté l'objectif de réduire les coûts et d'accroître la fiabilité ; ils ont retenu les matériels les plus simples compatibles avec les besoins.

LA PROPULSION ET LES CHARGES

Cette période est caractérisée par l'amélioration des propergols solides et l'apparition des premiers missiles équipés d'un turboréacteur. Pour mémoire, il faut citer, en 1978, le lancement du premier missile opérationnel français avec un statoréacteur, l'ASMP ; mais c'est un missile préstratégique.

Le propergol solide

Après la mise au point, à la fin des années 1950, de la plastolane, le maximum de performances était proche. Dès le début des années 1960, la Direction des poudres (DP) mit au point la famille des isorgorls (isolite et isolane), qui ont l'intérêt de pouvoir être moulés-collés directement dans le propulseur : le remplissage est meilleur, d'où un gain de performances, et la paroi est mieux protégée. Dès 1965, la DP mit au point, grâce aux études menées pour les missiles stratégiques, la butalane, qui est « le top » des propergols, du point de vue des performances. Son seul défaut est le manque de discrétion, avec son panache de fumées : la recherche de la discrétion fut l'un des objectifs des missiles dits « intelligents ». La production sous licence du propergol du Hawk (isolane) permit d'améliorer les procédures de qualité.

Tous les missiles lancés dans cette deuxième période utilisent ces propergols performants, sauf les missiles téléguidés, pour lesquels la visibilité entre le poste de tir et le missile est nécessaire, et les missiles de croisière, équipés d'un propulseur brûlant en cigarette (épictète, durée de 100 à 150 s), développé par Nord-Aviation pour l'Exocet, le Martel TV et le Kormoran.

Les motoristes furent ceux de la première période : Aérospatiale pour ses missiles ; Brandt pour les missiles Matra, sauf pour le Super 530D ; SEP (Société européenne de propulsion, ex SEPR) pour ce dernier propulseur, lancé en développement en 1978. En effet, SEP désirait revenir dans le domaine des missiles tactiques et avait proposé une technologie pour la structure, qui était utilisée pour les missiles stratégiques : le bobinage en kevlar. Il permettait un gain de poids par rapport à la technologie de Brandt de l'époque, la tôle d'acier roulée

et soudée. La mise au point fut laborieuse et le gain de poids fut réduit, mais existant (du fait de l'adjonction de carbone pour le raidissement).

Le turboréacteur

Pour un missile de croisière, l'utilisation d'un turboréacteur pour la croisière est la solution la mieux adaptée (en masse et longueur) pour une portée supérieure à 40 km environ ; mais il faut que le moteur ait été développé, le financement prévu pour un missile ne permettant en général qu'une adaptation d'un moteur existant.

Ce fut le choix effectué, en 1970, par Matra et Oto Melara pour le mer-mer Otomat, spécifié pour une portée de 160 km ; le moteur choisi a été l'Arbizon, développé par Turboméca à partir d'éléments de ses turbos pour les hélicoptères. Les Américains firent le même choix de propulsion pour le Harpoon, lancé en 1974.

Au début des années 1970, le STAé/Moteurs, sur demande du STET, lança le développement d'un petit moteur adapté aux cibles aériennes et aux missiles de croisière (petite dimension, « consommable » et coût réduit). C'est la famille TRI 60, développée par Microturbo. Ce type de moteur équipe la cible C 22, développée dans la deuxième période comme successeur du CT 20, et les missiles de croisière développés durant la troisième période, Apache et SCALP-EG (système de croisière à longue portée-emploi général).

Les charges

Le choix du type de charges est lié à la nature de la cible. On distingue ainsi la charge creuse, pour missile antichar, la charge perforante, pour missile anti-surface (objectif dur), et la charge à fragmentation, pour missile anti-aérien.

Nous avons indiqué plus haut que la charge creuse avait été mise au point au cours de la première période ; dans les années 1970, elle a été très améliorée (pénétration dans l'acier de blindage égale à 8 calibres, au lieu de 4 au début des années 1960). Dans le cadre de la coopération franco-allemande pour la deuxième génération des antichars, l'équipementier de Nord-Aviation, la STRIM, s'est associé avec MBB Schröbenhausen. Ces deux sociétés, expertes dans ce type de charge, ont réussi à introduire les principes de la charge creuse dans les autres types de charges : charge à fragmentation du sol-air Roland, comportant de multiples petites charges creuses (idée de STRIM), et charge perforante de l'antnavire Kormoran, avec des charges creuses sur les parois.

Les charges perforantes STRIM ou SERAT équipent les missiles développés par Nord-Aviation : AS 12, AS 30 et Exocet.

Enfin, les charges à fragmentation des missiles Matra ont été développées par Brandt. Les performances, comme le contrôle du lobe d'expulsion des éclats, se sont beaucoup améliorées à la fin des années 1960 ; la meilleure connaissance de la détonique, résultant des études nucléaires, en est l'une des raisons.

Signalons aussi l'influence de la « mode » : au début des années 1960, tous les missiles antiaériens (américains, français...) ont été équipés d'une charge à barreau continu, qui a exigé de nombreux essais. C'était « le fil à couper le beurre », qui devait découper les voilures ou les fuselages ; mais ce fut un leurre,

sa probabilité globale de destruction étant inférieure à celle des charges à fragmentation (il fallait toucher la cible, ce qui n'était pas toujours assuré en attaque latérale). Une charge à barreau continu, réalisée par la Pyrotechnie de Toulon, équipa le Masurca, suivant les recommandations des autorités américaines.

L'ALIMENTATION ELECTRIQUE

La source d'alimentation des missiles de la première époque était généralement une pile amorçable, mise au point par la SAFT¹². La solution de la pile sèche, retenue pour les missiles antichars, était peu opérationnelle.

En 1957, les visites aux États-Unis ont montré l'existence de piles thermiques équipant les Sidewinder ; ces piles avaient été mises au point en 1949 par la société MSA. Nord-Aviation essaya, en 1964, de négocier un accord de coopération avec MSA, mais le gouvernement américain s'y opposa.

Nord-Aviation fut donc contraint de devenir chimiste et de développer un tel type de pile ; ce fut une réussite. À partir de 1965, les piles sèches furent abandonnées (le premier missile concerné fut le SS 11). La pile thermique, de par son principe, est très satisfaisante opérationnellement quand la consommation n'est pas importante. En effet, l'activation de l'élément pyrotechnique, faisant fondre l'électrolyte, solide aux températures ordinaires, entraîne un délai d'activation très bref, une durée de vie au stockage pratiquement illimitée et un fonctionnement assuré, quelle que soit la température ambiante.

À la fin des années 1970, Matra commença à choisir ce type de pile, pour la BGL laser, en les achetant à l'Aérospatiale. Ensuite, Matra l'adopta et la SAFT se mit à en développer, parallèlement à la pile amorçable.

¹² Voir chapitre 3.

CHAPITRE 9

LES PROGRAMMES

Les développements des programmes air-sol téléguidés et air-air de deuxième génération décrits ci-après avaient été confirmés par la directive ministérielle du 4 août 1958 ; les autres programmes décrits sont soit des programmes améliorés – antichars et air-air de troisième génération –, soit des programmes non envisagés en 1958 : air-sol autoguidés, antinavires, sol-air courte portée et missiles de reconnaissance.

LES MISSILES ANTICHARS¹

SS 11 : Améliorations effectuées sous la responsabilité de la DTIA

Par rapport à la première génération, deux améliorations ont été étudiées : le téléguidage semi-automatique et le montage sur hélicoptère.

L'objet du téléguidage semi-automatique est double : suppression de la servitude considérable représentée par l'entraînement du tireur au pilotage du missile et réduction de la portée minimale (liée à la précision d'impact). Comme nous l'avons déjà indiqué², l'Arsenal et les États Turck ont commencé respectivement, en 1953, l'étude du guidage pour le missile SS 10 et celle de la localisation infrarouge du missile. La solution retenue a été la conception d'un goniomètre collimaté avec la lunette de pointage de la cible, pour réaliser le guidage par alignement ; ce gonio détecte le rayonnement infrarouge, en bande 1, émis par des traceurs installés sur le missile ; le tireur doit seulement maintenir la croisée du réticule de la lunette sur l'objectif (cf. figure B de l'annexe 3).

En 1959, l'étude et les essais du guidage ont commencé sur le missile SS 11. Il s'est vite avéré que la difficulté était la prise en charge du missile. Une deuxième optique de détection, avec un champ élargi, fut ajoutée et le missile fut amélioré pour réduire une part de sa dispersion angulaire au départ. En 1967, le SS 11 TCA, baptisé Harpon, fut retenu opérationnellement pour l'équipement de l'AMX 13, à titre transitoire, et la réduction de la dispersion au départ est devenue l'un des objectifs de la conception de la deuxième génération.

L'idée du montage d'un antichar sur hélicoptère provient certainement de l'ambiance aéronautique de l'Arsenal de l'Aéronautique et de sa direction de tutelle.

Les premiers essais, en 1953, ont montré la nécessité de disposer d'une lunette ayant d'une part un grossissement pour acquérir la cible à 3 000 m, d'autre part une visionique gyrostabilisée. Avec une lunette Cotelec de ce type (étudiée par le STAé/AR), le premier AS 11 a été tiré d'Alouette 2 en 1959 (cf. figure 10). Après le

¹ Pour plus de détails, voir Comité pour l'histoire de l'armement terrestre, *Armements antichars*, par M. Stauff (†), puis par MM. Guillot et Dubernet (tome 10), 2002.

² Voir chapitre 3.

transfert de la responsabilité à la DEFA, c'est l'APX qui développa d'excellentes lunettes.

En 1965, l'ensemble Alouette-AS 11, avec une lunette binoculaire APX 260, innovait en étant le premier système air-sol antichar opérationnel ; l'hélicoptère lance-missiles devenait un moyen de feu à la disposition immédiate du commandant de l'opération et un armement de base des armées de Terre. La mission air-sol du missile antichar était reconnue comme essentielle, alors qu'elle n'avait pas été envisagée en 1950. Tous les pays adoptèrent ce type d'armement et les Américains utilisèrent au Vietnam, en 1965, des Bell-AS 11.

Deuxième génération : Milan et Hot

Les missiles Milan et Hot (cf. figures 28 à 33) relevaient de la responsabilité de la DTAT. Leur maîtrise d'œuvre était confiée à Nord-Aviation et MBB, dans le cadre de la coopération franco-allemande, dont l'histoire a été résumée au chapitre 7.

À partir de cette génération, les missiles ont été classés en catégories : missile de moyenne portée (2 000 m environ), portable et destiné aux fantassins, et missile de longue portée (4 000 m environ), destiné à être un armement puissant monté sur des véhicules blindés ou sur des hélicoptères. Le besoin de la catégorie courte portée (300 à 600 m), lui, était satisfait, à cette époque, par des roquettes.

Les différences avec la première génération étaient d'une part la conception du missile, adaptée au téléguidage semi-automatique, d'autre part l'amélioration des possibilités des missiles, pour contrer l'accroissement des performances des blindés (protection, armement).

Les caractéristiques communes des deux missiles étaient les suivantes.

Les techniques de la première génération étaient maintenues, avec des améliorations :

- liaison filaire avec bobinage autour du fuselage (solution du SS12) ;
- intercepteur de jet avec un seul couteau (solution du SS11) ;
- gyroscope à poudre MBB, de volume réduit par rapport à celui de Nord-Aviation équipant la première génération.

Les novations étaient :

- la livraison en coup complet, d'où le départ à partir d'un tube ;
- la faible dispersion au départ, pour assurer la prise en charge ;
- l'application des progrès technologiques des années 1960 : pile thermique ; électronique transistorisée ; charge creuse ayant un pouvoir perforant de 5,5 calibres en 1970 et de 8 calibres en 1980 ; traceurs adaptés au goniomètre infrarouge.

Les principales caractéristiques du Milan, missile de moyenne portée, étaient les suivantes :

- portée maximale de 2 000 m, avec un temps de vol maximal de 12,5 s ;
- masse de la munition (avec tube et générateur de gaz) : 12 kg ;
- missile de 6,7 kg, dont 2,8 kg pour la charge (diamètre de 103 mm et 700 mm de pénétration) ;
- masse du poste de tir : 16,4 kg ;
- utilisé à terre ou à partir de véhicules légers, ainsi que de l'AMX 10.

Le développement a commencé en 1963 et la mise en service à partir de 1973. 330 000 missiles et 10 000 postes de tir furent produits (jusqu'en 1995). Le Milan fut vendu dans 40 pays (dont quatre sous licence : Espagne, Grande-Bretagne, Inde et Italie) ; 80 000 missiles furent fabriqués pour la France et une quantité du même ordre pour l'Allemagne.

Il fut utilisé avec succès dans des conflits : Liban, Tchad, Malouines (par la Grande-Bretagne), guerre du Golfe... Les résultats connus au 1^{er} janvier 1987 sont les suivants : sur 51 425 tirs, un bon fonctionnement technologique de 95 % et un pourcentage d'impact de 92,5 %, soit une efficacité globale de 87 %³.

Pour les versions opérationnelles après 1980, il faut signaler les améliorations demandées par les Britanniques, en 1976, suite à l'acquisition de la licence : passage au missile Milan 2, mis en service en 1984, avec un diamètre de la charge augmenté à 115 mm, et adjonction de la lunette infrarouge Mira, adaptée au poste de tir pour la vision de nuit. Lui succède en 1991 le Milan 2 T, équipé de deux charges en tandem pour maintenir l'efficacité en cas de blindage réactif (cf. chapitre 11), puis en 1995 le Milan 3 (cf. chapitre 14).

Les principales caractéristiques du Hot, missile de longue portée, sont les suivantes :

- portée de 75 m à 4 000 m (limite de visibilité du but) ;
- temps de vol maximum de 17,3 s ;
- masse pour la munition : 33 kg ; 23,6 kg pour le missile, dont 6,4 kg pour la charge ;
- pénétration de 800 mm, passant à 1 250 mm pour le Hot 3 ;
- équipement de véhicules blindés et d'hélicoptères, comme la Gazelle et le Bo 105.

C'est un système d'arme alliant la puissance de destruction et la précision de nuit et de jour, avec une probabilité de destruction identique à celle citée pour le Milan. Le développement a commencé en 1964 et les livraisons en série en 1978. 85 000 missiles avaient été produits en 1995, ainsi que 1 600 postes de tir (à 45 % pour hélicoptères), vendus dans 17 pays ; pour la France, 23 000 missiles ont été produits.

La durée très longue du développement s'explique en partie par les délais nécessaires pour les prises de décision en coopération.

Deux versions améliorées ont été opérationnelles après 1980 :

- Hot 2 en 1985 : charge améliorée par augmentation du calibre à 150 mm et adoption d'un explosif plus puissant (octolite) ;
- Hot 3, équipé de deux charges en tandem pour maintenir l'efficacité en cas de blindage réactif et produit à partir de 1992 (cf. chapitre 11).

Il faut mentionner brièvement les missiles concurrents.

Aux Etats-Unis, Le Dragon (MP) n'a pas été un concurrent au Milan. Le Tow (LP) de Hughes est proche du Hot (téléguidage semi-automatique IR, liaison filaire) ; sa portée a varié de 3 km à 3,75 km. Il a été mis en service en 1970 ; des versions améliorées (portée, charge) furent développées. 620 000 missiles furent

³ D'après le Comité pour l'histoire de l'armement terrestre, *Armements antichars*, par M. Stauff (†), puis par MM. Guillot et Dubernet (tome 10), 2002.

produits jusqu'en 1991, le marché domestique comptant pour 365 000 exemplaires ; il est utilisé par 37 pays.

La Grande-Bretagne a acheté la licence du Milan, développé le Swingfire (LP) à téléguidage manuel et acheté le Hot pour l'équipement d'hélicoptères. Finalement, ce pays a décidé de coopérer pour la troisième génération d'antichars.

En conclusion, le Milan a été, dans sa catégorie et jusqu'à la fin des années 1990, le meilleur missile de moyenne portée au niveau mondial. En revanche, le Hot et le Tow sont de la même classe, avec une production du Tow nettement supérieure, compte tenu du marché domestique américain. Pour la longue portée, les Américains avaient rattrapé leur retard constaté en 1957. Soulignons enfin que les stocks importants de missiles antichars constitués en France, en Allemagne et aux États-Unis étaient liés à la menace soviétique (50 000 chars).

LES MISSILES AIR-SOL TELEPILOTES

En 1950, la mission air-sol n'avait pas été prévue, ne correspondant pas à un besoin français de l'armée de l'Air ; ce besoin est apparu, en 1957, avec l'abandon de l'intercepteur léger et le choix du concept du chasseur bombardier Mirage III.

AS 12 – Nord-Aviation (cf. figure 26)

Le concept de ce missile, en version sol-sol, a été établi dès 1956, lors de discussions d'états-majors dans le cadre de l'OTAN. Le besoin était un SS11 plus « puissant ». Les caractéristiques retenues étaient les suivantes :

- type de guidage identique à celui du SS11 : téléguidage manuel et liaison filaire ; mise au point d'un câble bifilaire lové autour du fuselage pour l'utilisation Marine (type de bobinage utilisé par le Milan et le Hot) ;
- masse de 75 kg ; charge de 30 kg ;
- portée de 6 000 m (30 s de temps de vol).

En fait, pour une mission antichar, ce concept ne présentait aucun avantage par rapport au SS 11. En revanche, une charge semi-perforante capable de pénétrer, sous incidence, une tôle d'acier doux de 10 mm permettait l'attaque de petites unités navales et d'objectifs divers au sol (rassemblement de véhicules, blockhaus...). Ce missile a trouvé son domaine d'utilisation surtout pour des applications navales : sous le nom d'AS 12, avec l'armement d'avions lents, comme l'Atlantic et le Nimrod, et d'hélicoptères, comme l'Alouette III ; sous le nom de MM 12, avec l'armement de vedettes rapides très appréciées à l'étranger.

L'avant-projet commença au début de 1958 et les premiers essais furent effectués en 1959 ; la mise en service eut lieu rapidement, en 1966, aucune difficulté sérieuse de développement ne s'étant présentée. 10 300 missiles ont été produits jusqu'en 1982 et utilisés par 26 pays ; citons la *Royal Navy*, qui mit hors de combat un sous-marin argentin débarquant un commando en Georgie, lors de guerre des Malouines.

L'intérêt du missile pour effectuer des missions air-sol et des missions antisurface a bien été mis en évidence par ce missile AS 12.

AS 20 (Nord 5110) – Nord-Aviation

Nous avons indiqué plus haut (cf. chapitre 4) que l'expérimentation du Nord 5103 (ou AA 20) avait montré l'intérêt de son utilisation en air-sol, la distance de passage étant de l'ordre de 5 m. L'AS 20 dérive du Nord 5103 principalement par l'adoption de la charge semi-perforante de l'AS 12 de 30 kg et par le remplacement de la fusée de proximité par une fusée d'impact. La masse du missile est ainsi passée à 145 kg ; sa portée est de 6 km. Avec la liaison radio, il a pu armer les avions de combat : Étendard, Mirage III C et E...

La version AS 20 fut définie en 1958 et mise en service au début des années 1960. Après l'arrêt de l'utilisation air-air du Nord 5103, au début de 1961, les missiles 5103 produits furent modifiés et utilisés pour l'entraînement au tir de l'AS 20 et de l'AS 30. 1 700 nouveaux AS 20 furent produits, dont 900 pour l'exportation ; les plus gros clients étrangers furent l'Allemagne (sous F 104 G), qui le produisit sous licence, et l'Italie (sous Fiat G 91).

AS 30 (Nord 5401) – Nord-Aviation (cf. figure 27)

L'expérimentation de l'AS 20 avait montré la nécessité d'une charge perforante mieux adaptée aux « objectifs durs » en béton (pouvant atteindre 1 m d'épaisseur) ou en acier (coque de navires) ; l'EMAA a fixé une masse de 500 kg pour le missile, compte tenu des points d'emport de l'avion.

Caractéristiques retenues :

- masse du missile : 520 kg ; charge semi-perforante de 240 kg ;
- portée de 10 km, avec une vitesse d'impact à Mach 1,4 (23 s de temps de vol maximum) ; utilisation du propulseur mis au point pour le sol-air ACAM⁴, d'où le diamètre de 350 mm (ce fut aussi le diamètre retenu pour le MM 38) ;
- principes de l'AS 20 conservés : corps fuselé en auto-rotation à faible vitesse (4 tours/s) et adjonction d'empennages ; téléguidage manuel ; télécommande radio Labinal TC 735, correctement protégée contre le brouillage.

L'EMAA édita la fiche-programme le 10 juillet 1958 et le programme démarra en 1959, avec une mise en service en 1963. L'AS 30 arma tous les avions cités pour l'AS 20, ainsi que le Jaguar. 3 800 missiles furent produits, dont 3 000 exportés, en particulier en Allemagne. Pour le Fiat G 91, une version AS 30 L (L pour léger) fut développée, avec une masse de 385 kg et une charge de 110 kg.

Pour supprimer l'entraînement des pilotes au guidage du missile, l'étude d'un téléguidage semi-automatique infrarouge fut effectuée dans les années 1960. Ce procédé ne fut appliqué que sur 370 missiles français et il ne fut pas généralisé, du fait de résultats moyens résultant de la dispersion au départ, pour un missile non conçu pour le téléguidage semi-automatique. Une version avec autodirecteur laser fut développée ultérieurement (voir ci-après).

Ce missile a été, dans les années 1960 et 1970, très apprécié ; avec la technologie de l'époque, il permettait l'obtention d'une très grande efficacité sur les objectifs durcis, avec une distance de sécurité (*stand off*) de 3 km ; l'efficacité était très supérieure à celle des bombes et des roquettes et l'avion tireur n'était

⁴ cf. chapitre 2, DEFA.

pas vulnérable à la DCA par canon. Bien entendu, des faiblesses de ce missile apparurent à la fin des années 1970 : tir limité au temps clair, vulnérabilité aux SACP, mis en service dans ces années 1970, et brouillage de la liaison.

Les Américains avaient un missile équivalent, le Bullpup, mis en service en 1960.

LES MISSILES AIR-AIR DE LA DEUXIEME GENERATION

Par rapport à la première période (cf. chapitre 4), la menace s'était modifiée. Avec l'adoption de chasseurs bombardiers, la supériorité de manœuvre du chasseur sur le bombardier disparaissait, et avec elle la « facilité » d'interception cinématique en secteur arrière. Il était donc demandé à l'intercepteur de pouvoir tirer dans tous les secteurs, et si possible avec une dénivelée ; en outre, les capacités de manœuvre de la cible n'étaient plus aussi faibles. En 1957, le STAé/ES consulta les deux missiliers sur le futur missile air-air destiné à armer le Mirage III ; deux fiches-programmes, éditées le 19 décembre 1957 par l'EMAA, coexistaient : AA 25 téléguidage et AA 26 autoguidage.

Nord 5104 (AA 25)

Compte tenu de son expérience, Nord-Aviation choisit la fiche AA 25 et remit, au début de 1958, le projet du Nord 5104. Son développement démarra en septembre 1958.

La différence avec le Nord 5103 résidait dans le téléguidage automatique, dont la conduite de tir de l'avion devait assurer l'élaboration de l'ordre de guidage. Cette conduite de tir devait comprendre un radar de bord avec deux chaînes de réception, un système additionnel pour la prise en charge du missile et un calculateur associé. Les principales difficultés de développement du système étaient reportées sur la conduite de tir, qui était difficilement réalisable, à la fin des années 1950, avec le niveau de connaissances techniques (le niveau d'échos de sol détecté par le radar aéroporté était mal connu) et avec la technologie disponible.

Le choix du missile pour le Mirage III fut effectué en octobre 1959 et il se porta sur le programme concurrent, AA 26 (on a évoqué plus haut les raisons de ce choix). Cela marqua l'arrêt du Nord 5104 et de l'utilisation du téléguidage pour les air-air.

R 530 (AA 26) – Matra (cf. figures 36 à 39)

Matra décida de répondre à la fiche AA 26 par le projet du R 530, remis en avril 1958. Nous avons vu que Matra avait choisi la voie de l'autoguidage et qu'en 1957, elle achevait la mise au point du R 511, autoguidé en poursuite.

Le R 530 tenait compte des informations recueillies lors des missions aux États-Unis, en 1958 ; c'était le projet complet d'un missile autoguidé suivant la loi de navigation proportionnelle. Il comportait deux versions, électromagnétique (EM) et infrarouge (IR), ne différant que par l'autodirecteur. Ce projet impliquait plusieurs paris techniques et technologiques.

Comme pour le Nord 5104, le développement du R 530 démarra en septembre 1958 et son choix pour l'armement du Mirage III, en octobre 1959, le lança définitivement.

Durant ces trois années, de 1958 à 1960, avec l'appui du STAé, Matra et ses coopérateurs, EMD, SAT et TRT, ont réussi à mettre le R 530 au niveau de l'industrie américaine et même à innover en gagnant les paris techniques et technologiques suivants :

- avoir une connaissance approfondie de la loi d'autoguidage de navigation proportionnelle, pour optimiser le guidage ; ce fut une étude réussie de Matra ;
- réaliser un autodirecteur électromagnétique avec un aérien stabilisé ; nous avons indiqué au chapitre 8 que la société EMD en avait démarré l'étude au début de 1959 (en compétition avec CFTH) et qu'au début de 1960, elle présentait un prototype comportant une tête gyroskopique et une électronique transistorisée. Ensuite, en une année, furent effectués à la fois la réalisation par EMD des prototypes d'AD capables d'équiper un missile, du point de vue de la tenue aux environnements, les essais en vol porté de l'autodirecteur avec le radar éclaireur Cyrano et le premier tir réussi du missile autoguidé R 530 EM ;
- réaliser un autodirecteur infrarouge à tête gyroskopique ; nous avons indiqué (chapitre 8) que la SAT avait mis au point, durant ces trois années, d'une part les composants infrarouges valables dans la bande 2 (irdôme, détecteur et refroidisseur), d'autre part l'autodirecteur. Le premier tir eut lieu en septembre 1961 avec un impact sur la cible ;
- réaliser une fusée de proximité électromagnétique en bande X, à antennes plates directives et sans déclenchement intempestif ; nous avons indiqué (chapitre 8) que TRT avait présenté un tel projet. Les prototypes furent réalisés et essayés avec succès en deux ans. Le seul défaut de cette fusée était le maintien de la technologie des tubes subminiatures.

Les caractéristiques et les performances du missile sont les suivantes :

- masse de 196 kg ;
- diamètre de 263 mm ; configuration classique, cruciforme ;
- propulseur à propergol solide (plastolite) à deux niveaux de poussée ;
- pilotage en tangage et lacet avec stabilisation par gyromètre ; pilotage en roulis, pour limiter la vitesse de rotation ; servomoteurs électriques ;
- fusée de proximité et d'impact ; charge à fragmentation de 30 kg ;
- deux autodirecteurs (AD) interchangeables : semi-actif électromagnétique à impulsions et à scanning et infrarouge en bande 2 (« tous secteurs ») ; têtes gyroskopiques avec un débattement de $\pm 45^\circ$ et prépositionnées, au départ, sur la cible par les informations du radar de bord ; radôme hémisphérique ;
- performances : distance de tir maximale, en attaque frontale, limitée par la portée des AD (10 km) ; dénivelée maximale de 3 000 m ; domaine d'utilisation en altitude : de 3 000 m (échos de sol) à 18 000 m ; distances de passage réduites (4 m en moyenne) ;
- version IR plus fiable et plus précise, avec de nombreux impacts ; mais elle fut peu utilisée par les opérationnels français, compte tenu de la servitude que représentait le remplissage du réservoir d'azote liquide de l'AD.

Le développement fut mené rapidement :

- mise au point en vol (50 tirs de la version EM et 25 tirs de la version IR) en deux années : 1961 et 1962 ;
- évaluation en 1963 ;
- première livraison en série en avril 1964, conformément au planning établi en 1959.

Entre 1964 et 1980, 2 300 missiles furent produits, dont 1 200 pour l'exportation liée au Mirage III, vers Israël, l'Australie, la Libye, le Pakistan, etc. Le missile a équipé le Mirage III, le Crusader pour l'Aéronavale (l'adaptation au radar et à l'avion fut réalisée sans aucune difficulté, avec des essais en vol aux États-Unis et en France) et le Mirage F1, en attendant le Super 530, mis en service en 1979.

Il connut une phase de refonte à la fin des années 1970, avec le remplacement des composants obsolètes : propergol (isolite au lieu de la plastolite), autodirecteurs, transistorisation du retardateur.

La situation de la concurrence, jusqu'à la fin des années 1970

Il n'y a eu en Occident que deux pays concepteurs, les États-Unis et la France, et deux systèmes d'armes d'interception tous temps exportables : le Mirage III-R 530 et le Phantom-Sparrow III. Nous ne comparerons que les performances des missiles. Les avions comportaient des différences : le Phantom était plus lourd, plus cher et emportait quatre Sparrow au lieu d'un pour le Mirage III ; les dimensions supérieures de l'antenne du radar du Phantom entraînaient une portée supérieure pour l'AD EM du Sparrow.

La première version, 7 C, du Sparrow III, décrite sommairement au chapitre 4, a été mise en service en 1960 ; elle fut rapidement remplacée, en 1963, par une version améliorée, 7 E. Les caractéristiques et les performances de ces premières versions du Sparrow sont proches de celles du R 530, sauf sur les points majeurs suivants :

- à l'actif du Sparrow : un autodirecteur doppler semi-actif (nécessité d'un radar de bord comportant un illuminateur continu), ce qui lui permettait des tirs sur des cibles à basse altitude, et une configuration à ailes mobiles, ce qui lui permettait d'avoir un radôme profilé⁵.
- à l'actif du R 530 : une version infrarouge interchangeable, ce qui était un avantage fondamental du point de vue de la lutte contre le brouillage ; les AD transistorisés, alors que la technologie du Sparrow était celle de 1956 (tubes), d'où une différence de fiabilité ; et des servomoteurs électriques plutôt qu'hydrauliques (pour la commande des ailes), simplifiant technologiquement le missile.

La production de ces versions, jusqu'en 1980, a été de 35 000 exemplaires. Le système Phantom-Sparrow (le missile est lié au radar de bord) a été peu exporté,

⁵ Une difficulté des missiles de l'époque était la possibilité de déstabilisation du missile en altitude suite aux aberrations du radôme. La solution, pour le R 530, a été le choix d'un radôme hémisphérique (d'où une aberration très réduite), et pour le Sparrow le choix de l'aile mobile (d'où une tolérance plus importante des aberrations), d'où le choix d'un radôme profilé. La traînée du R 530 était supérieure, tandis que le Sparrow comportait des équipements de pilotage plus complexes.

sauf en Grande-Bretagne. Les pays comme l'Allemagne, n'ayant pas un tel système d'arme, ne pouvaient compter que sur leurs batteries sol-air ou sur les Forces aériennes américaines de l'OTAN.

La version 9 B du Sidewinder infrarouge, décrit au chapitre 4, était un missile de la première génération, mis en service en 1956 et utilisé dès 1958. N'étant pas équipés d'un système d'interception tous temps, la plupart des pays occidentaux ont armé leurs avions de combat avec ce missile ; l'adaptation était facilitée par l'absence de liaison avec la conduite de tir et le montage possible en extrémité de voilure (70 kg). Mais ses capacités d'interception étaient très limitées, parce qu'il devait être tiré en attaque arrière et sans prépositionnement par le radar et qu'il était équipé d'un AD en bande 1 (d'où de nombreux échos parasites).

80 000 exemplaires de cette version 9 B furent fabriqués, y compris pour l'exportation, de 1956 à la fin des années 1960. Dans le cadre de l'OTAN et d'une licence américaine, une fabrication européenne (Allemagne, Grande-Bretagne, Italie, Norvège) fut entreprise sous la maîtrise d'œuvre de la société allemande BGT ; 15 000 Sidewinder d'une version 9 B améliorée par BGT (fiabilité et accrochage sur cibles parasites) furent produits à partir de 1967. La France, qui avait reçu gratuitement, dès 1960, des Sidewinder pour l'armement de ses avions F 86 et F 100, a acheté des missiles en attendant la mise en service du Magic ; ces derniers ont armé ses avions, sans radar de bord, ces missiles étant disposés en extrémité de voilure. Les Soviétiques, eux, ont copié le Sidewinder 9 B en produisant l'Atoll, et les Chinois ont copié l'Atoll. En définitive, presque tous les pays ont utilisé ce type de missile.

À partir de 1965, les Américains ont commencé à étudier la deuxième génération du Sidewinder, en améliorant la version 9 B ; les versions 9 E et 9 J, pour l'*Air Force*, et 9 D/9 G/9 H, pour la *Navy*, furent étudiées et certaines furent produites. Elles offraient une possibilité de prépositionnement et une amélioration de l'autodirecteur, ainsi qu'une augmentation de la masse de la charge et du missile (10,4 kg et 86 kg) et une portée accrue. La version la plus moderne, 9 H, fut mise en service en 1973 : c'était la première version transistorisée (ce qui était vrai dès 1964 pour le R 530), mais l'AD était toujours en bande 1. 11 000 exemplaires de ces versions, en majorité la 9 H, furent produits.

Quant aux Britanniques, ils ont produit le missile de deuxième génération infrarouge Red Top, en bande 2, très proche du R 530 IR, mais sans version EM (d'où l'achat du Sparrow) ; son succès fut réduit.

En définitive, le Mirage III armé avec le R 530 a permis à la France d'être le seul pays occidental à rivaliser avec les Américains dans les possibilités d'interception air-air tous temps. Le R 530 innovait, par rapport aux Américains, en ayant une version infrarouge interchangeable ; en outre, cette version, étant en bande 2, permettait l'attaque « tous secteurs » et n'était pas sensible aux échos parasites infrarouges du sol.

LES MISSILES AIR-AIR DE LA TROISIEME GENERATION

À la fin des années 1960, une évolution des missions est apparue, nécessitant une évolution des missiles, appelés « missiles de la troisième génération » ; deux raisons l'expliquaient.

D'une part, les deux systèmes aériens avaient été utilisés au combat sur des terrains « exotiques » : le R 530 par les Israéliens, de 1965 à 1967, et le Sparrow et le Sidewinder au Vietnam, de 1964 à 1973. Ce n'étaient pas des missions d'interception au-dessus d'un territoire ami, doté d'un système coordonné de défense aérienne (comme le STRIDA en France) qui guidait les avions sur la zone où ils seraient capables de détecter les objectifs et ensuite qui affectait à chaque avion ses cibles : c'était des conflits « locaux », pour lesquels les missiles n'avaient pas été conçus. Ils avaient montré leur inaptitude au combat rapproché (distance minimale de tir de l'ordre de 1 000 m).

D'autre part, les performances des menaces avaient évolué : haute altitude (au-dessus de 20 000 m) et haute vitesse (Mach 2,5) avec le Mig 25 ; basse altitude avec le suivi de terrain.

Le besoin pour deux catégories de missiles air-air était né :

- le missile de combat rapproché et d'autoprotection : il doit être capable d'acquies de façon autonome la cible dans un vaste champ de recherche et d'être tiré sans aucune limitation d'incidence ou du facteur de charge de l'avion tireur et à courte distance (300 m) ; ses capacités en facteur de charge doivent être très importantes, pour contrer les manœuvres des cibles pouvant atteindre 9 g (combat tournoyant ou *dogfight*) ; pour l'acquisition, le missile peut être aidé d'un dispositif optronique ayant les performances adéquates et équipant l'avion ;
- le missile à moyenne portée ou d'interception : il doit, par rapport aux missiles de la deuxième génération, avoir des capacités de dénivelée (vers le haut et vers le bas) très supérieures, d'où une augmentation de la motorisation et des domaines de tir ; ce missile doit être capable d'attaquer des cibles à basse altitude, d'où un autodirecteur à sélection doppler, et de lutter contre le brouillage des cibles, qui devient plus sophistiqué.

Les missiles de combat rapproché et d'autoprotection

La famille française, Magic, a été développée par Matra (cf. figures 40, 42 et 43).

Magic 1 est le premier missile au monde conçu pour le combat rapproché. Nous avons déjà indiqué, au chapitre 8, que sa définition résultait des besoins des armées de l'Air, mis en évidence lors des opérations aériennes menées par les Israéliens avec le Mirage III J équipé du R 530. Ce missile comporte deux innovations principales.

D'une part, l'acquisition autonome de la cible dans un champ important, de l'ordre de $\pm 40^\circ$ (absence de radar de bord ou radar non accroché). Elle est assurée par l'autodirecteur, de manière astucieuse : contrairement à la tête gyroscopique, il y a séparation entre le gyroscope de stabilisation de l'antenne (navigation proportionnelle) et le système optique de détection infrarouge, monté

sur cardans. Pour la recherche, le détecteur est découplé du gyroscope⁶ et la vitesse de balayage peut atteindre 300°/s ; durant le tir, l'axe du détecteur est asservi à la direction de l'axe de la toupie du gyroscope, lui-même étant asservi à la direction de la cible.

D'autre, part, le tir est possible sans limitation de facteur de charge de l'avion, à une distance de tir minimale de 300 m et sur des cibles en évolution : on a un missile très manœuvrant (35 g par plan) et ayant une constante de temps de guidage très réduite.

Ses principales caractéristiques sont :

- autoguidage infrarouge en bande 2 ; mais, avec un détecteur monocellule (technologie de 1970), la portée réduite de l'AD a entraîné la limitation du tir au domaine arrière ;
- interchangeabilité au niveau de l'accrochage sur avion avec le Sidewinder : véhicule de masse voisine (89 kg) ; lance-missile spécifique du Magic, comportant l'électronique de commande de la recherche et la bouteille d'azote sec pour le refroidissement de la cellule (cf. chapitre 8, SAT) ;
- configuration canard, avec deux originalités : « double canard » comportant un empennage fixe suivi d'une gouverne mobile (forte manœuvrabilité) ; et seul le fuselage du missile est stabilisé en roulis (voilure en auto-rotation, comme pour le Matra R 422), pour contrer la difficulté de stabilisation en roulis du canard ;
- fusée de proximité Matra infrarouge ; charge à fragmentation de 12 kg ;
- performances en domaine de tir dans la zone arrière de la cible : portée de 300 m à 4 000 m et altitude de 50 m à 12 000 m ; forte accélération au départ : augmentation de vitesse de Mach 1,5 environ.

Le Magic 2 est la version améliorée, suite aux progrès technologiques ; les modifications ont été les suivantes :

- augmentation de la sensibilité de l'AD infrarouge, par adoption d'un détecteur multiéléments, ce qui a permis une détection des cibles en attaque frontale avec une portée telle (au moins 4,5 km) que le Magic 2 soit « tous secteurs » ;
- amélioration de l'AD pour la résistance aux leurres infrarouges utilisés après 1980 ;
- adoption d'une fusée de proximité « tous secteurs » (fusée TRT électromagnétique) ;
- électronique partiellement numérisée ;
- impulsion du propulseur augmentée grâce à l'adoption du propergol butalane moulé-collé ;
- domaine en altitude accru, grâce à l'adoption de gyromètres de stabilisation en tangage et en lacet.

Le Magic 1 a été développé à partir de 1969 et mis en service en 1975, tandis que le Magic 2, développé à partir de 1978, a été mis en service en 1986. 11 000 missiles ont été produits, dont 7 000 Magic 1. La commande française fut

⁶ La tête gyroscopique, ayant une vitesse de précession limitée, ne peut effectuer de recherche ; une recherche rapide nécessite une grande bande passante pour le détecteur, d'où une réduction importante de sa portée.

de 3 700 exemplaires, avec sensiblement la même quantité pour le 1 et le 2. Le missile a été exporté dans 18 pays – en Grèce, au Moyen-Orient (Libye, Irak, Égypte, Koweït...), en Amérique du Sud et en Asie (Taïwan...) – et il a été copié en Chine et en Afrique du Sud.

Il a été employé dans plusieurs conflits, dont la guerre Irak-Iran et la guerre du Golfe. Il a équipé (ou équipé, en 1995) de nombreux avions, en particulier en extrémité de voilure : Mirage III, Mirage 50, Mirage F1, Jaguar (au-dessus de la voilure pour la version britannique), Crusader, Étendard et Super Étendard, Mirage 2000, Rafale, Sea Harrier, Hawk, F 16, Mig 21 et 23 (en Irak). Le couple Mirage 2000-Magic 2 était jugé, en combat, comme le meilleur du monde.

Les Américains, parallèlement, ont amélioré le Sidewinder et ont développé à partir de 1971 la version 9 L, mise en service en 1978, et ensuite la version 9 M, mise en service en 1983, tout en niant le besoin de missiles de combat rapproché.

Le Sidewinder 9 L diffère principalement de la dernière version de la deuxième génération, la 9 H, par l'adoption de la bande 2 pour l'AD, d'où une possibilité de tir « tous secteurs » (rappelons que c'est dès 1964 que fut mis en service le R 530 équipé d'un AD en bande 2), par une amélioration de l'aérodynamique (forme et surface de la gouverne), pour augmenter la maniabilité, et par une fusée laser active.

Mais ce missile était inférieur en manœuvrabilité au Magic et il nécessitait une acquisition de la cible par un moyen extérieur au missile (différence importante avec le Magic) ; il fallut attendre la mise au point du viseur de casque pour utiliser le 9 L en combat rapproché. L'AD avait de plus une résistance aux leurres inférieure à celle du Magic 2.

Le Sidewinder 9 M, lui, se distingue par l'adoption d'un refroidisseur à cycle fermé et d'un propergol à fumée réduite (en avance, sur ces deux points, sur la technologie française).

Aux États-Unis, pour ces versions 9 L et 9 M, 35 000 exemplaires ont été fabriqués, la production étant arrêtée en 1991. Pour l'ensemble des versions du Sidewinder, 126 000 exemplaires ont été produits, dont 53 000 pour l'exportation, hors production sous licence. Une production en Europe de la version 9 L (Allemagne, Grande-Bretagne, Norvège, Italie...), sous licence, de 15 000 exemplaires fut réalisée sous la maîtrise d'œuvre de BGT, dans les années 1980, ce qui représente l'équivalent de la production du 9 B indiquée plus haut. Le Japon a aussi acquis la licence du 9 L.

Les missiles à moyenne portée ou d'interception

La famille française Super 530 a été développée par Matra (cf. figures 40 et 41). Le missile R 530 nécessitait une refonte complète pour l'adapter à l'évolution des menaces décrites ci-dessus.

Le Super 530 F est un nouveau missile. Il n'a gardé, du R 530, que le diamètre (263 mm) et l'interchangeabilité avec le lance-missiles. Ce diamètre était adapté à la technologie du R 530 (datant de 1958). Un diamètre de 220 mm aurait été plus rationnel pour le Super 530, mais l'EMAA jugeait qu'un dérivé conservant le diamètre réduisait le coût du développement.

Le Super 530 F a été développé à partir de 1969 pour être adapté au Mirage F1⁷. Ses principales caractéristiques et performances sont les suivantes :

- autodirecteur EM semi-actif à impulsions : nous avons indiqué plus haut (chapitre 8, EMD) les raisons qui ont entraîné le choix, pour le F1, d'un radar de bord sans illuminateur continu ; l'attaque de cibles à basse altitude n'était pas possible. En revanche, l'AD était moderne (antenne monopulse, radôme profilé et technologie électronique de 1970) et sa portée était doublée par rapport à celle du R 530 (gains des antennes du radar et de l'AD nettement augmentés) ;
- configuration classique, mais avec réduction de l'envergure de la voilure (0,64 m, au lieu de 1,1 m pour le R 530) pour faciliter le montage sous avion ;
- masse de 245 kg ;
- propulseur plus performant que pour le R 530 : masse de 115 kg (+ 49 kg) et utilisation d'une butalane comme propergol ;
- fusée de proximité Thomson, électromagnétique à corrélation (cf. chapitre 8, CFTH), et charge à fragmentation Brandt de 32 kg ;
- performances : tir dans le domaine du F1 avec Mach maximum de 4,5 pour le missile ; dénivelée possible de 9 000 m, permettant l'attaque de cibles à 21 000 m ; altitude minimale limitée par l'AD, variant de 1 000 m en attaque arrière à 3 000 m en attaque frontale ; distance de tir maximale de 25 km ; distance de tir minimale de 1 000 m.

Ce missile fut mis en service en 1979 ; il avait subi un étalement de son développement, pour des raisons budgétaires. Il faut noter que quelques interceptions d'essai eurent lieu au CEL, en 1975, avec une dénivelée de 8 000 m sur une cible supersonique américaine AQM 37 A volant à un Mach supérieur de 0,9 par rapport à l'avion de servitude tireur (Vautour).

En plus du F1, le Super 530 F a été adapté aux premiers Mirage 2000 équipés d'un radar à impulsions RDM. 1 200 missiles furent produits jusqu'en 1988 : 650 pour la France et 550 pour l'exportation avec le F1, vers l'Irak, le Koweït, la Jordanie et la Qatar. Le Super 530 F a été utilisé dans le conflit Irak-Iran.

Le Super 530 D est la version adaptée au Mirage 2000 équipé d'un radar de bord *pulse doppler* (nommé RDI, radar doppler à impulsion). Les principales différences de caractéristiques par rapport au F sont les suivantes :

- autodirecteur EMD semi-actif doppler (cf. chapitre 8, EMD), avec la technologie numérique de 1980 (microprocesseur pour la gestion) ; portée de l'AD nettement augmentée : 50 km ; très grande résistance aux contre-mesures modernes ;
- pilote calculateur partiellement numérisé ;
- véhicule plus performant : masse et longueur augmentées (+ 30 kg et + 265 mm), propulseur d'impulsion totale supérieure de 16 %, avec une enveloppe composite SEP ;
- performances : vitesse maximale de Mach 5 ; dénivelée possible accrue, permettant l'attaque de cibles à 24 000 m ; altitude minimale des cibles de 60 m ; distance de tir maximale de 50 km, avec une distance d'interception de 35 km.

⁷ Le « F » du Super 530 correspond à l'avion F1.

Pour l'époque, ce missile était « le *must* » du point de vue des performances. Lancé en développement en 1977, il fut mis en service en 1987. 1 000 missiles ont été produits, dont 620 (dont 30 d'entraînement) pour la France. Il a été exporté avec le Mirage 2000 vers l'Égypte, l'Inde, Abu Dhabi, la Grèce.

Il a été très utilisé par l'armée de l'Air française en patrouille avec fonctionnement de l'AD, sans tir, durant la guerre du Golfe et le conflit en ex-Yougoslavie. Cette utilisation n'avait pas été prévue et le potentiel de fonctionnement de l'AD (la mécanique) était limité à 25 heures ; mais il a pu être augmenté à 200 heures après essais.

De son côté, la troisième génération américaine est constituée par les versions 7 F et 7 M du Sparrow. Le véhicule a été amélioré ; mais c'est surtout l'AD qui nécessitait une modernisation. La fiabilité de la version Sparrow 7 E utilisée durant le conflit au Vietnam était considérée par les rapports au Sénat américain comme inacceptable ; l'AD était resté à la technologie « tube ».

La version 7 F, comportant une technologie à état solide, ne fut mise difficilement en service qu'à partir de 1978, du fait de défauts rencontrés durant la phase d'évaluation ; nous en verrons les conséquences avec le lancement précipité de son successeur, l'AMRAAM (*Advanced Medium-Range Air-to-Air Missile*)⁸. En outre, la résistance au brouillage n'était pas satisfaisante.

La version 7 M fut développée avec un autodirecteur monopulse et une technologie numérique et mise en service en 1983 ; ses performances étaient proches de celles du Super 530D

La production de ces deux versions fut de 26 000 exemplaires, dont 16 300 pour la 7 M ; d'autres avions que le Phantom en furent équipés : F 14, F 15, F 16 et F 18.

La Grande-Bretagne (BAe), elle, a acquis, au début des années 1970, la licence du véhicule de la version Sparrow 7 E ; elle a produit, dès 1978, un missile de troisième génération, le Sky Flash, en l'équipant d'un AD Marconi semi-actif doppler en technologie à état solide ; il a équipé le Phantom, le Tornado et le Gripen suédois. L'Italie a aussi acquis la licence et a produit, à titre domestique, l'air-air Aspide et des dérivés sol-air.

Conclusions sur les missiles de troisième génération

Pour le combat rapproché, le Magic était compétitif et même en avance sur les missiles américains ; dans les essais entre alliés, il se montrait supérieur.

Pour le missile d'interception, le Sparrow était supérieur, jusqu'en 1987, au Super 530 F pour l'attaque des cibles à basse altitude ; mais il était moins fiable. Après 1987, les deux missiles Super 530 D et Sparrow 9 M avaient des performances équivalentes.

Mais la différence de la quantité produite est très grande : 11 000 Magic 1 et 2, contre 35 000 Sidewinder 9 L et 9 M, plus 15 000 9L fabriqués en Europe ; 2 200 Super 530, contre 26 000 Sparrow 7 F et 7 M.

⁸ Voir chapitre 13, Matra.

LES MISSILES AIR-SOL AUTOGUIDES

Ces missiles ont été conçus dans les années 1960, lors de la mise en service des chasseurs bombardiers, avec l'objectif d'augmenter l'efficacité de la destruction de cibles de dimensions réduites en utilisant des missiles précis ; la recherche de la réduction de l'attrition de l'avion tireur était aussi un objectif. En conséquence, l'autoguidage était la solution.

Trois voies se sont présentées : l'antiradar, la télévision et le laser, cette dernière uniquement à partir de la fin des années 1960. L'EMAA et l'Aéronavale ont été intéressés au missile antiradar dès 1962 et à l'armement guidé laser à partir de 1974, les Américains ayant été les premiers à utiliser ce dernier type de missile au Vietnam ; le missile TV n'a pas été retenu par les états-majors français.

Les missiles antiradars

L'historique de la coopération franco-britannique sur le Martel AR (AS 37) de Matra (voir figures 44 et 45) a déjà été retracé au chapitre 7. Il répondait à un besoin urgent des armées françaises (lié à une éventuelle pénétration du Mirage IV) et britannique. Les radars cibles étaient en priorité les radars de surveillance de la défense aérienne du territoire et des systèmes SAMP terrestres ou navals (ceux des SA 2, puis des SA 6 soviétiques). Nous avons déjà indiqué (chapitre 8, EMD) les caractéristiques de ces cibles et les principes de l'AD.

Les principales caractéristiques du missile et ses performances sont les suivantes :

- autoguidage passif intégral, avec ordre de tir donné par le pilote, après accrochage de l'AD. Avant le tir, le pilote avait une connaissance de la fréquence d'émission du radar accroché par l'AD, de son gisement et d'une valeur approximative de la distance avion-radar (détermination par la méthode de la variation du gisement) ; il pouvait comparer ces données avec celles du radar objectif qui lui avaient été fournies ;
- véhicule de configuration classique ; interchangeabilité avec l'AS 30 pour le montage sur avion, d'où la masse de 540 kg ;
- diamètre de 400 mm, permettant l'adoption d'un aérien capable de détecter des radars en bande L basse (800 Mhz) ;
- ensemble propulsif comportant deux propulseurs séparés (230 kg) ; Mach maximum de 3 ;
- calculateur analogique ;
- fusée de proximité à corrélation Thomson (déclenchement sur l'antenne et non sur le sol lors du piqué final) ; charge Brandt à effet de souffle, capable de détruire une antenne de radar de veille avec une distance de passage maximale de 10 m, possible avec les échos parasites de réflexion ; masse de la charge de 150 kg (120 kg d'explosif) ;
- distance de passage moyenne de 4 m ;
- trajectoire dans le plan vertical se terminant par un piqué du missile sur la cible, en navigation proportionnelle avec un angle d'attaque supérieur à 60° par rapport au sol ;

- tir de la très basse altitude, avec une portée variant de 15 à 35 km, à l'altitude de 12 000 m, avec une portée maximale variant de 90 km à 150 km suivant le Mach de tir (0,8 à 1,5).

Le calendrier du développement a été le suivant :

- lancement en 1964 ;
- mise au point en vol achevée à Colomb-Béchar en mars 1967, après 25 tirs de missiles, dont celui effectué le 20 mars 1967 avec destruction de l'antenne par la charge ;
- fin du développement en 1969 et mise en service en 1972.

Le missile a été retiré du service à la fin des années 1990. Il a équipé les avions Mirage III E, Jaguar, Atlantic et Buccaneer. La production fut limitée à 300 exemplaires : 100 pour l'EMAA, 50 pour l'Aéronavale et 150 pour la Grande-Bretagne. L'armée de l'Air a détruit le radar de surveillance libyen d'une batterie sol-air russe SA 6, lors d'un conflit au Tchad (terrain d'Ouadi-Doum), en 1987⁹.

Dans les années 1970, le Martel (AR) était interdit d'exportation, sauf pour les pays de l'OTAN. Une version purement française, Armat, fut développée pour l'exportation (vers le Moyen-Orient) de 1978 à 1982. 160 missiles furent produits pour équiper le Mirage F1 et le Mirage 2000 ; de nombreux radars iraniens furent détruits durant la guerre Irak-Iran.

Comme nous l'avons indiqué plus haut (chapitre 8, EMD), les progrès de la technologie avaient permis d'améliorer l'AD ; une modernisation du Martel a alors été effectuée, dans les années 1980.

Les Américains, eux, développèrent, dans les années 1960, le missile Shrike ; c'était le véhicule du Sparrow, avec son diamètre de 200 mm et une portée de 18 km. Avec ce diamètre et la technologie de l'époque, il n'était capable que de l'attaque de conduites de tir, et non des radars de veille, comme le Martel. Avec les conduites de tir, le problème de l'arrêt éventuel de l'émission du radar se posait. Les résultats globaux furent décevants durant la guerre du Vietnam et durant la guerre du Kippour menée par les Israéliens ; le Shrike fut constamment modifié et enfin abandonné, malgré une production de 20 000 missiles.

En 1984, le missile Harm, bénéficiant de la technologie des années 1980 (missile de la troisième période), fut mis en service par les Américains. L'Allemagne l'a adopté à la fin des années 1980 et il a été très utilisé durant la guerre du Golfe. Son fonctionnement semble satisfaisant (les résultats sont classifiés), mais il est critiqué pour son coût.

Conclusion sur le missile antiradar : au début de la deuxième période, la réalisation d'un antiradar efficace était difficile. Le Martel, avec la technologie disponible, était un bon missile, ambitieux en mission. Il est dommage que les

⁹ Le général Forget, ancien commandant des Forces aériennes tactiques au début des années 1980, a indiqué, lors du colloque sur *La guerre électronique en France au XX^e siècle* organisé en avril 2000 par le Département d'histoire de l'armement, que l'expérience acquise sur le Mirage III E-Martel a tout de même été enthousiasmante pour les pilotes les plus confirmés, même si la mission était particulièrement éprouvante par mauvais temps ou à très basse altitude (avion monoplace et sans aides au pilotage performantes). Les actes de ce colloque sont disponibles au Département d'histoire de l'armement.

Américains ne l'aient pas adopté et que la France, malgré des développements exploratoires, n'ait pas développé, dans les années 1980, de missile modernisé.

Le missile télévision

Le Martel TV (AJ 168 pour les Britanniques) de BAe est un missile guidé suivant le procédé du téléguidage indirect (cf. annexe 3). Nous présentons ce missile compte tenu de sa parenté avec le Martel (AR). Nous ne le décrivons que sommairement, puisqu'il n'a pas été adopté par la France ; l'historique du programme et les raisons du choix français ont déjà été donnés au chapitre 7. Les équipements spécifiques, par rapport à l'AR, sont les suivants :

- bloc de guidage : guidage mi-course sur cap (gyroscope axial Eliott) suivi, en final, d'un téléguidage indirect : détection de la cible par la caméra TV du missile (quelques km de portée), transmission de l'image à l'avion tireur situé à distance (20 à 30 km environ) avec, en retour au missile, l'ordre de guidage élaboré par le pilote (à l'aide d'un petit manche) ;
- liaison Marconi très sophistiquée (bande X) ;
- lors du guidage mi-course, le pilote pouvait effectuer des corrections de trajectoire, en cas de passage sur des repères prévus et détectés par la caméra ;
- charge semi-perforante et absence de fusée de proximité : objectifs durs (béton et acier) ;
- trajectoire à faible altitude (300 m environ) et en subsonique, avec une portée maximale d'environ 36 km, d'où un profil de poussée du propulseur de croisière différent de celui de l'AR (durée de combustion d'environ 100 s au lieu de 22 s).

C'était le premier missile tactique air-sol TDS (tiré à distance de sécurité) et il n'avait pas d'équivalent à cette époque ; il fut mis en service en 1973, uniquement par les Britanniques. Ce programme n'eut pas de succès auprès des autres armées de l'Air occidentales : elles trouvaient ce missile coûteux (du fait de l'installation d'un pod sous avion pour la liaison) et étaient trop optimistes sur l'attrition des avions procédant à un bombardement à basse altitude, avec des bombes freinées ; il fallut attendre la guerre du Golfe pour que cette dernière opinion se modifie¹⁰.

Le seul programme américain autoguidé TV de cette deuxième époque a été le Maverick, versions A et B, dont l'objectif était le char : c'était un missile de 210 kg avec une charge creuse de 56 kg et une portée de 15 km ; il était tiré après accrochage de la caméra sur la cible (d'où un problème de la portée). C'était l'armement antichar de l'*Air Force* et de la *Navy* ; il a été mis en service en 1972, produit à 35 000 exemplaires et exporté ; il a été très utilisé en 1973 au Vietnam, lors de la guerre du Kippour par les Israéliens et lors de la guerre du Golfe (5 100 missiles tirés).

¹⁰ Voir Troisième période, chapitre 11.

L'armement guidé laser (cf. figures 46 à 49)

Un illuminateur séparé du missile est nécessaire, et c'est lui qui désigne l'objectif ; le faisceau étant étroit (ordre de grandeur : le mrad), la surface éclairée (appelée la tache) est faible, et le missile se guide vers l'objectif situé dans la tache qui a le plus grand coefficient de réflexion diffuse (par exemple un bunker en béton par rapport à un environnement en terre).

Ce sont les Américains qui ont créé le concept de la bombe guidée laser et qui furent les premiers utilisateurs de ce type d'armement au Vietnam, avec la destruction du pont de Than Toa, en 1972, par un seul raid de 8 Phantoms et sans perte, alors qu'entre 1965 et 1968, de nombreux largages de bombes classiques avaient eu lieu, avec comme seul résultat la perte de 10 avions¹¹. Nous avons déjà donné l'historique, en France, du lancement de l'armement air-sol laser et évoqué les acteurs industriels concernés (voir chapitre 7 et 8).

L'AS 30 laser de l'Aérospatiale est semblable au missile AS 30 décrit ci-dessus, avec la suppression du récepteur de télécommande et l'adjonction dans le nez d'un autodirecteur laser, d'un gyroscope axial et d'une électronique de guidage associée. L'autodirecteur de Thomson-CSF, Ariel, fournit les ordres pour une trajectoire en navigation proportionnelle ; il est associé au pod avion de désignation Atlas, équipé d'un laser émettant à 1,06 micron ; la précision d'impact (CEP) est métrique, donc excellente.

Le véhicule AS 30 était bien adapté pour plusieurs raisons :

- portée aérodynamique de 11 km, correspondant à la visibilité moyenne de la cible de jour et à la portée maximale de l'AD (un guidage sur cap, avec le gyroscope axial, durant quelques km, peut avoir lieu avant l'accrochage de l'AD) ;
- distance de sécurité pour l'avion d'environ 6 km avec cette portée de tir ;
- vitesse de Mach 1,4 à l'impact et charge semi-perforante de 240 kg, permettant la pénétration et la destruction de tout objectif durci en béton pouvant atteindre 1,20 m d'épaisseur, compte tenu de la précision et de la vitesse d'impact.

L'AS 30 laser équipe le Jaguar, le F1, le Mirage 2000 D et le Super Étendard. La mise en service en France eut lieu en 1988 et 950 missiles furent produits, dont 65 % pour l'exportation. Il fut utilisé durant la guerre du Golfe (tir de 57 missiles) et fut très apprécié pour ses résultats et pour la réduction de l'attrition de l'avion tireur durant le tir.

Les bombes guidées laser (BGL) de Matra sont des armements constitués par le corps de la bombe et par deux kits communs à l'ensemble de la famille : le kit avant de guidage, comprenant l'autodirecteur Eblis et le pilote, l'ensemble des gouvernes avec les servomoteurs et la pile, et le kit arrière, avec la voilure, pour accroître la manœuvrabilité de la bombe.

L'intérêt de la BGL est de pouvoir disposer d'une famille de bombes (250, 400 et 1 000 kg) avec le développement d'un seul kit de guidage et de disposer d'un

¹¹ Michel FORGET, *Puissance aérienne et stratégies*, ADDIM, 1996.

armement de prix inférieur au missile ; la loi de poursuite en guidage peut être utilisée, ce qui simplifie l'autodirecteur.

Les inconvénients, par rapport au missile, sont une portée maximale réduite (7 km environ, sans propulsion), une précision légèrement inférieure (influence du vent) et une vitesse d'impact inférieure.

En France, la DTCA ne développa que des BGL de 400 kg et de 1 000 kg, l'intérêt prioritaire se portant sur cette dernière, étudiée pour traverser 3 m de béton. La BGL équipe les mêmes avions que l'AS 30 L et utilise le pod de désignation laser Atlas. La mise en service en France eut lieu en 1985 et 800 BGL (400 et 1 000 kg) furent produites, dont 60 % pour l'exportation. La BGL fut utilisée durant la guerre du Golfe.

Les Américains sont les seuls concurrents sur cet armement, avec le programme Paveway ; dans cette deuxième période, ils ne développèrent que des bombes guidées, similaires aux BGL et notamment de masses voisines : 225, 450 et 900 kg. Les différences fondamentales sont une mise en service antérieure et une quantité produite très supérieure.

Paveway I fut mis en service à la fin des années 1960 ; 25 000 bombes ont été larguées au Vietnam, avec une estimation américaine de 18 000 objectifs détruits. Paveway II (guidage amélioré et utilisation d'un pod situé sous l'avion tireur) fut mis en service en 1977 ; plus de 7 000 bombes ont été larguées durant la guerre du Golfe. Enfin, la version plus moderne, Paveway III, a été mise en service en 1987 et a équipé en particulier le F 117 durant la guerre du Golfe.

Environ 150 000 kits Paveway I et II ont été produits, pour une utilisation par 30 pays, dont la Grande-Bretagne et la France lors de la guerre du Golfe.

LES MISSILES ANTINAVIRES

Ce sont les Soviétiques qui ont mis en service, dans les années 1960, le premier missile mer-mer, le Styx. Nous avons indiqué (chapitre 8, Nord-Aviation) que la destruction de l'*Eilath*, en 1967, a été, pour toutes les Marines, le détonateur du besoin de disposer de missiles antinavires ; cela a conduit la France à lancer le développement du premier missile volant au ras des flots (appelé « deuxième génération »).

Première génération (conception avant 1967)

Le Styx russe, mis en service en 1959, était un gros missile téléguidé de 2 300 kg, avec une charge de 450 kg, un propulseur à propergols liquides, une portée de 40 km, un vol à 100 m d'altitude. Il existait d'autres missiles soviétiques à grande portée, pesant de 3 à 4 tonnes.

Le MM 12 de Nord-Aviation avait 6 km de portée. Il était téléguidé manuellement avec liaison filaire, avait une charge de 30 kg et avait pour cibles les navires de faible tonnage. Il fut mis en service en 1966 (cf. *supra*).

Le RB 08 suédois, utilisant le véhicule du CT 20 (M 20), avait, comme ce dernier, une masse en vol de 900 kg et une portée de 200 km, ainsi qu'une altitude de vol de 250 m. Il utilisait un téléguidage radar suivi d'un autoguidage radar, avec un AD actif à impulsions réalisé par CSF. Il avait une charge de

250 kg. Il était dédié au survol du navire, d'où au mieux une démolition des superstructures. 98 véhicules furent produits par Nord-Aviation ; le missile fut mis en service en 1967.

Le Gabriel israélien avait une masse de 400 kg, une charge de 180 kg et 20 km de portée. Utilisant le téléguidage, il avait une altitude de vol de 20 m (ultérieurement 4 m) ; il fut mis en service en 1968.

Deuxième génération de missiles à moyenne portée : la famille Exocet¹²

Elle a été développée par Nord-Aviation (cf. figures 50 à 57). La définition de base, commune à la famille, repose sur deux solutions techniques qui étaient, en 1968, possibles pour Nord-Aviation et qui innovaient par rapport à la première génération :

- réaliser un missile « tire et oublie » grâce à un guidage mi-course inertiel, mis au point au titre du programme AS 33, suivi d'un autoguidage électromagnétique actif ;
- augmenter l'efficacité en supprimant le piqué final grâce à un vol au ras des flots à l'impact (*sea skimming*) ; en effet, les essais de l'AD de l'AS 34, effectués au CEV, avaient montré une amélioration de la précision d'impact par une telle arrivée. Le radioaltimètre nécessaire existait et l'étude de faisabilité de ce type de trajectoire était achevée¹³.

Les éléments communs à la famille sont :

- configuration classique ; diamètre de 350 mm (celui de l'AS 30) ;
- groupe propulsif à propergol solide avec propulseur d'accélération et propulseur de croisière « brûlant en cigarette » ; vitesse subsonique de l'ordre de 300 m/s ;
- charge semi-perforante de 165 kg ;
- guidage : centrale inertielle « simplifiée » pour le guidage mi-course ; radioaltimètre TRT pour le guidage basse altitude ; autodirecteur EMD actif, baptisé ADAC, avec accrochage de la cible à une portée de quelques km ; altitude de croisière de 15 m, décroissant en fin de trajectoire jusqu'à 7 m à 3 m, suivant l'état de la mer (hauteur des vagues) ; l'objectif était l'obtention d'un impact le plus près possible de la ligne de flottaison ;
- l'autodirecteur élabore une télémétrie numérique très précise (1 m), qui sert de fusée de proximité en cas de passage au-dessus des superstructures de navires de petites dimensions (vedettes).

¹² Pour les détails, on se reportera à Bernard ESTIVAL et Jean GUILLOT, *L'extraordinaire aventure de l'Exocet*, éd. de la Cité, 1988. C'est M. Guillot, directeur à Nord-Aviation, qui a proposé ce nom de poisson, aussi appelé « poisson volant », un poisson allongé aux nageoires pectorales développées en forme d'ailes.

¹³ À ma connaissance, cette idée semble être apparue entre 1964 et 1966 chez Nord-Aviation et en Grande-Bretagne au RAE, d'après les échanges d'information que j'ai eus sur le projet AM 15.

Le MM 38¹⁴ est le premier missile mer-mer de la deuxième génération, conçu en 1968. Les principales caractéristiques et performances spécifiques à la version sont les suivantes :

- portée maximale de 38 km (propulseur) ; elle permet, malgré la rotondité de la Terre, l'acquisition du navire cible par le radar de surface du navire tireur ; aucun recalage du missile et aucune surveillance du navire cible durant le vol du missile n'étaient nécessaires. Une vedette rapide d'une Marine secondaire pouvait attaquer une frégate d'une Marine d'une puissance supérieure. Il faut noter que la probabilité d'accrochage de l'AD est très importante pour cette portée (cela reste valable jusque 70 km environ), en tenant compte de la dérive du guidage inertiel retenu et de l'absence de recalage de la position cible ;
- véhicule d'une masse de 735 kg ;
- tir d'un conteneur lanceur (1 750 kg pour la munition) ;
- installation de tir reliée au système de commandement du navire tireur ;
- centrale initialisée, avant le départ du missile, sur la cible ; possibilité d'un tir avec dépointage de $\pm 30^\circ$ par rapport à la direction de la cible.

Le développement s'est déroulé rapidement : lancement à la fin de 1968 et première livraison, en Grèce, en 1972 ; le seul incident rencontré a touché la mise au point de la mise à feu de la charge, comportant initialement un relais en poudre noire dont la caractérisation était difficile.

Le missile a été mis en service en France en 1974 et il a eu un grand succès à l'exportation : 18 Marines l'ont adopté : Grèce (première commande en 1968), Allemagne (commande en décembre 1970), Grande-Bretagne (commande en 1971), Malaisie, Argentine...

L'AM 39, dérivé du MM 38, a été lancé en développement en 1974. Ses caractéristiques et performances spécifiques sont les suivantes :

- véhicule d'une masse de 655 kg ;
- corps du propulseur en acier soudable *maraging*, en remplacement de l'aluminium retenu pour le MM 38 ;
- vitesse de croisière en haut subsonique ;
- tir du missile à partir d'un lance-missile classique ;
- portée maximale de 50 à 70 km, suivant l'altitude et la vitesse de lancement ;

De nombreux avions et hélicoptères équipés d'un radar anti-surface ont été armés de l'AM 39 : Super Étendard, Mirage F1, Atlantique 2, Rafale, Super Puma, Super Frelon, Sea King...

Il a été mis en service en France en 1980 et il a été exporté (en particulier en Argentine et en Irak). Il a été utilisé durant plusieurs conflits. Lors de la guerre des Malouines, en 1982, les Argentins ont tiré, à partir du Super Étendard, les cinq missiles en leur possession ; ils ont détruit en particulier les navires britanniques *Sheffield* et *Atlantic Conveyor*. Les Irakiens, à partir du Super Étendard (cinq avions « prêtés » par la Marine française) et du F1, l'ont utilisé pendant la guerre

¹⁴ Il y avait coïncidence, pour le « 38 », entre la numérotation du STAé, suivie par Nord-Aviation, et la portée maximale. Les programmes antinavires suivants ont été numérotés 39 et 40.

Irak-Iran (selon des sources irakiennes, il y aurait eu 47 navires touchés pour 67 tirs¹⁵).

Le SM 39 est la version pour tir de sous-marin. C'est un missile AM 39 aux ailes repliées. Lors du tir, le missile est contenu dans une capsule étanche, en matière composite et bobinée, légère et résistante ; elle est propulsée et guidée. Le missile en est éjecté, dès la sortie de l'eau, avec une culmination à faible altitude (30 m) pour plus de discrétion et il commence son vol comme les autres missiles de la famille. La portée est réduite à 50 km. L'ECAN de Ruelle a eu la responsabilité de la partie sous-marine.

Il a été lancé en développement à la fin de 1978 et mis en service en 1985 ; ce missile est, par principe, d'exportation très contrôlée (vente accompagnant celle de sous-marins français, comme en 1994 au Pakistan).

Le MM 40 est une version améliorée du MM 38. Compte tenu du lancement des programmes Otomat et Harpoon, ayant une portée très supérieure au MM 38 grâce à l'utilisation d'un turboréacteur, l'Aérospatiale a réagi, en 1975, en lançant le MM 40 ; mais son utilisation nécessite un système de détection et d'identification des cibles au-delà de l'horizon. Ses caractéristiques sont les suivantes :

- portée maximale avec une propulsion à propergol solide : 70 km ; mais la longueur et la masse étaient augmentées : 5,8 m de longueur et 860 kg (soit 125 kg de plus).
- conteneur cylindrique, en composite bobiné ; par rapport au MM 38, le diamètre est réduit pour diminuer l'encombrement de la munition (ailes et gouvernes repliées) ; masse de 1 250 kg pour la munition ;
- technologie de 1975 : modernisation de l'AD (deuxième génération) et du calculateur, avec une électronique numérisée ; protection contre les contre-mesures et meilleure pénétration des défenses par exécution de manœuvres du missile en fin de vol.

Il a été mis en service en France en 1982 et il a été exporté au Moyen-Orient, en Asie, en Amérique du Sud... Une batterie côtière a été réalisée pour l'exportation.

En 1995, 2 800 missiles de la famille avaient été commandés, dont 500 environ destinés à la Marine française ; la répartition est classifiée, mais l'ordre de grandeur est le suivant : 75 % en MM, 20 % en AM et 5 % en SM. 29 Marines (ou armées de l'Air pour l'AM 39) en sont équipées : 18 pour le MM 38, 12 pour le MM 40 et 10 pour l'AM 39. En 1999, 33 pays sont concernés, pour 3 200 missiles. Suite à l'achat du MM 38 par la Grande-Bretagne et à l'accord gouvernemental de 1971, une sous-traitance en production a eu lieu.

Les missiles concurrents à moyenne et grande portée de deuxième génération

Les deux principaux sont l'Otomat franco-italien de Matra et Oto Melara (cf. figure 58) et le Harpoon américain. Ces deux missiles innovaient, par rapport à

¹⁵ Contre-amiral Bernard Estival, *Les missiles navals*, Larivière, 1990.

l'Exocet, par la propulsion de croisière comportant un turboréacteur¹⁶ ; ce sont les premiers missiles de croisière tactiques qui nécessitaient une détection au delà de l'horizon.

L'historique de l'Otomat a été indiqué au chapitre 8 (Matra). Sa conception est identique à celle de l'Exocet, sauf pour la portée et la possibilité de recalage en vol. Ses principales caractéristiques et performances sont les suivantes :

- véhicule ayant la configuration du Martel, avec le diamètre de 400 mm et une masse de 790 kg, y compris les deux boosters latéraux largables ayant une masse de 158 kg ; tir d'un conteneur ;
- turboréacteur Arbizon III pour la croisière subsonique (Mach 0,8) ;
- portée aérodynamique de 160 km ;
- charge semi-perforante de 210 kg ;
- guidage mi-course utilisant la centrale gyroscopique SFIM ; vol à basse altitude utilisant un radioaltimètre italien, avec le choix d'une arrivée au ras des flots ou par piqué sous l'angle de Brewster ; autoguidage final électromagnétique et actif ; liaison navire-missile, pour la version italienne, permettant le recalage de la position cible nécessaire pour une distance de tir supérieure à 80 km ;
- la distance de tir maximale de chaque système d'arme dépend de la zone de surveillance et des caractéristiques du système radar d'acquisition de la cible, variant avec l'utilisateur (en général, hélicoptère avec liaison avec le navire tireur) ;
- une batterie côtière (Bacos) a été développée pour l'Égypte.

L'Otomat a été lancé en développement en 1970 et mis en service en 1978 dans la Marine italienne, sous le nom de Teseo ; il a été exporté dans 10 autres pays du Moyen-Orient et d'Amérique du Sud ; 1 080 missiles ont été produits. L'Italie a ultérieurement amélioré ses missiles.

Le Harpoon, lui, est actuellement produit par Boeing, après différentes fusions de sociétés. Son développement a été lancé en 1970. Les différences avec l'Exocet sont les suivantes :

- conception, dès le départ, d'une famille avec trois versions, pour tir d'avion, de navire ou de sous-marin, constituée d'un véhicule commun (version air-surface) et d'un accélérateur largable monté derrière ce véhicule, pour les versions mer-mer et sous-marin-mer ;
- véhicule de 530 kg, plus l'accélérateur de 150 kg ; diamètre de 343 mm ; charge de 227 kg ; centrale inertielle à trois axes à éléments liés ;
- propulsion de croisière par turboréacteur, comme pour l'Otomat, d'où une portée maximale de 140 km.

Il a été mis en service en 1977 et il a eu des succès lors de son utilisation dans des conflits (avec la Libye en 1986, l'Iran en 1988..) ; 6 600 missiles ont été produits, dont 4 000 pour la Navy ; il a été exporté dans environ 25 pays. Il faut noter que l'Allemagne (version MM) et la Grande-Bretagne (version SM) avaient déjà été clients de l'Exocet en version MM 38.

¹⁶ Les deux concepteurs ont probablement eu l'idée en même temps ; pour l'Otomat, c'est la Marine italienne qui demandait cette longue portée.

D'autres missiles à moyenne portée ont été produits, mais peu exportés. Le Kormoran allemand, développé en coopération avec l'Aérospatiale, a fait l'objet d'un premier contrat en 1964. Il existe uniquement en version air-mer (répondant à la spécification AS 34, cf. *supra*) ; il a une propulsion à propergol solide (croisière en cigarette), avec une portée de 37 km environ, un guidage mi-course inertiel suivi d'un autoguidage (autodirecteur CSF). Le premier vol d'un missile au ras des flots a eu lieu en 1970 et le Kormoran a été mis en service en 1977¹⁷. Citons aussi le Penguin norvégien, mis en service en 1979, avec l'originalité d'un seul autoguidage infrarouge, une portée de 30 km et une charge de 125 kg, et enfin le Sea Eagle britannique (configuration du Martel), avec turboréacteur, mis en service en 1986.

Les missiles à courte portée (maximum 15 km)

Ils sont destinés prioritairement à l'attaque de navires de faible tonnage à partir des hélicoptères. L'intérêt est la non-vulnérabilité de l'hélicoptère à la défense SATCP et SACP de ces navires. La Marine française ne s'est pas équipée de ce type de missile, sauf de l'AS 12, qui a une portée plus faible (seule une défense canon existait lors de la conception de ce dernier missile). Deux programmes ont été développés :

- l'AS 15 TT, développé par la SNIAS pour l'exportation au Moyen-Orient (téléguidage automatique radar avec trajectoire d'arrivée rasante, 15 km de portée, charge de 30 kg pour une masse de 100 kg), mis en service en 1984 et produit à 350 exemplaires ;
- le Sea Skua, développé par les Britanniques (portée de 15 km, autoguidage radar semi-actif, charge de 30 kg et mis en service en 1982.

Conclusions sur les missiles antinavires

Entre 1967, date de la destruction de l'*Eilath*, et 1982, date de la destruction du *Sheffield*, le missile antinavire « moderne » a été conçu, développé et mis en service dans la plupart des Marines : la technologie était mature.

Ce missile a montré son efficacité en frappant les bâtiments dans leurs œuvres mortes et il a fait évoluer la construction navale : protection contre l'incendie, furtivité des navires, nécessité de systèmes d'autodéfense à temps de réaction très réduit contre des missiles à vol rasant...

L'antinavire a été un domaine d'excellence de la deuxième période pour la France, qui a développé deux des trois principaux missiles du monde occidental ; en outre, l'Exocet a été le premier mis en service et il est devenu célèbre après son succès opérationnel de 1982 aux Malouines.

La vente de l'Exocet à l'exportation a été importante – compte tenu de ses performances et de son avance pour la mise en service – par rapport à son principal concurrent, le Harpoon ; mais, avec le marché de l'*US Navy*, la production de ce dernier a été très supérieure à celle de l'Exocet.

¹⁷ Le développement de ce missile a été très utile pour la conception de l'Exocet, du fait de son vol au ras des flots et de la mesure des écartométries sur navire, avec l'autodirecteur.

LES MISSILES SOL-AIR¹⁸

Nous avons déjà indiqué, au chapitre 4, que, durant la première période, l'objectif de ces missiles était la destruction de raids de bombardiers volant à moyenne altitude, d'où le développement de missiles à moyenne portée (SAMP). Les missiles soviétiques ont été utilisés, avec succès, au Vietnam dès 1965.

Mais les avions ont adopté le vol à basse altitude dès le début des années 1960 : une défense est apparue nécessaire. La distance de tir ne pouvant être que faible au-dessus du sol, compte tenu du masquage des avions par les collines, des systèmes à courte portée (SACP) et à très courte portée (SATCP) ont, en conséquence, été conçus dans cette deuxième période ; les SATCP ont été utilisés dès la fin des années 1960.

D'autre part, au début des années 1970, le missile antinavire à vol rasant est devenu opérationnel : la nécessité, pour la Marine, d'être équipé d'une défense est apparue. Des SACP antimissiles à vol rasant, appelés aussi SAAM (sol-air antimissile) ont commencé à être conçus.

SAMP (sol-air à moyenne portée)

Pour le SAMP terrestre, la France a adopté en 1958 le système Hawk, fabriqué en Europe ; nous avons déjà donné l'historique de ce programme¹⁹. Il a été mis en service en France en 1965. Au total, 11 000 missiles ont été produits en Europe. Nous avons également évoqué les deux programmes de systèmes SAMP navals, le Masurca et le Tartar – ce dernier étant acheté aux États-Unis. Ils ont été mis en service, en France, respectivement en 1968 et en 1963. Ces trois programmes, Hawk, Masurca et Tartar, ont été améliorés dans les années 1970 et 1980 et ils sont toujours opérationnels en 1995 ; ils doivent être remplacés par l'Aster 30 dans les années 2000, ce dernier ayant été développé durant la troisième période.

Ces missiles, en service, sont équipés d'un autodirecteur électromagnétique semi-actif doppler, et en conséquence sont capables de détruire des cibles à très basse altitude ; leur portée est d'environ 40 km. Les différences entre les trois missiles concernent surtout la masse et la longueur : 2 tonnes et 8,6 m pour l'ensemble missile et composite Masurca ; 630 kg et 5 m pour Hawk ; 680 kg et 4,6 m pour Tartar ; 600 kg et 4,4 m pour le Standard SM 1, version améliorée du missile du système Tartar.

Dans ce domaine des SAMP, les Soviétiques ont mis au point des missiles compétitifs, qui ont été utilisés : le SA 2 téléguidé, en 1959 (il a détruit, le 24 juillet 1965, le premier avion américain au Vietnam), le SA 3 téléguidé, en 1963, pour la moyenne altitude, et le SA6, vers 1970, équipé d'un AD semi-actif électromagnétique, ce qui le rendait valable à moyenne et à basse altitude, et d'un statoréacteur avec accélérateur intégré et entrées d'air latérales (il est apparu durant la guerre du Kippour, en 1973).

Les Britanniques, eux, ont commencé le développement de leurs programmes durant la première période ; le Sea Dart, plus moderne, avec une propulsion par

¹⁸ Ordre de grandeur de la portée ou de la distance maximale d'interception : pour le SAMP, de 25 à 40 km, pour le SACP, de 6 à 10 km, pour le SATCP, de 3 à 5 km.

¹⁹ Voir chapitre 7, DEFA.

statoréacteur et un autoguidage, a été développé pour la Marine dans les années 1960 et il a été mis en service en 1967.

SACP (sol-air à courte portée)

La portée maximale de 10 km pour le missile est liée à la distance de détection maximale du radar de surveillance, en attaque frontale, d'un avion volant à très basse altitude sur un terrain un peu vallonné ; cette dernière est d'environ 18 km.

Dans cette deuxième période, les missiles SACP développés étaient téléguidés ; en effet, d'une part ce procédé de guidage a permis la réalisation de missiles efficaces dans cette plage de portée et relativement bon marché, d'autre part, la réalisation d'autodirecteurs électromagnétiques pour de tels missiles n'était pas technologiquement possible.

Un SACP peut protéger une base aérienne, des points sensibles, un corps de bataille ou une unité navale contre les attaques à basse altitude. Il est plus mobile et a un temps de réaction plus faible qu'un SAMP comme le Hawk. Deux programmes ont été lancés, en France, au début des années 1960 : Roland, dont le maître d'œuvre était le GIE Euromissile (cf. figure 60), et Crotale, chez Thomson-CSF (cf. figures 61 à 63).

Les études d'un projet nommé SABA (sol-air basse altitude) ont commencé en France, dès 1960, sous la direction de la DEFA. Ce programme, devenu Roland, a ensuite été développé pour les armées de Terre, en coopération franco-allemande, sous la maîtrise d'œuvre des sociétés Aérospatiale et MBB et sous la responsabilité de la DEFA (pour la France) ; nous en avons déjà donné un historique sommaire²⁰.

Les caractéristiques et performances principales du Roland sont les suivantes :

- système autonome monté sur un véhicule blindé (AMX 30 pour la France et pour l'exportation) et comportant le radar de veille CSF-Siemens (16 km de portée), le poste de tir monté sur la tourelle (goniomètre infrarouge SAT-Eltro ou radar de poursuite), deux missiles installés sur rampe et huit missiles disponibles en soute, avec un système de rechargement automatique ;
- système Roland I ou « temps clair » : téléguidage semi-automatique infrarouge (même principe que le Hot) : c'est la version de base française ;
- système Roland II ou « tous temps » : téléguidage automatique par radar Siemens-CSF avec prise en charge du missile par un écartomètre infrarouge : c'est la version qui a été imposée par les Allemands et qui a été partiellement retenue, en 1972, par l'EMAT²¹ ;
- missile de base : masse de 63 kg ; configuration canard avec une manœuvrabilité limitée, 15 g ; vitesse maximale de Mach 1,6 ; portée de 6,3 km ; fusée de proximité électromagnétique TRT ; charge avec de multiples charges creuses de 6,5 kg ;
- version améliorée du missile Roland III : portée de 8 km, plus manoeuvrante et plus efficace (charge de 10 kg) ;

²⁰ Voir chapitre 7. Pour les détails techniques, on pourra se reporter à : Comité pour l'histoire de l'armement terrestre, *Systèmes de missiles sol-air*, par l'ingénieur général Collet-Billon (†) puis l'ingénieur général Bienvenu (tome 11), 2002.

²¹ Aujourd'hui, il ne paraîtrait pas concevable d'être limité au temps clair.

- taux de réussite sur 1 000 tirs d'écoles à feu : 90 % pour le missile et près de 80 % pour le système. C'est un missile du type munition, d'une fiabilité excellente.

Le Roland I a été mis en service en 1978, en grande partie pour la France. 105 postes de tir et 3 900 missiles ont été produits. Le Roland II a été mis en service en 1979 : 538 postes de tir et 20 400 missiles ont été produits. Le Roland III, mis en service en 1988, est peu utilisé : 1 000 missiles ont été produits. Au total, 25 800 missiles ont été produits, dont, pour la France, 83 systèmes Roland I, 98 Roland II et 7 600 missiles, et pour l'Allemagne 14 000 missiles. Dix autres pays ont été clients, dont l'Espagne.

L'historique du Crotale a déjà été esquissé²². À la base, c'est un système à téléguidage automatique radar ; il est plus sophistiqué que le Roland, car il a été conçu pour se défendre contre des menaces plus performantes en manœuvrabilité ; il est, en conséquence, plus coûteux.

Plusieurs versions ont été développées :

- V 2 terrestre (Cactus) destiné au client de base, l'Afrique du Sud, et mise en service en 1972 ;
- V 3 Air et Naval pour la France (mises en service en 1978), et ensuite pour l'exportation (la différence entre le V 3 et le V 2 est la portée du missile) ; version antimissile navale V 3 EDIR, dérivée du V 3, pour les Marines françaises et saoudiennes (contrat Sawari), mise en service en 1985.
- Shahine, ou V 4, destinée exclusivement à l'armée de Terre saoudienne (performances améliorées pour le système et portée accrue pour le missile, soit 10 km), mise en service en 1980.

Les principales caractéristiques et performances sont les suivantes :

- le système intégré est monté sur bateau ou sur deux véhicules à roues pour le Crotale – ou AMX 30 pour le Shahine – ; une section comprend une unité d'acquisition (avec le radar de veille de 18,5 km de portée) et deux unités de tir équipées chacune d'un radar de poursuite et de quatre (ou huit) missiles en conteneurs, prêts au tir ;
- le système est très automatisé, grâce à la conception autour d'un ordinateur digital ; en particulier, l'unité d'acquisition permet une évaluation automatique de la menace ;
- radar de poursuite en bande J (précision) avec deux chaînes de réception (cible et missile) ; extraction directe de l'écartométrie différentielle missile-cible, d'où une précision meilleure – c'était une novation – ; prise en charge du missile assurée par un goniomètre infrarouge Thomson ;
- missiles Matra V 2 et V 3 : masse de 87 kg ; configuration canard avec une bonne manœuvrabilité pour l'époque : 20g ; vitesse maximale de 700 m/s ; portée de 8 km (V 2) et de 8,5 km (V 3) ; fusée de proximité infrarouge Matra ; charge à fragmentation Brandt à lobe étroit de 14 kg ; équipement avec un ensemble Thomson répondeur et récepteur de la télécommande (bande J), qui augmente la précision ; mais ce répondeur était coûteux (cf. annexe 1) ;
- missile Matra Shahine (V 4) : masse de 102 kg ; propulseur amélioré (+ 11 kg), d'où une portée de 10 km ; vitesse maximale de 850 m/s ; fusée de

²² Voir chapitre 8, Thomson-CSF.

proximité électromagnétique Thomson à corrélation (fusée adoptée aussi sur la version V 3 EDIR) ;

- version EDIR, pour assurer une capacité d'interception de missiles antinavires à vol rasant : utilisation de l'écartomètre infrarouge SEID en bande 2 réalisé par la SAT et fournissant directement l'écartométrie différentielle missile Crotale-cible (le radar aurait fourni une écartométrie verticale trop bruitée)²³ ; mais cette version EDIR n'est pas valable en cas de brouillard.

6 400 missiles ont été produits, dont 1 500 environ pour la France et 1 800 en version Shahine. Le Crotale a eu de nombreux clients, en particulier au Moyen-Orient, dont l'Arabie saoudite (armée de Terre et Marine).

Il faut également évoquer la concurrence étrangère. Les Américains ont abandonné en 1965 leur projet de missile autoguidé, le Mauler. Depuis cette décision, ils n'ont plus été actifs dans le SACP terrestre. Ils ont procédé à un appel d'offre international et ont retenu le Roland en 1974. Ils l'ont américanisé (radar...), mais, en 1981, ils ont décidé de ne pas le mettre en service, pour des raisons budgétaires ; les faiblesses détectées, comme la résistance aux contre-mesures, permirent en tout cas d'améliorer le système. À la fin des années 1980, les Américains recommencèrent la même opération, avec un résultat identique ; le compétiteur français était le Crotale, mais il ne fut pas retenu. Dans les deux cas, ce fut une grande déception pour l'industrie française.

C'est le Royaume-Uni, avec le système Rapier²⁴, développé par BAe, qui est le concurrent le plus sérieux sur le marché SACP terrestre. Ce système est proche de celui du Roland, avec un missile de plus faible masse (43 kg), équipé d'une charge réduite (2,5 kg) ; il a été très exporté et en 1995 il est, après des améliorations, toujours opérationnel, comme le Roland et le Crotale.

En revanche, pour le SACP naval, plusieurs systèmes ont été développés. Les Américains ont développé, dans les années 1970 et dans un cadre OTAN, le système anti-missile Sea Sparrow, fondé sur l'air-air Sparrow 7 H, à autoguidage électromagnétique semi-actif doppler (donc efficace à très basse altitude) ; il fut mis en service en 1977 et il a eu un grand succès dans les Marines occidentales : Allemagne, Italie... Les Britanniques ont développé le Sea Wolf, téléguidé et anti-missile, qui fut mis en service en 1977.

SATCP (sol-air très courte portée)

Les Américains et les Soviétiques ont développé ce type de missile, destiné aux commandos (missile américain Red Eye et missile soviétique SA 7 ou Stréla, avec une mise en service respective en 1966 et en 1968) ; ils étaient surtout efficaces contre les hélicoptères et les avions lents (notamment au Vietnam). Ce sont des missiles épaulables, d'où une masse de la munition limitée à 10 kg, avec un autoguidage infrarouge avec accrochage de l'AD par le tireur, avant le départ, et une charge de masse réduite (1 kg) d'où une efficacité réduite.

²³ Voir chapitre 13, SAT.

²⁴ Le Rapier et le Roland sont issus de la même fiche de besoin établie au sein de l'OTAN.

Compte tenu de leur masse, ils ont été qualifiés de missile de prolifération. Ces missiles ont été largement exportés, surtout le SA 7 ; de nombreux pays en guerre ont été équipés du Stréla (acquisition souvent illégale).

Les états-majors français ont beaucoup hésité sur l'adoption d'un tel missile ; finalement, en 1980, ils ont retenu un missile plus lourd, non épaulable mais plus efficace (cf. *infra*, troisième période, chapitre 12, Mistral).

Conclusions sur les missiles sol-air

Depuis 1950, le SAMP a été le domaine de réussite presque exclusif des Américains et des Soviétiques ; seuls les Britanniques ont développé leurs missiles.

Le besoin du SACP est né au début de la deuxième période ; ce fut le domaine d'excellence des Européens : les Français, les Britanniques (c'est l'un des seuls domaines où ce pays est resté compétitif) et les Allemands.

Ce fut aussi la phase de démarrage du SATCP, qui resta, dans cette deuxième période, le domaine des Américains et des Soviétiques.

Les missiles soviétiques ont créé des pertes importantes d'avions, avec le SA 2 au Vietnam, dès 1965, puis avec les SA 6 et les SA 7 durant la guerre du Kippour, en 1973 (100 avions israéliens détruits en deux ou trois jours, suivant les auteurs) ; la conséquence tirée par les Américains fut la relance de la guerre électronique.

LES MISSILES DE RECONNAISSANCE ET LES DRONES

Dès 1960, le développement de systèmes de missiles de reconnaissance a commencé. Il s'agissait plutôt de matériels expérimentaux, pour la plupart dérivés de cibles et équipés de turboréacteurs.

Le besoin d'une surveillance en temps réel assurée par des systèmes fondés sur un véhicule aérien d'une grande autonomie est né au début des années 1970, en particulier en Israël ; ce type de véhicule a été appelé drone²⁵. La mission prioritaire des drones est la reconnaissance ; mais ils peuvent être définis pour d'autres missions : désignation d'objectifs (*targetting*), leurrage et brouillage, attaque d'objectifs, comme des radars avec charge militaire...

Deux missiles seront décrits ici : le missile français R 20 de Nord-Aviation (cf. figure 25), abandonné à la fin des années 1970, et le missile conçu par les Canadiens, le CL 89 (cf. figure 65), adopté par les Britanniques, les Allemands, les Italiens et enfin par les Français, ainsi que son dérivé, le CL 289 (cf. figure 66). Ensuite, nous présenterons les caractéristiques des premiers drones.

²⁵ J'appelle drone un véhicule ayant une autonomie de plusieurs heures, contrairement au missile ; la vitesse de croisière du drone est, en conséquence, faible (ordre de grandeur de 150 à 200 km/h), contrairement à celle du missile (haut subsonique) ; le nom de « drone » (bourdon, en langue anglaise) provient du bruit de son moteur à pistons (bourdonnement). Cette définition n'est pas universellement reconnue.

Le système R 20

En 1960, pour l'armée de Terre française, il n'y avait pas de mission précise, sinon un besoin, *a priori*, de surveillance à l'échelon de la brigade ou de la division. Ce besoin à grande distance, 100 à 150 km, militait pour l'utilisation d'un missile propulsé par un turboréacteur.

En matière d'équipements de reconnaissance, il n'existait que la caméra, avec dépouillement du film après récupération. À la fin des années 1960, des équipements de reconnaissance à balayage mécanique (*line scanners*), nommés Cyclope et détectant dans le spectre infrarouge, ont été développés en France par le STAé et ont permis, en plus du stockage, la transmission en direct ou en différé (avant récupération) des informations ; en conséquence, une utilisation plus opérationnelle du R 20, en particulier jour et nuit sans brouillard, a été possible.

Le système R 20 fut conçu en 1958, à partir de trois idées simples :

- utiliser le véhicule de la cible CT 20 (cf. chapitre 4), avec son booster pour le tir de rampe et sa récupération par parachute, et y ajouter des ballonnets, en bout d'aile, équipés de caméras ; par rapport au CT 20, l'autonomie était supérieure, ainsi que la masse (850 kg), et la vitesse était inférieure ; l'altitude de vol utilisée était de 400 m environ ;
- concevoir un programmeur d'ordres à introduire dans la boucle de guidage du véhicule, comportant une centrale gyroscopique ; le vol était autonome, sauf pour les deux phases télécommandées manuellement : la phase de tir, s'achevant par le ralliement à la trajectoire prévue, et la phase de récupération ; un programmeur électronique conçu par Nord-Aviation fut retenu : il fournissait les différents ordres résultant des plots (diodes) affichés manuellement ;
- réaliser un système sol, sur véhicules, capable d'une utilisation opérationnelle : plusieurs véhicules pour la direction de l'unité et du vol avec les équipements de télécommande (communications avec le PC ; d'après la mission et la mesure du vent, détermination de la trajectoire et affichage du programmeur ; exécution de la mission, avec les phases télécommandées et le suivi du vol) ; véhicule de tir avec mini-rampe ; véhicule pour la récupération ; véhicules pour le dépouillement des films photographiques et leur exploitation ; véhicules pour la remise en état et le stockage des équipements de rechange ; véhicules pour le transport des R 20.

Le déroulement du programme a fait l'objet de plusieurs imbroglios. Le STAé/ES notifia en 1960 à Nord-Aviation le développement et la commande d'une unité de ce système complexe pour sa mise au point ; le contrat était forfaitaire et prévoyait des performances garanties. Les expérimentations avec tirs eurent lieu à Colomb-Béchar jusqu'en 1965. À la fin du contrat, le fonctionnement était acceptable dans l'ensemble, sauf pour la récupération, qui devait être améliorée ; le véhicule R 20 était plus lourd que le CT 20 et plus fragile.

Les imbroglios intervinrent dans la suite du programme. Le R 20 fut alors déclaré « opérationnel » : deux unités dites « de série », avec 62 missiles, furent commandées et affectées au 702^e GAG, à Châlons-sur-Marne. Aucun crédit du

budget « études » ne devint disponible à la DTCA pour les améliorations à apporter, sauf pour l'adaptation du Cyclope (peut-être du fait d'une réticence de la DTAT, qui désirait se réserver ce type de crédits ?). En plus de la récupération, les premiers essais en France avaient montré que les équipements électroniques (en particulier le programmeur) avaient un fonctionnement défectueux, dû au niveau hygrosopique très supérieur à celui de Colomb-Béchar.

À partir de 1966, dans ce cadre, une seule campagne annuelle d'expérimentation en vol de quelques jours put avoir lieu au camp du Larzac, au cours de manœuvres, ce qui était insuffisant pour la fin de la mise au point. Compte tenu des bonnes relations entre le STAé, l'EMAT, le 702^e GAG et la STAT (quelques tirs de mise au point, sous la responsabilité du STAé, étaient acceptés au cours de ces manœuvres), le système fut tout de même mis au point, au début des années 1970. Mais quelques incidents se produisirent encore lors d'expérimentations tactiques, comme des récupérations intempestives dans des propriétés particulières, avec des dégâts mineurs.

Le programme fut arrêté à la fin des années 1970, suite à un tel incident de récupération. L'EMAT n'était intéressé que par la coopération internationale, avec le CL 289, et il n'y avait pas de soutien important de la part de l'industriel.

CL 89 et CL 289

Le CL 89, de conception Canadair et développé en coopération, fut conçu en 1959 et son développement démarra en 1963, dans le cadre d'une coopération avec les Britanniques ; les Allemands s'y joignirent en 1965 ; les Italiens s'associèrent en 1973 et les Français passèrent une commande de quatre systèmes en septembre 1978, après une mise en concurrence avec le drone belge Épervier (Philips). Au total, 600 drones furent produits à partir du début des années 1970. Le fonctionnement du système a été satisfaisant.

Le CL-89 répondait au même programme que le R 20, au niveau de la division. Ses caractéristiques étaient les suivantes :

- véhicule de 78 kg (156 kg avec le booster largable) propulsé par un turboréacteur Williams et récupéré par parachute (assistance d'airbags) ;
- vitesse correspondant à Mach 0,6 et rayon d'action de 140 km ;
- le système de navigation autonome était plus sophistiqué que celui du R 20, avec l'utilisation, en plus d'une centrale gyroscopique, d'un radar de navigation doppler Canadian Marconi et d'un calculateur numérique ; pour la récupération, le missile se dirigeait vers une balise sol, *beacon* ;
- caméras optiques Zeiss.

Le CL 289 est la version améliorée du CL 89 : elle répondait au besoin allemand d'augmentation du rayon d'action à 400 km, de manière à placer ce nouveau système au niveau du corps d'armée. Il n'y avait alors plus que trois partenaires : l'Allemagne, le Canada et la France (depuis mars 1977). Le développement commença à la fin de 1977. La maîtrise d'œuvre fut assurée par Canadair et Dornier, l'industriel français SAT ayant la responsabilité de la fourniture du *line scanner* infrarouge Corsair, de la famille Cyclope (cf. chapitre 8), soit 10 % du contrat global : en 1977, avec le Corsair, la SAT avait gagné l'appel d'offre international.

Les caractéristiques du CL 289 étaient améliorées, par rapport au CL 89 (en plus du rayon d'action) : vitesse dans le haut supersonique, masse de la charge utile accrue et masse globale augmentée, équipement avec le Corsair (jour et nuit) et adjonction d'une liaison avec le système sol, limitée à une portée de 75 km environ, pour la transmission en direct des informations du *line scanner*.

L'Allemagne commanda onze systèmes et la France seulement trois. Chaque système comprend 16 missiles, 2 véhicules de tir... et 40 véhicules terrestres ; la mise en service n'eut lieu qu'en 1992.

Au milieu des années 1980, la France modernisa le système sol, le francisa et le compléta pour en faire une version utilisable pour l'entraînement en temps de paix. Après compétition avec la CSEE, la DTEN confia la maîtrise d'œuvre à l'Aérospatiale : ce fut le système Piver.

Son intérêt opérationnel était discuté au milieu des années 1990, parce qu'il ne pouvait détecter que des cibles fixes et que son autonomie était limitée (30 minutes). Mais durant la guerre du Kosovo, en 2000, les CL 289 français ont fourni des informations précieuses sur l'état d'objectifs survolés chaque jour. L'EMAT envisage un remplaçant qu'il appelle « drone rapide ».

Les pays concepteurs de drones

Les États-Unis s'intéressèrent à des dérivés d'engins cibles, puis à des drones²⁶. Mais les travaux de développement ont été menés de manière chaotique et n'ont pas abouti dans la deuxième période.

Le Firebee est à l'origine une cible aérienne, équipée d'un turboréacteur et larguée d'avion ; elle a été mise en service en 1952 et a été très utilisée. À partir de cette cible, les Américains ont produit un missile de reconnaissance photographique au début des années 1960 ; il comportait un guidage autonome et une caméra. Ils ont aussi équipé certains missiles avec un brouilleur. 3 400 missions, principalement de reconnaissance, ont été effectuées durant la guerre du Vietnam.

Aquila est le premier drone américain d'observation, à moteur à pistons. Le développement démarra en 1974 et il fut arrêté en 1988 : les spécifications étaient trop ambitieuses et il y avait eu une sous-estimation des difficultés techniques des équipements autres que le véhicule : charge utile, liaison, unité sol.

Israël fut le premier pays à réussir le développement de drones, à la fin des années 1960, et à les utiliser opérationnellement. En 1971, les Israéliens achetèrent des Firebee et ils les utilisèrent en 1973, lors de la guerre du Kippour. Les Israéliens ont conclu d'une part à l'intérêt de la mission et d'autre part que ce type de missile n'était pas adapté à la surveillance permanente et en temps réel.

Ils mirent alors au point leur premier drone à moteur à pistons, le Scout (et le Mastiff en quelques exemplaires) ; les différences fondamentales avec les drones développés dans les autres pays sont le décollage et l'atterrissage sur piste, comme pour un avion, et des dimensions plus importantes. Ce drone est peu détectable (radar et infrarouge) et peut emmener une charge utile de 30 à 40 kg.

²⁶ La terminologie américaine évolua : RPV (*Remotely Piloted Vehicles*), puis *drones* et actuellement UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*).

Il a été utilisé durant la guerre du Liban, en particulier au début du conflit, le 9 juin 1982. Avant l'intervention, les drones ont permis de localiser visuellement les stations syriennes de sol-air SA 6. Au début de l'intervention, les drones, équipés de dispositifs d'augmentation de la SER, ont piégé les Syriens, qui ont mis en fonctionnement leurs radars d'acquisition ; les avions israéliens étaient prêts à intervenir en tirant des missiles antiradars pour détruire les antennes, puis des bombes pour la destruction finale des batteries. En 10 minutes, 17 sites de SA 6 sur 19 ont été détruits²⁷. Au cours de toutes les autres opérations, les drones ont surveillé les frontières et ont fourni des informations vitales aux forces armées d'Israël.

La France lança, en 1979, le développement exploratoire du drone Scorpion pour l'illumination laser d'armements autoguidés laser ; mais il n'y eut pas de suite. Il fallut attendre 1992 pour un démarrage de programmes opérationnels de drones de surveillance.

La Grande-Bretagne lança un programme de drone de surveillance en 1967 : le Phoenix ; la France l'évalua en 1988 (cf. chapitre 12) ; il a été mis au point dans les années 1990. À la fin des années 1970, l'Italie et l'Allemagne commencèrent également à s'intéresser aux drones.

Ainsi, en dehors d'Israël, c'est surtout dans les années 1990 que les drones devinrent des programmes prioritaires pour les états-majors. Nous en reparlerons au chapitre 14, dans la section consacrée aux drones.

LES CIBLES AERIENNES

Nous avons indiqué plus haut que la cible CT 20 avait été mise en service à la fin de la première période et qu'elle fut utilisée pour les tirs de développement et d'entraînement des missiles de la deuxième période. Mais son domaine d'utilisation avait été défini pour les missiles de la première période, subsoniques, volant de 3 000 m à 12 000 m d'altitude et avec des manœuvres limitées à 1 g. Ses possibilités d'amélioration étaient faibles.

Des études de cibles supersoniques comme les C 20 et C 30 (cette dernière avec un moteur à lithergol), dérivées des AS 20 et AS 30, furent effectuées dans les années 1960 ; mais elles furent abandonnées. Pour quelques essais à haute altitude et en supersonique, des cibles américaines AQM 37 furent achetées. Mais la cible CT 20 vieillissait et, à la fin de la deuxième période, une nouvelle cible subsonique, C 22, fut développée, avec l'objectif de réduire le coût d'un tir.

Les améliorations du CT 20 dans les années 1960

Elles concernent d'abord l'extension du domaine d'utilisation en altitude. Avec l'utilisation du réacteur Marboré VI, le plafond utilisable put être porté à 15 000 m ; mais cette valeur restait encore limitée pour les antiaériens conçus pour la haute altitude, comme les Super 530 (21 000 et 24 000 m).

²⁷ Information provenant de Michel FORGET, *Puissance aérienne et stratégies*, ADDIM, 1996, avec une exagération possible sur le temps. Dans ses *Mémoires* (Stock, 1990), Ariel Sharon dit que les 19 batteries ont été détruites dans l'après-midi du 9 juin.

De plus, une version basse altitude, par adjonction d'une capsule barométrique, a permis le vol à 100 m et des essais de sol-air ; mais ce n'était pas suffisant pour des expérimentations de missiles antinavires, au ras de l'eau.

D'autre part, l'équipement avec une cible remorquée a permis de réduire le coût des tirs d'entraînement des missiles sol-air, comme le Roland de l'armée de Terre.

Cible Beech AQM 37 (Vanneau)

C'était une cible américaine tirée d'avion ; elle était propulsée par un moteur à propergols liquides et était supersonique (Mach 2,5). 50 exemplaires furent achetés de 1975 à 1977 par la DTEN ; Matra fut chargée de les modifier pour y adapter les équipements nécessaires pour des essais au CEL : répondeur, récepteur de télécommande... Les Super 530 F et D purent ainsi être expérimentés sur une cible supersonique et à très haute altitude (22 000 m) à la fin des années 1970 et dans les années 1980.

C 22 – Aérospatiale (cf. figure 67)

Le développement de cette cible a été lancé en 1978. Elle est entrée en service en 1985, après des difficultés pour sa mise au point ; 110 exemplaires ont été commandés par la France.

C'est une cible subsonique propulsée par un turboréacteur Microturbo, de la famille TRI 60, à bas coût. Comme la CT 20, elle est tirée de rampe et récupérée par parachute. Sa structure est en matériau composite, pour réduire le coût, et le turbo est situé dans une nacelle sur le dos du fuselage. Sa technologie électronique est, bien entendu, moderne. Sa masse est proche de celle de la CT 20 (630 kg), mais la charge utile est passée à 130 kg. Elle est généralement équipée d'une cible remorquée.

Ses performances permettent l'expérimentation de base de la plupart des missiles : le domaine d'utilisation en altitude s'étend de 30 m à 12 000 m ; elle peut manœuvrer, dans le plan horizontal, dans la plage de 6 g à basse altitude et 4 g à 5 000 m : c'est la différence principale avec la CT 20. Sa vitesse est légèrement supérieure (Mach 0,8) et son autonomie est très supérieure (1 heure à 6 000 m).

CHAPITRE 10

CONCLUSIONS SUR LA DEUXIEME PERIODE

BILAN DE L'ARMEMENT EN MISSILES TACTIQUES DES ARMEES FRANÇAISES EN 1980

L'armée de l'Air

Pour la défense aérienne, l'armée de l'Air disposait :

- du Mirage III armé de l'air-air R 530 et du missile de combat Magic 1 ;
- du F1 armé du Super 530 F, dont la première livraison avait commencé en 1979, et du Magic 1.

Pour l'attaque air-sol, elle disposait du Mirage III E et du Jaguar équipés d'AS 30 et du Martel (AR) ; ils étaient aussi armés de missiles air-air d'autodéfense Magic 1.

Pour la défense de quelques bases aériennes, elle disposait du SACP Crotale (première livraison : 1978) ; deux batteries de Hawk de l'armée de Terre étaient affectées à la défense des bases des Forces aériennes stratégiques.

Les seules déficiences relatives de l'armée de l'Air, par rapport à l'*Air Force*, étaient l'absence d'une défense aérienne efficace contre les objectifs à basse altitude (il a fallu attendre le Super 530 D en 1988) et d'une défense SAMP des bases (en dehors de l'utilisation des Hawk de l'armée de Terre).

La Marine

L'Aéronavale disposait :

- du Crusader armé du R 530 et du Magic 1 ;
- de l'Étendard armé de l'AS 30 et du missile d'autodéfense Magic 1 ;
- des premiers Super Étendard armés de l'AM 39 (première livraison en 1980) et du Magic ;
- de l'hélicoptère Alouette III armé de l'AM 12.

La Marine de surface était équipée :

- de l'antinavire Exocet MM 38 ;
- pour la défense aérienne des frégates, du SAMP Masurca ou Tartar et du SACP anti-avion Crotale (depuis 1978).

La Marine n'avait donc pas de défense aérienne contre les avions à basse altitude (et n'en eut pas avant les années 2000, avec le Rafale) ni de défense des navires contre les missiles attaquant au ras de l'eau (il a fallu attendre 1985, avec le début des livraisons du Crotale EDIR).

L'armée de Terre

Pour les missiles antichars, elle disposait du Milan et du SS 11, ce dernier commençant à être remplacé par le Hot (première livraison en 1978) ; ces deux derniers missiles, à longue portée, armaient respectivement l'Alouette et la Gazelle.

La défense contre les avions disposait des batteries SAMP Hawk et des premiers systèmes « temps clair » Roland (première livraison en 1978) montés sur l'AMX 30.

L'armée de Terre expérimentait les systèmes de reconnaissance : en 1980 eut lieu l'arrêt du R 20, alors que la livraison du CL 89 était proche.

Le stock de missiles antichars était très important car la menace principale, pour l'Occident, était constituée par les milliers de chars soviétiques. L'armée de Terre ne disposait pas, en particulier pour ses commandos, de missiles SATCP : il a fallu attendre le Mistral, en 1989.

Conclusions

À part les missiles SAMP (Hawk et Tartar), les missiles équipant les armées Françaises étaient, en 1980, de conception française (ou conçus en coopération).

La technologie était récente ; à part le R 530, le SS 11 et le Hawk, les premières livraisons des autres missiles étaient postérieures à 1972.

Les missiles SS 11, R 530, Super 530 F, Magic 1, AM 12, AS 30 et Martel avaient été conçus sous la responsabilité de la DTIA (jusqu'en 1970).

POSITIONNEMENT INTERNATIONAL DES MISSILES FRANÇAIS

L'avance technologique dont les États-Unis ont joui pendant les années 1950 et 1960 s'était érodée ; en 1980, il y avait quasiment jeu égal entre les États-Unis et la France, sauf sur les composants électroniques. Notons que, à l'exception de l'antichar LP, les États-Unis n'ont pas été excellents dans le domaine antichar.

La plupart des missiles français étaient considérés comme les meilleurs au niveau mondial, au moins jusqu'en 1990 : l'antichar Milan, l'air-air de combat Magic et l'antiradar Martel n'avaient pas d'équivalents ; les missiles antichars longue portée Hot et Tow étaient équivalents, de même que les antinavires Exocet (célèbre depuis la guerre des Malouines) et Harpoon et le vecteur des air-air d'interception Super 530 F et Sparrow III.

Durant cette deuxième période, la France était devenue, derrière les États-Unis, le deuxième pays du monde occidental¹ pour la conception des missiles tactiques. Elle avait pris la place de la Grande-Bretagne, qui n'avait conçu, dans cette période, que quelques programmes innovants, le SACP Rapier, le SAMP Sea Dart, l'antinavire Sea Skua et le Martel (TV).

¹ Dans le classement, l'URSS n'est pas considérée, car le jugement serait difficile.

En 1980, la coopération européenne impliquant la France était limitée aux domaines des antichars (coopération trilatérale avec l'Allemagne et la Grande-Bretagne pour la future troisième génération) et des SACP terrestres (coopération avec l'Allemagne pour la famille Roland).

La France ne coopérait pas, contrairement aux autres pays européens, avec les États-Unis dans le domaine air-air : cela s'expliquait par l'absence de coopération européenne sur les avions de combat et par la politique d'indépendance manifestée par la France, en particulier pour exporter le système d'armes complet.

BILAN INDUSTRIEL

En 1980, la France avait une industrie missilière mondialement reconnue :

- deux missiliers, Aérospatiale et Matra ;
- un systémier, Thomson-CSF ;
- l'ensemble des coopérants équipementiers : SAT pour les AD infrarouges, EMD pour les AD électromagnétiques, Thomson-CSF pour les fusées de proximité et les AD laser, SERAT, STRIM et Thomson-Brandt associées à la Direction des poudres pour les charges et les propulseurs.

La différence fondamentale avec l'industrie américaine était la quantité produite, se traduisant par une différence de coût de production en faveur des Américains :

- 85 000 Hot, pour 620 000 Tow ;
- 11 000 Magic 1 et 2, ce qui est une réussite, contre 35 000 Sidewinder 9 L et 9 M produits par les Américains (licences exclues) ;
- 2 200 Super 530 F et D, contre 26 000 Sparrow 7 F et 7 M.

En 1980, la part du chiffre d'affaires à l'exportation, pour les missiliers français, était de l'ordre de 70 %, en majorité pour le Moyen-Orient.

Les sociétés ont acquis, durant les années 1970 (à partir de 1975 pour Matra), une aisance financière permettant leur développement et l'autofinancement de développements ; cette situation continua jusqu'en 1985.

BUDGET CONSACRE PAR LA FRANCE AUX MISSILES TACTIQUES

Nous avons indiqué plus haut (chapitre 5) que l'estimation de la part du budget « équipement des forces » consacrée aux missiles tactiques était de 2,2 % en 1957 ; il n'y avait alors pas de fabrication, sauf pour des antichars.

Une étude effectuée par la DPAI (cf. annexe 1) a montré que cette part, de la fin des années 1960 (début des productions) au début des années 1980, s'était accrue et stabilisée à environ 6 %.

On peut s'étonner de cette stabilité. Mais il faut souligner que les stocks de missiles opérationnels, en France, sauf pour les antichars, sont très inférieurs à ceux de l'Allemagne et de la Grande-Bretagne.

ENCART 2/1

ENCART 2/2

ENCART 2/3

ENCART 2/4

ENCART 2/5

ENCART 2/6

ENCART 2/7

ENCART 2/8

ENCART 2/9

ENCART 2/10

ENCART 2/11

ENCART 2/12

ENCART 2/13

ENCART 2/14

ENCART 2/15

ENCART 2/16

ENCART 2/17

ENCART 2/18

ENCART 2/19

ENCART 2/20

**De 1980 à 1995 :
Les missiles intelligents**

CHAPITRE 11

INTRODUCTION A LA TROISIEME PERIODE LES EVOLUTIONS TECHNOLOGIQUES ET OPERATIONELLES

Les missiles développés dans cette troisième période sont nommés « intelligents » ; en effet, ils sont fondés sur la technologie numérique mise au point à la fin des années 1970 ; et en conséquence, ils comportent, pour la plupart, des microprocesseurs ayant une puissance importante de calcul, pour un volume réduit : c'est la différence fondamentale avec les missiles conçus dans la deuxième période.

Cette période est caractérisée :

- par une évolution considérable et continue des technologies, liée principalement aux progrès de la microélectronique ;
- par une évolution des besoins opérationnels résultant de l'évolution technologique et/ou de l'expérience tirée des conflits, comme la guerre du Golfe en 1991 ;
- par le lancement de nombreux programmes de missiles, en majorité en coopération européenne, et par l'échec des projets de coopération transatlantique.

Cette période s'est terminée avec l'effondrement de l'Union soviétique.

En France, les premières leçons en ont été tirées particulièrement en 1994 (Livre blanc) et en 1995 ; les conséquences sont les suivantes :

- la menace en Centre-Europe, qui était prépondérante durant les années antérieures, a disparu ; les nouvelles menaces sont telles que de nombreux programmes en développement ne sont plus adaptés et que les priorités antérieures, comme l'antichar, doivent être révisées ;
- le désir de toucher les « dividendes de la paix » tout en voulant « ne pas baisser la garde », pour des raisons de politique intérieure¹, s'est concrétisé par une réduction non drastique des crédits réels consacrés à la Défense. Une révision des programmes a été nécessaire, avec d'une part l'arrêt envisagé pour plusieurs programmes et d'autre part l'étalement accompagné d'une diminution de la cible des commandes pour la plupart des autres. Pour de nombreux pays, comme le Royaume-Uni, l'Allemagne et les États-Unis, la révision a été profonde, dès 1990 ;
- l'industrie, déjà affectée par la médiocrité du marché mondial, a dû subir les réductions des commandes françaises ; des ajustements d'effectifs ont dû être

¹ C'était la politique du président de la République de 1990 à 1993 ; M. Joxe, ministre de la Défense, a commencé, en 1992, une révision de la loi de programmation. De 1993 à 1995, ce fut une période de cohabitation, avec la rédaction du Livre blanc. Il fallut attendre 1996, après l'élection de M. Chirac en 1995, pour une révision drastique du budget de la Défense (cf. *infra*, épilogue).

réalisés. Des projets d'alliance européenne étaient, en 1995, en cours de négociation, avec l'objectif de permettre la participation à des développements de futurs programmes qui ne pourraient plus être financés par la France, sinon à un niveau faible. Dans plusieurs pays, comme les États-Unis, la concentration industrielle a été réalisée ;

- la conception des nouveaux programmes doit évoluer en prenant en compte de manière plus importante le facteur coût et en ne recherchant plus de manière prioritaire l'augmentation des performances.

LES PRINCIPALES EVOLUTIONS TECHNOLOGIQUES²

Il faut d'abord évoquer la microminiaturisation de l'électronique (circuits intégrés standard et spécifiques, dont ceux à très grande vitesse CITGV). Elle a concerné l'ensemble des composants des systèmes d'armes : le missile et la surveillance.

Elle a permis l'introduction de microprocesseurs et de mémoires dans la plupart des équipements des missiles : calculateur de guidage et/ou de navigation, autodirecteurs, centrales inertielles. Avec la mise au point de logiciels sophistiqués, de nombreuses possibilités de programmes de calculs sont devenues réalisables.

Le calculateur de guidage a permis le réglage de nombreux paramètres et la programmation d'évolutions. Les performances des antiaériens ont été améliorées avec, par exemple, la compensation des aberrations de radôme, devenue possible avec leur mise en mémoire, et l'introduction de logiciels pour lutter contre les brouilleurs et les leurres.

Du côté des équipements électromagnétiques, l'introduction de microprocesseurs, combinée avec les améliorations des composants hyperfréquences, a permis la réalisation :

- d'autodirecteurs électromagnétiques actifs pouvant équiper des missiles antiaériens de faible diamètre ;
- de senseurs millimétriques, ouvrant la voie au développement de sous-munitions antichars autoguidées et d'imageurs air-sol ;
- de l'antenne à balayage électronique, pour les radars de surveillance des systèmes d'armes, qui est devenue une réalité.

La barrette et la matrice de détecteurs infrarouges IR-CCD ont conféré aux autodirecteurs équipés de tels détecteurs des portées accrues. Ils fournissent une image de la cible ; le guidage sur un point chaud de l'image et la séparation entre un leurre et la cible sont devenus possibles, de même que la corrélation entre une image détectée et celle mise en mémoire, devenue réalisable grâce aux progrès dans les techniques de traitement d'images et de reconnaissance des formes.

² En plus de ces évolutions spécifiques aux missiles, les conséquences des progrès en matière d'informatique, de programmation, etc., ont permis aux ingénieurs de disposer de moyens sans commune mesure avec ceux de leurs prédécesseurs, en matière de développement, de production et d'utilisation.

Avec des microprocesseurs et des gyroscopes modernes, comme les gyroscopes à joint flexible et les gyroscopes laser, des centrales inertielles à éléments liés ont pu équiper, pour un coût acceptable, des missiles tactiques anti-surface et antiaériens – malgré, pour ces derniers, leurs manœuvres considérables.

L'utilisation des informations fournies par les satellites – satellites d'observation, de navigation (GPS) et de communication pour la liaison avec les drones – a été un autre grand progrès.

La détection d'images par un satellite comme Spot 1, mis en orbite en 1986, a permis la définition d'une part des objectifs, d'autre part des trajectoires d'approche qui peuvent être suivies par un missile de croisière, en recalant sa centrale inertielle sur des amers³.

Le récepteur GPS permet la localisation en position et en vitesse d'un missile. Le guidage inertiel, utilisant une centrale inertielle hybridée avec un tel récepteur, est devenu précis et bon marché. Il est utilisable opérationnellement depuis 1990, et c'est une véritable révolution. Il a été retenu pour la phase de guidage mi-course des missiles tactiques anti-surface.

La fibre optique est capable de se dérouler d'un missile volant en subsonique ; ce dernier peut ainsi transmettre une image détectée par son senseur et rester en liaison avec son poste de tir, localisé au sol à une distance atteignant 60 km.

Le développement de missiles furtifs a été rendu possible en combinant l'étude de leur forme et l'utilisation de matériaux absorbants électromagnétiques et infrarouges.

Enfin, il faut souligner la compacité des missiles modernes. Par rapport aux équipements conçus dans les années 1960, l'ordre de grandeur de la réduction du volume et de la masse de leurs équipements électroniques est respectivement de 4 et de 2. Le missile des années 1980 est ainsi caractérisé soit par une masse plus réduite, soit par une augmentation de la portée aérodynamique avec la même masse.

L'ÉVOLUTION DES BESOINS OPÉRATIONNELS ET LES LEÇONS TIRÉES DES CONFLITS (GUERRE DU GOLFE, 1991, BOSNIE, 1995)

Le missile « tire et oublie » - La défense multicible tous temps (attaque simultanée)

L'évolution vers le « tire et oublie », souhaitée par les opérationnels, est devenue réalisable avec les technologies modernes. L'un de ses intérêts est la réalisation de systèmes multicibles. En effet, le système de défense aérienne opérationnel en 1980 nécessitait, pour le guidage terminal d'un missile, une

³ Amer : Repère terrestre ou marin visible destiné à la navigation maritime ou aérienne.

conduite de tir assurant la poursuite continue de la cible et, en conséquence, était monocible⁴ ; il était efficace sur la menace des années 1960.

En 1980, les attaques d'un objectif pouvaient être groupées et coordonnées pour saturer les moyens de défense et l'Occident tablait sur une supériorité numérique des avions soviétiques ; le besoin opérationnel d'un système multicible et non saturable était devenu vital.

Pour satisfaire ce besoin, il faut disposer d'une part d'un radar multifonction de surveillance multicible (antenne à balayage électronique ou TWS⁵) et poursuite, d'autre part d'un missile « tire et oublie ». Ce dernier doit être équipé d'une part d'un autodirecteur actif (ou infrarouge), qui ne peut assurer qu'une phase d'autoguidage final, avec sa portée réduite (ordre de 6 km), d'autre part d'une centrale inertielle à éléments liés pour assurer la phase de guidage mi-course. C'est la possibilité de réaliser ces trois équipements à un coût acceptable qui a été à l'origine des programmes antiaériens modernes : Mica et Aster en France et AMRAAM aux États-Unis.

Ce besoin de « tire et oublie » s'est manifesté aussi pour les antichars tirés d'hélicoptères ; en effet, le prix d'un hélicoptère moderne, comme le Tigre, et les progrès des sol-air de toutes les armées de Terre (surtout les SATCP) ont conduit à une attrition inacceptable pour un hélicoptère équipé d'un missile téléguidé. Cela résulte d'un démasquage nécessaire de l'hélicoptère, de l'ordre de 30 s pour le tir de ce type de missile, nettement supérieur au temps d'interception par un sol-air (10 à 15 s). En conclusion, un programme européen de missile autoguidé infrarouge TRIGAT (longue portée) a été lancé. Le missile hypervélocé, avec son temps de vol de l'ordre de 3 s (portée de 3 500 m), était une autre solution ; mais il est plus lourd (cf. chapitre 12).

Le tir à distance de sécurité (TDS)

Cette spécification pour les missiles anti-surface est liée aux progrès de la défense antiaérienne datant du début des années 1970. En 1980, ce besoin était satisfait par plusieurs catégories de missiles (cf. chapitre 9) :

- les antiradars et les antinavires à longue portée sont conçus depuis les années 1960, mais leurs objectifs présentent un contraste naturel pour l'accrochage de l'autodirecteur ;
- les missiles à guidage laser, conçus durant la deuxième période pour l'attaque des objectifs terrestres, sans contraste naturel radar ou infrarouge, sont aussi des missiles TDS ; mais, si leur précision est excellente, la distance minimale entre la cible et l'avion illuminateur est réduite (typiquement 5 km) ;
- le Martel (TV), produit en série en Grande-Bretagne en 1974, est un autre type de missile TDS, avec 36 km de portée (20 km de *stand off*) ; mais il ne fut pas retenu par d'autres pays et en particulier par les États-Unis, le besoin n'étant pas jugé prioritaire à cette époque.

⁴ Il faut deux (ou n) conduites de tir pour se défendre contre une attaque simultanée de deux (ou n) cibles.

⁵ TWS : *Track While Scan*, balayage mécanique avec poursuite sur informations discontinues.

Pour ces deux derniers types de missiles, c'est l'équipage, voire le pilote de l'avion tireur qui désigne la cible.

Au début des années 1980, la mise au point de centrales inertielles à éléments liés et de leurs moyens de recalage, utilisant la cartographie et les informations des satellites d'observation, ont permis, pour un coût acceptable, la conception de missiles tactiques « de croisière », à grande portée et ayant une précision de l'ordre de 50 à 100 m. Avec cette précision, l'armement de ces missiles ne pouvait être qu'un dispenseur de sous-munitions (anti-piste, antichar, mines...) et l'objectif visé devait être de grande dimension (ou une concentration de chars). La France, l'Allemagne et l'OTAN se sont intéressées à ce type de programme ; l'Apache anti-piste en est un exemple (cf. *infra*).

Mais l'armée de l'Air française continuait à faire confiance, pour ces objectifs, à ses armements classiques largués à basse altitude d'avions équipés d'une conduite de tir moderne et de contre-mesures ; elle estimait que l'attrition de ses avions due à la défense aérienne serait acceptable.

Les états-majors français ont en revanche tiré plusieurs leçons de la guerre du Golfe de 1991.

L'attrition des avions équipés d'armements classiques et survolant à basse altitude et de jour des objectifs défendus, même sommairement, était inacceptable (4 Jaguar touchés sur 12 lors du premier raid⁶). Le besoin de bombes guidées sur l'objectif défini par ses coordonnées (inertiel), pouvant être tirées à moyenne altitude et à faible coût (AASM⁷) est ainsi né.

Pour des objectifs non défendus par des SAMP, l'attrition des avions équipés d'armements laser TDS est acceptable, compte tenu du *stand off* et de l'altitude de tir d'environ 5 000 m ; l'efficacité sur des objectifs durcis est excellente, mais l'avion doit survoler le pays ennemi et le temps doit être clair.

Hors du pays attaqué, les Américains ont tiré, à partir de navires et de sous-marins, 291 missiles de croisière Tomahawk, en version conventionnelle, sur des objectifs opérationnellement très importants (durcis et ponctuels) : c'était une novation opérationnelle, car c'était surtout l'utilisation de la version nucléaire du Tomahawk qui était envisagée. Les quatre caractéristiques principales de ce missile sont la longue portée (absence possible de survol du pays ennemi), la bonne précision (de l'ordre de 10 m), la réduction des dégâts latéraux et la nécessité d'une préparation de mission. Le besoin de ce type de missile de croisière conventionnel, complété par un autoguidage final précis (quelques mètres), est devenu immédiat pour les armées de l'Air françaises et britanniques et le missile SCALP-EG (dérivé de l'Apache) a été conçu pour satisfaire ce besoin.

Enfin, l'intérêt du missile antiradar, pour des radars non localisés avec précision, a été confirmé. 2 000 missiles ont été tirés, en majorité par les Américains (le Harm) ; les Britanniques ont tiré quelques missiles Alarm.

L'offensive aérienne de l'OTAN, en août et septembre 1995, contre les forces serbes en Bosnie a confirmé les leçons indiquées ci-dessus, c'est-à-dire l'intérêt

⁶ Michel FORGET, *Puissance aérienne et stratégies*, ADDIM, 1996.

⁷ Programme français AASM (armement air-sol modulaire) : programme en cours de gestation, lancement prévu à la fin des années 1990. Aux États-Unis, le JDAM a été lancé en développement en 1993.

du Tomahawk (13 tirs ont détruit en quelques minutes les centres de communications), de l'antiradar (de nombreux Harm ont été tirés dès l'opération précédente réussie) et de l'armement guidé laser (avec en particulier 863 bombes tirées, dont des BGL françaises de 1 000 kg).

La défense antimissile (missiles balistiques conventionnels)

La guerre du Golfe, avec le tir de missiles Scud irakiens, a reposé la question, pour l'Europe, de son équipement avec une telle défense. Aucune décision n'était prise en 1995.

L'amélioration de la pénétration des assaillants : brouillage, leurrage, furtivité

Les systèmes de brouillage électromagnétique et les contre-mesures des missiles ont progressé, compte tenu des évolutions technologiques (composants hyperfréquences, logiciels). La guerre du Golfe a montré l'efficacité du brouillage des systèmes de défense aérienne.

L'équipement des avions avec un système de leurrage infrarouge intelligent (séquence de tir) a commencé dans les années 1970 et s'est généralisé dans les années 1980. La cause du besoin a été la profusion des missiles SATCP à autoguidage infrarouge ; les différents conflits (opération « Paix en Galilée » en 1982, par exemple) en ont montré la nécessité. La conception d'autodirecteurs mieux protégés et plus intelligents a été un sujet d'étude très important depuis 1980, et il est toujours d'actualité.

Enfin, le besoin de missiles de croisière et de missiles antinavires plus discrets est apparu au début des années 1980. Après l'utilisation par les Américains, lors de la guerre du Golfe, d'avions furtifs F 117, la problématique du niveau de furtivité des avions de combat des années 2020 est posée – et en conséquence celle de la défense aérienne.

La surveillance en temps réel du champ de bataille par drone

Dans les années 1970, Israël avait montré l'intérêt des drones. Dans les années 1980, la localisation précise d'objectifs (*targetting*) pour des tirs d'artillerie dans la profondeur, comme ceux du MLRS (*Multiple Launch Rockets System*), est devenue un besoin. La guerre du Golfe a confirmé que le besoin de la surveillance en temps réel était prioritaire.

L'efficacité des antichars contre les blindages actifs

Lors de la bataille de chars dans la plaine de la Bekaa, en 1982, où l'armée syrienne vit détruire environ 300 de ses chars russes T 62, les Israéliens découvrirent que quelques chars russes étaient équipés de blindages réactifs et qu'en conséquence, l'efficacité des missiles antichars existants était très amoindrie.

Ce type de blindage (sandwich acier/explosif/acier) est installé sur les structures des chars ; il contre le jet produit par la charge creuse, l'explosif du blindage détonant et projetant les plaques d'acier, qui déstabilisent le jet. Le

principe de ce blindage avait été inventé par l'ISL au début des années 1970. Mais son utilisation n'avait pas été retenue en Occident et l'invention avait été déclassifiée et publiée ! En effet, à l'époque, la mobilité du char semblait la meilleure protection et tout blindage supplémentaire devait le pénaliser.

Tous les missiles de la deuxième période durent, en conséquence, être modifiés (par exemple avec des charges en tandem).

Les munitions à risques atténués (MURAT)

Compte tenu des accidents graves rencontrés, par exemple, par trois porte-avions, entre 1966 et 1969, et occasionnés par l'explosion d'armements, la Marine américaine a décidé, en 1987, que les munitions stockées sur les navires devaient être rendues insensibles (non-détonation à l'incendie, au choc de type impact de balle et à la détonation d'une munition voisine). La France a adopté ce besoin et l'impulsion a été fournie par la décision d'équiper le porte-avions *Charles de Gaulle* uniquement avec des munitions « muratisées » (missiles Mica, Magic, Aster, Exocet...).

CHAPITRE 12

LES ACTEURS : LES SERVICES OFFICIELS

LA RESPONSABILITE ET L'ACTIVITE DE LA DTEN ET DU STET

L'évolution de leur responsabilité en matière de missiles tactiques

Durant cette troisième période, l'organisation des services officiels relative aux missiles tactiques a été peu modifiée par rapport à celle existante à la fin de la deuxième période.

En revanche, il y a eu des changements de nom. En 1984, la DTEN devient DEN (Direction des engins), puis en 1991 DME (Direction des missiles et de l'Espace), tandis qu'en 1991, le STET devient STSMT (Service technique des systèmes de missiles tactiques).

L'internationalisation a nécessité la création d'un Bureau des affaires internationales et la mise en place d'équipes de direction internationales de programme, constituées en partie de personnel du STET et chargées de la gestion des programmes en coopération.

En 1994, la DME et le STSMT sont devenus responsables de l'ensemble des missiles tactiques, avec le transfert de la responsabilité des programmes antichars : ces derniers ont quitté le giron de la DAT (Direction des armements terrestres). Auparavant, le STET et ensuite le STSMT n'avait que le rôle d'expert pour le guidage et la propulsion.

Compte tenu de cette dernière concentration de responsabilités et pour simplifier la présentation, toute l'activité officielle relative aux programmes est regroupée dans cette partie ; mais le rôle de la DAT sera signalé pour les programmes concernés.

Les études générales

La préparation de l'avenir spécifique aux missiles a continué à être l'une des priorités du STET. Les thèmes principaux ont été les suivants :

- Autodirecteur actif *pulse doppler* pour antiaérien (Mica et sol-air), de 1979 à 1984. Un point dur était la mise au point de diodes au silicium puissantes pour réaliser l'émetteur à état solide ; les études furent confiées à Thomson-CSF (composants), mais l'objectif envisagé ne put être obtenu (cf. chapitre 13, EMD). L'étude et la réalisation d'une maquette d'un autodirecteur capable d'essais en vol porté et de deux prototypes pour tir ont été commandées à chacune des deux sociétés EMD et Thomson-CSF. Les bons résultats ont permis le lancement du Mica en 1985 avec un AD EMD.
- Autodirecteur antiradar moderne (successeur du Martel) : malgré de très bons résultats obtenus lors des études et des expérimentations, confiées à EMD et à Matra, aucun programme ne fut lancé, pour des raisons budgétaires.

- Autodirecteurs bimode (électromagnétique et infrarouge). Des études ont été effectuées de 1990 à 1994, dans le cadre d'un accord franco-allemand de coopération sur les recherches.

À partir de 1990, une étude technologique d'un autodirecteur bimode (millimétrique actif et infrarouge) pour un missile air-sol fut entreprise ; les industriels impliquées furent Thomson-CSF, BGT et TST (*Telefunken Systemtechnik*).

À partir de 1992, un développement exploratoire ayant pour objet un missile antiradar léger d'autodéfense a été mené, ainsi qu'une étude technologique de l'autodirecteur ; plusieurs sociétés ont été impliquées : Matra et BGT pour le missile, Dassault Électronique, SAT, BGT et TST pour l'autodirecteur Sprint. En 1995, aucun accord pour le lancement d'un programme n'était prévu. L'AD bimode reste pourtant un objectif d'avenir qui mériterait d'être poursuivi.

- Missile Polyphème à fibre optique. Dans le cadre d'une coopération franco-allemande, ce concept a fait l'objet d'un programme d'études technologiques, réalisé par les sociétés Aérospatiale et MBB et se déroulant de 1984 à 1988. Après une compétition avec l'association Matra-Rheinmetall, les deux premières sociétés citées obtinrent le lancement, en 1994, d'un programme de démonstration devant durer trois ans et comportant des tirs de missiles expérimentaux¹. L'Italie s'est jointe en 1994 à ce programme. Un futur programme, avec une portée pouvant atteindre 60 km, est envisagé.
- Drone de brouillage des télécommunications (Algue). L'étude et un développement exploratoire d'un tel drone furent confiés, de 1993 à 1995, à Matra, le brouilleur étant étudié par Thomson-CSF, sous la responsabilité de la SEFT. Des essais en vol eurent lieu avec succès et les résultats devraient être utilisés pour un futur programme.
- Statoréacteur : les études de mise au point de nouveaux concepts, démarrées en 1972 (cf. chapitre 7, DTEN), ont continué. Pour préparer la propulsion de l'ANS (antinavire supersonique) avec un stato à kérosène (avec hydrocarbure lourd), et ensuite celle de l'ANF (antinavire futur) et du successeur de l'ASMP, deux développements exploratoires furent confiés à l'Aérospatiale, dont le dernier, Vesta (vecteur statoréacteur), de montant important, devait commencer en 1996.

L'étude et le développement exploratoire du statofusée rustique (brevet ONERA)² furent confiés à Matra, avec la coopération de l'ONERA, de la SNPE et de Celerg. L'utilisation envisagée était d'une part l'antiaérien, avec une croisière à Mach 3 et une capacité acceptable en manœuvrabilité, d'autre part

¹ En avril 1997 eut lieu un tir réussi avec impact sur un camion situé à 16 km.

² Cette solution est fondée sur un accélérateur intégré, un propulseur sans tuyère mécanique et un combustible solide autopyrolysable brûlant à une pression qui dépend de la vitesse et de l'altitude du missile ; elle permet la réalisation d'un ensemble de très grande simplicité et de faible diamètre, 180 mm par exemple. Cf. *Revue scientifique et technique de la Défense*, 1998 (numéro spécial consacré à la recherche aéronautique).

l'antiradar. 7 tirs satisfaisants du DE MPSR (modèle probatoire de statofusée rustique) furent effectués durant les périodes 1981-1985 et 1990-1995. La proposition du Samat 3 (cf. *infra*), en 1985, comportait un tel stato ; ce type de stato pourrait aussi équiper un futur air-air.

- Furtivité pour les missiles de pénétration. Des études furent lancées dès 1986 chez les deux missiliers français, avec la coopération de l'ONERA : études théoriques, mesures, mise au point de matériaux absorbants et étude des formes du véhicule. Les deux missiliers furent chargés de réaliser une maquette de véhicule air-sol dit EPF (engin de pénétration furtif), furtif en électromagnétique et en infrarouge, d'échanger leurs résultats et d'en déduire un véhicule commun. Les résultats furent très prometteurs ; ils furent utilisés en partie sur Apache, car depuis 1995, la « nouvelle donne », pour les missiles tactiques, est un compromis entre le coût et la furtivité. La plupart des missiles français futurs tiendront compte de ces résultats.
- Hypervélocité des missiles (vitesse d'arrivée sur la cible supérieure à 1 600 m/s). Ce fut un axe d'études à partir des années 1980 ; l'objectif prioritaire était l'antichar, car un tel missile peut percer le blindage, par l'effet de l'énergie cinétique de son pénétrateur ; la mission anti-hélicoptère, ce dernier se démasquant un temps court, était aussi prévue. Les études menées par les deux missiliers avec la SNPE ont visé d'une part la mise au point d'un propergol adapté et discret, permettant la liaison laser entre le poste de tir et le missile, d'autre part le pilotage et le guidage par faisceau laser. Un développement exploratoire associant l'Aérospatiale et Matra et comportant le tir en vol d'un prototype sans guidage a été lancé en 1994 et devait s'achever en 1997³. Des échanges d'informations ont lieu avec l'Allemagne. En 1995, il n'y avait pas de programme prévu, l'antichar n'étant plus prioritaire.
- Matrices de détecteurs plans focaux IR-CCD. Sans être spécifiques aux systèmes d'armes à base de missile, elles ont permis la réalisation d'autodirecteurs à imagerie, comme ceux du Mica et du TRIGAT (LP). Un effort financier très important de la DGA (la DRET étant la direction pilote) a permis la création, en 1978, du Laboratoire infrarouge (LIR)⁴, qui a apporté ses compétences sur les nouvelles technologies (épitaxie liquide de matériaux, par exemple). L'association des compétences du LIR, de celles de la SAT (détecteurs IR) et de la Thomson-CSF (circuits CCD à transfert de charges) a permis, dès 1983, la réalisation des premières matrices de 512 éléments.
- Préparation du Mica et de l'Aster : des DE de montants élevés furent réalisés ; nous en parlerons dans les paragraphes consacrés à ces missiles.

³ Un tir en vol fut réalisé avec succès en 1997 (vitesse atteinte : 1 630 m/s) ; le concept était validé.

⁴ Le LIR est né d'un accord entre la DGA et le CEA : il est issu du LETI, l'un des laboratoires du CEA.

Durant cette troisième période, les budgets consacrés à la préparation de l'avenir ont été très importants. Mais l'évolution des besoins ou la réduction des budgets de développement résultant de l'effondrement de l'Union soviétique n'ont pas permis le lancement de certains programmes, comme l'antiradar, dont la faisabilité était pourtant démontrée.

Les programmes lancés en développement (ou devant l'être prochainement)

Ils ont été nombreux, même si plusieurs programmes furent développés sans être mis en service, du moins en France (cf. *infra*, épilogue). Les programmes suivants furent lancés en développement :

- SATCP Mistral (nouveau programme) : programme national interarmées lancé en décembre 1980, après compétition nationale, et mis en service en 1989 ;
- MLRS phase 3, ou TGW (*Terminal Guided Weapon*) : nouveau programme en coopération entre les États-Unis (leader), l'Allemagne, la Grande-Bretagne et la France. La phase de conception commença en 1981 ;
- antichar courte portée Eryx : nouveau programme national pour un missile, lancé en 1982 en autofinancement, suivi d'un contrat en 1986, et mis en service en 1991 ;
- air-air Mica (programme national de quatrième génération) : lancement en 1985 (version EM) après des études de préparation depuis 1978 ; production en série en 1996 ;
- antichars de troisième génération TRIGAT (MP et LP), en coopération tripartite (France, Allemagne et Grande-Bretagne) : lancement en 1988, après des études de préparation depuis 1976 ;
- missile lance-torpille Milas (missile de lutte anti-sous-marine) de deuxième génération (successeur du Malafon), en coopération franco-italienne : lancement en 1988 ;
- famille de missiles sol/surface-air futurs (FSAF), avec missiles Aster (successeurs du Hawk et du Crotale) : lancement national interarmées en 1987, après compétition nationale, puis coopération avec l'Italie, avec lancement définitif en 1990. En 1995, le Royaume-Uni montre de l'intérêt pour le système naval. La mise en service est prévue dans les années 2000 ;
- missile air-sol de croisière anti-piste Apache (nouveau programme national) : lancement en 1989, mise en service prévue à la fin des années 1990 ;
- drone de surveillance Brével (nouveau programme, aussi nommé ALT), en coopération franco-allemande : lancement en 1992 ; puis lancement, en 1993, d'un programme national intérimaire Crécerelle, en parallèle au Brével ;
- missile air-sol de croisière avec guidage terminal SCALP-EG : programme national avec compétition. À la fin de 1994, une solution dérivée d'Apache est choisie. En 1995, le projet définitif est établi pour un lancement urgent ;
- missile antinavire futur ANF (supersonique, successeur de l'Exocet) : une coopération était souhaitée avec l'Allemagne. L'étude de définition fut lancée en 1995, après une étude de faisabilité (programme ANS) démarrée en 1985 et abandonnée en 1992 ;
- programmes d'amélioration des systèmes de SACP : il s'agit du lancement, par Thomson-CSF, du Crotale NG (Nouvelle Génération) et de la valorisation du système Roland.

LA COOPERATION TRIPARTITE

Programmes AC3G (antichar de troisième génération), missiles TRIGAT

Pour ces programmes, la direction menante était la DTAT, la DTEN intervenant comme expert pour le guidage.

En 1976, le Royaume-Uni s'associa à la France et à l'Allemagne par l'acquisition de la licence du Milan et par un accord sur le développement de la troisième génération en coopération trilatérale ; cette génération était caractérisée par l'emploi de techniques nouvelles de guidage.

Le programme a été cadencé en phases, suivant la méthode allemande :

- de 1976 à 1979, ce fut une phase d'études exploratoires, qui a abouti à l'établissement de l'objectif d'état-major et au recensement des voies techniques à explorer ;
- de 1979 à 1982, s'est déroulée la phase de faisabilité. Le GIE EMDG fut créé (*Euromissile Dynamic Group*) : il réunissait l'Aérospatiale, BAe Dynamics et MBB ; il fut chargé de la responsabilité des études. Le concept de chaque version, la moyenne portée (MP) et la longue portée (LP), fut établi ;
- la phase de définition commença en 1983 et comporta la réalisation de maquettes ;
- le lancement du développement eut lieu en 1986 pour la version MP et en 1988 pour la version LP.

La version MP était fondée sur un guidage par faisceau laser, plus moderne que le téléguidage semi-automatique du Milan, mais nettement plus cher.

La version LP était plus innovante : c'était une missile « tire et oublie » équipé d'un autodirecteur infrarouge à imagerie, accroché avant le tir. Cette version était destinée d'une part à l'armement principal de l'hélicoptère antichar, objet d'une coopération franco-allemande (Tigre HAC) et d'autre part à l'armement de véhicules terrestres.

Pour la version MP, la Belgique et les Pays-Bas sont entrés en 1989 dans le programme, comme nations associées et en finançant 10 % du développement. En 1995, le programme avait 18 mois de retard, suite à des difficultés techniques. Mais le fait le plus lourd de conséquences fut le contrecoup des événements de 1991 : d'une part la diminution des besoins globaux des cinq pays (70 000 au lieu de 210 000 missiles) et du marché à l'exportation, d'autre part un étalement du programme, avec un report à 2003 de la première livraison.

Pour la version LP, les conséquences furent plus graves : dès septembre 1991, le Royaume-Uni demanda une réduction de sa participation à partir de 1993, d'où un retard de deux années, en cumulant la réorganisation et le retard technique. En 1994, les besoins globaux furent ramenés de 100 000 à 10 000 missiles ; la première livraison était également prévue en 2003.

La Cour des comptes considérait, en avril 1994, que l'avenir de ce missile ne pouvait être considéré comme garanti⁵. De plus, pour l'équipement de son armée de Terre, le Royaume-Uni, en juillet 1995, donna la préférence à l'hélicoptère Apache américain avec son missile associé, Longbow, par rapport au Tigre avec son missile TRIGAT : cela représentait un nouveau coup dur pour le TRIGAT.

La durée de 20 années entre la phase de définition et la mise en service prévue a été trop longue.

La coopération tripartite (et même à cinq pour le MP), sans autorité menante, a une part de responsabilité dans cette durée ; en outre, elle a entraîné des surcoûts inévitables, avec le découpage des tâches pour respecter une équité à la fois sur la qualité et sur l'intérêt des prestations de chaque partenaire.

Cette durée n'a pas permis de prendre en compte les évolutions technologiques et elle a avangé la concurrence, avec, pour la version MP, la réalisation d'un missile autoguidé « tire et oublie » : le missile américain Javelin.

Enfin, ces programmes sont handicapés financièrement : leurs marchés se sont effondrés après un lancement dans une période où l'antichar était prioritaire.

LA COOPERATION TRANSATLANTIQUE

La politique du « two way street » et la création du concept Mica

En 1977, c'est le début de l'administration Carter, avec William Perry comme secrétaire à la Défense. Cette administration voulait réduire les crédits de développement par l'instauration d'une coordination au sein de l'OTAN et par le partage des programmes d'une famille entre les Américains et les Européens. La responsabilité du développement de la « moyenne ou longue portée » serait confiée aux Américains, tandis que celle de la « courte ou moyenne portée » irait aux Européens. Il y aurait cession de licence et chaque continent produirait en série. Il y aurait une symétrie parfaite : c'est le *two way street*.

Le plan Perry a été présenté officiellement aux Européens à la fin de 1978. Pour l'antichar de troisième génération, le créneau de la moyenne portée (successeur du Milan) irait aux Européens et celui de la longue portée (successeur du Hot et du Tow) aux Américains. Pour l'air-air de quatrième génération, le créneau du missile infrarouge de combat ou de courte portée (ASRAAM, successeur du Magic et du Sidewinder) irait aux Européens et celui du missile électromagnétique à moyenne portée « tire et oublie » (AMRAAM, successeur du Sparrow et du Super 530) aux Américains⁶.

Pour l'antichar, les trois pays européens refusèrent le partage proposé : en effet, ils avaient décidé, en 1976, de coopérer pour réaliser la troisième génération et ils avaient commencé des études de faisabilité des programmes AC3G. De

⁵ Olivier DARASSON, *Les missiles tactiques*, rapport de la Commission de la Défense, Assemblée nationale, n° 1845, 1994.

⁶ ASRAAM : *Advanced Short-Range Air-to-Air Missile* ; AMRAAM : *Advanced Medium-Range Air-to-Air Missile*.

plus, les pays européens considéraient que le missile antichar était l'un de leurs domaines d'excellence et les relations, pour l'armement, entre les armées de Terre américaines et européennes étaient limitées. Finalement, la famille AC3G fut développée et les Américains améliorèrent leurs missiles.

Pour l'air-air, la situation était différente entre la France et les deux autres pays européens. L'Allemagne et le Royaume-Uni étaient équipés de missiles américains : le Sidewinder, fabriqué sous licence par les Allemands, le Sparrow et le Sky Flash, dérivé du Sparrow et produit par les Britanniques (cf. chapitre 9). Ces deux pays acceptèrent la proposition américaine, car elle devait leur permettre de développer un missile infrarouge sans concurrent américain.

En France, les services officiels (le DGA, M. Martre, la DTEN et la DTCA) et les industriels concernés (GAMD et Matra) n'apprécièrent pas la proposition américaine : elle les privait de la responsabilité du missile à moyenne portée et, en conséquence, les rendait dépendants des États-Unis pour l'exportation des futurs avions de combat. Mais l'hostilité était moins prononcée pour une coopération européenne sur un ASRAAM et le DGA ne voulait pas rompre avec le gouvernement américain – en 1979, avec le président Giscard d'Estaing, la politique était favorable à l'atlantisme.

En mai 1979, la Matra proposa le concept du missile Mica (missile d'interception et de combat aérien) : un seul véhicule, avec guidage mi-course, et deux AD interchangeables, électromagnétique actif et infrarouge – concept capable de satisfaire les deux missions et ayant un coût total de développement inférieur à celui de deux missiles différents. Le dilemme était résolu : le concept Mica fut adopté officiellement et présenté aux partenaires, qui acceptèrent la position différente de la France.

En 1980, un MoU fut signé par les quatre pays, la France ayant le statut d'observateur ; il y eut un échange d'informations sur les développements des missiles, y compris sur le Mica, jusqu'en 1990. L'AMRAAM fut adopté par l'Allemagne et la Marine britannique, mais il ne fut pas fabriqué en Europe. En revanche, le Royaume-Uni et l'Allemagne ne purent se mettre d'accord sur la définition d'un ASRAAM et ils développèrent chacun un missile ; les États-Unis développèrent aussi leur missile ASRAAM (cf. chapitre 14).

La proposition du *two way street* semblait pleine de bonnes intentions ; mais c'était un leurre conduisant la France et les autres alliés à être dépendants des États-Unis.

La coopération sur le Multiple Launch Rockets System

Pour ce programme, la direction menante était la DTAT, la DTEN intervenant comme expert pour le guidage.

À la fin des années 1970, les Américains commencèrent à développer cet armement destiné à l'artillerie en profondeur : tir saturant de roquettes de 35 km de portée et comportant des sous-munitions conventionnelles (« orgues de Staline »). Ils proposèrent une coopération à l'OTAN ; les trois pays européens acceptèrent d'y participer, la France abandonnant son projet Syra.

Le MoU, signé en 1979, prévoyait trois phases :

- phase 1 : production en Europe du système de base, développé par les Américains ;
- phase 2 : développement d'une sous-munition à mines antichars par les Allemands ;
- phase 3 : développement d'une sous-munition intelligente antichar (TGW) par les quatre pays, avec un financement identique pour chaque pays et avec la gestion du contrat par les Américains.

Pour la phase 3, cinq consortiums internationaux furent créés. Nous ne citerons que les trois principaux : Hughes avec EMDG ; MDTT ou Martin Marietta, Dielh, Thorn Emi et Thomson-Brandt (et CSF) ; Raytheon, Marconi, Matra, Rheinmetall et Telefunken.

La compétition commença par des propositions de concept (de 1981 à 1982) ; c'est le concept proposé par le *team* Raytheon qui fut choisi : un missile de 20 kg équipé d'un autodirecteur actif millimétrique accrochant la cible durant une phase de recherche à 500 m d'altitude et d'une charge creuse.

La compétition continua, de 1982 à 1984, avec l'établissement de propositions fondés sur le concept retenu⁷ pour le guidage et sur deux charges en tandem ; c'est la proposition du *team* Martin Marietta qui fut retenue. Pour le choix, le poids des Européens fut faible face à celui des Américains.

Le projet était très innovant, et le planning ainsi que le coût ne furent pas respectés ; mais la validité technique fut prouvée avec le tir historique, pour l'artillerie, du 12 février 1994 : après un vol balistique de 20 km, une roquette a éjecté deux sous-munitions qui ont détecté puis ont atteint chacune leur char objectif⁸.

En 1992, les Américains annoncèrent leur retrait de la phase 3 et révélèrent que leur choix s'était porté sur une munition développée en parallèle, dans un *black program*, et nommée BAT (*Brilliant Anti-armor Technology Submunition*). Compte tenu de la réduction de la menace antichar et des restrictions budgétaires consécutives à l'effondrement de l'Union soviétique, les différents participants se retirèrent et la France dut arrêter, en 1995, le programme de la sous-munition intelligente. De toute façon, sans le marché américain, le prix de production aurait été prohibitif.

Finalement, la production européenne du MLRS (phase 1) continua et la technologie des autodirecteurs millimétriques avait progressé. De plus, de nombreux groupes européens avaient vu de près les méthodes américaines de développement. On retiendra cependant que les États-Unis avaient marqué leurs réticences à partager avec l'Europe la technologie novatrice et riche pour l'avenir des autodirecteurs millimétriques.

Le projet de coopération sur le MSOW (Modular Stand Off Weapon) et le lancement d'Apache

Au début des années 1980, ce sont des industriels européens produisant des armements aériens de dispersion de sous-munitions (non propulsés et non

⁷ En cas de dépassement prouvé des dépenses par rapport à la proposition, les Américains payaient dans une certaine limite (budget maximal fixé par le MoU), mais le bénéfice était réduit.

⁸ *L'Armement*, n° 42, mai 1994.

guidés) qui s'intéressèrent les premiers à des cargos TDS propulsés et avec un guidage inertiel (modularité des tronçons de munitions, en reprenant le principe des bombes guidées).

Matra (produisant Bélouga et Durandal⁹) et MBB (produisant des sous-munitions pour un énorme dispenseur fixe sous Tornado et désirant en dériver pour la Suède un cargo largué d'avion, le CWS, *Container Weapon System*) s'étaient associées, en 1983, pour développer un démonstrateur air-sol anti-piste, appelé Apache 10 / CWS ; deux tirs avec guidage inertiel furent effectués, avec succès, en juin 1987, avant le Salon du Bourget. Dornier, avec Thomson-Brandt puis l'Aérospatiale, s'étaient aussi associés, en 1985, pour proposer le Mobidic.

Les services officiels français et allemands étaient intéressés et envisageaient une coopération. Les Italiens étudiaient aussi un projet. Aucun projet similaire ne semblait être envisagé aux États-Unis ; mais ils produisaient le missile de croisière Tomahawk, capable d'une charge nucléaire et d'une charge conventionnelle.

En 1986, les Américains proposèrent à l'OTAN de coopérer pour définir et ensuite pour développer un tel armement, appelé MSOW. Sept pays donnèrent leur accord (s'ajoutaient aux quatre pays habituels le Canada, l'Espagne et l'Italie) et des consortiums internationaux furent créés. Les Américains avaient pris le *leadership* ; les fonctions nobles du système devaient être réservées aux sociétés américaines. Une coopération européenne ne pouvait plus être envisagée par les Allemands.

Les Français n'appréciaient pas d'être dépendants de six pays pour leurs exportations. À la fin de 1987, encouragée par les services officiels, Matra proposa à l'Aérospatiale une association pour promouvoir un programme national nommé Apache 50, Matra étant le leader. L'accord des services officiels fut donné en 1988 (date de l'accord du ministre de la Défense, M. Giraud).

Après la défection de la France, suivie par celle du Canada, les Américains révélèrent qu'ils développaient depuis 1986 un *black program*, le TSSAM (*Tri-Service Standoff Attack Missile*). Finalement, les Américains annoncèrent leur retrait et le MSOW fut enterré en 1989. Ainsi, l'intention probable des Américains, en 1986, était de détruire une éventuelle coopération européenne sur un produit prometteur.

Conclusion sur la coopération transatlantique

Elle fut un échec, les États-Unis en étant le responsable majeur. Ces trois expériences ont peut-être montré à certains pays européens les limites des relations avec les États-Unis et milité pour une coopération européenne.

LES PROGRAMMES NATIONAUX, AVEC LEURS COMPETITIONS NATIONALES

Le programme air-air Mica, les antichars et le futur antinavire n'ont pas fait l'objet de compétitions, compte tenu de la trop grande expérience de Matra et de l'Aérospatiale dans leurs domaines respectifs.

⁹ Bélouga : armement Matra de dispersion de grenades Brandt. – Durandal : bombe de pénétration anti-piste, exportée aux États-Unis.

SATCP Mistral

Comme nous l'avons indiqué plus haut (chapitre 9), les Américains et les Soviétiques développaient, depuis les années 1960, des missiles SATCP « tire et oublie » et épaulables, c'est-à-dire utilisables par des commandos. Les armées de l'Air et de Terre françaises désiraient s'équiper avec un tel type de missile : ce serait le dernier recours pour la défense des bases aériennes par « les cuisiniers » et la défense d'objectifs ponctuels incompatible en coût avec une défense SACP.

En 1977, l'évaluation élimina les systèmes canons missiles et montra que l'efficacité des missiles épaulables était limitée, du fait de leur charge trop réduite ; en revanche, une munition « tire et oublie », pesant environ 24 kg (avec son tube) et tirable d'un trépied, pouvait être portable et très efficace.

En 1978, une fiche-programme interarmées relative à une telle munition, qui était une novation, fut adoptée. La Marine s'était ralliée à ce besoin. Un programme national était la seule voie, les Allemands désirant fabriquer sous licence le missile américain Stinger.

Il y a eu deux consultations, avec au début cinq industriels concernés. Deux industriels (SEP et Thomson-CSF) ont été éliminés lors de la première, en 1978. Des propositions techniques et financières ont été remises à la fin de 1979 par les sociétés Aérospatiale, Matra et Thomson-Brandt ; elles comportaient toutes un autodirecteur infrarouge SAT, un projet d'AD infrarouge d'EMD n'ayant pas été retenu. Les trois dossiers étaient valables. Le projet Matra, appelé Mistral, fut choisi en septembre 1980. Les raisons du choix ont été indiquées par le directeur de programme :

- le projet Matra a été jugé techniquement le meilleur ;
- avec le Magic, cette société était la seule ayant l'expérience de l'autoguidage infrarouge ;
- les prix proposés étaient sensiblement équivalents à ceux des autres projets ; c'était l'un des points majeurs, car à cette époque, l'EMAT était favorable à l'Aérospatiale, compte tenu du succès de ses antichars.

Le contrat de développement fut notifié en décembre 1980.

Le développement rencontra de nombreuses difficultés, qui furent surmontées. Techniquement, le projet comportait des solutions non mûres, qui avaient été retenues pour respecter les spécifications de masse et de portée :

- l'auto-rotation en autoguidage, pour un missile de 20 kg, provoquait des couplages parasites qui réduisaient les performances aérodynamiques et celles du guidage ;
- l'irdôme pyramidal, composé de plaques planes de matériau IR (bande 2) et collées, n'avait jamais été réalisé.

En outre, le prix proposé en 1979 ne put être respecté pour deux raisons. D'une part, la technologie et la définition des principaux équipements, comme l'autodirecteur et la fusée de proximité, ayant été mal appréciées, les prix avaient été sous-évalués. D'autre part, le marché en 1990 était inférieur à celui prévisible lors de la remise de la proposition. La négociation entre l'État et Matra fut rude ; ensuite, la pression du marché à l'exportation a pu contenir la tendance à la dérive des coûts.

Bref, ce missile novateur n'avait pas été assez « préparé ». Il entra finalement en service en 1990, dans les trois armées françaises (portable, équipement de divers véhicules et de navires, armement d'hélicoptère en air-air), et il est considéré comme une réussite exceptionnelle, en France comme à l'exportation¹⁰.

Antichar courte portée Eryx

La direction menante était la DAT. Les armements en service, dans cette gamme de portée de 300 m, étaient des roquettes (LRAC 89 et Apilas). En 1980, l'EMAT émit des spécifications pour une arme de grande diffusion, présentant une efficacité accrue contre les nouveaux blindages, ayant une portée de 600 m et pouvant être tirée en espace clos et dans toutes les positions, le combat en zone urbaine devenant une mission. L'ensemble de ces spécifications ne pouvait être satisfait que par un missile.

Après l'étude de différentes solutions, la DAT a retenu le missile proposé par l'Aérospatiale et nommé Eryx. Ce fut un programme national, les états-majors alliés ayant choisi d'autres solutions.

Eryx est un missile innovant, qui marque le début de la troisième génération des missiles antichars : c'est le premier missile moderne sans perche ; il est téléguidé en semi-automatique, comme le Milan, et il est très précis. Un autre de ses mérites est son prix, comparable à celui d'une roquette.

Le lancement du développement, du point de vue budgétaire, fut difficile : l'Aérospatiale l'a démarré en 1982, en l'autofinçant car elle ne désirait pas de coopération ; le chef d'état-major de l'armée de Terre décida de lancer le programme en 1985 et le contrat fut notifié en 1986 ; l'autofinancement fut de l'ordre de 50 %.

Eryx a été mis en service en 1991, après avoir surmonté quelques difficultés techniques. Il connaît un franc succès, n'ayant pas de concurrent, en 1995 (le Predator américain n'a été lancé qu'en 1990).

Air-air Mica (missile d'interception et de combat aérien)

Dans un cadre de coopération avec des sociétés américaines, Matra a commencé en 1975 les études de concept d'un missile « tire et oublie » avec un autodirecteur électromagnétique (cf. chapitre 13, Matra).

Le STET et l'EMAA comprirent immédiatement l'importance d'un tel projet ; un programme d'études générales et des développements exploratoires furent lancés :

- aérodynamique à grande incidence, 45° ;
- DE du vecteur probatoire avec essai de basculement de 90°, réussi en 1982 ;
- DE autodirecteur actif *pulse doppler*, avec réalisation de prototypes pour essais et tir (cf. *supra*) ;
- DE du vecteur, avec six tirs pour étude du pilotage et du guidage (mi-course inertiel et autoguidage).

¹⁰ Jugement officiel in Olivier DARASSON, *Les missiles tactiques*, rapport de la Commission de la Défense, Assemblée nationale, n° 1845, 1994.

Nous avons déjà indiqué que, pour répliquer à un projet des États-Unis, dit *two way street*, qui risquait de mener à l'élimination de l'industrie française, les services officiels, du STET au ministre, avaient décidé en 1979 de choisir un concept national, suggéré par Matra et nommé Mica.

Cette décision entraîna la nécessité d'étudier un système d'armes multicable pour le futur avion de combat. Au début des années 1980, la DTCA lança le « DE multicable » pour définir ce système d'armes ; il associait Dassault (AMD-BA), Thomson-CSF pour le radar de bord et Matra. C'est la base du système air-air qui fut adopté sur le Rafale, sur les Mirage 2000-5 français et exportés, sur le Mirage 2000-9... En 1984, sur fonds propres, Dassault lança l'étude de définition d'une version améliorée du Mirage 2000, le Mirage 2000-5, et Thomson-CSF commença le développement d'un radar multifonction ou multicable, RDY. Les industriels français voulaient proposer à l'exportation, dès le début des années 1990, un avion de combat multicable et compétitif, la vente des avions français de combat s'étant effondrée.

En 1983, le projet de missile, correspondant à la fiche-programme, était en état d'être lancé ; la masse du missile (110 kg) avait fait l'objet d'un accord avec Dassault pour une implantation à l'extrémité de la voilure, dans la mission de combat ; les aléas techniques devaient être réduits grâce aux études réalisées sur les éléments critiques, comme l'autodirecteur.

Matra désirait le démarrage du développement du Mica, pour être cohérent avec les travaux démarrés par les deux autres partenaires du « DE multicable » ; en outre, son concurrent, l'AMRAAM, se développait depuis 1979. L'EMAA voulait un lancement couplé avec celui de l'ACT national, appelé ultérieurement Rafale, c'est-à-dire en 1986 ou en 1987 ; mais la DEN soutenait Matra. Matra proposant un autofinancement important (de l'ordre de 20 %), un compromis intervint et le contrat du Mica électromagnétique fut notifié en décembre 1985 ; le choix des coopérants (propulsion et centrale inertielle) eut lieu en 1987 et la version infrarouge fut lancée en 1989.

Le développement se déroula sans difficulté importante. Le succès à l'exportation du Mirage 2000-5 et du Mica eut lieu rapidement, avec des livraisons prévues en 1996.

La France décida, en 1993, de transformer 37 avions Mirage 2000 RDI en version 2000-5 ; pour l'armement de ces avions et celui des Rafale français Air et Marine, la livraison de Mica devait débiter à la fin des années 1990. Le Mica connaît en outre le succès hors d'Europe.

En conclusion, il faut se féliciter du partenariat qui a existé entre les services officiels et les trois industriels concernés par le système d'armes aérien et qui permet à la France de posséder deux avions de combat multicable, le Mirage 2000-5 et le Rafale, compétitifs au plan mondial.

SSAF : systèmes de sol/surface-air futurs (SAAM et SAMP interarmées)

Au début des années 1980, la situation des SAMP et SACP navals était la suivante :

- les SAMP Hawk de l'armée de Terre, produits dans les années 1960 et plusieurs fois améliorés, devenaient obsolètes. Le Patriot américain ne convenait pas pour la défense d'un corps de bataille, qui était l'un des besoins français ;
- la Marine, équipée des SAMP Masurca et Tartar¹¹, était dans la même situation que l'armée de terre avec le Hawk ; l'achat du système moderne américain, Aegis, n'était pas envisageable, compte tenu de sa complexité.
- la question de l'autodéfense des navires « nobles » prévus pour une mise en service dans les années 1990 (comme le porte-avions *Charles de Gaulle*) se posait, du fait de l'évolution envisagée de la menace pour la fin des années 1990 (en particulier attaque saturante de missiles antinavires supersoniques et très manoeuvrants). Le Crotale EDIR, monocible et limité au temps clair, serait « dépassé » par cette menace. Nos partenaires se contentant d'améliorer leurs missiles, comme le Sea Wolf britannique, un développement d'un SAAM national adapté à cette menace était indispensable, compte tenu de l'importance de ces navires.

Une relève, dans les années 1990, pour ces trois programmes était donc nécessaire.

Dès 1974, le STET¹² avait choisi les deux sociétés Thomson-CSF (système et surveillance) et Matra (système et missile) pour effectuer des études de faisabilité des systèmes SAMP, dans le cadre de l'OTAN, puis dans un cadre franco-britannique et enfin, en 1980, en coopération avec l'Allemagne et le Royaume-Uni (projet Tri-SAM). Mais nos partenaires européens n'avaient pas l'intention de développer un programme de SAMP. L'Allemagne, ayant pour première priorité la défense de sa frontière vers l'Est, envisageait d'adopter le Patriot américain ; de même pour l'armée de l'Air italienne.

Toute coopération européenne semblant exclue, un développement national d'une famille de missiles multicible, comprenant un SAMP interarmées et un SAAM, s'imposait ; ce programme devait permettre à la France de revenir dans le domaine SAMP.

Suite au choix de Matra pour le Mistral, en 1980, l'Aérospatiale montra son intérêt pour ce futur programme SSAF ; elle voulait conserver une compétence dans le domaine antiaérien. En 1982, le DGA accepta une compétition pour la partie missile. Un accord, ayant pour objet de financer des études préliminaires et des expérimentations, eut lieu entre la DTEN et les deux sociétés Aérospatiale et Thomson-CSF ; le financement était de 500 MF pour chaque partie : pour l'époque, le montant global était jugé très important.

Ajoutons que les technologies nécessaires pour ces systèmes d'armes multicibles étaient sur le point d'être disponibles en France : antenne à balayage électronique et autodirecteur actif *pulse doppler*, étudié dans le cadre du missile Mica avec la double finalité air-air et sol-air.

¹¹ Il faut citer la décision américaine de ne pas assurer la logistique après 2005 pour le missile SM 1 du système Tartar.

¹² À cette date, la répartition des activités entre missiliers avait été déterminée par le directeur du STET, suivant les compétences : pour la SNIAS, les antinavires, donc le SM 39 et pour Matra, les antiaériens avec autodirecteur, donc le SAMP.

Finalement, le STET décida en 1983 de lancer une compétition nationale sur cette famille entre les deux missiliers, chacun étant associé avec Thomson-CSF pour la surveillance et le système.

Les deux projets de système remis en 1984, comportaient le même radar multifonction Arabel. Les missiles avaient des équipements communs et des performances similaires : tir vertical, centrale inertielle à éléments liés et autoguidage électromagnétique actif *pulse doppler*, dérivé du projet Mica.

En revanche, les véhicules des missiles étaient différents :

- la famille Matra, nommée Samat (sol-air Matra), était classique : deux véhicules adaptés à leur mission, avec une propulsion différente, dont un statofusée rustique pour le SAMP, et des charges de masse différente – mais des équipements de guidage identiques ;
- la famille Aérospatiale, nommée Aster, présentait deux originalités : un missile terminal commun et un étage d'accélération différant suivant la mission, l'accélérateur étant piloté et largable ; et un pilotage du missile commun, nommé PIF-PAF.

Une comparaison technique n'a pas sa place dans ce document. En bref, Aster devait avoir des distances de passage légèrement plus réduites, le temps de réponse du missile en fin de vol étant inférieur à celui du Samat ; mais le coût de série de l'Aster devait être nettement supérieur.

En 1985, la DEN demanda aux deux sociétés de s'associer pour développer la formule qu'elle choisirait ; les deux sociétés refusèrent. Il faut dire qu'à cette date, le climat politique ne poussait pas à une telle association, du fait de la peur, pour Matra, de faire l'objet d'une fusion.

En mars 1986, le ministre avalisa la proposition de choix de la DGA en faveur de l'Aérospatiale ; ce choix était appuyé par le chef d'état-major de la Marine. La solution la plus novatrice était très appréciée et l'Aérospatiale acceptait un très fort autofinancement ; en outre, l'expérience de Matra dans l'autoguidage pouvait être mise en doute, du fait des difficultés de développement rencontrées à cette époque sur le Mistral.

Le contrat de développement associant Thomson-CSF et l'Aérospatiale au sein d'un GIE fut notifié en 1987. Puis les Italiens demandèrent à s'y associer ; cette coopération fut bien accueillie (cf. *infra*).

Le missile air-sol de croisière anti-piste Apache

L'historique de ce programme national a été donné à propos du MSOW, car il fait suite à une tentative américaine de prendre le *leadership*, au sein de l'OTAN, pour ce type de missile prometteur.

Le contrat de développement fut notifié en juillet 1989 ; il faut noter qu'au début de 1988, la situation politique vis-à-vis de l'industrie d'armement avait évolué par rapport à celle en 1985 et que les deux missiliers avaient accepté de s'associer (Matra étant maître d'œuvre et l'Aérospatiale coopérant avec une part de 40 %, mais avec des paiements effectués directement par l'État et un partage des droits de propriété). La mise en service était prévue pour la fin des années 1990, Apache devant armer les avions Mirage 2000 D et Rafale.

C'est un missile discret, ayant les caractéristiques suivantes :

- masse de 1 280 kg et portée de l'ordre de 140 km ;
- conception modulaire : tronçon avant (équipements de guidage), tronçon arrière (propulsion par turboréacteur subsonique) et tronçon intermédiaire (armement de l'ordre de 500 kg) ;
- précision terminale de l'ordre de 50 à 100 m, compte tenu des deux modes de recalage : une corrélation entre la détection d'une part du profil altimétrique et d'autre part des images radar et des données mises en mémoire durant la préparation de mission ;
- conséquence de la précision : la mission anti-piste a été retenue ; l'armement est constitué de 10 sous-munitions anti-piste ; d'autres sous-munitions, comme des mines, ont été envisagées.

La guerre du Golfe a montré que la mission anti-piste était toujours importante pour la plupart des conflits ; mais ce n'était plus la mission prioritaire pour les missiles de croisière. Pour l'Apache, des commandes de l'armée de l'Air française sont toujours prévues, mais en petite quantité (100 exemplaires).

Le missile air-sol SCALP-EG : système de croisière à longue portée d'emploi général

Comme nous l'avons indiqué dans l'introduction, la guerre du Golfe a montré l'intérêt du missile de croisière tiré à grande distance de l'objectif (plus de 250 km) et très efficace contre des objectifs militaires de haute valeur, de faibles dimensions et durcis – ce qui nécessite, avec une charge unitaire conventionnelle, une distance de passage métrique ; un guidage terminal ainsi que les données de l'image de l'objectif, pour mise en mémoire, sont alors nécessaires.

Un grand intérêt s'est manifesté en France de la part des services officiels (DGA et états-majors) et des missiliers.

En 1991, l'EMA avait émis un besoin pour une arme de gestion de crise et autonome d'emploi : son but était de donner à l'adversaire un coup de semonce, en détruisant un objectif ponctuel significatif (ce qui impliquait une production en petite quantité, de 50 à 100 exemplaires, et un armement inexportable) ; son nom était APTGD (arme de précision tirée à grande distance).

L'EMAA avait aussi émis un besoin de missile anti-infrastructure (AI), mais de temps de guerre ou d'emploi général (EG), pour l'utilisation en concertation avec les alliés (donc avec un recalage GPS).

La 8^e loi de programmation, votée en juin 1994, avait retenu le programme APTGD ; c'était d'ailleurs le seul nouveau programme important de cette loi.

Les Britanniques, de leur côté, avaient émis, dès 1991, un RFI (*Request for Information*) international pour un programme nommé CASOM (*Conventionally Armed Stand Off Missile*) : le besoin était proche de celui de l'EMAA. Après l'arrêt par les Américains du TSSAM¹³, ils avaient émis un RFP (*Request for Proposal*) en décembre 1994, prévoyant une remise des offres le 30 mai 1995. Une interférence se manifesta entre ces trois projets de programme.

¹³ C'était le *black program* américain qui avait été lancé en 1986, durant la coopération MSOW.

Des projets très différents de missiles ont été proposés à la DGA, dès septembre 1993, par les deux missiliers français, malgré leur coopération sur l'Apache ; bien entendu, les portées étaient équivalentes et les charges unitaires étaient du même type.

Le projet de l'Aérospatiale était dans la lignée de l'ASMP et du successeur envisagé pour l'Exocet : véhicule supersonique (Mach 3), propulsé par statoréacteur et volant à haute altitude avant le piqué (nommé ASMP-C, C pour conventionnel) ; celui de Matra, Apache-C, était dérivé d'Apache : subsonique volant à très basse altitude (suivi de terrain) et effectuant une petite ressource pour accrocher l'autodirecteur. Le principe du guidage des deux missiles était identique : guidage mi-course inertiel suivi d'un autoguidage terminal infrarouge ; mais il y avait quelques différences :

- pour Matra, recalage de la centrale, comme pour Apache ; pour le projet Aérospatiale, absence de recalage, compte tenu du vol en altitude ;
- nécessité d'un accrochage de l'autodirecteur à plus grande distance et à plus grande altitude pour le projet Aérospatiale, de manière à obtenir le temps de vol minimum requis pour être précis.

En fait, l'ASMP-C ne visait que la mission de gestion de crise ; l'Apache-C, lui, envisageait les deux missions et son coût de série devait être inférieur.

Le ministre choisit le projet subsonique Matra ; cette décision a fait l'objet, le 15 décembre 1994, d'un communiqué de presse. Les arguments des deux missiliers sont cités dans le compte rendu de la commission de la Défense nationale réunie la veille, à la demande du ministre, pour auditer les deux missiliers¹⁴.

La solution subsonique présentait plusieurs avantages :

- une probabilité d'acquisition de la cible supérieure (plus faible distance d'accrochage et absence de traversée d'une couche nuageuse éventuelle) ;
- plus de discrétion ;
- moins de risques lors du développement et coût plus faible.

Ajoutons que le projet de Matra pouvait correspondre aux principales spécifications de l'appel d'offre britannique CASOM : des possibilités de rapprochement avec l'industrie britannique pouvaient être envisagées et ce point a dû peser dans le choix.

En compensation, l'Aérospatiale a obtenu une participation à l'activité, comme pour Apache, et le lancement d'une nouvelle étude de faisabilité d'un missile supersonique antinavire (ANF).

En janvier 1995, le projet est renommé SCALP (système de croisière autonome à longue portée) par l'État. Durant cette année-là, les services officiels français examinèrent tous les scénarios possibles compte tenu de leurs deux besoins, d'une certaine communauté avec la spécification britannique, des liens avec l'Allemagne et de leur budget. Le choix se porta, en avril 1996, vers la mission d'emploi général, en particulier pour des raisons budgétaires (le coût envisagé

¹⁴ Olivier DARASSON, *Les missiles tactiques*, rapport de la Commission de la Défense, Assemblée nationale, n° 1845, 1994. Le rapport de choix établi par la DGA et l'EMAA n'est pas connu, car il est classifié.

pour le SCALP était supérieur au budget) ; son nom est devenu SCALP-EG, avec une nouvelle signification pour le sigle SCALP (système de croisière à longue portée), consécutive à la suppression du qualificatif « autonome ». Bien entendu, Matra était favorable à ce choix de missile, car il répondait au RFP CASOM et pouvait probablement être exporté ; elle adopta le nom de SCALP-EG au lieu d'Apache-EG : en effet, Matra désirait garder le nom de SCALP, après le choix de la fin de 1994. Il restait à concrétiser cette décision par un contrat.

La suite de l'opération sera traitée dans le paragraphe consacré à la coopération franco-britannique, qui eut pour issue un missile identique commandé par les Français et les Britanniques (SCALP-EG et Storm Shadow).

Les améliorations des SACP terrestres Crotale et Roland

Au milieu des années 1980, les Américains lancèrent une consultation pour un SACP. Thomson-CSF décida, pour être plus compétitive, d'améliorer le système. Ce fut le Crotale NG (nouvelle génération), avec intégration sur un seul véhicule des fonctions de surveillance et de conduite de tir et réalisation d'un missile plus performant, nommé VT 1 et conçu par une société américaine (LTV, à l'époque).

Le programme ne fut pas retenu à la fin de 1987, mais Thomson maintint son association avec LTV : le Crotale (NG) est ainsi équipé d'un missile conçu par les Américains, qui devrait être fabriqué en Europe. Il doit équiper les armées françaises (Air et Marine).

L'armée de terre française ayant décidé, en 1991, de maintenir en service le Roland au delà de 2020, sa valorisation a été prévue :

- amélioration du système, à réaliser à partir de 1998 ;
- intégration du système dans un réseau de coordination ;
- adoption du missile VT 1 de Thomson-CSF, l'amélioration du missile Roland ne pouvant être envisagée pour des raisons budgétaires.

Ainsi, dans les années 2000, il n'existera plus qu'un missile SACP utilisé en France : le VT 1.

LA COOPERATION FRANCO-ALLEMANDE

Deux programmes, l'antivire ANS et le drone Brével, ont fait l'objet de nombreuses négociations entre les services officiels des deux pays, avec des hauts et des bas ; si un accord existait sur les besoins opérationnels, les possibilités budgétaires des deux pays ont rarement été « en phase » et leurs priorités n'étaient pas identiques : pour la DGA, c'était l'ANS et pour l'Allemagne le drone.

En plus de ces programmes, la coopération a concerné des études préparatoires : autodirecteur bimode, missile antiradar et missile à fibre optique Polyphème.

Il faut également noter l'évolution des liens industriels : en 1983, commençaient les premières coopérations de Matra avec MBB ; en 1995, les liens entre Dasa et l'Aérospatiale s'étaient relâchés.

ANS et ANF

Dès 1977, des discussions sur les spécifications des successeurs de la deuxième génération des antinavires (Exocet, Harpoon...) ont commencé dans le cadre du groupe de projet n° 16 de l'OTAN. En 1981, l'activité du groupe s'est arrêtée après le retrait, en 1979, des Américains et après le choix d'une solution supersonique par l'Allemagne, la France et le Royaume-Uni.

Les travaux ont continué entre l'Allemagne et la France, d'une part entre les services officiels et d'autre part entre l'Aérospatiale et MBB.

Pour les Français, la DGA et l'Aérospatiale, la solution supersonique fut la solution préconisée par rapport à l'autre solution qu'était le missile subsonique furtif, pour les raisons suivantes :

- elle présente plusieurs performances opérationnelles très intéressantes, comme la capacité accrue de pénétration des défenses, la longue portée en trajectoire haut-bas (150-200 km) et la capacité de destruction accrue avec la vitesse à l'impact ; mais l'augmentation de coût n'a pas été prise en compte ;
- la technologie du stato, suite à la mise au point de l'ASMP, était disponible et le stato était considéré comme un domaine d'excellence de la France ; mais un stato adapté devait être développé (un DE, déjà mentionné, fut réalisé) ;
- l'objectif industriel, partagé par la DGA, était de succéder à l'Exocet en barrant la route aux compétiteurs américains et de conserver l'avance opérationnelle et technique face aux nouveaux acteurs¹⁵ ;
- en outre, pour la DGA, la perspective de cette solution devait servir d'argument promotionnel pour la vente de navires à l'exportation, comme les frégates Sawari II.

Les Allemands agréèrent ce projet, tout en revendiquant l'adoption de la technologie allemande du stato, fondée sur un combustible au bore ; mais cette solution ne fut pas retenue.

À la fin des années 1980, l'accord de coopération sur l'antinavire supersonique (ANS) était prêt à être signé, les deux pays ayant les mêmes besoins opérationnels et calendaires : l'armement, en 2002, des futures frégates françaises Horizon et allemandes F 124.

Les atermoiements liés aux restrictions budgétaires commencèrent alors. En 1992, M. Joxe, ministre de la Défense, annula le programme, dans le cadre de la préparation du projet de la loi de programmation de la Défense 1992-1994. La crédibilité de la France vis-à-vis de son partenaire allemand était entamée.

Sur un projet similaire, mais moins coûteux, le ministre français de la Défense a donné, à la fin de 1994, son accord de principe sur le lancement du programme antinavire futur (ANF) dans le cadre de la loi de programmation 1995-2000, sous réserve d'une décision budgétaire définitive en 1997 ; une étude de définition a commencé en 1995, ainsi qu'un DE nommé Vesta. Mais le gouvernement allemand ne semble pas favorable à une coopération sur ce nouveau projet.

¹⁵ Olivier DARASSON, *Les missiles tactiques*, rapport de la Commission de la Défense, Assemblée nationale, n° 1845, 1994.

Drone de surveillance Brével – programme allemand KZO et français ALT (aérodrome léger télépiloté)

Au début des années 1980, l'armée de Terre a adopté une capacité de feux en profondeur (MLRS) sur des cibles ponctuelles. Cela a entraîné, dans une profondeur de 60 km, le besoin d'une surveillance permanente et en temps réel et d'une localisation précise de cibles. Seul un système fondé sur le drone peut réaliser cette mission. Pour être efficace, en plus du véhicule aérien discret et guidé sur un programme modifiable en vol, il faut une charge utile infrarouge, FLIR (*Forward Looking Infrared*) stabilisée et télépilotable du sol, une liaison peu brouillable pour la transmission de l'image en direct et des ordres et une station sol de contrôle exploitant en direct les images. C'est un système dont la sophistication dépend du type de liaison, du type de la charge utile et de l'importance des logiciels de la station.

Matra et MBB, intéressées par ce type de matériel, se sont associées, en 1983, pour faire la promotion d'un système à développer en coopération et devant satisfaire des spécifications communes ; il fut appelé Brével (Bremen Vélizy, soit la localisation géographique des deux divisions responsables des drones au sein de Matra et de MBB). Ce projet fut bien accueilli par les services officiels techniques et les états-majors.

La concurrence n'était pas éliminée. En Allemagne, de 1985 à 1987, s'est déroulée une étude de définition avec une compétition avec Dornier, associée aux Israéliens. Brével fut toutefois choisi à la fin de 1987. En France, une compétition, avec un achat au Royaume-Uni de son projet Phoenix, eut lieu en 1988 ; Brével fut retenu, les essais du Phoenix n'étant pas satisfaisants.

En avril 1989, les ministres allemands et français décidèrent de coopérer.

Durant les années 1989 et 1990, des spécifications très contraignantes furent adoptées et le MoU franco-allemand fut établi ; la proposition forfaitaire fut remise, en 1990, par le GIE Eurodrone créé paritairement entre les deux sociétés¹⁶ en décembre 1989.

Pour la signature de ce MoU, les atermoiements dus aux problèmes financiers commencèrent ; la différence avec l'ANS était la pression de l'Allemagne. En 1992, M. Joxe avait l'intention d'arrêter le programme ; mais, contrairement à l'ANS, Brével n'était pas cité dans le projet de la loi de programmation 1992-1994. Devant la réaction des Allemands (intervention du ministre allemand le 14 juillet 1992), M. Joxe accepta de revoir sa position si le budget était substantiellement réduit. Un « conclave » d'une semaine fut réuni entre les services officiels et les industriels ; à la fin de juillet, un accord sur une nouvelle proposition technique et financière était obtenu, avec une participation supérieure pour l'Allemagne.

¹⁶ En septembre 1989, lors de la création de Dasa, suite à l'absorption de MBB par Daimler Benz, le gouvernement obligea MBB à céder la division de Brême, qui avait la maîtrise d'œuvre des systèmes d'armes navals et les programmes de drones ; Dasa devait se limiter aux activités aérospatiales. C'est STN (Systemtechnik Nord), filiale du chantier naval Bremer Vulkan, qui a finalement repris les intérêts de MBB.

Le contrat de développement, de droit français, fut notifié au GIE en novembre 1992. La gestion du contrat fut confiée au BPPFA. La mise en service est prévue pour la fin des années 1990.

Il est certainement regrettable que les exigences les plus dures (niveau de brouillage et précision de localisation, par exemple), entraînant des augmentations de coût, n'aient pas été revues en 1992, malgré la nouvelle donne du futur champ de bataille ; le besoin avait évolué de « l'œil de l'artillerie » vers un outil de temps de crise. En France, le Brével eut une réputation de produit cher pour cette nouvelle mission.

Parallèlement au Brével, un appel d'offre international fut lancé par la DEN, en 1992, pour un système intérimaire, bon marché et livrable en deux années (avec peu d'exigences même sur la qualité et sur le brouillage). L'armée de Terre, jugeant indispensable d'être équipée rapidement de drones tout en considérant que son budget ne pouvait financer ce besoin, décidait l'expérimentation¹⁷ ! En 1993, le drone Crécerelle, proposé par SAGEM¹⁸, fut retenu. Les Allemands ont peu apprécié la politique de l'EMAT.

En 1995, les Français proposèrent une révision des spécifications du Brével ; mais les Allemands refusèrent.

L'adaptation d'Apache au Tornado

Après l'intermède du MSOW (cf. *supra*), l'Allemagne avait toujours besoin d'un missile du type d'Apache (programme MAW) : elle décida, en novembre 1992, d'adopter l'Apache anti-piste. Le MoU de coopération prévoyait une coproduction d'Apache, le financement allemand de son adaptation au Tornado et le projet de développement de la version dite « d'interdiction de zone » (mines). Un GIE MAW-Apache fut créé entre Matra et Dasa pour diriger cette opération. L'adaptation fut réussie, mais Dasa n'était pas satisfaite, n'étant pas au même niveau que Matra, conceptrice du missile.

Dasa désirait ne pas être absente du domaine du missile de croisière : elle décida de répondre à la consultation britannique CASOM de 1994, et proposa un missile, dérivé du cargo développé pour les Suédois, nommé Taurus. Cela envenima les relations avec Matra ; cette dernière, désirant coopérer avec BAe pour le CASOM, ne pouvait proposer à Dasa une part de travail importante. Le projet Taurus n'ayant pas été retenu par les Britanniques, l'Allemagne décida de le développer en coopération avec la Suède (pour le Gripen).

En 1995, la France retardant le financement de sa part pour l'industrialisation d'Apache, les Allemands menacèrent de résilier le MoU, entraînant l'arrêt du GIE (ce qui eut lieu à la fin de 1996) ; la France n'avait plus l'intention de poursuivre le projet de la version « interdiction de zone » d'Apache.

¹⁷ De 1986 à 1992, la STAT (Section technique de l'armée de Terre) a développé, sans lien avec la DGA, un véhicule expérimental : le Mart. La notion de système n'était pas considérée.

¹⁸ En marge des missiliers, le secteur des cibles et des drones a vu se multiplier les projets de plusieurs sociétés, comme CAC, qui a obtenu un certain succès avec ses cibles aériennes Fox, destinées à l'entraînement des SACP et des SATCP. SAGEM y a pris place, du fait de sa compétence en matière de navigation et de visualisation.

Conclusion sur les relations franco-allemandes

En 1995, le climat de la coopération franco-allemande était très dégradé. La France avait sa part de responsabilité ; mais une autre cause était la réduction drastique du budget de la défense de l'Allemagne, dès 1991, suite à la décision de la réunification.

LA COOPERATION FRANCO-ITALIENNE

À partir de 1985, la DME a appuyé l'axe de coopération avec l'Italie, non seulement pour les missiles, mais aussi pour l'Espace. La coopération officielle pour les missiles a commencé en 1987 et elle a concerné principalement les missiles navals. En 1994, l'Italie s'est aussi jointe au développement exploratoire sur le missile à fibre optique Polyphème, mené par la France et l'Allemagne. Contrairement à d'autres partenariats, les relations entre la France et l'Italie ont toujours été cordiales et confiantes.

Milas

La mission de ce missile est l'emport et la mise à l'eau, en un point désigné, de la torpille légère franco-italienne MU 90. Il ne comporte qu'une phase de guidage mi-course. Pour la Marine française, c'était le successeur du Malafon, mis en service en 1968 (cf. chapitre 2, DCCAN).

Le besoin était commun et le missile Milas pouvait être dérivé du véhicule de l'Otomat, ce qui diminuait le coût de développement. Compte tenu des bonnes relations entre Matra et Oto Melara, concrétisées par le succès de l'Otomat, les services officiels décidèrent de confier ce programme au GIE Milas, formé paritairement entre ces deux sociétés.

L'accord de coopération fut signé en 1987, en même temps que celui relatif au satellite Hélios. Le contrat de développement fut notifié au GIE en 1988 et la mise en service était prévue à la fin des années 1990. Un bureau de programme pour la gestion commune du programme officiel Milas, localisé près du STET, avait été créé.

Famille de systèmes sol/surface-air futurs (FSAF) fondés sur Aster

Nous avons indiqué que la France avait lancé le programme national SSAF (systèmes de sol/surface-air futurs) en 1987. En 1988, l'Italie, qui coopérait avec la France sur les futures frégates anti-aériennes Horizon, a désiré s'associer à ce programme d'armement, avec un financement paritaire du développement ; en effet, le système SSAF était le seul système moderne et disponible à l'échéance de ces frégates.

Les discussions, surtout celles relatives aux coûts, furent ardues¹⁹. En conclusion, le contrat de développement du programme FSAF (nouveau nom) fut

¹⁹ cf. les commentaires de l'IGA Bousquet, Directeur des engins, cités dans la revue *DEN actualités*, numéro spécial du 29 novembre 1990.

notifié, en 1990, au GIE Eurosam créé en 1989 par les trois sociétés Aérospatiale, Alenia et Thomson-CSF, associées de manière paritaire. Un bureau de gestion de ce programme fut créé, dans les locaux de la SEFT.

La mise en service est prévue pour le SAAM à la fin des années 1990 (équipement du porte avions *Charles de Gaulle*) et pour les SAMP au début des années 2000. L'Italie a adopté les trois composantes : pour la Marine, le SAAM et le SAMP/N et pour l'armée de Terre, le SAMP/T.

La conception du système, définie par la France n'a pas varié ; mais, du point de vue industriel, la coopération exigea un partage des activités et des responsabilités. Pour les missiles, Alenia fut associée à la maîtrise d'œuvre et eut la responsabilité d'équipements majeurs, comme l'autodirecteur (en association avec Dassault Électronique, qui l'avait conçu en le dérivant de celui du Mica). Pour le radar multifonction, Arabel, développé par Thomson-CSF, resta le radar retenu pour le SAAM français et le SAMP/T, tandis que le radar à balayage électronique Empar d'Alenia fut retenu pour le SAAM italien.

L'Italie, qui travaillait surtout dans le cadre de licences américaines, a saisi l'occasion, avec un programme innovant comme le FSAF, de « doper » son industrie et de prendre une place incontournable dans l'industrie européenne des missiles. Pour la France, la part italienne de financement du développement de ce programme coûteux (cf. annexe 1) et le début de l'eupéanisation de ce programme étaient des éléments appréciables.

LES COOPERATIONS EN GESTATION AVEC LES BRITANNIQUES

PAAMS²⁰ (comportant le FSAF)

En 1991, le Royaume-Uni, qui coopérait à cette époque avec la France sur le projet de frégate anti-aérienne Horizon, avait aussi besoin d'un système de défense : il se rapprocha de la France et de l'Italie. Mais son besoin, appelé LAMS, différait du système FSAF par une exigence supplémentaire, découlant de l'expérience tirée de la guerre des Malouines : une autodéfense élargie à des bâtiments non armés et distants de plusieurs kilomètres de la frégate.

Après étude et négociation, les trois chefs d'état-major se sont mis d'accord, en décembre 1992, sur les caractéristiques opérationnelles de ces frégates (*Tripartite Staff Requirement*), et le MoU cadre des frégates a été signé en 1994. Le système de défense retenu est appelé PAAMS. Il est constitué du système FSAF (missiles Aster inchangés) complété pour la partie conduite de tir.

En 1995, la définition technique précise du PAAMS, son organisation industrielle (incluant les industriels britanniques BAe Dynamics et GEC Marconi) et son organisation étatique tripartite étaient en cours de négociation²¹. L'organisation FSAF ne devait pas être modifiée ; dans le cas du système PAAMS, elle devrait être « chapeauté » par une nouvelle organisation tripartite.

Une coopération tripartite est donc probable : elle renforcera l'eupéanisation de la partie navale du FSAF. Trois systèmes devraient être mis en service : deux

²⁰ PAAMS : *Principal Anti-Air Missile System* ; LAMS : *Local Area Missile System*.

²¹ Aboutissement favorable en 1999.

systèmes franco-italiens inchangés, le SAAM (par exemple pour le *Charles de Gaulle*) et le SAMP/T et le troisième, le PAAMS, pour les frégates futures des trois pays.

Missiles de croisière SCALP-EG et Storm Shadow : Appel d'offre CASOM (Conventionally Armed Stand Off Missile)

Nous avons indiqué d'une part que la France avait décidé, en décembre 1994, de faire développer un missile de croisière air-sol SCALP par Matra et d'autre part que le Royaume-Uni avait émis, à la même date, un appel d'offres sur un besoin proche, nommé CASOM, pour l'équipement de la *Royal Air Force* ; son utilisation était limitée au cadre interallié, d'où le choix d'un recalage par le GPS ; une efficacité supérieure de la charge par rapport aux projets de l'époque était demandée.

Le gouvernement britannique voulait choisir suivant le critère « *best value for money* » : il demandait un projet reposant sur une base industrielle existante et il était opposé à toute coopération industrielle gérée par un GIE (du fait d'une mauvaise expérience avec le TRIGAT). Dix sociétés avaient décidé de répondre à cet appel d'offres : Aérospatiale (avec le seul missile supersonique), Alenia, Dasa, GEC, quatre sociétés américaines, avec des projets à coût réduit, une société israélienne et BAe, associée avec Matra.

Devant l'enjeu, Matra avait pris la décision, en 1995, d'une part de proposer avec BAe un projet intégré et ayant un coût compétitif, d'autre part d'accélérer le processus de rapprochement industriel avec BAe²².

À la fin de 1995, les deux industriels Matra et BAe avaient décidé de présenter aux deux pays le même missile SCALP-EG/Storm Shadow. Cette solution avait l'approbation de la France et « avait la cote » en Grande-Bretagne. Le choix britannique était prévu pour le milieu de 1996.

Cette opération pourrait amener la concrétisation, en 1996, du rapprochement entre Matra et BAe Dynamics qui était en cours de négociation²³ ; ce serait la filiale domestique de la future société commune qui serait responsable de son contrat. Notons qu'en cas de choix de Matra-BAe, les coopérations amorcées avec l'Aérospatiale et avec Dasa pour l'Apache éclateraient.

Conclusion sur les relations franco-britanniques

Depuis 1990, et malgré le choix de l'hélicoptère américain Apache en 1995, les Britanniques se rapprochaient de la France pour leur approvisionnement en missiles – et en conséquence de l'Europe ; bien entendu, les missiles concernés étaient de bons projets et ils n'avaient pas directement de concurrents américains.

²² Le DGA indiqua en novembre 1995 « *no CASOM, no merge* » ; cela créa un choc auprès des Britanniques.

²³ En mai 1996, Matra et BAe se mirent d'accord pour s'associer paritairement, avec une clause suspensive liée au choix britannique ; cette société serait appelée MBD et présidée par un directeur de Matra. En juillet 1996, les Britanniques choisirent, parmi les sept projets remis, le missile Storm Shadow proposé par MBD.

Les méthodes contractuelles envisagées devraient être plus efficaces que celles des coopérations antérieures : par exemple, les Britanniques pratiquent la passation d'un contrat global forfaitaire incluant le développement et la production de série.

Avec la nouvelle donne politique, il semblait que les Britanniques avaient l'intention de jouer un rôle majeur dans l'eupéanisation de l'industrie missilière.

LES PERSONNES QUI ONT MARQUE CETTE PERIODE

DTEN (puis DEN, puis DME en 1991)

L'IGA (T) Antonin Collet-Billon, déjà cité dans la deuxième période, en fut le directeur jusqu'en 1983 ; il eut la responsabilité du lancement du Mistral et il suivit de près les débuts de son développement et surtout les difficultés rencontrées pour la mise au point de l'irdôme.

L'IGA Jean-Marie Sandeau lui succéda jusqu'en 1986.

L'IGA Jacques Bousquet fut directeur jusqu'en 1992 ; ce fut une période chargée avec, en particulier, le succès de la fin du développement du Mistral, la mise sur pied de la coopération franco-italienne (Milas et FSAF) et le lancement d'Apache ; dans toutes ces activités, il s'est impliqué avec dynamisme.

Puis L'IGA (T) Jean Pierre Rabault prit la succession ; il venait du STET et il fut, dans cette période, l'un des artisans du lancement du Brével et du SCALP.

STET (puis STSMT)

L'IGA (T) Daniel Coulmy, déjà cité dans la deuxième période, en fut le directeur jusqu'en 1984. L'IGA Gilbert Bonn, directeur adjoint et ancien du STET, lui succéda ; il suivit de près la plupart des problèmes politiques liés au lancement du Mica (depuis les propositions américaines de 1978) et à celui de l'Aster.

Puis ce furent l'IGA (T) Rabault, qui suivit la carrière de directeur adjoint et de directeur, de 1989 à 1992, avant d'être nommé à la DME et l'IGA (T) Jean-Yves Leloup, qui fut aussi directeur adjoint avant d'être nommé directeur, en 1992.

Nous ne citerons que quelques chefs de groupe qui ont remplacé, dans les années 1980, les ingénieurs cités dans la deuxième période : pour les études générales, l'ICA Maurice Desmoulière, impliqué en particulier dans la munition intelligente du MLRS et l'ICA (P) Michel Pétré ; pour les aéroportés, l'ICA Frédéric Eyriès et l'ICA Raymond Guignot ; pour le SATCP, l'ICA Yves Duhil, qui devint le directeur du SPMT à la fin des années 1990.

DTAT (puis DAT)

Nous citerons seulement quelques responsables des programmes de missiles antichars, jusqu'à la réorganisation de 1994 : TRIGAT, Eryx et MLRS phase 3. L'IGA (T) Jacques Ramont fut le directeur du service technique ASA (Armes et systèmes d'armes) dans les années 1980 ; l'ICA (T) Jacques Guély fut le directeur du programme MLRS et l'ICA (T) Jacques Naour, spécialiste des missiles, intégra le STSMT en 1994, avec la responsabilité des antichars.

CHAPITRE 13

LES ACTEURS : L'INDUSTRIE

LES MISSILIERS

La troisième période a été caractérisée par deux évolutions principales relatives à l'activité et à l'organisation industrielle.

Après l'euphorie du début des années 1980, l'activité est devenue préoccupante au milieu des années 1990.

À la fin des années 1980, un regroupement industriel permettant de créer un marché domestique européen est apparu, pour les acteurs, comme la seule voie possible, compte tenu de la réduction du marché et de la forte pénétration de l'industrie américaine.

L'époque des GIE était dépassée ; par rapport à Euromissile, leurs structures avaient évolué, souvent avec une équipe intégrée, maître d'œuvre au niveau système (c'était le cas d'Eurosam, avec une équipe d'environ 120 personnes, et d'Eurodrone) ; mais ils n'avaient pas l'autorité sur les maisons mères pour la réduction des coûts et des délais, qui devenait l'une des exigences pour survivre.

L'Aérospatiale missiles

Au début des années 1980, la situation des programmes et les objectifs étaient les suivants.

La production concernait principalement des missiles commandés en quantité importante : les antichars Milan et Hot, le sol-air Roland et les AM 39 et MM 40. Les programmes en cours de développement étaient l'AS 30 laser, les antinavires MM 40 et SM 39, la cible C 22 et l'ASMP (ce dernier étant indiqué pour mémoire, compte tenu de sa mission préstratégique) ; leurs productions en série commencèrent au milieu des années 1980 ; mais c'étaient des programmes produits à plus faible quantité.

La phase de définition des missiles antichars de la troisième génération, l'Eryx et les TRIGAT, en coopération tripartite, était en cours (cf. chapitre 12). Les TRIGAT ont été conçus avec les techniques et les technologies les plus modernes. Le choix des solutions par les trois partenaires a nettement privilégié les performances par rapport au coût ; il a été effectué dans le contexte des années 1980 et avec des cibles élevées en production. En revanche, l'Eryx a été conçu sans coopération et suivant la méthode « *design to cost* » : le coût objectif devait être celui d'une roquette. Il été produit depuis 1991 et n'avait pas de concurrent en 1995. L'Eryx correspond à la politique de Nord-Aviation définie au cours de la première période : c'est un missile simple et bon marché.

Pour les futurs missiles, l'objectif premier était le développement d'un missile antinavire qui, dans la décennie 1990, devait apporter au combat naval un

bouleversement analogue à celui créé au début des années 1970 par l'Exocet¹. La coopération franco-allemande semblait la voie à privilégier.

Le deuxième objectif était le développement d'un sol-air autoguidé, pour ne pas laisser ce domaine important à Matra. Dans la compétition pour le SATCP, Matra avait été choisie à la fin de 1980. L'Aérospatiale obtint, en 1982, d'être consultée sur les futurs projets de SAMP et de SAAM.

Les autres objectifs étaient de développer, si nécessaire, une version améliorée pour le Roland et de s'intéresser à de nouveaux programmes qui seraient envisagés par les services officiels : ce fut le cas des missiles air-sol de croisière et du système sol Piver du missile de reconnaissance CL 289.

L'Aérospatiale a privilégié certaines technologies. Cette société a été compétente, comme les grands missiliers, dans les techniques de la numérisation, de la microélectronique, du traitement d'images et de la furtivité. Dans le domaine des charges creuses, elle est l'un des missiliers² qui ont mis au point une parade au blindage actif, mis en évidence en 1982 (cf. chapitre 11) : c'est la solution de deux charges en tandem, d'où les versions améliorées pour ses missiles antichars.

Mais deux technologies ont réellement été adoptées comme fonds de commerce par cette société : le statoréacteur kérosène à accélérateur intégré et le pilotage PIF-PAF.

La réussite de la mise au point du moteur de l'ASMP et les performances possibles (croisière hautement supersonique) ont entraîné l'Aérospatiale et les services officiels français à juger que le statoréacteur kérosène devait être privilégié pour les missiles de croisière anti-surface et pour les missiles antinavires.

L'Aérospatiale s'est également intéressée au pilotage PIF³, qui convient à des missiles évoluant peu et de faible portée ; c'était la meilleure solution, du point de vue de l'architecture et du coût, qui pouvait être adoptée sur l'Eryx. Pour un missile antiaérien devant attaquer des objectifs modernes, un pilotage aérodynamique est indispensable. L'originalité de l'Aérospatiale est d'avoir combiné un pilotage aérodynamique classique, dit PAF, avec un PIF près de la rencontre (temps court, de l'ordre de 1 s) : cette solution réduit le temps de réponse et en conséquence la distance de passage sur une cible très manoeuvrante, mais sa mise au point technologique fut difficile (éjection de jets latéraux au milieu des voilures), et son coût de production est plus élevé qu'une solution classique.

¹ Selon une déclaration, en 1985, de M. Allier, directeur de la Division : cf. *Colloque de l'aéronautique à l'espace : 40 années de développement aérospatial français 1945-1985*, Paris, 26 et 27 novembre 1985, Fondation pour les études de défense nationale, Institut d'histoire des conflits contemporains/Université de Paris-1 Panthéon-Sorbonne, 1985 (intervention de Michel Allier : « L'évolution des engins tactiques »).

² Plus précisément, c'est sa filiale, SERAT, spécialiste des charges creuses ; mais l'idée provient de l'ISL.

³ PIF : pilotage par impulsion en force ; PAF : pilotage aérodynamique fort. Voir annexe technique n° 3. Le PIF agit au centre de gravité du missile. C'était la solution adoptée par le Dragon, missile américain antichar, mais il était équipé d'impulseurs pyrotechniques.

Les projets proposés pour respecter les objectifs et leurs résultats furent les suivants.

Pour le successeur de l'Exocet (ANS puis ANF), le missile proposé comportait un statoréacteur dérivé de celui de l'ASMP. Par rapport au missile subsonique existant en 1980, le missile supersonique possédait des avantages incontestables (meilleure pénétration des défenses et efficacité supérieure de la charge, en cas de coup au but) qui lui permettaient d'être considéré comme un saut de génération, entraînant une révolution. En revanche, son coût était supérieur et il était moins discret. En outre, les Marines étaient satisfaites de leurs missiles subsoniques⁴ et la plupart n'étaient pas prêtes à financer une telle évolution de leurs armements, compte tenu de la nouvelle donne politique. Comme on l'a vu, malgré la coopération franco-allemande, l'ANS a été arrêté en 1992 ; une étude de définition de l'ANF a été lancée en 1995, sans le soutien ferme des Allemands.

Pour Apache, nous avons indiqué (chapitre 12) que l'Aérospatiale avait accepté, en 1988, de coopérer avec Matra : elle avait obtenu une part de travail d'environ 40 %. Mais Matra avait refusé toute participation de l'Aérospatiale dans le GIE Apache-Maw formé avec Dasa.

Nous avons aussi indiqué qu'en 1994, lors de la compétition française pour l'APTGD, l'Aérospatiale avait proposé un missile supersonique utilisant le statoréacteur prévu pour l'ANF et que la DGA avait choisi la solution subsonique de Matra. De même, l'Aérospatiale a répondu au RFP britannique du CASOM avec un projet supersonique, dérivé de l'ASMP et appelé Asura. Ce projet ne fut pas retenu. Avec le projet SCALP-EG/Storm Shadow, présenté en commun par Matra et BAe, il n'y avait plus de place de coopérant privilégié pour Aérospatiale cette dernière refusa de participer à ce projet. Tous ces éléments ont dégradé le climat entre les deux missiliers français.

Pour le missile sol-air, l'Aérospatiale a proposé une solution originale avec une famille, Aster, reposant sur la formule du missile composite et sur le pilotage PIF-PAF : d'une part, un petit missile terminal commun et léger, de manière à n'effectuer qu'une seule mise au point des équipements de guidage et de pilotage, d'autre part des accélérateurs largables, spécifiques de la portée de la version. Les raisons du choix de l'Aster par la DGA, en 1986 (pour un début du développement en 1990), ont déjà été évoquées au chapitre précédent. C'est un très gros programme comportant des missiles et des systèmes sol (10 à 15 années de développement) et il n'a pas directement de concurrent mondial ; mais il peut être considéré comme coûteux pour certains futurs pays acheteurs (voir annexe 1). L'Italie s'est associée pour l'ensemble de l'opération et les Britanniques devraient s'associer uniquement pour les systèmes navals. Après les antichars et les antinavires, cette famille de sol-air était la troisième filière de l'Aérospatiale.

L'effondrement de l'URSS, avec la chute des budgets consacrés à la défense entraîna de lourdes conséquences pour l'Aérospatiale :

- le marché de l'antichar s'est effondré : le marché mondial des TRIGAT est devenu minime et l'avenir de ces missiles est compromis ;

⁴ Pour l'Exocet, le seul besoin manifesté par certaines Marines était l'augmentation de la portée : turbo ou stato ?

- l'ANS a été arrêté ;
- la nouvelle génération pour les SACP terrestres Roland a été reportée en 2020.

Les autres programmes, comme l'Eryx, l'Aster et Apache, sont maintenus, tout en étant étalés et avec une cible de livraison réduite.

Les relations industrielles visant à des associations ont évolué.

Les relations franco-allemandes n'étaient plus au beau fixe au début des années 1990, comme nous l'avons noté au chapitre précédent. Les relations industrielles se sont aussi dégradées, depuis la création, en 1989, de Dasa, qui a absorbé MBB : le groupe Daimler-Benz, qui la dirigeait, était tourné en priorité vers les États-Unis, sauf pour l'aviation civile et l'Espace, et il appréciait peu le statut de l'Aérospatiale, qui était celui d'une société nationale. Dans le cadre de la création d'une industrie européenne, des projets de fusion entre les activités missilières et spatiales des deux sociétés ont été élaborés. Mais, en 1995, ils étaient au point mort.

La coopération franco-italienne étant au beau fixe, des relations cordiales se sont en revanche nouées avec Alenia et le GIE Eurosam a été créé.

De bonnes relations se sont constituées, à partir de 1982, avec Thomson-CSF, sous l'impulsion des présidents respectifs ; elles se sont traduites par la collaboration sur la famille FSAF et par l'adoption du missile VT 1 pour le système Roland.

Avec Matra, des liens industriels limités à l'Apache se sont créés en 1987 ; mais en 1995, une médiation juridique entre les deux missiliers était prévue.

En conclusion, la situation de l'Aérospatiale était préoccupante en 1995. Les éléments favorables, pour la décennie suivante, étaient les suivants :

- l'important programme européen, l'Aster (en fin de développement et au début de la production), qui est devenu le programme phare de l'Aérospatiale ;
- la participation à l'Apache ;
- la production de l'Eryx ;
- les productions marginales et les valorisations des missiles de la deuxième période (antinavires, Roland, AS 30 laser...) ;
- un éventuel développement d'un programme de missile à fibre optique ;
- le développement probable de l'ASMP (préstratégique), avec son statoréacteur.

En revanche, la voie pour réaliser des successeurs aux programmes phares de la deuxième période, la famille de l'Exocet et les antichars Milan et Hot, semblait compromise.

La situation financière était pénalisée, avec l'impact de la réduction des commandes à l'exportation et des effectifs et avec les autofinancements importants engagés, à la fin des années 1980, pour le développement de l'Aster et de l'Apache⁵.

⁵ Olivier DARASSON, *Les missiles tactiques*, rapport de la Commission de la Défense, Assemblée nationale, n° 1845, 1994.

La Division des missiles⁶ comprenait 6 700 personnes en 1984 et encore 6 000 en 1989 ; les réductions de personnel ont alors commencé et, en 1994, l'effectif n'était plus que de 4 400 personnes⁷.

Plusieurs personnalités ont marqué cette troisième période ; nous n'indiquerons que les responsables qui ont aujourd'hui achevé leur carrière. Il faut citer les présidents de la société, qui ont joué un rôle particulièrement actif dans l'obtention des nouveaux programmes, en particulier de l'Aster : le général Jacques Mitterand de 1975 à 1983 et Henri Martre⁸ de 1983 à 1992.

Citons également les directeurs de la Division missiles : Michel Allier, directeur de 1974 à 1986 et ses successeurs, Philippe Girard jusqu'en 1989 (auparavant adjoint de M. Allier et l'un des promoteurs de l'Aster) et Jean-Louis Fache, qui hérita des difficultés de la Division consécutives à la conjoncture.

Il faut enfin évoquer Gérard Selince, qui participa à la création du concept PIF-PAF, lorsqu'il était l'un des responsables du service guidage, et qui fit connaître ce fameux concept.

Matra Défense

En 1982, l'État prit une participation de 51 % dans Matra, dans le cadre de la loi de nationalisation. En 1988, Matra redevint totalement privée.

La branche défense (les missiles tactiques) prit, en 1990, le statut de société : elle devint Matra Défense, filiale de Matra, puis de Matra-Hachette et ensuite, en 1994, de Lagardère groupe : cette dernière est une société en commandite, dont le gérant est Jean-Luc Lagardère. Il faut noter que les sociétés Daimler Benz et GEC sont devenues actionnaires de Lagardère groupe.

Au début des années 1980, la situation des programmes était la suivante.

La production concernait les air-air Magic 1 et Super 530 F et le sol-air Crotale (le Magic 1 est la première production conséquente à une cadence mensuelle supérieure à 100, les autres missiles étant produits à une cadence de 10 à 20) ; en outre, il y avait la production en quantité marginale de l'antiradar Armat et de l'antinavire Otomat, avec son système de tir.

Les programmes en cours de développement étaient le Magic 2, le Super 530 D et la bombe guidée laser. De nouveaux programmes étaient nécessaires. Deux programmes antiaériens phares, relevant du domaine de prédilection de Matra, l'autoguidage, et préparés depuis 1975, venaient d'être décidés.

Le contrat de développement du SATCP Mistral avait été notifié en décembre 1980 ; ce programme interarmées était jugé primordial, car il permettait d'être le fournisseur de l'armée de Terre, de moins dépendre des ventes des gros

⁶ Ces chiffres concernent toutes les activités de la Division, comme les missiles préstratégiques.

⁷ Cet effectif a continué à être réduit, pour tomber à 3 000 en 2000.

⁸ Pour les choix importants, la valeur de la proposition technique et financière est primordiale ; mais le poids d'un président de société auprès des hauts responsables des services officiels est loin d'être négligeable.

contrats politiques de l'aéronautique et comportait la fourniture, en plus du missile, de postes de tir potentiellement complexes.

La phase de définition de l'air-air Mica⁹ multicable était en cours et le principe d'un développement national avait été décidé, en 1979, par le ministre (cf. chapitre 12) ; mais le développement ne sera lancé qu'à la fin de 1985, suite à un autofinancement substantiel.

L'histoire du Mica mérite d'être contée. À l'origine, c'est un essai de coopération franco-américaine ; mais il a permis de lancer, dès 1977, les études préparatoires au Mica. C'est Northrop, avionneur renommé, qui proposa à Matra, en 1975, de s'associer pour réaliser un prototype expérimental du premier missile air-air « tire et oublie » à autodirecteur électromagnétique actif. Northrop serait le maître d'œuvre du missile et le responsable de la centrale inertielle à éléments liés ; Motorola avait autofinancé la réalisation, dans le diamètre du Sidewinder (et du Magic), d'un autodirecteur avec un émetteur à état solide, et Matra devait dériver du Magic¹⁰ un véhicule adapté. Le gouvernement américain fut très intéressé par ce projet révolutionnaire et l'utilisa pour lancer, en 1978, une consultation sur le successeur du Sparrow, qui rencontrait des problèmes de fiabilité (cf. chapitre 9) : ce fut le programme AMRAAM : les sociétés Hughes et Raytheon ont été choisies pour la première phase du développement ; Northrop, Motorola et Matra ont été « out ».

Pour les programmes futurs, le plan de Matra était d'élargir sa panoplie, constituée surtout de missiles aéroportés, de manière à réduire sa dépendance par rapport à la vente d'avions de combat français, qui était en régression ; par exemple, les Super 530 ne pouvaient être vendus indépendamment des conduites de tir de ces avions. Matra était ouverte à toute coopération pour cet élargissement.

Son premier programme objectif était la concrétisation du programme SAMP, sur lequel elle menait des études générales, dans un cadre international, avec Thomson-CSF depuis 1974 ; ses projets de missiles multicable Samat utilisaient la technique du Mica.

Le deuxième programme objectif était l'antichar autoguidé, qui représentait à cette époque le plus gros marché. Mais une association tripartite, pour concurrencer le groupement EMDG, responsable de l'AC3G, était nécessaire.

Les deux autres objectifs concernaient le missile air-sol TDS (successeur des armements classiques de Matra) et le drone de surveillance en temps réel et de localisation précise d'objectifs pour l'artillerie en profondeur (suite au DE du drone Scorpion, gagné en 1979). Une coopération avec l'Allemagne semblait nécessaire.

⁹ Le concept du Mica, missile d'interception et de combat aérien, a été créé par M. Hébel (cf. chapitre 3, Matra).

¹⁰ Northrop ne voulait pas contacter un missilier américain ; il jugeait que Matra, avec son Magic, était le meilleur missilier.

En outre, Matra préparait, dans le cadre des études générales du STET, le futur missile antiradar et était prête à s'intéresser à tout nouveau programme envisagé par les services officiels ; ce fut le cas, en 1988, du missile lance-torpille Milas et, en 1994, du SCALP.

La coopération internationale était une obligation pour satisfaire ces plans.

La coopération avec MBB commença suite à l'accord signé en 1983, concernant l'air-sol TDS et le drone, avec l'objectif de préparer une coopération officielle ; cet accord prévoyait le financement de la réalisation de projets, nommés Apache / CWS et Brével, et d'une phase d'expérimentation comportant deux prototypes d'Apache, effectivement tirés en 1987. MBB était favorable à une coopération avec Matra pour les missiles, qui ne relevaient pas du domaine reconnu de l'Aérospatiale.

Pour l'antichar, Matra s'est associé avec GEC Marconi (autodirecteur) et Rheinmetall (société allemande d'armement terrestre désirant évoluer vers la munition intelligente) en créant le Groupement antichar tripartite MMR (Matra Marconi Rheinmetall) ; pour la compétition quadripartite ouverte pour le MLRS Phase 3, le groupement MMR s'est associé avec Raytheon et avec AEG, suivant le désir du gouvernement allemand.

Matra a privilégié certaines techniques et technologies. En 1980, avec le développement des Magic et Super 530, Matra était très compétente dans la technique de l'autoguidage antiaérien ; avec la numérisation et la microélectronique, les missiles Mistral et Mica, de faibles dimensions et très sophistiqués, purent être réalisés.

Les autres technologies mises au point ont été la furtivité, la corrélation altimétrique, le traitement d'images et la reconnaissance des formes¹¹ ; elles furent utilisées pour la famille Apache. En revanche, le statofusée rustique mis au point en vol avec la SNPE et proposé sur le sol-air Samat n'a pu être développé.

Les résultats relatifs à l'obtention de programmes furent les suivants.

La famille de sol-air Samat, important projet, n'a pas été retenue ; les raisons du choix ont déjà été indiquées ; ce fut une grosse déception, compte tenu des liens étroits avec la technologie et la technique du Mica.

Le groupement MMR avait effectué une étude de faisabilité du programme AC3G (LP), mais les services officiels des trois pays refusèrent de l'examiner. Pour la compétition relative à la phase 3 du MLRS, le groupement associé avec Raytheon ne fut pas retenu pour le développement (cf. chapitre 12). Ce fut la fin des activités antichars de Matra ; avec le recul, on peut dire que ce fut une chance pour Matra de ne pas être impliquée dans ce domaine.

Comme nous l'avons indiqué au chapitre précédent, le programme Apache fut lancé en 1989 dans le cadre national et avec une sous-traitance à l'Aérospatiale. Matra avec MBB avaient proposé, en 1985, trois possibilités, suivant la portée : 10 km, sans propulsion ; 30 km avec un moteur à propergol solide ; supérieure à

¹¹ Pour ces techniques, Matra rassembla ses moyens des Divisions défense et Espace au sein d'une filiale spécialisée dans le traitement d'information : Matra Cap Systèmes.

50 km avec un turboréacteur. L'EMAA retint la gamme supérieure, soit 140 km, et la furtivité.

Comme nous l'avons également indiqué, le programme de drone Brével fut lancé en coopération franco-allemande, à la fin de 1992, après de nombreuses péripéties, dont celle de la société STN remplaçant MBB (suite à la création de Dasa en 1989).

Comme nous l'avons également indiqué, le programme de missile lance-torpille Milas fut lancé en 1988, dans le cadre d'une coopération de Matra avec Oto Melara ; c'était la suite de la coopération réussie sur l'Otomat entre les deux sociétés et la conséquence des liens entre les Marines française et italienne (coopération sur les torpilles).

Le bilan pour Matra, suite à l'effondrement de l'URSS et à la guerre du Golfe, est mitigé, contrairement à celui de l'Aérospatiale.

Les conséquences de la nouvelle donne politique ont été d'une part l'étalement des programmes Mica, Apache et Brével (production après l'année 2000), d'autre part la réduction importante des commandes françaises pour le Magic 2, pour le Super 530 D, pour le Mistral (de 50 % environ), pour le Mica et pour l'Apache (seulement 100 missiles). Les quantités prévues pour l'exportation du Mistral diminuèrent aussi.

En revanche, des conflits potentiels entre certains pays continuant d'exister, de gros contrats politiques restaient envisageables. Matra signa avec Taiwan, en 1992, la première commande du Mica, d'un volume inespéré (960 missiles) et à livrer entre 1996 et 1998¹² ; elle était liée à la commande du Mirage 2000-5 (60 avions). En 1994, un contrat concernant le Mica fut signé avec le Qatar.

En outre, l'une des conséquences de la guerre du Golfe fut la décision prise par la France, à la fin de 1994, de développer le missile de croisière APTGD et de choisir Matra de préférence à l'Aérospatiale ; ce projet a été précisé en 1995 et est devenu le SCALP-EG. Le même missile, défini avec BAe, fut présenté sous le nom de Storm Shadow par cette société aux autorités britanniques dans le cadre de la consultation CASOM ; le choix était prévu en juillet 1996¹³.

Suite à la réduction des budgets à partir de 1990 et au succès limité des coopérations, Matra milita pour un regroupement industriel européen, qui devait aboutir en 1996.

Au début des années 1990, des discussions nombreuses et même des négociations furent menées par Matra avec les trois sociétés : Dasa, GEC-Marconi et BAe. L'intérêt d'une association avec Dasa et GEC Marconi n'a pas paru évident. Dasa était liée d'une part à l'Aérospatiale pour de nombreux programmes, d'autre part aux Américains ; de plus, la défense ne semblait plus prioritaire pour le gouvernement allemand. Une association avec GEC Marconi, électronicien et complémentaire de Matra, présentait des difficultés ; elle n'allait

¹² Le calendrier du contrat Taiwan fut respecté.

¹³ Les Britanniques ont choisi le Storm Shadow.

pas dans le sens du gouvernement britannique, qui semblait désirer un équilibre entre deux missiles¹⁴.

L'accord sur le regroupement entre les filiales responsables des missiles de BAe et de Matra semblait devoir se réaliser en 1996 ; ce serait une société intégrée et paritaire entre les deux groupes¹⁵. L'intérêt principal de cet accord pour Matra résidait, en 1995, dans le marché britannique, plus important que celui de la France, et dans les deux programmes prévus par le gouvernement britannique et faisant l'objet d'un *Staff Requirement* et d'une consultation mondiale : le missile air-sol de croisière CASOM et un missile air-air multicible de plus grande portée que le Mica, nommé BVRAAM (cf. chapitre 14). Matra désirait participer à ces deux projets.

Ces trois sociétés étrangères préféraient s'associer avec Matra plutôt qu'à l'Aérospatiale, du fait du statut de société privée et de « l'aura » internationale de Jean-Luc Lagardère.

En outre, en 1991, Matra a pris une participation de 20 % dans la société allemande BGT¹⁶, sans avoir d'influence sur sa stratégie.

Finalement, après une stagnation, une évolution positive se dessinait en 1995 ; elle résultait principalement du contrat de production de Mica et de Magic 2 pour Taiwan. Mais l'avenir, après 2000, semblait incertain. Les éléments favorables pour la prochaine décennie étaient les suivants :

- le développement et la production des missiles air-sol de croisière, le programme SCALP-EG, au stade du lancement, et Apache ;
- la fin du développement du Mica (IR) et la production des deux versions ;
- la production limitée du Mistral et de ses différents systèmes de tir ;
- la fin des programmes Brével et Milas ;
- les productions marginales de Magic 2 et le maintien en condition opérationnelle des missiles de la deuxième période.

En revanche, la voie pour réaliser un successeur au Martel semblait compromise et aucun nouveau programme ne semblait prévu par le gouvernement français, sauf l'AASM (armement air-sol modulaire/bombe guidée).

Matra avait adapté quantitativement et qualitativement ses effectifs depuis 1987. La réduction des commandes d'armements, liées à celles des avions, avait en effet commencé à cette date ; mais le personnel pour les études avait augmenté. Entre le 1^{er} janvier 1987 et le 1^{er} janvier 1993, on passe ainsi de 4 100 personnes, dont 1 130 ingénieurs et cadres, 2 290 techniciens et employés et 680 ouvriers, à 2 975 personnes, dont 1 230 ingénieurs et cadres, 1 405 techniciens et employés et 340 ouvriers¹⁷.

¹⁴ En 1992, dans l'appel d'offre britannique pour un ASRAAM, le choix s'est porté sur le projet BAe, avec un autodirecteur américain, au lieu du projet MICASRAAM (ASRAAM dérivé du Mica), présenté par GEC en coopération avec Matra.

¹⁵ La société MBD fut créée en 1996.

¹⁶ BGT, filiale de Diehl, était le responsable de l'air-air infrarouge allemand Iris, dérivé du Sidewinder, et était chargée du projet d'antiradar franco-allemand (en coopération avec Matra).

¹⁷ Olivier DARASSON, *Les missiles tactiques*, rapport de la Commission de la Défense, Assemblée nationale, n° 1845, 1994.

Outre les responsables cités dans la deuxième période, quelques personnalités ont marqué cette troisième période.

En 1986, M. Lagardère renforça le management des différentes activités de Matra en les filialisant ; en 1987, Noël Forgeard devint le président de Matra Défense¹⁸ ; il s'impliqua courageusement et avec succès dans les difficultés (mise au point du Mistral, adaptation de l'effectif) et dans les nombreuses négociations internationales et présentations des projets, comme le SCALP.

Les principaux cadres dirigeants au cours de la deuxième période prirent leur retraite au début des années 1990 ; dans la nouvelle génération, nous citerons Jean-Claude Martin, directeur de programme, qui mit au point successivement le Super 530 D, le Mistral (à partir de 1987) et le Mica, c'est-à-dire les missiles antiaériens autoguidés.

BAe Dynamics (responsable des missiles et filiale de BAe)

Compte tenu des négociations pour un regroupement avec Matra, nous donnons ici un résumé de l'activité de cette société en 1995.

Cette société résulte de la fusion, dans les années 1980, des sociétés BAC et HSD. Elles avaient réalisé, dès les années 1960, des systèmes SAMP comme le Bloodhound et le Sea Slug, l'antichar Swingfire, l'air-air Red Top, le Martel (TV)...

BAe n'avait en développement que les antichars TRIGAT, en coopération et avec un avenir limité, et l'air-air ASRAAM, avec un autodirecteur infrarouge très moderne, produit par les Américains.

Les productions concernaient le système SACP Rapier (son meilleur produit), le SAAM Sea Wolf (tir vertical), l'antinavire à courte portée Sea Skua et l'antiradar Alarm.

BAe devrait participer au système PAAMS pour l'armement des frégates (avec des missiles Aster) et préparait des réponses pour les consultations britanniques des programmes CASOM et BVRAAM.

L'effectif, au 1^{er} janvier 1995 était de 5 000 personnes et un plan de réduction de 1 350 personnes était annoncé.

Thomson-CSF : systémier et missilier

Cette société a continué ses activités classiques de systémier sol-air et de radariste sol et en outre, elle a cherché à devenir un missilier.

Pour le programme FSAF, Thomson-CSF est le responsable du radar multifonction, Arabel, équipant les systèmes SAAM et SAMP/T et est associé au système global comme membre du GIE Eurosam.

Comme systémier, la société a réalisé, pour l'armée de Terre, le système d'alerte Samantha (avec radar de veille) reliant les différents postes de tir du SATCP situés dans sa zone. Elle a été retenue pour développer le système de mise en œuvre des SATCP Mistral, Aspic, choisi par l'armée de l'Air française pour la défense de ses bases.

¹⁸ Albert Costa de Beauregard fut le directeur de la branche Matra défense pendant un court délai (d'octobre 1986 à mars 1987) ; malgré sa maladie, il a mis en place la réorganisation de la branche.

Comme maître d'œuvre du système SACP Crotale, elle a décidé de le rénover, à la fin des années 1980 : c'est le Crotale NG (nouvelle génération). En particulier, elle a fait développer, chez LTV aux États-Unis, un nouveau missile VT 1, ayant des performances adaptées aux menaces futuristes. Elle a fait fabriquer 1 000 missiles chez LTV. La suite des fabrications devrait avoir lieu en Europe : un accord de licence a été signé, en 1991, avec le GIE Euromissile, ce missile VT 1 ayant été adopté pour moderniser le système Roland. Les ventes de SACP ont été réduites dans les années 1980 et elles semblaient reprendre en 1995.

Depuis la fin des années 1980, Thomson-CSF a donc voulu devenir un missilier. Elle a envisagé de créer, avec BAe, une filiale commune nommée Eurodynamics ; cette tentative a échoué en 1991.

La société américaine LTV (système MLRS, missile VT 1...) étant à vendre, au début des années 1990, Thomson-CSF a proposé de l'acheter ; le Pentagone a refusé officiellement, voulant garder cette société sous contrôle américain, du fait de ses activités à caractère stratégique (par exemple le système anti-balistique ERINT, *Extended Range Interceptor*).

Un accord, en 1993, avec le groupe canadien Bombardier a permis à Thomson d'acquérir une participation de 50 % dans la société irlandaise Shorts Brothers, réalisant les missiles SATCP Starburst et Starstreak, guidés par faisceau laser, qui sont devenus opérationnels dans les armées britanniques et qui sont exportés.

En 1995, Thomson était considéré comme un radariste compétitif et un systémier compétent. Ses relations avec l'Aérospatiale étaient normales, les deux sociétés étant complémentaires ; mais elles ne pouvaient être excellentes avec Matra, les deux sociétés étant en compétition pour les systèmes SATCP (et la commande du VT 1 aux Américains ayant laissé des traces chez Matra).

LES EQUIPEMENTS OPTRONIQUES

Cette troisième période est caractérisée par plusieurs évolutions qui ont permis des progrès dans l'utilisation opérationnelle de ces équipements.

La mise au point industrielle des matrices de détecteurs avec la technologie IR-CCD a marqué le début de cette troisième période. Dans la technologie CCD (*Charge Coupled Devices*), les charges peuvent être stockées entre deux lectures ; la lecture étant faite par multiplexage, un seul préamplificateur est nécessaire. Les performances des équipements ont fait un bond et de nouvelles utilisations sont devenues possibles par le traitement de l'image. À l'instigation de la DGA, le LIR, la SAT et Thomson-CSF se sont associés pour créer, en 1986, la société Sofradir, chargée de développer et de produire ces matrices.

Un système cryogénique pour les détecteurs infrarouges utilisant un cycle fermé pour le réfrigérant a été mis au point, pour un coût acceptable ; il a permis l'utilisation continue d'équipements comme les lunettes thermiques et il a simplifié la logistique des autodirecteurs.

À partir du début des années 1980, la plupart des systèmes d'armes optroniques ont adopté une lunette thermique permettant la vision de nuit, donc le

tir de jour et de nuit (hors brouillard) : citons le Milan, le Hot, le Roland, le Crotale, le Mistral, le TRIGAT, le pod Atlis... ; en France, les sociétés TRT (puis Thomson-TRT Défense après fusion) et SAT ont été chargées de ces équipements. De même, la plupart de ces systèmes ont été équipés d'un télémètre laser. Enfin, l'utilisation intelligente de leurres infrarouges est devenue la règle.

La SAT : l'infrarouge

Durant la troisième période, deux autodirecteurs ont été lancés en développement, pour le SATCP Mistral et pour la version IR du Mica, avec l'ADIR.

Pour le SATCP Mistral, nous avons déjà indiqué qu'en 1979, une compétition a eu lieu entre les missiliers, étant entendu que la SAT était la seule compétente pour l'AD : à cette époque, seule la SAT possédait, en France, la technologie infrarouge (détecteur...). Le lancement eut lieu en décembre 1980, le maître d'œuvre du missile étant Matra.

Cet autodirecteur a repris, pour la détection, le principe défini pour le Magic 2 en 1978 : c'est un compromis entre l'ancienne génération à monodétecteur et la nouvelle, fondée sur le multidétecteur : on a un ensemble cruciforme de détecteurs pour obtenir une portée convenable pour l'AD (ordre de grandeur : 4 à 6 km). Les différences avec le Magic 2 sont :

- les faibles dimensions de l'AD, d'où une masse de 2,8 kg ;
- une tête gyroscopique SAGEM avec l'optique située sur la toupie ;
- un irdôme pyramidal constitué de faces planes collées (pour réduire la traînée), réalisé par SAT. Les difficultés exceptionnelles de la réalisation et du développement de l'irdôme ont déjà été signalées.

L'autodirecteur comme le missile furent mis au point et les performances, dont la détection par l'AD, sont qualifiées d'excellentes par les clients. Le Mistral a été mis en service en 1989. Une autre difficulté a été surmontée : un coût de série supérieur au prix objectif, du fait de la sous-estimation initiale de la complexité.

Le projet Mica ADIR fut réalisé vers 1984 avec les technologies nouvelles : barrettes IR-CCD pour la détection et circuits intégrés pour l'électronique. Une compétition eut lieu avec Thomson-CSF ; le projet de cette dernière société ne fut pas retenu, car son manque de compétence dans ce domaine l'avait entraînée à proposer une bande spectrale originale pour un AD antiaérien (bande 3), en sous-estimant ses défauts.

Les originalités de cet AD Mica moderne, par rapport à ceux du Magic 2 et du Mistral, furent :

- l'irdôme monobloc de fort allongement ;
- le détecteur à barrettes multispectrales fournissant une image ; c'est le premier AD de ce type réalisé dans le monde¹⁹ ;
- le traitement du signal et de l'image permettant l'impact, pour le missile, sur la zone la plus chaude de la cible et une discrimination des leurres. La portée est nettement supérieure à celle du Magic 2.

¹⁹ Parmi les missiles antiaériens connus en développement avant 1990.

L'électronique du traitement du signal et de l'image est devenue une part importante de l'AD²⁰ : Matra, compétente dans ce dernier domaine, et SAT en voulaient la responsabilité ; un GIE SAT-Matra fut créé pour cet AD, de manière à travailler en commun.

Le développement fut lancé en 1989 et il s'effectua sans difficulté, avec de très bons résultats pour les tirs ; la mise en service est prévue à la fin des années 1990.

SEID (Système d'écartométrie infrarouge différentielle) est le détecteur de guidage de la conduite de tir du système Crotale naval EDIR. Il est destiné à élaborer l'écart angulaire différentiel entre le missile sol-air et le missile cible, pouvant voler à très basse altitude ; il délivre une écartométrie moins bruitée que celle qui serait fournie par un radar.

Pour distinguer les deux missiles, SEID comporte un détecteur infrarouge, en bande 2, formé d'une barrette d'environ 100 pixels ; compte tenu de la date de lancement (1980), c'est une barrette avec des cellules ayant chacune son préamplificateur séparé : c'est la génération qui précède l'IR-CCD. La mise en production de série eut lieu en 1985.

Le plan de charge de la SAT, pour les activités optroniques, fut très important de 1980 à 1994, avec les commandes des AD des Magic 1 et 2 et du Mistral, des goniomètres pour les missiles de l'Aérospatiale, des analyseurs monoligne pour le CL 289 et des goniomètres SEID ; mais depuis cette date, son niveau est faible. Une usine consacrée à la réalisation des composants infrarouges et des équipements a été installée, en 1974, à Poitiers.

Thomson-CSF (Division optronique)

Ses principales activités, en France, concernent le système d'armement guidé laser (pod Atlis et autodirecteurs) déjà décrit et les lunettes thermiques, provenant du fonds de commerce de TRT. Avec la création de la Sofradir, chargée de la mise au point de la technologie IR-CCD, elle est devenue compétitive dans tous les types d'équipements, y compris les autodirecteurs infrarouges. Elle a obtenu la responsabilité de deux senseurs de missile : l'autodirecteur de l'AC3G LP et l'imageur du Polyphème.

Pour la responsabilité de l'AD infrarouge de l'AC3G LP développé en coopération tripartite, cette société a été choisie avec BAe et BGT. Cet AD moderne comporte une barrette IR-CCD de 32 éléments. Son originalité est l'acquisition automatique de la cible par l'AD : elle résulte de la corrélation entre l'image de l'AD, détectée après démasquage, et l'image détectée par la caméra thermique du viseur de tir situé au sommet du rotor, correspondant à la cible retenue par le pilote ; ce concept permet le tir de plusieurs missiles sur des cibles différentes par un même hélicoptère, qui ne se démasque que l'espace de quelques secondes.

²⁰ L'autodirecteur devient séparable en un senseur infrarouge et une électronique de traitement.

La part d'activité de Thomson-CSF est le traitement des signaux et des images, BGT ayant la responsabilité de la partie infrarouge ; pour la réalisation de la barrette en Allemagne, Sofradir s'est associée avec AEG. Comme nous l'avons indiqué, la mise en service était prévue à la fin des années 1990 ; elle est reportée aux années 2000 et l'avenir en production est sombre.

Thomson-CSF est aussi chargée de l'imageur du Polyphème, qui comporte une matrice de détecteurs infrarouges d'une technologie plus simple que l'IR-CCD (pas de refroidissement) et d'un coût moins élevé. C'est actuellement un développement exploratoire.

LES EQUIPEMENTS ELECTROMAGNETIQUES

L'évolution technologique a permis la réalisation d'autodirecteurs *pulse doppler* actifs et de faibles dimensions pour les antiaériens et celle de senseurs millimétriques pour les antichars et pour les air-sol exploitant l'image du sol. En France, EMD fut retenu pour l'antiaérien et Thomson-CSF pour les applications millimétriques.

Une liaison entre le poste de tir et le missile est devenue un besoin pour l'antiaérien ayant une phase de guidage mi-course inertiel, qui nécessite un recalage de la position de la cible manœuvrante, et pour le drone de surveillance (image) ; avec sa protection contre le brouillage, cet équipement est un nouveau produit, nettement plus sophistiqué que la télécommande des sol-air des missiles téléguidés.

EMD, devenue ESD en 1983 et Dassaut Électronique en 1986

Cette société fut chargée du développement de deux autodirecteurs : l'AD EM *pulse doppler* pour Mica et l'AD pour Aster.

Nous avons indiqué, au chapitre 12, que pour préparer le Mica (et un futur sol-air), le STET avait lancé les études et la réalisation de maquettes d'un tel AD chez les deux sociétés EMD et Thomson-CSF : les deux AD ont eu des résultats satisfaisants. EMD a été préférée par le STET. Matra avait recommandé EMD, pour la valeur technique du projet, pour son expérience dans les autodirecteurs et pour son autofinancement.

Le point critique était la réalisation d'un émetteur cohérent de faibles dimensions et devant dissiper une énergie thermique importante, compte tenu de son faible rendement. En 1978, la seule solution semblait être un émetteur à état solide (ensemble d'une diode AsGa émettrice et de n diodes combinées pour amplifier).

L'histoire de la solution américaine semble intéressante à connaître :

Dans l'exposé consacré, ci-dessus à Matra, nous avons indiqué que Motorola avait réalisé, en 1975, un tel AD avec un émetteur à état solide ; cette société indiquait que la puissance moyenne envisageable était de l'ordre de 100 W. Lors de la compétition qui eut lieu en 1978, Hughes annonça 300 W et Raytheon s'aligna ; ces deux sociétés furent choisies. Deux ans après, Raytheon annonça

que son émetteur à état solide ne pourrait respecter la spécification de 300 W et fut éliminée. C'est plus tard que Hughes annonça qu'il avait prévu un TOP (tube à ondes progressives) qui émettait 300 W : si ce choix présentait des inconvénients (encombrement, alimentation haute tension, coût), ses avantages techniques pour les performances de l'AD étaient appréciables.

En 1986, il fallut admettre que l'objectif fixé pour l'AD Mica, compte tenu des performances prévues pour les diodes françaises, ne serait pas tenu. ESD découvrit chez Marconi un tube miniature (un magnétron) qui avait des performances supérieures aux spécifications du Mica, mais inférieures à celles d'un TOP : c'est la solution de 1995 (émetteur de 1,7 litre). Avec les progrès technologiques durant 15 années, les inconvénients du TOP se sont réduits et le Mica pourrait en être équipé prochainement.

Les autres défis, pour cet AD, étaient l'augmentation de la sensibilité et de la puissance des calculs numériques et l'intégration dans un volume très réduit (malgré l'émetteur en supplément, il y avait une réduction de la masse de 50 % environ par rapport à la génération précédente). L'intégration dans ce volume a pu être obtenue grâce à l'adoption de circuits intégrés spécifiques à très grande vitesse et de plusieurs microprocesseurs.

Cet AD comporte de nombreux logiciels : ils permettent par exemple de lutter contre les échos parasites du sol et contre les brouilleurs et de compenser les aberrations de radôme.

La mise au point se déroula sans difficulté, sauf celle relative à l'émetteur. La mise en service était prévue en 1996. Cette échéance fut respectée.

L'AD pour l'Aster utilise la technique et la technologie du Mica ; les différences résultent d'une part des écarts des spécifications et d'un diamètre d'aérien supérieur et d'autre part de la maîtrise d'œuvre d'Alenia, Dassault Électronique étant le coopérant ; le partage du travail est lié à la coopération franco-italienne.

Le développement franco-italien a commencé en 1990 et la mise en service était prévue à la fin des années 1990.

Le plan de charge d'EMD s'est réduit au début des années 1990, avec la fin de la production de l'AD du Super 530 D, la diminution des commandes d'AD de l'Exocet et l'absence de développement d'un successeur de ce missile et d'un antiradar. L'avenir repose sur la production des AD du Mica et de l'Aster.

Thomson-CSF

Cette société a obtenu le développement de deux senseurs : AD pour la munition intelligente MLRS phase 3 et radar de recalage de navigation Prométhée pour Apache.

Nous avons retracé, au chapitre 12, l'histoire du programme MLRS et évoqué le choix du groupement dont Thomson-CSF était membre et où cette société avait une part de responsabilité dans l'AD. La technique et la technologie étaient novatrices : autodirecteur actif (émetteur : une diode) en bande millimétrique (fréquence de 94 Ghz, voir annexe 3) et de très faibles dimensions (diamètre extérieur de 10 cm) ; la puissance du traitement du signal est importante, car il

faut discriminer le char parmi les échos parasites du sol, d'un fort niveau. Un autre défi était l'obtention d'un coût raisonnable pour une sous-munition. Le lancement eut lieu en 1985 ; les difficultés de mise au point ont été surmontées. Ce programme était, en 1995, en cours d'abandon, suite à l'absence d'un tel besoin pour les armées.

Le programme du radar de recalage de navigation Prométhée pour Apache (et de désignation de l'objectif : piste) a été lancé en 1989. Thomson-CSF a été choisie lors d'une compétition nationale, compte tenu de la valeur technique de son projet. C'était la seule société à proposer le choix de la fréquence millimétrique de 94 Ghz ; pour améliorer la définition de l'image, le choix de cette fréquence est un élément favorable ; mais les concurrents estimaient que la technologie n'était pas mature.

Ce radar établit une image, dans le repère du missile, sur les amers désignés ; elle est corrélée avec l'image numérisée mise en mémoire lors de la préparation de mission, et qui est définie dans un repère de référence ; l'écart entre les deux repères est ainsi déterminé et la trajectoire du missile peut être corrigée.

Ce senseur est en cours de mise au point et son avenir est lié à celui d'Apache anti-piste. La cible des commandes était en 1995 de 100, avec une mise en service à la fin des années 1990.

L'avantage de l'utilisation de cet équipement est son autonomie ; mais il est d'un coût nettement supérieur à son concurrent, le récepteur GPS²¹ ; en outre, il exige la connaissance des images radars des amers désignés pour le recalage. L'avenir d'un tel radar, pour les futurs missiles de croisière, paraît limité.

LES EQUIPEMENTS « ELECTROMECHANIQUES » : PILOTAGE ET GUIDAGE

Le pilotage

Les évolutions à noter sont d'une part l'adoption croissante du servomoteur électrique pour la commande des gouvernes et d'autre part l'utilisation, pour les antiaériens, d'un pilotage mixte pour des phases de durée courte.

Pour le Mica, Matra a choisi, pour la phase de départ (fonctionnement du propulseur d'accélération), un déviateur de jet, efficace à faible vitesse, commandé par le servomoteur de la gouverne ; en cas de combat aérien, une manœuvre de 100° est ainsi possible en une seconde.

Pour l'Aster, l'Aérospatiale a choisi, pour la phase finale (de l'ordre d'une seconde), un couplage entre un pilotage par le jet latéral d'un générateur à poudre et le pilotage de la gouverne assuré par un servomoteur électrique (PIF-PAF) ; le but est la réduction du temps de réponse. La mise au point du commutateur pyrotechnique à quatre tuyères (étude de Thomson-Brandt Armements) et du contrôle du niveau du jet éjecté à travers la voilure a été délicate.

²¹ En 1989, l'utilisation expérimentale du GPS commençait et il ne pouvait être retenu pour Apache.

Le guidage mi-course

Comme nous l'avons indiqué la solution du guidage inertiel à base d'une centrale à éléments liés s'est imposée à partir du début des années 1980 ; c'est la microminiaturisation des calculateurs qui a permis de retenir cette technologie sur les missiles. Par rapport à l'utilisation d'une centrale classique ou simplifiée comme celle de l'Exocet (cf. chapitre 8, Pilotage), elle est nettement moins coûteuse et suffisamment précise, même dans les ambiances sévères ; elle a pu être adoptée sur les missiles de croisière et sur les missiles antiaériens « tire et oublie », dont les évolutions en vitesse angulaire et en accélération sont très supérieures aux missiles précédents : possibilité de $500^\circ/\text{s}$ à $1\ 000^\circ/\text{s}$ et de 50 g.

Par rapport au gyroscope mécanique classique, l'obtention d'une augmentation de la fiabilité et la réduction du coût étaient souhaitées ; en conséquence, les recherches, qui ont commencé au début des années 1960, ont été orientées vers la suppression de la toupie ou au moins des roulements des cardans.

Deux types de gyromètres ont été mis au point et adoptés, sur les missiles, depuis les années 1980 : le gyromètre à suspension accordée, avec la suppression des roulements de cardans, et le gyrolaser. Deux autres types sont en fin de mise au point en 1995 : le gyromètre à fibre optique et le gyromètre vibrant ; ces équipements pourraient être adoptés à la fin des années 1990.

Le missile antisurface Apache et les missiles Aster et Mica ont adopté des centrales de ce type pour leur phase de guidage mi-course. Il faut noter que pour l'antiaérien, où la cible peut manœuvrer, la position de la cible doit être recalée en étant fournie périodiquement au missile (période d'une à deux secondes) et qu'une liaison entre le radar de localisation de la cible et le missile est nécessaire. Pour le missile de croisière subsonique, un recalage est nécessaire après un trajet de 30 km environ : recalage altimétrique et/ou recalage par imagerie sol et/ou utilisation du récepteur GPS.

Matra a innové, pour le Mica, en utilisant les informations de la centrale inertielle à éléments liés, prévue pour le guidage mi-course, pour la stabilisation de l'antenne et pour le pilotage du missile.

La situation industrielle pour ces équipements est la suivante en 1995.

La technologie des gyroscopes à suspension accordée a été développée par Matra (conversion de son activité gyroscopique mécanique) et par SAGEM. La centrale Mica est équipée de ce type de gyroscope et les centrales sont approvisionnées en double source à la Matra et à la SAGEM ; cette concurrence a eu le mérite de réduire le prix. La centrale de l'Apache est aussi fondée sur ce type de gyroscope, mais les gyroscopes sont plus précis et c'est SAGEM qui a été choisie pour cette centrale.

Le gyrolaser, le plus utilisé actuellement, et le gyromètre vibrant ont été développés, particulièrement pour les applications aéronautiques, par les deux sociétés françaises SAGEM et Sextant (ex SFENA). Pour l'Aster, c'est le gyrolaser qui a été définitivement retenu ; SAGEM et une société italienne ont été choisies.

LA PROPULSION ET LES CHARGES

La propulsion

En 1980, les performances des propergols solides, comme la butalane pour la phase d'accélération, étaient satisfaisantes ; les critiques portaient d'une part sur la non-discrétion, d'où la détection possible du départ du missile, d'autre part sur l'absorption, en cas de liaison entre le poste de tir ou l'avion et le missile. Il existe des fumées primaires très importantes (présence de particules solides dans les gaz des propergols contenant de l'aluminium²²) et des fumées secondaires (condensation de l'eau atmosphérique). La SNPE essaie de mettre au point une nouvelle famille de propergols, nitramite G, un peu moins performante mais avec des fumées minimales. En 1995, ce sont des butalanes moins chargées en aluminium qui sont utilisées.

Il a été indiqué que deux types de statoréacteurs avaient été mis au point :

- pour les longues portées (supérieures à 500 km), le statoréacteur à combustible liquide dense et avec l'accélérateur intégré ;
- pour les courtes et moyennes portées (inférieures à 100 km), le statofusée rustique avec l'accélérateur intégré.

En 1995, seul le projet ANF avait retenu la propulsion par statoréacteur.

Les charges

Dans les années 1980, le maximum des performances des charges creuses a été atteint : elles peuvent percer 10 fois leur calibre avec l'explosif le plus puissant, l'octolite. La première évolution fut la nécessité, pour les antichars, de garder leur efficacité sur des chars équipés de blindages réactifs. La solution adoptée en France fut l'équipement de deux charges montées en tandem.

D'autres évolutions sont à signaler :

- l'utilisation multimirage des missiles (par exemple, dans les conflits récents, 60 % des tirs de l'antichar Milan ont été effectués contre des blockhaus) ;
- la demande des utilisateurs de disposer de charges perforantes ayant soit une fragmentation améliorée, soit une augmentation de la pénétration dans le béton. La conception des charges est en cours de révision (par exemple : charges tandem avec une charge creuse pour le béton suivie d'une charge perforante).

Comme nous l'avons indiqué, le besoin de munitions insensibles ou « muratisées » a été jugé indispensable par la Marine et ensuite par les autres armées (cf. chapitre 11). Avec la décision d'équiper le porte-avions *Charles de Gaulle* avec des missiles muratisés, le délai était défini. Pour obtenir la classification de Murat *** (immunité à l'incendie et à l'impact par éclat et par balle et non-détonation par « influence »), la SNPE a développé un nouvel explosif

²² Nom du propergol finissant par « ane » : butalane, isolane, nitralane.

composite nommé Onta. Ce besoin est en voie d'être satisfait avec une légère perte de performances et une augmentation de coût acceptable pour un missile.

La réorganisation industrielle

Au début des années 1990, ce secteur a commencé des regroupements.

En 1992, les sociétés SNPE et Aérospatiale créèrent une filiale nommée Celerg ; elle était chargée des moteurs à propergol solide et des statoréacteurs à accélérateur intégré pour les missiles tactiques ; les deux sociétés apportèrent leurs moyens dans ces domaines. L'intention était de créer un pôle motoriste à vocation internationale.

En réponse, Thomson-Brandt Armements et Dasa fusionnèrent, en décembre 1994, leurs moyens en créant deux sociétés détenues de manière paritaire : une société pour la propulsion, avec Bayern-Chemie et sa filiale française Protac, et une autre société, TDA (Thomson Dasa Armements), pour les explosifs et les charges.

En 1995, les sociétés de ce secteur non touchées par ces fusions sont :

- SEP pour la propulsion (Mistral) ;
- SERAT, qui a été créée, en 1968, par M. Précoul, avec le soutien de l'Aérospatiale et de Manurhin, et qui était devenue le coopérant exclusif de l'Aérospatiale pour les nouvelles charges ; cette société est en cours d'absorption par l'Aérospatiale, cette dernière étant devenue l'unique actionnaire. M. Précoul était auparavant le directeur technique de la STRIM ;
- la SNPE pour son pôle recherche ;
- et bien entendu Microturbo pour la famille de turboéjecteurs TRI.

CHAPITRE 14

LES PROGRAMMES

L'indication des caractéristiques et des performances de ces programmes sera plus sommaire que celle correspondante aux programmes des deux périodes antérieures ; en effet, les performances étaient généralement classifiées lors de la rédaction.

LES MISSILES ANTICHARS DE TROISIEME GENERATION

Ils restent sous la responsabilité de la DAT jusqu'en 1994.

Ces missiles diffèrent de la deuxième génération :

- par l'adoption de la technologie des années 1980 et, pour certains, de l'autoguidage ;
- par une architecture telle que, sans perche de nez, ils soient efficaces contre les blindages réactifs, mis en évidence en 1982.

Eryx (ACCP : antichar courte portée) – Aérospatiale (cf. figures 34 et 35)

L'historique de ce missile national, remplaçant la roquette, a déjà été donné (cf. chapitre 12). Ses principales performances sont les suivantes :

- missile de fantassin conçu pour le combat en zone urbaine et donc tirable en espace clos (discrétion du tir et protection du tireur impliquant une limitation du bruit, des flammes et de la fumée lors du tir) et dans toutes les positions (couché, à genoux, debout, avec trépied ou à l'épaulé) ;
- portée de 50 à 600 m (4 s de temps de vol maximum) ; le missile est éjecté du tube avec une faible accélération et le propulseur est allumé postérieurement ;
- téléguidage semi-automatique infrarouge, défini pour le Milan 3¹ ; cette solution est plus moderne que celle des Milan 1 et 2, car elle est moins sensible à l'environnement du champ de bataille : balises à éclats sur le missile et écartométrie fournie par la comparaison des images (entre celle du paysage plus le missile et celle du paysage seul) détectées par l'imageur ; liaison filaire ;
- masse de la munition égale à 13 kg (ensemble tube et missile) ;
- poste de tir individuel ayant une masse de 4 kg et comprenant une lunette thermique de technologie moderne (détecteurs infrarouges IR-CCD), permettant le combat de jour et de nuit, et un imageur avec détecteur matriciel CCD dans le proche infrarouge pour la fourniture de l'écartométrie ;
- ensemble de deux charges creuses en tandem, dont la principale a un diamètre de 135 mm ; la perforation peut atteindre 900 mm de blindage ; c'est une arme polyvalente pour l'appui feu de l'infanterie et efficace contre les

¹ Le Milan 3 est la version améliorée du Milan 2T ; il a été mis en service en 1995.

véhicules blindés et d'autres types de cibles, comme les blockhaus, les nids de mitrailleuse, etc. ;

- son architecture est originale et bien adaptée aux besoins : pour supprimer la perche de nez, la charge creuse principale est placée à l'arrière du propulseur ; ce dernier comporte des intercepteurs de jet pour le pilotage au centre de gravité du missile (PIF)².

Un autre des mérites de l'Eryx est son prix, comparable à celui d'une roquette. Il a été mis en service en 1991.

Malgré la réduction du marché des antichars, l'Eryx connaît un franc succès : il n'a pas de missile concurrent en 1995, le Predator américain devant être mis en service au début des années 2000. En 1994, 16 400 munitions étaient commandées par trois pays : la France, le Canada (4 500 munitions) et la Norvège (7 200 munitions)³.

TRIGAT MP et LP – GIE Euromissile Dynamic Group

L'historique de ces missiles a été donné (cf. chapitre 12). L'objet de cette coopération était de produire, pour les années 1990, des missiles de troisième génération succédant aux Milan et Hot. L'activité a été répartie entre les trois sociétés constituant EMDG et des coopérants pour les principaux équipements optroniques :

- Aérospatiale : missile MP et viseur du LP ;
- BAe : missile LP ;
- MBB : poste de tir et intégration sur hélicoptère pour le LP et poste de tir pour le MP ;
- autodirecteur du LP : Thomson-CSF avec BGT et BAe ;
- lunettes thermiques : SAT, leader, avec Eltro et Thorn-Emi.

Pour la version MP, à part la technologie, les innovations opérationnelles sont limitées : le guidage par faisceau laser, adopté au lieu du téléguidage semi-automatique, a l'avantage de supprimer la liaison filaire et d'offrir une meilleure protection contre le brouillage (détecteur du faisceau laser à l'arrière du missile). En outre, pour permettre l'utilisation opérationnelle en temps brumeux, c'est un laser émettant dans l'infrarouge en bande 3 (10,6 microns) qui a été choisi⁴. En conséquence, le coût de production du missile a été nettement augmenté (détecteur infrarouge refroidi à 90° K à bord du missile).

Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- missile d'infanterie portable et mis en œuvre par deux hommes ; masse de la munition de 14 kg ; possibilité de tir en espace clos ;
- masse du poste de tir : 17 kg, comprenant la lunette thermique de technologie moderne, de masse réduite et très performante, Tiger, et l'émetteur laser avec sa modulation spatiale ;

² Cf. chapitre 13, Aérospatiale.

³ À la fin de 1998, cinq pays (nouveaux pays : Brésil et Malaisie) et 48 000 munitions commandées ; à la fin de 1997, 22 800 livrées, dont 9 750 pour la France.

⁴ Une autre solution, nettement moins onéreuse, existait, avec le laser dans le proche infrarouge à 1,06 micron ; mais les éventuelles brumes auraient limité l'utilisation opérationnelle.

- portée de 200 à 2 000 m, temps de vol maximal de 12 s ;
- double charge en tandem, dont la principale a un diamètre de 150 mm et une masse d'environ 3 kg (1 100 mm de perforation) ; comme pour l'Eryx, la charge principale est située à l'arrière du propulseur de croisière (pas de perche).

En 1995, le développement s'achève ; la phase de production devrait être commandée ; le retard est dû à l'étalement du programme, le besoin de remplacement des Milan étant très réduit. En 1995, la première livraison française a été reportée en 2003.

Par rapport au Hot, la version LP présente une innovation opérationnelle capitale pour l'équipement d'un hélicoptère : elle est « tire et oublie ». Le système comprend d'une part un viseur de mât Osiris, ayant une capacité exceptionnelle de surveillance et comportant une lunette thermique de technologie IR-CCD, une caméra TV et un télémètre laser couplé, d'autre part des missiles équipés d'autodirecteurs infrarouges à matrice IR-CCD. Le traitement d'images permet de tirer les missiles, après un dégagement en altitude de l'hélicoptère, sur des objectifs identifiés à l'aide du viseur. Un tel système discret est nécessaire pour assurer un haut degré de survivabilité à un hélicoptère comme le Tigre.

Ses principales caractéristiques sont :

- portée de 500 m à 4 000-4 500 m ;
- masse de 760 kg pour l'ensemble du système (y compris les munitions) devant être installé sur hélicoptère ; il comprend le poste de tir et deux conteneurs lanceurs pouvant recevoir chacun quatre munitions et incorporant les servitudes, comme le refroidissement pour les détecteurs infrarouges ;
- masse de la munition (tube et missile) : 47 kg ;
- double charge en tandem, dont la principale a un diamètre de 155 mm (1 300 mm de perforation) ; cette dernière est située au milieu du missile (pas de perche).

Le développement est en cours ; en 1995, comme pour le MP, la première livraison française de production de série a été reportée en 2003. Mais un tel système est lié à la version antichar du Tigre ; en outre, les Britanniques ayant acquis l'hélicoptère Apache avec son missile américain associé, le Longbow, la cible des commandes est très réduite, d'où un prix envisageable très élevé.

La concurrence américaine à moyenne portée est représentée par le Javelin. Dès 1984, les Américains ont choisi la solution « tire et oublie » avec l'autoguidage IR (matrice de 64x64 pixels au plan focal), en pariant sur un prix de production acceptable, vu leurs besoins. Par rapport au TRIGAT, le Javelin a la même portée ; il est plus discret, pour un tir en espace clos, et est plus léger, la masse du poste de tir étant plus réduite ; actuellement, il est plus cher (voir annexe 1). Sa mise en service est prévue pour 1995 et la cible en production pour les Américains est de 26 000 exemplaires. La compétition entre les solutions antérieures, non « tire et oublie », et l'autoguidage est ainsi ouverte.

Pour ce qui est de la longue portée, pour leurs hélicoptères, et en particulier pour l'Apache, les Américains ont développé, à partir de 1976, le programme Hellfire (missile de 45 kg) à guidage semi-actif laser et avec une version future à imagerie infrarouge. Ils ont mis au point la version Longbow « tire et oublie »

équipée d'un autodirecteur actif millimétrique (nécessité de l'équipement de l'hélicoptère avec un radar) ; le gain en utilisation opérationnelle par rapport au TRIGAT, dû à la meilleure transmission de l'atmosphère, est limité (possibilité de tir en cas de brouillard).

Conclusion sur les antichars

Depuis 1985, le choix de l'autoguidage pour l'antichar est posé. La nécessité de réduire l'attrition des hélicoptères le rend indispensable pour le LP. Malgré l'augmentation du prix, ce choix semble aussi être la solution d'avenir pour l'antichar MP, compte tenu de l'avantage opérationnel du « tire et oublie » ; le choix sera facilité si les quantités à produire permettent une réduction du coût des composants infrarouges (matrices) : avec leur marché domestique supérieur, les États-Unis sont mieux placés que l'Europe.

En conclusion, les États-Unis semblent acquérir le *leadership* sur les antichars moyenne portée et longue portée.

LES MISSILES AIR-AIR DE QUATRIEME GENERATION

Opérationnellement, c'est la génération du multicable, avec le combat aérien à grande distance, les possibilités en portée du véhicule du missile pouvant être utilisées⁵. L'avion de combat équipé d'une conduite de tir multicable peut tirer simultanément, par exemple, quatre missiles contre quatre objectifs ; avec un radar de bord à balayage électronique (Rafale, F 22...), l'avion peut être polyvalent, c'est-à-dire effectuer une mission de pénétration à basse altitude et se défendre en tirant des missiles air-air.

Notons que les avions de combat français seront équipés d'un armement plus nombreux : le Mirage 2000 DA pouvait être armé de deux missiles d'interception Super 530, à AD EM, montés sous voilure et de deux missiles de combat Magic, à AD IR, montés en extrémité de voilure ; le Mirage 2000-5 peut être équipé de six missiles Mica, à AD EM ou IR, montés quatre le long du fuselage et deux en extrémité en voilure.

Technologiquement, c'est la génération du missile à autodirecteur électromagnétique actif et celle de l'autodirecteur infrarouge, avec un détecteur multiélément IR-CCD ; ce dernier missile est en général utilisé en combat aérien à courte portée.

Les Américains, eux, ont continué à imposer le concept comportant deux missiles totalement différents :

- AMRAAM (moyenne portée⁶) avec autodirecteur électromagnétique ;
- ASRAAM (courte portée) avec autodirecteur infrarouge.

⁵ Pour les missiles à autoguidage intégral, c'est la portée de l'autodirecteur qui détermine la distance de tir maximale ; elle est inférieure, en général, à celle du véhicule.

⁶ Le qualificatif de « longue portée » est réservé à des missiles ayant une portée de l'ordre de 200 km, comme le missile Phoenix armant le F 14 de la Marine américaine (mis en service en 1970).

La France a développé le concept d'un seul missile, le Mica, pouvant remplir les deux missions. En effet, en cas d'absence de nuages près de la cible, le tir de deux missiles à grande distance, l'un avec un AD électromagnétique et l'autre avec un AD infrarouge, augmente les difficultés de la cible pour se défendre en utilisant des contre-mesures ; ce concept intéresse plusieurs armées de l'Air.

Pour cette génération, la compétition existe principalement entre trois pays : la France, les États-Unis et la Russie.

Mica – Matra (cf. figures 69 à 74)

L'historique de ce missile a été donné aux chapitres 12 et 13 (Matra et EMD).

Ses principales caractéristiques et performances sont :

- masse du missile de 110 kg (et longueur de 3,10 m, d'où une grande compacité) compatible d'une part avec son montage en extrémité de voilure des avions de combat, d'autre part avec son montage en tandem le long du fuselage du Mirage 2000 (éjection du missile) ;
- configuration classique, avec ailes longues et donc avec une envergure réduite ;
- phase de guidage mi-course inertiel avec informations de rafraîchissement sur la position de la cible fournies par le radar de l'avion tireur (LAM : liaison de données hyperfréquence avion-missile)⁷, suivie d'une phase d'autoguidage terminal en navigation proportionnelle ;
- possibilité de tir, à distance rapprochée, sans phase inertielle ;
- deux autodirecteurs interchangeables de masse de 10 kg : un autodirecteur actif électromagnétique *pulse doppler* d'EMD et un autodirecteur infrarouge SAT avec détecteurs IR-CCD (deux barrettes pour détection bispectrale, permettant une lutte très efficace contre les leurres) ;
- calculateur numérique de technologie électronique la plus avancée ;
- pour le combat aérien moderne de deux avions se croisant, utilisation de déviateurs du jet du propulseur durant la phase d'accélération : ils permettent au missile d'effectuer, lors de son départ, une rotation de l'ordre de 100° en 1 s, de manière à ce que l'AD puisse être en position d'accrochage sur la cible ;
- charge à fragmentation Thomson-Brandt de 12 kg et fusée de proximité à corrélation Thomson-CSF ;
- distance de tir : de 350 m (combat rapproché) à 60 km environ en altitude et sur cible supersonique ; domaine d'altitude de 0 à 20 000 m ; Mach maximum de 4,5 ;
- capacité d'une part de lutte contre les contre-mesures très sophistiquées et d'autre part d'attaque des cibles les plus manœuvrantes (9 g par exemple) ;
- armement prévu des avions équipés d'une conduite de tir multicible : famille Mirage 2000-5 (37 avions français), Rafale (Air et Marine pour la France)...

Comme nous l'avons indiqué, le démarrage du développement a été étalé :

- lancement de la version EM en décembre 1985 ;

⁷ Cf. chapitre 13, Équipements électromécaniques.

- choix des coopérants pour la propulsion à propergol solide (Thomson-Brandt) et la référence inertielle (Matra et SAGEM) en 1987 ;
- lancement de la version IR en 1989.

Le premier tir réussi en multicible (deux cibles) a eu lieu en 1993. Les premières livraisons en série sont prévues à la fin de 1996 pour la version EM et au début des années 2000 pour la version IR.

En 1990, la cible des commandes françaises était de 2 300 ; en 1995, elle était réduite à 1 600. Des contrats d'exportation, liés à la vente des Mirage 2000-5, ont été obtenus : dès 1992 avec Taiwan, pour 960 missiles EM, et en 1994 avec le Qatar⁸. La valeur du Mica est reconnue internationalement.

La concurrence pour la moyenne portée

L'AMRAAM américain développé par Hughes (absorbée par Raytheon) est le principal concurrent. Il diffère du Mica sur les points suivants :

- il ne comporte qu'une version électromagnétique et son autodirecteur actif est équipé, dès le premier exemplaire de série, d'un TOP comme émetteur (c'est un avantage) ; mais la technologie électronique n'était pas mature en 1978, compte tenu de la complexité de l'autodirecteur avec ce TOP ;
- ses dimensions sont supérieures et ne sont pas compatibles avec celles exigées pour un missile de combat : 156 kg, diamètre de 180 mm et longueur de 3,65 m, contre 110 kg, 160 mm et 3,1 m pour le Mica (ce dernier est plus compact, grâce à la technologie de 1990) ;
- son développement a été lancé en 1979, soit 8 années d'avance sur le Mica. Compte tenu des difficultés rencontrées avec la technologie, une version améliorée fut développée et en définitive, il fut mis en service en 1991 (5 années d'avance sur le Mica) ;
- son marché domestique est nettement supérieur à celui du Mica : 24 000 AMRAAM en 1980, nombre ramené actuellement à 10 800, contre 770 Mica EM. Cette différence vaut aussi pour l'exportation. L'AMRAAM a été adopté, en 1995, par 14 pays équipés d'avions américains, comme le F 16, ou européens, comme l'Eurofighter, le Sea Harrier et le Gripen.

Le R 77 russe (code OTAN : AA 12 Adder), produit par Vympel, est un missile du même type que l'AMRAAM. Par rapport à ses deux concurrents, c'est le missile qui a la masse la plus importante et la plus faible compacité (masse de 175 kg ; 200 mm de diamètre ; 3,6m de longueur). Sa technologie, non connue en détail, est certainement moins avancée. Il a été mis en service en 1993 ; mais, en 1995, les difficultés budgétaires de la Russie limitent sa production. Il a été vendu en Inde, en Chine, en Malaisie et au Pérou.

Comme nous l'avons indiqué au chapitre 9, les Britanniques avaient, dans les années 1970, développé, après acquisition de la licence du véhicule du Sparrow, le missile d'interception Skyflash avec un AD semi-actif EM. Dans les

⁸ En 2000, total des commandes françaises, avec les tranches optionnelles et celles de l'exportation : 3 400 exemplaires pour cinq pays (nouveaux pays : Émirats arabes unis et Grèce).

années 1980, après avoir signé le MoU AMRAAM-ASRAAM, ils eurent le projet de développer un Skyflash actif, en particulier pour l'armement du Gripen ; mais ils n'y donnèrent pas de suite. L'AMRAAM fut adopté par la *Royal Navy* et, à titre transitoire, par la RAF.

Celle-ci établit en 1994, pour l'armement de l'Eurofighter, la spécification BVRAAM⁹. En effet, la distance de tir de l'AMRAAM et du Mica varie, entre l'attaque frontale de la cible et l'attaque arrière, de manière plus importante que pour les missiles de génération antérieure : par exemple, en altitude, de 60 km à 15 km ; le problème de la politique de tir est posé, car le succès de l'interception à grande distance dépend du temps du début de l'éventuelle manœuvre de la cible. Le remède est l'augmentation de la vitesse moyenne du missile (solution probable : le statoréacteur) et c'est l'objectif de cette spécification. Une consultation internationale est prévue.

La situation pour le combat à courte portée

En 1990, l'amélioration souhaitée pour la version la plus récente des missiles Magic et des Sidewinder, mis en service à la fin des années 1980, concernait principalement la lutte contre les leurres.

Une nouvelle génération d'autodirecteurs équipés de détecteurs multiéléments IR-CCD était mature. Notons que la portée de ces autodirecteurs étant très supérieure à celle des générations antérieures (rapport de 3 à 4, soit 10 à 15 km), la notion du combat à courte portée est relative.

En outre, les pilotes de chasse demandaient une évolution des combats, car ils désiraient les réussir dans des situations difficiles ; par exemple, l'engagement sur des cibles largement dépointées nécessite des trajectoires de départ du missile avec des virages de l'ordre de 90° (avions se croisant, par exemple) ; cela augmente le besoin de manœuvrabilité du missile au départ de l'avion, d'où l'adjonction d'une déviation de jet du propulseur d'accélération et l'augmentation du débattement de l'autodirecteur.

La conception de la version IR du Mica, au début des années 1980, a permis de satisfaire ces deux demandes opérationnelles avec une mise en service au début des années 2000.

En revanche, ce concept innovant, nécessaire pour un avion de combat moderne, ne présente pas le même intérêt pour des avions d'attaque air-sol, comme le Mirage 2000 D, limité en air-air à l'autodéfense ; le Mica peut être considéré comme un armement cher pour de tels avions (du fait de la centrale inertielle et de la liaison non nécessaires – voir annexe 1). Un Magic 3 (véhicule du Magic 2 équipé d'un AD IR dérivé du Mica) aurait pu être développé pour satisfaire ce besoin ; cette solution n'a pas été retenue, pour des raisons budgétaires.

L'utilisation d'un missile étranger sera peut être envisagée à la fin des années 2000 pour l'armement de tels avions français, avec l'obsolescence du Magic 2.

⁹ *Beyond Visual Range Air-to-Air Missile*. Pour la génération antérieure, c'était la portée de l'AD, inférieure à celle du véhicule, qui limitait la distance de tir en attaque frontale.

Quant à la concurrence occidentale, rappelons qu'en 1980, le MoU relatif aux missiles air-air avait confié à deux pays, l'Allemagne et la Grande-Bretagne, la responsabilité du développement de cette catégorie de missile. Durant la décennie 1980, les discussions entre les services officiels de ces deux pays et les travaux des deux missiliers maîtres d'œuvre, BAe et BGT, n'ont pas permis de définir un missile commun ; un divorce en a résulté. Les Britanniques, ayant comme premier objectif la résistance aux contre-mesures, militaient pour un missile fondé sur la technologie infrarouge la plus récente (matrice IR-CCD) – mais elle était peu développée à cette époque en Grande-Bretagne – ; les Allemands proposaient une évolution par étapes en partant du Sidewinder. Finalement, trois programmes occidentaux furent développés.

Pour le programme britannique ASRAAM, de BAe, une consultation nationale fut lancée au début des années 1990. En mars 1992, BAe fut retenu comme maître d'œuvre de ce missile, le concurrent étant Marconi, proposant le Micasraam, en association avec Matra et SAT (autodirecteur). BAe choisit comme coopérant, pour l'autodirecteur, la société américaine Hughes : BAe espérait l'adoption par les Américains de ce missile. Ce fut une erreur. Les principales caractéristiques connues sont : une masse de 87 kg et un diamètre de 166 mm, supérieur au Sidewinder (127 mm) ; seulement des gouvernes à l'AR (pas de voilure) ; un autodirecteur à matrice dans le plan focal de 128x128 pixels¹⁰. La question se pose : les Américains livreront-ils toutes les informations sur un tel AD ? Sa mise en service est prévue à la fin des années 1990.

L'Iris-T (*Infra Red Imaging Sidewinder Tail Controlled*) de BGT est en cours de définition. Les principales caractéristiques connues sont une configuration du missile assez différente du Sidewinder, avec des gouvernes aérodynamiques situées à l'arrière du missile et associées à des déviateurs de jet, et un autodirecteur BGT utilisant deux barrettes de 64 pixels (détection monospectrale) balayées par un miroir et ayant un débattement de $\pm 90^\circ$. Le lancement du développement est prévu prochainement¹¹ en association entre l'Allemagne, pour 50 % du coût, l'Italie, la Grèce, la Norvège, la Suède et le Canada ; le maître d'œuvre serait BGT.

En définitive, les Américains ont lancé, en 1994, le développement d'une refonte du Sidewinder, le Sidewinder 9X par Hughes : c'est la fin de la configuration canard. Certains équipements seraient conservés : propulseur, charge militaire et fusée de proximité. Les novations sont d'une part l'autodirecteur à matrice, dérivé de celui développé pour l'ASRAAM de BAe (mais avec un diamètre réduit et paraît-il avec une résistance supérieure aux contre-mesures), d'autre part le pilotage fondé sur des gouvernes de taille réduite situées à l'arrière du missile et couplées avec des déviateurs de jet du propulseur. La mise en service est prévue au début des années 2000 et la cible américaine est de 10 000 exemplaires.

¹⁰ La matrice, théoriquement plus sensible que la barrette, permet l'obtention d'une portée supérieure. Mais la détection bispectrale, permettant une résistance supérieure aux contre-mesures, est une solution plus facilement réalisable avec des barrettes. C'est elle qui a été choisie pour le Mica, avec deux barrettes.

¹¹ Lancement effectif en 1998.

Enfin, une concurrence possible à l'exportation est créée par deux missiles : le R 73 russe et le Python 4 israélien. Le premier (code OTAN AA 11 Archer) a été révélé lors de meetings aériens. Il aurait été mis en service en 1987. Avec une masse de 110 kg, il a été conçu pour améliorer son agilité au combat : c'est un canard avec des gouvernes associées, avec des déviateurs de jet du propulseur situé à l'AR du missile ; le débattement de l'AD en lacet est important ($\pm 75^\circ$). Son prix de vente à l'exportation est dérisoire : 50 000 à 60 000 dollars (voir annexe 1). Ses qualités ont été abondamment commentées dans la presse ; ce missile et le Mica (sa définition est antérieure à la connaissance de l'AA 11) ont certainement incité les états-majors occidentaux à développer les trois programmes indiquées ci-dessus. Quant au Python 4 israélien, il a été révélé à la fin de 1995 et il serait compétitif, au combat, avec l'AA 11 ; mais il est proposé à un prix nettement supérieur à ce dernier.

L'EVOLUTION DES MISSILES AIR-SOL TDS : LES MISSILES DE CROISIERE

C'est durant la troisième période que le missile tactique de croisière a été conçu et utilisé (lors de la guerre du Golfe). La France a lancé en développement l'Apache et a décidé de lancer le développement du SCALP-EG (cf. chapitre 12). Rappelons que le succès de ces missiles dépend de la précision de la localisation des cibles et des trajectoires programmées et que celle-ci est liée aux informations fournies par les satellites d'observation. Notons aussi qu'en France, seuls des missiles air-sol sont développés.

C'est aussi la période de conception de la bombe guidée par GPS : JDAM (*Joint Direct Attack Munition*) et AASM ; c'est une autre voie d'armement TDS.

Pour les autres catégories de missiles air-sol TDS, rappelons la situation. L'armement guidé laser, AS 30 laser et BGL, a été mis en service à la fin des années 1980 et il a été utilisé durant la guerre du Golfe et durant l'intervention en Bosnie. Malgré les projets novateurs et le retrait des unités du Martel (AR), programmé pour la fin des années 1990, aucune décision de lancement d'un successeur n'avait été prise.

Apache – Matra maître d'œuvre, l'Aérospatiale partenaire (cf. figure 75)

Ayant été défini dans les années 1980 et lancé en développement en 1989, Apache comporte la technologie de l'époque, dite de première génération :

- recalage de la centrale n'utilisant pas le système GPS ;
- limitation du volume du stockage des informations nécessaires pour le recalage et en conséquence de la portée ;
- absence d'autoguidage terminal ; la précision finale de 50 à 100 m est compatible avec un armement constitué de sous-munitions anti-piste, permettant de neutraliser les bases aériennes (besoin opérationnel primordial de l'époque) : pour neutraliser une piste, il faut réussir 5 tirs, en attaque latérale ; le délai de la réparation varie suivant la disponibilité des moyens des travaux publics.

Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- masse du missile d'environ 1 280 kg, correspondant à la possibilité des points d'accrochage sous voilure, en tenant compte du pylône ; longueur de l'ordre de 5 m ;
- configuration classique avec les ailes déployables ; véhicule discret du point de vue de la SER ;
- cargo modulaire avec tronçon d'armement interchangeable de 500 à 600 kg environ : version anti-piste comportant 10 sous-munitions Kriss (Matra et TDA) avec propulsion ; possibilité de chargement avec des mines (projet allemand, sans suite) ;
- propulsion par turboréacteur subsonique Microturbo ; portée de l'ordre de 140 km ;
- vol à très basse altitude utilisant les informations prévues par la préparation de mission : radioaltimètre TRT ; guidage inertiel (centrale SAGEM¹²) avec recalage utilisant la corrélation altimétrique continue (relief d'une bande latérale de l'ordre de 300 m) et la corrélation sur quelques amers, les images étant détectées par le radar Thomson-CSF Prométhée ; détection de la cible par ce radar, pour le tir des sous-munitions ;
- adaptation sous les avions Mirage 2000 D et Rafale ; elle a aussi été effectuée sous le Tornado, pour les Allemands ;
- nécessité d'une préparation de mission au sol.

Un tir de mise au point a d'ores et déjà été réalisé avec succès, en juillet 1994. Apache devrait mis en service à la fin des années 1990, avec une production limitée¹³. Il faut noter la difficulté en France d'effectuer des tirs d'essais à grande portée et avec recalage sur un champ de tir maritime comme le CEL.

SCALP-EG (ou Storm Shadow, missile britannique identique) – Matra avec BAe (cf. figures 76 à 78)

C'est un missile conçu après la guerre du Golfe et comportant la technologie de 1993, de « deuxième génération » :

- recalage par récepteur GPS¹⁴ permettant l'obtention d'une grande portée ;
- autoguidage terminal sur l'objectif désigné par des informations mises en mémoire, permettant l'obtention d'une précision métrique ;
- charge unitaire permettant la destruction d'objectifs militaires de haute valeur, durcis et de faibles dimensions.

Ses principales caractéristiques connues à la fin de 1995 sont :

- missile : masse et formule aérodynamique voisines de celles d'Apache ;
- portée classifiée, de l'ordre de 400 km ; propulsion par turboréacteur subsonique Microturbo ;
- trajectoire programmée ; vol à très basse altitude (radioaltimètre) ; guidage inertiel hybridé avec recalage GPS ; autoguidage terminal après une petite

¹² Cf. chapitre 13.

¹³ Décision en mai 1996, lors de la préparation de la 9^e loi de programmation : 100 Apache anti-piste.

¹⁴ Le système GPS n'est pas autonome vis-à-vis des Américains, car ils se réservent la possibilité de le brouiller.

ressource pour accrochage de l'autodirecteur infrarouge ; corrélation entre l'image détectée et les données mises en mémoire ; utilisation de traitements d'images en temps réel permettant de décomposer l'image en informations synthétiques utiles pour reconnaître la cible, puis de fournir l'écartométrie pour assurer le guidage du missile sur cette cible ;

- charge unitaire capable de perforer quelques mètres de béton (charge en tandem) ;
- adaptation sous les avions français, Mirage 2000 et Rafale, et sous les différents avions britanniques.

Ce programme a été défini en 1995 et devrait être lancé en 1997¹⁵. Les Britanniques prévoient le lancement de leur programme à la même date. Sa mise en service est prévue pour le début des années 2000.

La concurrence

Le missile de croisière a commencé à être développé, dans les années 1970, aux Etats-Unis, comme armement stratégique pour l'*Air Force* et la *Navy*. C'est la Marine qui a été la première armée à exprimer le besoin d'une version tactique du Tomahawk pour tir sur des cibles terrestres : elle était destinée à armer ses navires et ses sous-marins ; elle a été mise en service en 1984 et sa première utilisation eut lieu lors de la guerre du Golfe.

Les principales caractéristiques du Tomahawk (BGM 109 C et D, *Tomahawk Land Attack Missile*) de Hughes sont :

- masse lors du lancement de navires : 1 450 kg ; missile de 1 225 kg ; accélérateur longitudinal largable ; charge unitaire de 454 kg ;
- portée de 1 300 km ; propulsion de croisière par turboréacteur subsonique ;
- trajectoire programmée ; vol à très basse altitude ; guidage inertiel avec modes de recalage de la première génération : corrélation altimétrique (Tercom) et corrélation sur images optiques (DSMAC, *Digital Scene-Matching Area Correlation*) ; précision finale donnée pour 10 m (CEP).

L'utilisation tactique a été révélée lors de la guerre du Golfe, avec 291 missiles tirés sur des objectifs de haute valeur : 75 à 85 % des missiles auraient touché l'objectif visé, selon des revues américaines ; une deuxième utilisation eut lieu en 1993 contre des objectifs stratégiques irakiens.

La décision de transformer en version tactique une partie du stock des Tomahawk nucléaires a été prise en 1991. La Marine américaine avait acquis environ 3 400 missiles de ces versions avant 1995 ; c'est un missile tactique très cher, car il a été conçu pour une utilisation stratégique (voir annexe 1). La Marine britannique s'est également équipée, en 1994, du Tomahawk (10 missiles).

Ce n'est que récemment qu'un missile américain proche du SCALP-EG et commun aux deux armées a été lancé en développement ; il devrait être mis en service au début des années 2000. C'est le JASSM (*Joint Air to Surface Standoff*

¹⁵ Contrats notifiés en 1997 aux filiales nationales de MBD (Matra Bae Dynamics) : 500 exemplaires pour la France et 900 pour le Royaume-Uni. En 1999, environ 2 000 exemplaires commandés par quatre pays (France, Royaume-Uni, Émirats arabes unis et Italie).

Missile), équipé d'un recalage GPS et d'un guidage terminal infrarouge : il a 300 km de portée et une charge unitaire de 454 kg ; la cible des commandes est de 2 400 exemplaires, avec un prix objectif compétitif (voir annexe 1) ; c'est probablement le concurrent du SCALP-EG.

Des programmes intérimaires ont été développés pour tirs d'avions : le JSOW (*Joint Standoff Weapon*), proche d'Apache, avec sa version armée de sous-munitions, et le SLAM (*Standoff Land Attack Missile*), adopté par la Navy et dérivé du Harpoon, qui a gardé la liaison avion-missile, d'où l'attaque possible de cibles d'opportunité ; il a été utilisé durant l'intervention de Bosnie.

Enfin, en 1995, les Allemands, en coopération avec les Suédois, ont lancé le programme Taurus, voisin du SCALP-EG.

JDAM (Joint Direct Attack Munition), armement à faible coût

Tirant les leçons de la guerre du Golfe, les Américains ont lancé, dès 1992, ce programme de kits pour armement de bombes, qui auront une bonne précision sur les objectifs désignés (préparation de mission) tout en étant larguées à moyenne altitude (au-dessus du domaine des SATCP et SACP). Elles comportent un guidage inertiel avec recalage GPS, d'où une précision décimétrique ; un guidage terminal additionnel à base d'un AD millimétrique est prévu.

Ce programme devrait mis en service avant la fin des années 1990 et l'objectif des commandes est de 87 000 exemplaires, à un prix très faible (20 000 dollars en 1995). Un programme similaire est prévu en France (AASM).

LES MISSILES ANTINAVIRES

La deuxième période avait vu le lancement, en Occident, de missiles antinavires modernes. La troisième est caractérisée par l'utilisation de ces missiles (Malouines, Irak-Iran, etc.) et par leurs améliorations, surtout pour la résistance aux contre-mesures.

En France, une nouvelle génération fondée sur l'utilisation du statoréacteur supersonique (ANS et ANF) a été étudiée, mais elle n'a pas été lancée (cf. chapitre 12). Le seul programme effectivement lancé, en coopération franco-italienne, est le missile lance-torpille Milas, qui devrait remplacer le missile de première génération Malafon.

Le Milas

Matra et Oto Melara en sont maîtres d'œuvre, dans le cadre du GIE Milas (cf. figure 59 et histoire au chapitre 12).

Les principales caractéristiques du Milas sont les suivantes :

- sa mission est la lutte anti-sous-marine dans la zone détectable par le sonar du bateau lanceur (première résurgence) : amener la torpille dans une zone précise située entre 5 et 35 km pour la larguer après une phase de ralentissement assurée par l'arrêt du moteur et l'ouverture d'un parachute ; dans l'eau, l'autodirecteur de la torpille recherche le sous-marin cible et assure ensuite le guidage ;
- armement des frégates de lutte anti-sous-marine ;

- torpille légère développée par les deux pays, hors de la coopération Milas : Mu 90, d'une masse de 300 kg environ ;
- véhicule dérivé de l'Otomat : masse de 815 kg avec la torpille ; deux accélérateurs à propergol solide, éjectés latéralement (identiques à ceux de l'Otomat) ; turboréacteur subsonique Microturbo pour la croisière ;
- guidage inertiel (centrale SAGEM) avec possibilité de recalibrer la position de largage par les informations transmises par le navire tireur (liaison entre le navire et le missile) ;
- ordre de grandeur de l'efficacité du Milas, hors fonctionnement de la torpille : à la distance maximale, 64 % en « tire et oublie », passant à 75 % avec réinformation en vol.

Le programme a été lancé en développement en 1988 et la mise en service est prévue pour la fin des années 1990.

LES SYSTEMES DE MISSILES SOL-AIR

Durant la deuxième période, les activités françaises dans ce domaine avaient été limitées au développement des systèmes SACP Roland et Crotale et à la définition de la fiche-programme interarmées d'un SATCP.

Le bilan de la troisième période est plus important : développement du SATCP Mistral et lancement du développement, en coopération (mais avec le *leadership* français pour les missiles), des systèmes SAMP et SAAM. Ce dernier système a été conçu pour contrer la menace envisageable, comme celle du missile antinavire supersonique. Pour les SACP, les améliorations avaient pour objectif de pouvoir contrer une menace devenue plus performante et de mieux résister aux contre-mesures.

En outre, l'intérêt d'une coordination de différentes batteries autonomes a été mis en évidence, pour contrôler l'exécution des opérations et pour augmenter l'efficacité ; cela a conduit au développement de systèmes dits « C2 » (*command and control*).

Les années 1990 montrent aussi une évolution de la menace, vers le « bas » avec les missiles de croisière furtifs pour les attaques terrestres et vers le « haut » avec les missiles balistiques des pays dits « filous » (*rogue states*) ; les études de faisabilité ont commencé.

Les missiles SATCP

La mission de ces missiles est d'une part la défense de sites ne pouvant pas justifier des moyens de défense plus onéreux, comme les SACP, d'autre part « l'ultime recours » de sites majeurs, en cas de brouillage des radars des SACP et des SAMP. Compte tenu de leur coût moindre par rapport aux batteries des SACP, les SATCP sont retenus, avec un centre de coordination, par les armées pour la défense de quelques sites plus importants.

La menace est l'avion et aussi l'hélicoptère, rayonnant une très faible énergie et qui ne se démasque que quelques secondes (*pop-up*) ; en 1995, ces aéronefs sont souvent équipés de détecteurs de départ des missiles et de leurres largués

suivant des cadences planifiées pour contrer au maximum les ordres de guidage fournis par les autodirecteurs.

L'histoire du Mistral a été donnée au chapitre 12 ; le maître d'œuvre est Matra. Ses principales caractéristiques (cf. figures 79 à 83) sont les suivantes :

- missile portable : masse pour la munition de 24,4 kg, dont 5,4 kg pour le tube ;
- véhicule canard en auto-rotation ; diamètre de 90 mm pour le missile ; pilotage un axe sans gyromètre ; servomoteur électrique Matra ; grande manœuvrabilité (25 g) permettant d'être efficace contre des cibles se dérobant ;
- missile « tire et oublie » ; autodirecteur infrarouge SAT (cf. chapitre 13) avec un irdôme pyramidal et un détecteur infrarouge multiélément (technologie de 1978, avant l'IR-CCD) refroidi à 88° K (bouteille d'argon située sur le poste de tir) ; ce type de détecteur permet l'obtention d'une portée d'accrochage acceptable sur hélicoptère et sur avion et d'une certaine résistance contre le leurrage ;
- tir manuel après accrochage de l'AD ; temps de réaction de l'ordre de 5 s entre la désignation de la cible et le départ ;
- distance de tir maximale de 6 km sur avion ; altitude maximale de 4 000 m pour la cible ; éjection du tube à 40 m/s ; propulseur SEP à propergol solide (butalane) avec enveloppe bobinée en kevlar (Mach maximum de 2,5) ;
- charge à fragmentation Manurhin de 3 kg et fusée de proximité laser Matra.

La probabilité globale de destruction du Mistral est réputée : elle est de l'ordre de 93 % pour des tirs effectués dans les nombreuses expérimentations ; elle résulte de sa fiabilité excellente, de sa distance de passage réduite et d'une charge de masse adaptée et mise à feu par une fusée de proximité.

Plusieurs systèmes de lancement et de tir ont été mis en service ; cela a induit une activité importante pour Matra (ce qui différencie les air-air des sol-air).

Parmi les affûts manuels, on trouve d'abord le trépied Manpads. C'est la solution de base la plus employée par les armées de Terre et de l'Air. Il est portable et comporte une seule munition ; il est équipé d'un viseur de jour et de la bouteille de servitude (pile et argon pour le refroidissement de l'AD) ; en option, il peut être équipé d'une caméra thermique légère Malis et d'un IFF. Il peut être monté sur un véhicule léger.

Il existe une solution dérivée terrestre, Atlas, avec deux munitions, pour montage sur véhicule ou sur plateforme.

Pour la défense de sites, un ensemble de 6 postes de tir peut être réuni autour d'un système d'alerte et de coordination, du type Samantha en France, comportant un radar de veille de 20 km de portée ; les informations vocales sur la désignation de l'objectif sont fournies à chaque poste de tir à l'aide d'un boîtier.

Il existe également une solution navale dérivée, Simbad, avec deux munitions, pour l'équipement des petites unités.

L'affût automatique pour la Marine¹⁶, Sadral, est un système intégré comportant une tourelle stabilisée, télécommandée et équipée de 6 munitions. Sadral est

¹⁶ Elle peut participer à la mission antimissile. Le système Mistral a la capacité, mais la probabilité est réduite.

couplé au système de combat du bâtiment et comporte par ailleurs une conduite de tir équipée d'une caméra thermique. Cet affût permet d'assurer l'autoprotection des grands bâtiments, comme un porte-avions.

Pour l'armée de l'Air française, Thomson-CSF a développé un véhicule léger, Aspic, disposant d'un système de tir automatique permettant de tirer 4 munitions.

Enfin, l'autodéfense des hélicoptères est assurée par le missile air-air AATCP (air-air très courte portée). C'est une nouvelle mission. En 1994, l'équipement de la Gazelle est réalisé (quatre missiles) ; celui du Tigre est prévu.

Nous avons déjà indiqué, au chapitre 12, que le Mistral, missile interarmées, avait été lancé en développement à la fin de 1980 et que les difficultés rencontrées pour sa mise au point avaient été maîtrisées. Elles étaient liées à beaucoup d'innovations comme le faible diamètre, l'irdôme pyramidal et l'auto-rotation d'un missile autoguidé avec pilotage un axe. Cette dernière formule était celle du Red Eye américain (cf. chapitre 9), mais le Mistral était un missile plus lourd (20 kg, contre 10 kg) et plus ambitieux en matière de domaine de tir.

La première livraison de série eut lieu en 1989. Le Mistral rencontre un grand succès, en particulier à l'exportation ; en 1995, 16 pays l'avaient adopté, dont la Belgique, l'Espagne, l'Autriche, Chypre, l'Arabie saoudite, les Émirats Arabes Unis, la Corée... ; mais seulement 8 700 munitions étaient commandées¹⁷.

Les deux principaux concurrents du Mistral sont des missiles épaulables : la famille du missile américain Stinger et celle du missile soviétique Stréla.

Leurs concepts sont identiques :

- missile d'une masse de 10 kg environ et d'un diamètre de 70mm ;
- autoguidage infrarouge ;
- charge de masse réduite (1 kg), avec uniquement une fusée d'impact ;
- vitesse variant de Mach 1,4 pour le SA 7 à Mach 2 pour le Stinger ;
- temps de réaction de 10 s ;
- la probabilité de destruction du SA 7, estimée par les experts, est égale à 50 %.

Leurs performances ont été améliorées, particulièrement du point de vue de la résistance au leurrage, ce qui explique l'existence de familles.

La première version du Stinger, FIM 92 A, a remplacé le Red Eye et a été mise en service en 1979. Elle a été ensuite améliorée avec le Stinger Post, comportant une détection bispectrale (IR et UV). 60 000 exemplaires ont été produits aux États-Unis, dont 53 000 pour le marché domestique. Le Stinger a été très exporté (18 pays) et a été utilisé dans de nombreux conflits, en particulier par les Afghans contre les Russes (900 missiles remis par les États-Unis). Une production européenne est en cours, avec une production prévue de 10 000 exemplaires (le MoU date de 1983 et la licence de 1988) ; elle concerne l'Allemagne, les Pays-Bas, la Grèce et la Turquie ; Dornier en est le leader industriel.

La première version du Stréla, SA 7 Grail¹⁸, fut mise en service en 1968 ; des versions améliorées furent mises successivement en service : SA 14 (bande

¹⁷ À la fin de 1999, 25 pays, 36 forces armées utilisatrices et 12 500 missiles commandés.

¹⁸ Les noms SA 7 Grail... SA 16 sont les noms de code définis par l'OTAN ; Stréla est le nom russe.

spectrale 2) ; SA 16 (avec un nez pointu) ; très récemment, une nouvelle famille, Iгла, est née, avec le SA 18 (détection bispectrale). Ce missile a été très diffusé et utilisé dans de nombreux conflits.

Les Russes ont aussi développé une famille de missiles infrarouges ayant une masse (30 à 40 kg) et un diamètre (120 mm) plus importants et tirables de véhicules. La masse de la charge est de l'ordre de 5 kg. Le premier est le SA 9, mis en service dès 1968 et très diffusé ; ses successeurs sont le SA 13 et le SA 15. Ces missiles peuvent être considérés comme des SACP ou de gros SATCP.

Des missiles guidés par faisceau laser existent également. Ils sont principalement adaptés à la menace hélicoptère. Ils nécessitent un poste de tir comportant la lunette et l'émetteur laser et ils ne sont pas « tire et oublie ». Les missiliers qui les ont développés ne possédaient pas la technologie de l'autodirecteur : ce sont Shorts, en Irlande, pour le Starbust et ensuite le Starstreak, avec ses trois fléchettes terminales, et Bofors, en Suède, pour le RBS 70.

En conclusion, la prolifération et l'efficacité de ces missiles SATCP « tire et oublie » a entraîné la limitation du vol des avions à basse altitude et le besoin de développer des missiles TDS et des bombes guidées par GPS et pouvant être tirées en altitude. Contrairement à ses deux concurrents épaulables, le Mistral n'est que portable, ce qui lui a permis d'être plus efficace ; en outre, ses performances en vitesse et en portée et son agilité sont supérieures. C'est la raison de son succès.

Les systèmes SACP terrestres (avec version Marine dérivée pour le Crotale)

Nous avons indiqué que seules des améliorations avaient été apportées dans cette troisième période (cf. chapitre 12) ; la situation fut la même à l'étranger.

Pour des raisons d'homogénéité, le SAAM Aster sera traité ci-après, avec la version SAMP de l'Aster ; nous évoquerons aussi la concurrence.

Le Crotale (NG) de Thomson-CSF résulte de la consultation américaine : il fut la base technique de la proposition de Thomson-CSF ; l'objectif des améliorations signalées au chapitre 13 était de rendre le système plus compétitif.

Les améliorations concernent d'abord, pour la version terrestre, l'intégration sur un seul *shelter* des fonctions de surveillance et de conduite de tir, avec un nouveau radar de poursuite (radar *pulse doppler* ayant une portée de 20 km au lieu de 18 km) et des caméras TV et IR pour une poursuite optronique, en cas de brouillage. La résistance aux contre-mesures et le traitement des informations ont été améliorés.

S'y ajoute un nouveau missile, le VT 1, développé par la société américaine LTV et plus performant : vitesse et manœuvrabilité nettement augmentées, Mach de 3,5 au lieu de 2,3 et capacité de 30 g au lieu de 20 g, ce qui permet à ce missile de contrer les avions modernes (dérobade continue de 9 g à basse altitude) ; portée de 8 km atteinte en 10,3 s.

En France, l'armée de l'Air et la Marine, pour les frégates actuelles, ont amélioré leurs matériels existants et ont adopté le NG pour leurs nouveaux besoins (en 1990 pour l'Air). Pour la Marine, le missile VT 1 renforce la capacité anti-missile contre une menace subsonique et non saturante.

Après la vente, en France et à l'exportation (Finlande...) des 1 000 missiles VT 1 produits aux États-Unis, une production devrait avoir lieu en Europe (accord avec Euromissile en 1991). Après une stagnation, les ventes à l'exportation, pour la version terrestre, semblent devoir reprendre.

Comme nous l'avons indiqué, au chapitre 12, l'armée de terre française, prévoyant un maintien en service jusqu'en 2020, a décidé d'améliorer ses systèmes Roland 2 (tous temps) sur les points suivants :

- dans la version d'origine, le poste de tir (veille, poursuite et missiles) était monté sur un AMX 30. Pour l'utilisation par la Force d'action rapide, le poste de tir est installé dans une cabine aérotransportable, nommée Carol : les premières cabines ont été livrées en 1994 ;
- intégration prévue, en France et à la fin des années 1990, du Roland dans le système de contrôle et de coordination des feux appelé Martha (maillage antiaérien des radars tactiques contre hélicoptères et avions) ;
- adjonction d'un nouveau système optronique de veille sectorielle et de conduite de tir, le Glaive (SAGEM), et refonte du calculateur et des moyens de visualisation associés ; le Roland devient trimode, optique, radar et infrarouge, et résistera mieux aux contre-mesures. Cette modification doit être effectuée à la fin des années 1990 ;
- adoption du missile Thomson VT 1, lors de l'obsolescence des missiles Roland.

Les systèmes SAAM et SAMP

La famille FSAF Aster (cf. figures 84 à 87) est développée sous la responsabilité de GIE Eurosam, associant Alenia, Aérospatiale et Thomson-CSF. Ce programme comprend trois systèmes distincts, avec une structure commune, les systèmes SAAM et SAMP¹⁹ :

- le système SAAM (surface-air antimissile) naval, comportant le missile Aster 15 et le radar multifonction Arabel (SAAM français) ou Empar (SAAM italien) ;
- le système SAMP naval, comportant le missile Aster 30 et le radar Empar.
- le système SAMP terrestre, comportant le missile Aster 30 et le radar Arabel.

La structure commune comprend :

- un radar multifonction, équipé d'une antenne mobile en gisement et à balayage électronique en site et en gisement, assurant simultanément la veille aérienne, la localisation des cibles, l'entretien de leur poursuite et la liaison avec le missile ;

¹⁹ Du fait qu'il n'a été défini qu'en 1998, nous ne décrivons pas le système PAAMS devant équiper les frégates françaises, britanniques et italiennes ; mais il utilise, sans changement, les missiles Aster 15 et 30.

- un ensemble de calculateurs et de consoles assurant le pilotage du radar (forme d'onde émise suivant le site...) et les fonctions traditionnelles de commande et de contrôle (évaluation de la menace, plan d'engagement, automatisation du tir...);
- le missile composite lancé verticalement et composé d'un étage d'accélération largable et spécifique à la version du missile (15 ou 30) et d'un missile commun ayant une phase de guidage mi-course et un autoguidage terminal (autodirecteur électromagnétique actif); durant la phase de guidage mi-course, des informations de rafraîchissement de la position de la cible sont transmises au missile, ce qui doit permettre l'accrochage de l'AD sur l'objectif;
- un système de lancement vertical fondé sur un module de huit munitions; ce système assure le stockage et le lancement dans des délais très brefs.

Les principales caractéristiques et les performances non classifiées sont les suivantes :

- la mission du SAAM est l'autodéfense du navire contre la menace la plus contraignante envisagée à la fin des années 1980 : missile antinavire supersonique et manoeuvrant suivant une hélice (accélération transversale de 10 g) et, bien entendu, les missiles subsoniques et les avions;
- les missions des SAMP sont la défense à moyenne portée des grands bâtiments, la protection des sites fixes et la protection du corps de bataille contre la menace moderne. Ces systèmes sont, bien entendu, multicibles;
- masses des missiles : 300 kg pour l'Aster 15, 440 kg pour l'Aster 30 ; 112 kg pour le missile commun.
- durant la phase d'accélération, le missile composite est piloté à l'aide de servomoteurs hydrauliques, ce qui est nécessaire pour le basculement, dans un délai bref, du missile Aster 15 tiré sur une cible à très basse altitude;
- missile commun : propulseur de croisière; pilotage PAF : configuration classique avec gouvernes aérodynamiques commandées par des servomoteurs électriques Lucas (de l'ordre de 30 g pour la manoeuvrabilité); près de l'impact, adjonction du pilotage PIF, fournissant une force latérale au centre de gravité grâce à des jets latéraux d'un propulseur spécifique (de l'ordre de 10 g durant 1 s) : c'est le pilotage original PIF-PAF, qui permet une légère réduction du temps de réponse du missile par rapport aux missiles modernes, et donc de la distance de passage; guidage mi-course inertiel utilisant une centrale à éléments liés avec des gyrolasers (SAGEM et Alenia) et les informations provenant de la liaison radar-missile; autodirecteur *pulse doppler* actif Alenia-ESD (dérivé de celui du Mica); charge à fragmentation à effet dirigé d'une masse de 15 kg environ, déclenchée par une fusée de proximité électromagnétique.
- vitesse maximale de Mach 3 à 3,5;
- pour le SAAM, la distance d'interception maximale varie d'environ 9 km sur une cible supersonique à 15 km sur une cible subsonique, soit une distance de tir pouvant atteindre 20 km; altitude maximale de 10 000 m;
- pour le SAMP, la distance d'interception maximale est de l'ordre de 30 km, soit une distance de tir pouvant atteindre 60 km; altitude maximale de 18 000 m.
- très faible temps de réaction des systèmes, de l'ordre de 8 à 10 s, du fait de la conception du système : vitesse de rotation de l'antenne du radar égale à

1 tour/s ; automatisation du tir ; lancement vertical ; temps de préparation du missile très réduit.

Les différentes versions comportent des équipements sol spécifiques : pour la version SAMP/T française, un camion TRM 10 000 permettant la mobilité et l'aérotransportabilité ; ou encore des senseurs complémentaires (radar pour la veille zénithale ; moyens optroniques).

Le développement a été lancé en 1989. Pour la France, c'est un système interarmées, avec des versions SAAM et SAMP/N pour la Marine et SAMP/T pour les armées de l'Air et de la Terre. L'Italie est intéressée par l'ensemble du système pour sa Marine et pour son armée de Terre. La Grande-Bretagne n'est intéressée que par les deux versions navales.

La mise en service du premier SAAM, devant équiper le porte-avions *Charles de Gaulle*, est prévue à la fin des années 1990 ; elle est prévue au début des années 2000 pour les autres versions. Le marché potentiel est très important²⁰. Mais le coût élevé du système risque de limiter sa diffusion (voir annexe 1).

Les principaux concurrents du SAAM sont les programmes développés dans la deuxième période et actuellement en service ; ils ont été améliorés en adoptant le tir vertical : ce sont l'Evolved Sea Sparrow américain et le Sea Wolf britannique. Un autre concurrent, le RAM (*Rolling Airframe Missile*), a été développé en coopération entre les Allemands et les Américains : c'est un missile autoguidé passif avec un AD bimode (électromagnétique pour la première phase et infrarouge pour la rencontre). La production est en cours : 5 500 missiles sont prévus, dont 1 450 pour l'Allemagne, 2 400 pour les États-Unis et le reliquat pour l'exportation. Ces trois systèmes sont limités à la menace subsonique et à une menace non saturante : c'est la différence avec l'Aster.

En matière de SAMP, les systèmes américains ont continué à être améliorés : ce sont le Hawk et le système naval Standard, à tir vertical. L'événement principal a été l'utilisation du Patriot comme antimissile contre le Scud, durant la guerre du Golfe. C'est un système conçu en 1965 et opérationnel en 1982, comportant quatre radars avec une antenne fixe à balayage électronique et un missile imposant (1 000 kg avec une charge de 90 kg, une grande vitesse et une portée de l'ordre de 70 km) ayant les caractéristiques nécessaires pour être adapté en antimissile de première génération. 6 000 missiles ont été commandés par les Américains. Une version antimissile améliorée est en cours de développement : le PAC 3, avec le missile ERINT prévu pour faire l'impact.

Conclusions sur les sol-air

Dans les années 2000, les armées françaises, pour la première fois, seront entièrement équipées de missiles français très compétitifs.

Les deux autres événements majeurs sont liés à l'Aster : il s'agit de l'absence d'un concurrent américain et de la coopération européenne en cours (France,

²⁰ À la fin de 1999, commande de cinq systèmes SAAM (un pour le porte-avions *Charles de Gaulle*, un pour le porte-aéronefs italien *Andrea Doria* et trois pour les frégates saoudiennes *Sawari II*), de trois systèmes PAAMS (un par pays : France, Italie et Grande-Bretagne) et d'environ 400 missiles Aster 15 et 30.

Italie et Grande-Bretagne) dans le domaine SAMP, pour lequel les Américains avaient la prépondérance en Occident.

LES DRONES

Cette troisième période est caractérisée par une prise de conscience de la part des états-majors quant à la valeur opérationnelle des drones ; les sceptiques se sont tus. Les Israéliens avaient été les premiers à les utiliser dans les conflits au Proche-Orient en 1973 et en 1982, en mission de surveillance et de leurrage (cf. chapitre 9). Les États-Unis, n'ayant pas réussi à mettre au point des drones viables, ont acheté des drones israéliens et les ont utilisés avec succès durant la guerre du Golfe de 1991.

Le besoin manifesté, dans les années 1980, par les armées de Terre occidentales concernait le drone dit « tactique », avec une mission de *targeting* pour l'artillerie de type MLRS. Les événements de 1990 et 1991 ont fait évoluer ce besoin : l'effondrement de l'URSS a supprimé la grande bataille potentielle de chars et la guerre du Golfe a montré l'intérêt du drone, ayant un grand rayon d'action et capable d'assurer la surveillance permanente et en temps réel ; cette dernière mission a été confirmée lors du conflit en Bosnie. L'idée d'un drone d'endurance, transmettant ses informations par une liaison satellitaire, est ainsi apparue aux États-Unis, à la fin de cette troisième période.

En 1995, la situation française était la suivante : l'armée de Terre peut utiliser le missile de reconnaissance CL 289²¹, qui a une autonomie limitée ; le développement du drone Brével, conçu à la fin des années 1980, a été lancé à la fin de 1992, et un programme intérimaire, Crécerelle, a été commandé.

Le Brével – GIE Eurodrone (Matra et STN Atlas Elektronik) – cf. figures 88 et 89

Les missions principales imparties au système Brével²² étaient les suivantes :

- en temps de crise, il devait être un excellent outil, avec une faible vulnérabilité et avec l'absence de risque de perte humaine ;
- en cas de conflit, il devait d'une part fournir les renseignements au commandant de division pour concevoir et conduire sa manœuvre, d'autre part d'être « l'œil de l'artillerie », c'est-à-dire désigner avec précision les objectifs et évaluer les dégâts.

La surveillance en temps réel devait être permanente (permutation des drones toutes les trois à quatre heures), nuit et jour (grâce à un senseur infrarouge), dans une ambiance sévère de brouillage et dans la profondeur du champ de bataille incombant à la division.

Les principales caractéristiques et performances non classifiées sont les suivantes :

- une batterie comprend une (ou deux) station(s) de contrôle et de commandement (SCC), le véhicule porte-antenne relié au SCC, plusieurs

²¹ Le CL 289 a été utilisé avec succès en 2000 au Kosovo.

²² L'histoire en a été donnée au chapitre 12, Coopération franco-allemande.

- véhicules aériens (5 à 7) et les véhicules de servitude (lancement de drone, récupération, remise en état) ;
- le drone Brével est léger (150 kg), de configuration avion, éjecté du camion lanceur par des roquettes de coût faible, propulsé par un moteur à hélice à deux cylindres et récupéré par un parachute (avec des airbags). Il comporte un système de navigation et le vol est programmé avec téléguidage par la station sol (changement de trajectoire ou de ligne de visée...). Brével a une très faible détectabilité (visuelle, infrarouge, radar et sonore). La charge utile est un FLIR infrarouge de technologie moderne (bande 3, détecteurs à barrette IR-CCD) avec zoom, monté sur une plate-forme trois axes avec débattement de $\pm 70^\circ$;
 - la liaison drone-SCC transmet les ordres de télécommande, les informations de télémessure (ligne de visée) et l'image détectée, qui est compressée pour réduire la bande passante de la liaison. En bande Ku, elle est très protégée contre les contre-mesures ;
 - la SCC est très automatisée (par exemple pour la reconnaissance d'objectifs). Le personnel comprend deux opérateurs et un responsable, ce dernier recevant les ordres du QG et transmettant les résultats en temps réel. Les opérateurs préparent la mission, exécutent la mission de surveillance et interprètent les images. Ils peuvent commander au drone des trajectoires circulaires autour d'un supposé objectif et zoomer dessus ;
 - les performances approximatives sont les suivantes : vitesse de 140 km/h ; autonomie de 4 heures ; vol à une altitude d'environ 2 000 m et sous la couche nuageuse ; portée maximale de la liaison de 60 à 120 km, suivant le niveau de brouillage ; précision de désignation des objectifs de 50 à 100 m (artillerie), même en cas de brouillage.

La répartition de responsabilité des principaux ensembles était la suivante ; la maîtrise d'œuvre du système relevait du GIE, la SCC de Matra, le drone, y compris le FLIR, de STN et la liaison de Dasa (Telefunken) et Matra en co-traitance.

Comme nous l'avons indiqué, le contrat de développement a été notifié au GIE à la fin de 1992 et l'expérimentation tactique commune est prévue à partir de 1997. La mise en service dans les deux armées de Terre pourrait intervenir à la fin des années 1990.

Il s'agit d'un matériel très sophistiqué des points de vue de la discrétion, de la détection par le FLIR, de la protection de la liaison contre le brouillage, de l'exploitation par la SCC et de la fiabilité.

Le Crécerelle – SAGEM (cf. figure 90)

Nous avons déjà indiqué qu'en 1992, l'EMAT a désiré acquérir rapidement un matériel expérimental, sans spécification. Après une consultation internationale, c'est la proposition française la moins disante qui fut choisie en 1993 : c'était le Crécerelle.

Le système est fondé sur des équipements existants : vecteur aérien britannique (cible) tiré d'une rampe de 10 m de longueur, analyseur monoligne

infrarouge Cyclope 2000 de la SAT, liaison non protégée et station de contrôle simplifiée. Les deux batteries commandées devraient être livrées à la fin de 1995.

*La concurrence*²³

À partir de leur drone de la première génération, le Scout, utilisé en 1982, les Israéliens ont développé, durant la troisième période, deux générations de drones de reconnaissance en adoptant une approche évolutive en liaison avec les opérationnels (nouveaux besoins et nouvelles technologies) ; la durée de mise au point de ces deux générations fut réduite.

La deuxième génération, dans les années 1980, correspond au Pioneer, ayant une autonomie de 5 heures et un rayon d'action de 185 km ; il ne fut pas utilisé par les Israéliens ; en 1985, il fut acheté par les États-Unis pour des expérimentations.

La troisième génération, dans les années 1990, comprend le Searcher, utilisé par les Israéliens à partir de 1994, et le Hunter, réalisé en association avec les Américains (TRW). L'autonomie est de 12 heures environ pour un vol à 4 000 m d'altitude.

Pour augmenter la portée de transmission des informations, l'idée d'un relais aérien assuré par un deuxième Hunter est née : une portée de 300 km fut obtenue ; la liaison satellitaire fut l'extrapolation de ce relais.

Les Américains expérimentèrent le Pioneer en l'améliorant constamment. En 10 ans, leurs neuf systèmes ont volé 15 000 heures, y compris 530 sorties opérationnelles de surveillance (1 700 heures de vol) durant la guerre du Golfe. C'est cette utilisation qui fut le révélateur, pour les états-majors, de la nécessité de cet équipement. Le Pioneer fut aussi utilisé durant les conflits en Somalie et en Bosnie. L'expérimentation du Hunter commença en 1994 et, après plusieurs déboires, le programme fut arrêté à la fin de 1995²⁴. Les Américains expérimentèrent aussi des mini-drones et leurs limites apparurent.

Les Américains définirent, en 1994-1995, deux programmes. Le premier concernait un drone tactique de reconnaissance destiné à l'armée de Terre, au corps des Marines et à la Marine, avec une autonomie de 4 heures. Le second concernait un drone de grande endurance, avec deux classes : Male, c'est-à-dire moyenne altitude (jusqu'à 10 000 m) et longue endurance (24 à 48 heures) et Hale, c'est-à-dire haute altitude (15 000 à 20 000 m) et longue endurance. Les drones de longue endurance utilisent une liaison satellitaire ; leur rayon d'action varie entre 700 km pour le Male à plusieurs milliers de km pour le Hale ; de nombreux senseurs sont utilisables : optroniques, radar à antennes latérales... Pour le Male, la mission prioritaire est d'une part la surveillance « jour et nuit et tous temps », la localisation de cible et l'évaluation des dommages, d'autre part l'écoute et l'analyse des signaux électromagnétiques.

²³ G. BAFFERT-FORGES, « La robotique militaire aérienne aux États-Unis et en Israël », *Revue scientifique et technique de la défense*, n° 44, 1999-2.

²⁴ Le coût des améliorations fut élevé : pour le Pioneer, 250 millions de dépassements pour un coût d'achat de 280 millions ; pour le Hunter, le prix des 176 modifications fut de 456 millions de dollars pour un prix d'achat de 171 millions (*ibid.*).

Le premier drone Male, le Predator (masse de 1 135 kg et envergure de 14,8 m), lancé en développement en 1994, fut déployé en 1995 en Bosnie. Le premier drone Hale, le Global Hawk (12 000 kg, envergure de 35 m, autonomie de 35 heures) est en cours de développement.

Conclusion sur les drones

Sauf pour Israël, qui a été le précurseur, la période d'apprentissage des drones semble s'achever, après les multiples expérimentations. Pour de nombreux pays, dont les États-Unis, les nombreux problèmes techniques, comme la fiabilité de la récupération durant la vie du drone (50 vols par exemple), ainsi que les coûts, avaient été sous-estimés ; les spécifications de l'ensemble du système avaient été souvent floues ou trop ambitieuses.

Une nouvelle ère commence pour les drones des pays pouvant utiliser une liaison satellitaire. Dans ce domaine, les Américains ont pris le *leadership*. La France, comme l'Allemagne et la Grande-Bretagne, est en retard.

CHAPITRE 15

CONCLUSIONS SUR LA TROISIÈME PÉRIODE

BILAN DE L'ARMEMENT EN MISSILES TACTIQUES DES ARMEES FRANÇAISES EN 1995

L'armée de l'Air

Pour la défense aérienne, elle disposait du Mirage 2000 RDI armé des missiles air-air Super R 530D et Magic 2.

Pour l'attaque air-sol, elle disposait du F 1 CT, du Jaguar et des premiers Mirage 2000 D équipés des armements guidés laser, AS 30 laser et BGL. Ces avions sont aussi armés de missiles air-air d'autodéfense Magic 2. Les missions antiradars vont être interrompues avec la fin de vie du Martel (AR).

Pour la défense de ses bases aériennes, elle disposait du Mistral, de quelques batteries Crotale modernisées et des Hawk obsolètes de l'armée de Terre.

Les avions de combat de l'armée de l'Air représentaient une défense aérienne efficace contre tous les objectifs, y compris à basse altitude.

Par rapport aux Américains, l'armée de l'Air était en retard pour l'armement aérien multicible et pour l'armement en missiles de croisière ; l'AMRAAM est en service depuis 1991 et le Mica doit être mis en service, avec le Mirage 2000-5, à la fin des années 1990 ; l'Apache et le SCALP-EG doivent être opérationnels au début des années 2000.

La défense SAMP devrait devenir efficace dans les années 2000, avec l'Aster.

La Marine

L'Aéronavale disposait de ses Super Étendard armés de l'AM 39 (et prochainement de l'AS 30 laser) et du missile d'autodéfense Magic 2. Les Crusader étaient en fin de vie.

Les navires étaient armés d'une part de l'antnavire Exocet MM 38 ou MM 40, d'autre part, pour la défense aérienne, du Mistral et/ou du Crotale EDIR anti-missile et/ou du Masurca ou du Tartar, suivant la classe du bâtiment. Les SNA étaient armés du SM 39.

L'Aéronavale n'avait plus d'aviation moderne de combat aérien ; elle ne la retrouvera que dans les années 2000, avec le Rafale équipé du Mica. Avec le SCALP-EG équipant le Rafale, elle pourra effectuer des attaques contre des objectifs terrestres.

La défense aérienne de ses bâtiments, devant être mise en service dans les années 2000 (porte-avions *Charles de Gaulle*, frégates Horizon), sera efficace contre les menaces sophistiquées de l'époque, avec le Mistral, le SAAM et le SAMP/N Aster.

Contrairement aux marines américaines et britanniques, il n'était pas prévu, en 1995¹, d'armer les bâtiments et les SNA de la Marine française de missiles de croisière.

L'armée de Terre

Son armement antichar, en missiles, était complet et moderne : elle disposait de l'Eryx, du Milan et du Hot ; ce dernier missile à longue portée armait la Gazelle. Cet hélicoptère était aussi armé, pour la première fois, d'un missile air-air, le Mistral.

La défense contre les avions disposait du Mistral, des batteries Roland et des batteries SAMP Hawk, ces dernières devenant obsolètes.

Elle disposait aussi, pour la reconnaissance, de trois batteries CL 289 et elle devait commencer une expérimentation avec le Crécerelle.

Le stock de missiles antichars était très important.

Dans les années 2000, la défense aérienne devrait être renforcée avec la mise en service du SAMP/T Aster et des systèmes Roland valorisés.

Dans le domaine des drones, la politique de l'EMAT ne semble pas définie.

LE POSITIONNEMENT INTERNATIONAL DES MISSILES FRANÇAIS

Le bilan de la troisième période est contrasté : certains missiles sont considérés mondialement comme des succès ; pour d'autres programmes, la position prédominante de la France, acquise antérieurement, est probablement perdue.

Du côté des succès, deux missiles n'ont pas d'équivalent, en 1995, dans les autres pays et en particulier aux États-Unis : l'antichar à courte portée Eryx et la famille moderne de missiles sol-air FSAF, développée en coopération. Pour la version SAMP, c'est un retournement de situation après une domination, durant 40 années, des Américains avec le Hawk.

Trois autres missiles peuvent se comparer à leurs homologues américains (et russes, pour les deux premiers) : le Mistral, nettement le plus efficace parmi les SATCP concurrents, le Mica et le SCALP-EG (ce dernier défini avec les Britanniques).

En revanche, les successeurs des missiles français vedettes des périodes précédentes, les antichars SS 11, Milan et Hot et la famille Exocet, ne semblent pas pouvoir remporter un nouveau succès mondial.

Le développement de successeurs français aux missiles de la deuxième période considérés comme innovants, l'antiradar Martel et le missile d'autodéfense Magic, n'est pas prévu.

L'avenir de Brével et de Milas n'est pas assuré en France.

¹ Évolution en cours en 2000.

Durant cette troisième période, la France est restée, derrière les États-Unis, le deuxième pays du monde occidental pour la conception des missiles tactiques avec l'Eryx, le Mistral, le Mica, la famille Aster et la famille Apache ; les bureaux d'études français sont restés créatifs.

La coopération européenne associant la France est en cours d'évolution. Les deux pays qui sont devenus les principaux coopérants de la France, pour les programmes majeurs comme les sol-air, SAMP et SAAM, et les missiles de croisière, sont l'Italie et la Grande-Bretagne. En revanche, les relations gouvernementales et industrielles avec l'Allemagne se sont dégradées.

L'organisation industrielle européenne fondée sur le GIE n'est plus appréciée ; la constitution de sociétés intégrées est à l'ordre du jour.

Enfin, après une période durant laquelle les États-Unis ont aidé la France, les relations sont devenues, depuis le début des années 1970, concurrentielles. Durant la troisième période, des tentatives de coopération transatlantique, dans un cadre OTAN, eurent lieu et elles furent un échec. En conséquence, la coopération européenne devrait se renforcer. En revanche, dans le domaine air-air, les pays européens autres que la France sont toujours liés avec les États-Unis.

LE BILAN INDUSTRIEL

Les conclusions retenues pour la deuxième période sont toujours valables en 1995.

La France a une industrie missilière reconnue mondialement, mais elle est nettement moins florissante avec la nouvelle donne politique des années 1990. L'exportation, pour les missiliers, reste un facteur important pour l'expansion, mais sa part du chiffre d'affaires s'est réduite : elle est de 40 % environ.

Les différences fondamentales en faveur de l'industrie américaine sont toujours la taille du marché et le budget consacré aux développements. La création d'un marché européen serait un premier pas pour que l'industrie française reste compétitive.

ENCART 3/1

ENCART 3/2

ENCART 3/3

ENCART 3/4

ENCART 3/5

ENCART 3/6

ENCART 3/7

ENCART 3/8

ENCART 3/9

ENCART 3/10

ENCART 3/11

ENCART 3/12

Épilogue

(situation en 2000)

VERS L'EUROPÉANISATION DES MISSILES

En 1995, les prémices d'une évolution étaient perceptibles en Europe et de nouvelles réductions des budgets des pays européens et de ceux de la plupart des pays importateurs d'armement étaient prévisibles.

Aux États-Unis, la réorganisation industrielle était en cours ; elle aboutit en 1997, après l'absorption de Hughes par Raytheon, à la création d'une société leader dans le domaine des missiles, ayant un chiffre d'affaires supérieur à l'ensemble de l'industrie occidentale. Aussi la création d'un marché européen et la concentration de l'industrie devenaient-elles une nécessité.

En France, les décisions prises en 1996 par le président Chirac de professionnaliser les armées, de réduire les coûts des armements et de restructurer l'industrie française furent le point de départ d'une période de profonds changements réalisés en quelques années.

LES SERVICES OFFICIELS RESPONSABLES DES PROGRAMMES

En 1996, la DGA se réorganise avec l'objectif de mettre l'accent sur la performance économique (selon le délégué Jean-Yves Helmer) ; l'objectif concret est la réduction de 30 % des coûts des programmes d'armements et de son propre coût d'intervention.

La DME disparaît ; pour les missiles tactiques, le nouveau service, le SPMT (Service des programmes de missiles tactiques), garde les attributions du service antérieur, le STSMT ; mais il est rattaché à une nouvelle direction, la Direction des systèmes d'armes.

Un pas important pour l'eupéanisation des armements a été la décision prise en 1996 par les quatre principaux pays européens – France, Allemagne, Grande-Bretagne et Italie – de créer un organisme indépendant, l'OCCAR (Organisation commune de coopération de l'armement), qui aura la personnalité juridique et la responsabilité de la conduite des programmes en coopération.

L'INDUSTRIE

En 1996, Matra et BAe décident de mettre en commun leurs activités missiles au sein d'une société intégrée, MBD (Matra Bae Dynamics), détenue à parité par les deux sociétés et dirigée par un responsable de Matra. C'est le premier pas vers l'eupéanisation de l'industrie des missiles.

Puis les grandes manœuvres industrielles s'accélèrent. Elles aboutissent, en 1999, à la création de la société Aérospatiale-Matra, résultant de la fusion des deux sociétés. Cette opération, capitale pour les missiles français, n'était pas envisageable en 1995. Ensuite, cette nouvelle société fusionne avec Dasa et

Casa pour former, à la fin de 1999, la société aéronautique européenne EADS¹ ; les missiles sont moins directement concernés par cette dernière fusion.

Alenia et Marconi fusionnent alors leurs activités missiles et désirent participer au regroupement européen des missiles.

Ce mécano aboutit à la création, prévue au début du nouveau millénaire, d'une société européenne pour les missiles tactiques, qui sera nommée MBDA ; elle intégrera les activités de MBD, celles relatives aux missiles de l'ex-Aérospatiale et celles d'Alenia Marconi Systems.

Il est intéressant de noter que le capital de MBDA sera réparti de manière paritaire entre EADS et BAe Systems (nom né de l'achat de Marconi par BAe), chaque société ayant une part de 37,5 % ; la part du troisième actionnaire, Finmeccanica, la maison mère d'Alenia, sera de 25 %. Le président de l'exécutif est français. Cette répartition du capital montre que la politique menée par les Britanniques et les Italiens depuis la fin des années 1980 et visant à jouer un rôle majeur dans l'europanisation des missiles a abouti.

En revanche, la décroissance de la position allemande est confirmée ; compte tenu de sa mauvaise situation, l'intégration de l'activité de la Division missiles de Dasa, dépendante d'EADS, n'est pas décidée.

En dehors de MBDA, il ne restera que des missiliers européens de moindre importance : l'activité missilière de Thomson-CSF et de sa filiale Shorts, l'activité de SAGEM (drone et programme de l'armement AASM), BGT en Allemagne, Bofors/Saab en Suède et Kongsberg en Norvège.

Dans le cadre de la restructuration de l'industrie électronique française, en 1998, la société Dassault Électronique a été absorbée par Thomson-CSF, ce qui a entraîné en particulier la fusion des activités en matière d'autodirecteurs électromagnétiques des deux sociétés. Ainsi, la compétence des AD électromagnétiques, l'un des équipements majeurs de la plupart des missiles, est dorénavant répartie, en Europe, entre Thomson-CSF, rebaptisée Thales, et MBDA (pour les activités antérieures d'Alenia et de Marconi).

LES PROGRAMMES

L'évolution est contrastée.

D'un côté, les différentes révisions budgétaires ont entraîné l'arrêt de plusieurs programmes de missiles de la troisième période.

Les antichars ne bénéficient plus du même degré de priorité. En France, le TRIGAT (LP) a été arrêté ; seuls les Allemands s'intéressent encore à ce programme pour l'équipement du Tigre. La Grande-Bretagne a arrêté le TRIGAT

¹ Le président du Conseil de surveillance de la société privée Aérospatiale-Matra fut Jean-Luc Lagardère. Ce sont son action et son aura européenne qui ont réussi à convaincre Daimler Chrysler de la nécessité de fusionner, de manière paritaire, les sociétés Aérospatiale-Matra et Dasa ; il est le co-président, avec un Allemand, du Conseil de surveillance d'EADS, ce conseil étant en particulier responsable de la stratégie.

(MP) ; ensuite, tous les autres pays qui coopéraient, dont la France, ont suivi le mouvement ; certains pays envisagent d'acquérir des missiles autoguidés américains ou israéliens.

Le projet d'antinavire supersonique ANF est arrêté ; l'Exocet sera amélioré pour assurer une nouvelle vie de 20 ans.

La France ne commandera pas de production pour le drone Brével et le missile lance-torpille Milas ; les partenaires, l'Allemagne pour le Brével et l'Italie pour Milas, seront les seuls à les mettre en service.

Les autres programmes vedettes de la troisième période continuent ; mais ils sont étalés et la cible des commandes est réduite ; ce sont l'antichar courte portée Eryx, le SATCP Mistral, l'air-air Mica, la famille sol-air Aster et le missile de croisière Apache.

D'un autre côté, l'optimisme peut aussi régner.

Au niveau national, l'armée de l'Air manifeste le besoin d'acquérir des drones à longue endurance pour les expérimenter et la Marine veut armer ses grands bâtiments et ses sous-marins nucléaires d'attaque d'un missile de croisière du type SCALP, contre les objectifs terrestres.

Trois nouveaux programmes sont décidés. Ils sont très importants, car ils vont dans le sens de l'eupéanisation des programmes, les trois pays, la France, la Grande-Bretagne et l'Italie, en étant partenaires.

Le même missile de croisière a été acquis en 1997, au titre de contrats globaux, par la France (le SCALP-EG) et par la Grande-Bretagne (le Storm Shadow)². Ces décisions traduisent la volonté des différents acteurs de privilégier la voie européenne, y compris l'harmonisation de leurs besoins opérationnels. La DGA a pu engager des contrats globaux et pluriannuels. La nouvelle société MBD a pris le risque d'anticiper les gains de productivité qui devraient découler de l'intégration des activités. En 1999, l'Italie a acquis ce missile, en particulier parce que son label était européen. C'est le programme fédérateur de MBD.

Malgré la divergence sur le choix du type de frégates aériennes entre d'une part la Grande-Bretagne et d'autre part la France associée à l'Italie pour les frégates Horizon, le programme commun d'équipement de leur défense anti-aérienne, le PAAMS, a été « sauvé » en 1999. L'une des raisons a été la rationalisation possible des responsabilités des différents partenaires de la future société MBDA, permettant de réduire les coûts.

Mais c'est un troisième programme qui traduit le mieux la volonté des pays européens. La Grande-Bretagne a initié, dès 1994, un programme d'air-air de nouvelle génération, le BVRAAM. Les pays européens constructeurs de l'Eurofighter et du Gripen s'y sont associés : ce sont l'Allemagne, l'Espagne, l'Italie et la Suède. Après le lancement de l'appel d'offres international, à la fin de 1997, la France s'est ralliée, en 1999, à ce besoin pour l'armement du Rafale. Mais c'est la Grande-Bretagne qui en est le leader, avec une part de financement supérieure à celles des autres partenaires (35 % environ contre 13 % pour la France). Deux projets étaient concurrents : celui de la société MBD, associée avec des missiliers européens, qui seront pour la plupart intégrés dans MBDA, était fondé sur

² 27 missiles tirés avec succès par la RAF durant la guerre d'Irak en 2003, d'après le Livre blanc britannique.

l'utilisation d'un statoréacteur de conception allemande ; le projet américain était un dérivé de l'AMRAAM. C'est le missile européen, le Météor, qui a été choisi en mai 2000. La notification du contrat est prévue dans un délai d'un an environ³. Ce serait à la fois le premier missile air-air commun à six pays européens, un armement commun à trois avions de combat européens, donc un choix stratégique pour l'Europe dans le domaine des missiles et aussi dans celui des avions de combat, et enfin un programme fédérateur pour MBDA.

CONCLUSION

L'industrie des missiles est devenue européenne avec le nouveau millénaire. L'industrie française des missiles aura vécu un demi-siècle environ ; le présent document retrace son histoire.

La France s'est hissée, à la fin des années 1960, à la pointe de l'industrie européenne occidentale des missiles ; dans le cadre du futur marché européen, la Grande-Bretagne est devenue son égale. Souhaitons que la France garde en Europe son *leadership* sur la conception des missiles et sur leurs technologies.

Le marché européen des missiles est en voie de création, avec des structures étatiques et industrielles efficaces et avec des programmes majeurs ; cela devrait permettre de réduire la part des armements américains acquis par les pays européens et de rester attractif pour la grande exportation.

³ En définitive, la notification eut lieu le 23 décembre 2002.

Annexes

ANNEXE 1

NOTIONS SUR LES PRIX DES MISSILES

L'objet de ce document est d'indiquer d'une part le budget français consacré aux missiles tactiques, d'autre part l'ordre de grandeur des prix des différents types de missiles. Nous tenterons de faire une comparaison avec les missiles américains.

PART DU BUDGET CONSACREE AUX MISSILES

Nous définirons ce budget comme l'ensemble de celui géré, depuis les années 1980, par le STET (ou le STSMT) et, jusqu'en 1994, par la DTAT pour les missiles antichars.

Cela représente un périmètre bien défini pour les missiles ; en revanche, pour les missiles intégrés dans des systèmes – comme les avions ou les navires –, il existe un partage de responsabilités pour l'adaptation des missiles avec les directions responsables des porteurs : le budget correspondant géré par ces directions n'est pas pris en compte.

Le budget des missiles couvre les commandes passées à l'industrie, en majorité aux missiliers, et diverses prestations effectuées par les services officiels : cibles aériennes utilisées...

En dehors des services officiels, qui ont la connaissance du budget global, les particuliers intéressés peuvent en obtenir une approche en sommant, dans la loi annuelle des finances, le montant des budgets prévus pour les différentes opérations concernant des missiles qui y sont répertoriées ; il reste une partie non répertoriée, qui comprend la part missile des développements exploratoires sous la responsabilité budgétaire de la DGA.

Résultat d'une étude effectuée par la DPAI sur les budgets des missiles

L'IGA Marcel Bénichou, directeur de la DPAI de 1981 à 1984, nous en a indiqué la conclusion : la part du budget « équipement des forces » consacré aux missiles tactiques, de la fin des années 1960 au début des années 1980, est restée à peu près constante et égale à 6 % environ.

Examen du budget de 1995

Nous avons effectué sur le projet de la loi de finances des années 1994 à 1996 (document dit « bleu ») l'approche indiquée ci-dessus. En considérant toutes les opérations concernant les missiles, y compris les cibles et les drones¹, la

¹ Nous avons ajouté forfaitairement un montant de 450 MF pour les études générales gérées par la DGA ; ce montant m'avait été indiqué à l'époque par le STSMT. Le calcul a

conclusion est la suivante : les autorisations de programmes pour les années 1994, 1995 et 1996 sont respectivement de 4 600 MF, de 4 150 MF et de 5 300 MF, en francs courants ; la moyenne est de 4 675 MF en francs de 1995.

Si on ramène ce montant au budget en AP de la Défense pour 1995 (titre V, en supprimant les crédits consacrés à l'infrastructure et à l'entretien programmé du personnel), soit 78 milliards de francs, nous retrouvons le ratio de 6 % indiqué ci-dessus.

Essai de détermination de la part des missiles dans le budget de 1957

Nous n'avons pas eu à notre disposition de documents financiers détaillés. Notre estimation repose sur deux documents conservés au Centre d'archives de l'armement à Châtelleraut : le compte rendu de la réunion du 28 juin 1956 de la Commission de la défense nationale, qui indique l'ordre de grandeur des dépenses pour les études et prototypes d'engins spéciaux depuis la Libération pour les trois armées, soit 40 milliards de francs courants ; une fiche adressée au ministre le 4 juillet 1958 par l'IGPFA, préparatoire à la directive du 4 août 1958, indiquant les budgets prévus pour 1959 par les trois directions pour l'ensemble de leurs projets.

En tenant compte des tables d'évolution du pouvoir d'achat du franc et en faisant quelques hypothèses qui semblent réalistes (activité et surtout dépense en francs constants en croissance linéaire de 1948 à 1955, puis de 15 % entre 1955 et 1957), nous arrivons à une dépense de 1 300 MF pour l'année 1957, en francs de 1995 ; la deuxième note valide ce montant en faisant l'hypothèse que les projets de budgets indiqués par les trois directions pour 1959 correspondaient à une majoration, par rapport à 1957, de l'ordre de 25 % pour tenir compte de nouveaux projets (par exemple, étude d'un SALP et d'un sol-sol de 300 km de portée pour la DTIA).

Ainsi, l'ordre de grandeur des dépenses effectuées en 1957 serait de 1 300 MF en francs de 1995, ce qui correspondrait à 2,2 % des dépenses d'équipement de cette année².

La comparaison avec les budgets américains pour les missiles tactiques

Le document annuel *US Missile Data Book* (éd. Data Search Associates) indique les budgets des différents programmes ; c'est un document semi-officiel.

À part le kit laser Paveway (classé dans l'armement ?), tous les autres programmes y figurent, y compris les cibles aériennes et les drones. Mais les crédits d'études générales hors programmes n'y figurent pas. Ainsi, le résultat de notre étude (somme des différents programmes) correspondra au budget global des missiles légèrement minoré (probablement d'environ 10 %).

été effectué en AP ; il n'a pu être effectué en CP, ceux-ci n'étant pas indiqués pour certaines opérations (AP : autorisations de programme ; CP : crédits de paiement).

² Soit 220 millions d'euros de 2002. Pour le budget global, nous avons utilisé le chiffre donné par Christian Schmidt et Guy Vidal dans leur exposé in Centre d'études d'histoire de la Défense, *La IV^e République face aux problèmes d'armement*, ADDIM, 1998.

Pour l'année budgétaire 1990, le montant est de 5 600 millions de dollars, la majeure partie étant consacrée aux fabrications (Patriot, air-air AMRAAM, Tomahawk, Standard...).

Pour l'année budgétaire 1995, le montant est de 4 000 millions de dollars ; par rapport à 1990, le budget des études est presque quadruplé (programmes antimissiles, drones et missiles de croisière) et celui des fabrications subit une réduction drastique.

En 1990, le budget total consacré aux missiles représentait un peu plus de 4,1 % du budget des équipements américains.

Pour l'année 1995 et en comparaison avec le budget global, le budget des études des missiles, avec la minoration indiquée ci-avant, représente 5,8 % et celui des fabrications des missiles 4,4 % ; le budget total consacré aux missiles représente au moins 5 % du budget des équipements américains.

Conclusions

En France, la part du budget consacrée aux missiles tactiques a augmenté de 1957 (2,2 %, mais sans fabrications autres que les antichars) jusqu'à la fin des années 1960 ; elle s'est ensuite stabilisée à un ratio proche de 6 %.

En 1995, le budget français est de l'ordre de 5 000 MF ; compte tenu de l'exportation, le chiffre d'affaires global de cette branche d'industrie est de l'ordre de 9 000 à 10 000 MF³.

Aux États-Unis, la part du budget consacré aux missiles tactiques semble varier de 4 % à 5 % du budget des équipements ; mais le marché domestique américain est nettement plus important : au moins six fois supérieur au budget français, dans l'hypothèse de la parité entre le dollar et l'euro..

PRIX DE QUELQUES MISSILES (ET QUELQUES COÛTS DE DEVELOPPEMENT)

Avertissement

Nous avons utilisé principalement quatre sources françaises, auxquelles renvoient les références abrégées⁴.

En principe, les prix indiqués pour les missiles français correspondent à ceux des achats effectués pour les besoins des armées françaises. Ils comprennent la TVA et sont tous au coût des facteurs de production de janvier 1995 (éventuellement, nous actualisons les prix en utilisant l'indice de variation du pouvoir d'achat, ce qui est minorant, les coûts augmentant plus que cet indice).

³ Le CA de l'industrie peut comprendre des activités autres que les missiles tactiques, mais placées, dans les sociétés, sous la responsabilité des Divisions des missiles tactiques : missiles ASMP, contre-mesures pour avions, armements classiques...

⁴ *Réf. A* : Prix indicatifs fournis par la DPA (prix pour les matériels répertoriés en 1990). – *Réf. B* : Prix indiqués par Olivier DARASSON, *Les missiles tactiques*, rapport de la Commission de la Défense, Assemblée nationale, n° 1845, 1994. – *Réf. C* : Prix indiqués par un rapport de la Cour des Comptes. – *Réf. D* : Prix fournis par diverses revues bien documentées, comme *Air et Cosmos*.

Ce sont des prix pour des matériels prêts à l'emploi, qui ne comprennent pas de part d'industrialisation (outillages), ni d'amortissement des frais de développement. Ce sont des prix moyens pour la quantité commandée ; ils dépendent beaucoup de cette quantité et de la cadence. Nous essayons d'indiquer ces éléments.

Ces prix sont un ordre de grandeur, car les contrats sont en partie confidentiels et les prix peuvent dépendre de facteurs non cités dans les sources de renseignement.

En définitive, ces prix sont destinés au lecteur français désirant connaître la variation des prix avec le type de missile et avec la technologie utilisée. Des erreurs mineures sont possibles.

Pour les marchés d'exportation, les prix de vente comprennent souvent d'autres éléments que le coût de production : amortissement de la part de développement et d'industrialisation prise en charge par le missilier, redevances à payer à l'État, niveau de garantie assuré pouvant être supérieur à celui requis par la France, assistance technique et instruction, frais commerciaux de vente et frais financiers, etc. ; en revanche, ils sont exonérés de TVA. Ainsi, le passage d'un prix français à un prix d'exportation n'est pas possible pour le lecteur.

Les prix des matériels américains proviennent du document précité ; ils correspondent aux prix d'approvisionnement des autorités américaines (*flyaway cost*, c'est-à-dire avec la part d'outillages) et aux conditions économiques de 1995 ; nous avons utilisé la table d'indices des prix américains. Pour toute comparaison, il faut tenir compte des quantités et de la cadence ; en cas d'achat français, il faut ajouter la TVA. Enfin, il faudrait tenir compte de l'évolution des cours, mais, nous prendrons ici arbitrairement le cours de parité entre le dollar et l'euro.

Valeur des principaux objectifs prévus pour les missiles (Réf. A)

Leur valeur a beaucoup varié avec la technologie.

Le char le plus moderne, le Leclerc, a un prix de l'ordre de 35 MF.

L'hélicoptère moderne coûte 100 MF environ.

L'évolution du prix de l'avion de combat est la suivante : 100 MF pour un F1 CR ; 175 MF pour un Mirage 2000 ; 270 MF pour un Rafale ; mais, avec les contre-mesures de l'avion, il faut compter en moyenne deux missiles pour le détruire.

Le prix des frégates modernes et existantes, sans missiles, varie de 1 300 MF (type Lafayette) à 2 600 MF (type antiaérienne).

Les missiles antichars

L'antichar courte portée Eryx est un missile téléguidé très simple, avec peu d'équipements de pilotage (intercepteurs de jet, gyroscope de roulis et liaison filaire). En 1990, la cible envisagée était importante (60 000 missiles et 2 000 postes de tir pour la France) ; les prix moyens respectifs étaient de 33 000 F et 130 000 F (*Réf. A*). Mais la cadence et la quantité ayant beaucoup diminué, les prix actuels sont doublés.

Pour l'antichar courte portée TRIGAT (MP), le système est plus complexe, avec le guidage par faisceau laser : poste de tir avec émetteur laser et missile avec récepteur infrarouge à l'arrière du missile. Pour la cible française envisagée en 1990 de 70 000 missiles et de 1 500 postes de tir avec leurs lunettes thermiques, les prix moyens respectifs étaient de 100 000 F et 1,35 MF (*Réf. A*). Pour les quantités prévues en 1995, le prix devrait être majoré de 50 % (*Réf. D*).

On constate la différence de coût entre l'Eryx et le TRIGAT (MP), liée principalement à la différence du type de système.

À titre d'information, le prix objectif moyen du missile américain concurrent, le Javelin, équipé d'un autodirecteur infrarouge moderne, est de 93 000 \$; la quantité prévue est de 26 000 ; le prix du poste de tir, avec lunette thermique, est de 125 000 \$ (ordre de grandeur : 1 poste de tir pour 8 missiles). Ainsi, le prix de la solution autoguidée est encore supérieur à celui de la solution TRIGAT. Mais son avantage opérationnel est indéniable.

Le coût de développement et de l'industrialisation du TRIGAT est très important : 1 900 MF (*Réf. A et B*) pour la part française, qui est de 30 % ; la coopération et la définition du système en sont responsables.

L'antichar longue portée TRIGAT (LP), système destiné à l'armement d'un hélicoptère antichar, est « tire et oublie » et est très complexe par rapport à un Hot : missile avec autodirecteur infrarouge équipé d'une matrice IR-CCD, poste de tir avec lunette thermique située au sommet du rotor et traitement d'images.

Pour une production envisagée pour la France, en 1990, de 13 800 missiles et de 350 postes de tir, les prix moyens respectifs étaient de 720 000 F et de 15 MF (*Réf. A*). Avec la cible prévue en 1995 (6 000 missiles), les prix doivent être doublés (*Réf. D*).

Le coût du développement et de l'industrialisation est très important : 4 300 MF (*Réf. A et B*) pour la part française, qui est de 36 % ; la coopération ainsi que la définition du système en sont responsables, comme pour le MP.

Les missiles air-air

Le Magic 1 fut le premier missile infrarouge de combat avec une technologie des années 1970 à être équipé d'un autodirecteur en bande 2 (cf. annexe 3) avec l'objectif d'un coût réduit (pas de gyromètres de pilotage, par exemple). La production s'est déroulée de 1975 à 1980, avec une cadence moyenne mensuelle de 100 ; la France a acheté 1 500 missiles ; le prix indiqué correspond à la production des 5 000 premiers⁵. Ce prix objectif respecté est de 625 000 F (avec une actualisation probablement minorante).

Le Magic 2 était la version améliorée de la fin des années 1970, avec un AD plus complexe, une fusée de proximité électromagnétique simple, l'adjonction de gyromètres de stabilisation, une électronique numérisée... La production de 4 000 exemplaires a été étalée sur 10 années. Le prix moyen a été de 1 300 000 F (*Réf. A et D*). Le coût de développement du Magic 2 fut limité : 380 MF (*Réf. B*).

⁵ D'après les archives personnelles du rédacteur.

Pour le concurrent américain (Sidewinder 9 L et 9 M), la technologie est plus simple que celle du Magic 2 et le missile est moins performant. Sa production a été de 35 000 exemplaires, à une cadence mensuelle de 2 000 à 3 000 exemplaires, après une production de 80 000 exemplaires des versions antérieures. Son prix moyen était de 85 000 \$. En conséquence, la compétition en prix entre le Magic et le Sidewinder fut limitée au Magic 1⁶.

Le Super 530 D est un missile ayant la technologie de la fin des années 1970, avec un AD électromagnétique doppler, une fusée de proximité à corrélation, un propulseur composite... ; sa masse est de 275 kg et sa portée est de 50 km.

1 000 missiles ont été produits (590 pour la France), avec une cadence mensuelle de 10, pour un prix moyen de 4,2 MF (*Réf. A et D*). Le coût de développement du Super 530 D (un nouveau missile avec le premier AD doppler français, la numérisation et un nouveau propulseur) fut de 1 300 MF (*Réf. B*).

Pour le concurrent américain, Sparrow 7 F et 7 M, la technologie est plus simple ; la production fut de 26 000 exemplaires, après 35 000 exemplaires produits pour les versions antérieures. Le prix moyen était de 200 000 \$.

La compétition était difficile pour les Français, hors vente politique.

Le Mica représente la technologie compacte des années 1990, avec un AD *pulse doppler* (avec émetteur coûteux) pour la version électromagnétique et un AD infrarouge avec deux barrettes IR-CCD très chères pour la version IR, une centrale inertielle à éléments liés et liaison avec radar de bord.

Pour une production de 2 000 exemplaires de la version EM et de 1 300 exemplaires de la version IR, en 10 ans, les prix estimés (*Réf. D*) sont de 4 MF pour la version EM et 15 % de moins pour la version IR. Il faut noter l'écart de prix entre les deux types d'autodirecteur.

Le concurrent américain du Mica est l'AMRAAM ; la cible américaine a été ramenée à 10 800 exemplaires. En 1995, 6 800 exemplaires avaient été produits au prix moyen de 900 000 \$; celui-ci devrait diminuer à 800 000 \$.

Le coût de développement du Mica, comprenant les deux versions, est estimé officiellement à 3,3 milliards de francs, dont 0,6 financés par Matra (*Réf. B*). Celui de l'AMRAAM (uniquement version EM) est de 1 850 millions de dollars.

En conclusion, le Mica EM est nettement plus sophistiqué que le Super 530 D, tout en étant moins cher, et il semble compétitif par rapport à son concurrent américain.

Les systèmes sol (ou surface)-air

Pour ces systèmes, le missile et le poste de tir ou la conduite de tir font généralement l'objet du même contrat.

Le SATCP Mistral représente la technologie de la fin des années 1980. C'est un missile miniaturisé (24 kg avec le tube) à AD infrarouge (sur le principe de

⁶ Pour mémoire, le prix objectif moyen pour la dernière version du Sidewinder, le 9 X, avec un autodirecteur moderne équipé d'une matrice IR-CCD, est de 250 000 \$, pour une production de 10 000 exemplaires.

celui du Magic 2). La production minimale prévue initialement était de 20 000 exemplaires ; elle s'est élevée à 8 300 exemplaires de 1989 à 1995, pour un prix moyen de série de 680 000 F (*Réf. D*). Le poste de tir de base (portable) est simple et a un prix moyen, sans lunette thermique, de 240 000 F ; les affûts automatiques, comme le Sadral, sont nettement plus chers.

Le concurrent américain du Mistral, le Stinger, est d'une classe nettement inférieure ; il est épaulable avec une masse de 10 kg, mais il n'a pas de fusée de proximité et la masse de sa charge est trop faible. La production pour le marché américain est de 53 000 exemplaires, pour un prix moyen de 53 000 \$.

Malgré le handicap du Mistral en matière de prix, pour les quantités commandées, il est compétitif internationalement du fait de ses performances en efficacité.

Les SACP Roland et Crotale sont des missiles assez simples, car ils sont téléguidés. C'est toutefois moins vrai pour les dernières versions du Crotale, car la fusée de proximité EM, le répondeur et la conduite de tir sont plus performants et plus coûteux.

Le Roland, avec la technologie de la fin des années 1960, a été produit à 27 000 exemplaires de 1978 à 1990 ; son prix moyen est de 900 000 F⁷ ; mais le poste de tir sans le véhicule est estimé, pour une production de 620 exemplaires, à 50 MF (avec une actualisation peut-être minorante).

Le prix du missile Crotale et celui de la conduite de tir (NG) sont supérieurs à ceux du Roland d'environ 50 % (estimation du rédacteur) ; cette différence s'explique par une définition plus complexe et par des quantités produites inférieures.

Les systèmes SAAM et SAMP/T (Aster) ont été conçus avec la technologie de la fin des années 1980 : radar de surveillance à balayage électronique, missile « tire et oublie » ayant des équipements proches du Mica et, en supplément, un pilotage PIF (jets du propulseur éjectés de l'aile) et un accélérateur piloté et largable. Les masses globales du composite sont nettement supérieures à celles du Mica.

La production doit commencer à la fin des années 1990 ; la cible, pour la France et l'Italie, est actuellement de 40 systèmes environ, soit 1 600 missiles ; dans le cadre de la coopération avec la Marine britannique et avec l'exportation, la cible est nettement supérieure.

L'ordre de grandeur des prix moyens, pour le missile et pour la conduite de tir du SAAM, est respectivement de 7 MF et de 200 MF ; ces prix sont supérieurs de 15 à 25 % pour le SAMP/T (*Réf. D*).

Le coût de développement en coopération franco-italienne pour les systèmes SAAM et SAMP/T et les études de définition du SAMP/N est de l'ordre de 15 milliards de francs (*Réf. A et D*).

⁷ Comité pour l'histoire de l'armement terrestre, *Systèmes de missiles sol-air*, par l'ingénieur général Collet-Billon (†) puis l'ingénieur général Bienvenu (tome 11), 2002.

Les systèmes de missiles air-sol laser

Il faut considérer le missile et le pod de désignation et d'illumination. La technologie du missile est restée simple, avec la bande de l'infrarouge proche choisie pour l'émetteur laser (cf. annexe 3).

L'AS 30 laser a été produit à faible cadence (950 missiles en 10 ans) ; le prix moyen est de l'ordre de 1,8 MF, mais le prix du pod est de 10,8 MF (*Réf. A et C*).

Le prix du kit des bombes guidées laser est inférieur à celui du missile AS 30 laser et le kit concurrent américain, Paveway, produit en très grande quantité, est encore d'un prix inférieur.

Les missiles de croisière et les antinavires

Le prix de série de ces missiles est du même ordre de grandeur, car leur définition est voisine :

- 850 kg pour le MM 40 et 1 280 kg pour Apache et le SCALP ;
- turboréacteur consommable, sauf pour le MM 40 (propergol solide) ;
- centrale inertielle ;
- senseurs chers : AD électromagnétique pour le MM 40 ; détecteur millimétrique Prométhée pour le recalage d'Apache ; récepteur GPS et autodirecteur terminal IR pour le SCALP.

Le prix de série français varie de 6 à 10 MF suivant la quantité et la cadence de production et la définition précise (*Réf. D*).

Pour le MM 40, c'est plutôt le haut de la fourchette de prix, compte tenu de sa technologie datant des années 1970 (centrale inertielle coûteuse).

Le prix d'Apache, en tenant compte de sa furtivité, était estimé, en 1990, à 6,7 MF environ pour 500 exemplaires (*Réf. A*) ; la quantité a diminué (100 exemplaires) et le coût de Prométhée a dû s'accroître avec les modifications classiques durant le développement ; c'est la fourchette supérieure de prix qui est probable : au-dessus de 8MF.

La définition du SCALP a été établie avec l'objectif de réduction du coût ; la quantité de commandes prévues lors de la proposition (900 pour la Grande-Bretagne et 500 pour la France) doit permettre une industrialisation plus poussée que celle d'Apache ; la définition des équipements de guidage permet l'obtention de coûts inférieurs à ceux d'Apache. En définitive, le prix objectif devrait être proche de la fourchette basse de prix.

L'ordre de grandeur du coût de développement d'Apache et du SCALP-EG est, pour chaque missile, de 2,5 milliards de francs (*Réf. D*)⁸.

Le concurrent américain actuel est le Tomahawk, avec sa charge classique ; il n'a pas été conçu avec l'objectif de réduction de prix, mais la quantité totale produite fut grande : 4 000 exemplaires en 1995. Le prix moyen est de 2 millions de dollars et le coût de développement est de 3 000 millions de dollars.

Les Américains développent un concurrent direct du SCALP, le JASSM ; sa mise en service est prévue pour 2002 et le coût objectif est d'environ 470 000 \$, pour un marché domestique de 2 400 missiles.

⁸ Avec indication de 2,35 milliards de francs pour le SCALP (*Réf. C*).

Synthèse des prix unitaires indicatifs des missiles

Missiles	Mise en service	Nombre	Prix en milliers de F de 1995	Type de guidage
Antichar Missile Eryx poste de tir	1991	20 000 600	66 260	Téleguidage semi-automatique
Air-air Magic 1	1975	5 000	625	AD IR bande 2
Magic 2	1986	2 000	1 300	Version améliorée
Super 530 D	1987	1 000	4 200	AD EM semi-actif
Mica : version EM	1996	2 000	4 000	AD pulse doppler
version IR	vers 2002	1 300	3 400	AD IR à barrettes
Sol-air SATCP : Mistral poste de tir	1989	10 000	680 240	AD IR type Magic 2 version portable
SACP : Roland poste de tir	1978	27 000 6206	900 50 000	téleguidage comprend le radar
SAAM : Aster 15	fin des	1 600	7 000	composite avec AD
SAMP : Aster 30	années 1990		+ 15%	<i>pulse doppler</i>
système de tir		40	200 000	avec radar Arabel
Air-surface et antinavire				
AS 30 laser	1988	950	1 800	AD laser
Pod Atlis	1988	-	10 800	
MM 40	1982	350	≈ 10 000	AD EM actif
Apache	début des	100	≈ 8 000	recalage par radar
SCALP-EG	années 2000	2 000	≈ 6 000	GPS + AD IR terminal

ANNEXE 2

LES PRINCIPAUX PIONNIERS ET RESPONSABLES

(liste arrêtée en 1995)

Est donnée ici leur biographie professionnelle concernant les missiles tactiques, arrêtée en 1995. Pour simplifier, nous n'avons indiqué la branche ou le corps des ingénieurs de l'armement cités que pour ceux qui n'appartenaient pas à la branche Air : M pour Marine, T pour Terre..

Allier Michel (1928-) ICA (M)

Aérospatiale : directeur de la Division missiles tactiques de 1974 à 1986, successeur de M. Émile Stauff.

Barchewitz Pierre (1910-1986)

Professeur de chimie physique (infrarouge) en Sorbonne, puis à Orsay ; directeur du Laboratoire d'infrarouge ; conseil du STAé/ES et des Éts Turck (puis SAT) de 1947 à 1970.

Beaussard Léon (1917-) - (X)

De l'Arsenal à l'Aérospatiale : de 1946 à 1977, directeur adjoint de la Division missiles tactiques et Adjoint de M. Stauff.

Bignier Michel (1926-) - IGA

CEV/Engins : ingénieur de 1953 à 1956 ; CIEES : sous-directeur technique Air de 1957 à 1960.

Blancard Jean (1914-) - ingénieur général des Mines

Délégué ministériel pour l'Air de 1959 à 1961 ; Délégué ministériel pour l'Armement de 1968 à 1974.

Bonte Louis (1908-1971) - IGA

Directeur du CEV de 1948 à 1958 puis de la DTIA jusque 1960 ; directeur de la DAI de 1966 à 1970.

Bonn Gilbert (1930-) - IGA

DTEN de 1968 à 1969 puis au STET : Directeur de 1984 à 1989.

Bousquet Jacques (1934-) - IGA

Directeur des engins de 1986 à 1992.

Brunet Maurice (1912-) - IGA (M)

Chef du Groupe engins du STCAN de 1958 à 1966, puis directeur du STCAN ; Directeur des engins de 1969 à 1974.

Carpentier René (1931-) - ICA

STAé/ES : depuis la fin de 1956, responsable des missiles de 1967 à 1972 ; directeur à la société Engins Matra de 1972 à 1997 ; professeur de guidage des missiles à l'ENSAE de 1967 à 1984.

Chamouton Daniel (1922-1987) - ICA

STAé/ES de 1950 à 1959 : responsable des missiles aéroportés ; réalisa, en 1958 et en 1959, un projet moderne de sol-air à longue portée, le Sacha, qui n'eut pas de suite.

Chassagny Marcel (1903-1988) – HEC

Président fondateur de la Capra (1937 à 1941) puis de la Matra jusqu'en 1977 ; Président de l'USIAS de 1968 à 1971.

Chevalier Roger (1922-) - IGA
 De l'Arsenal à Nord-Aviation de 1947 à 1960 : adjoint de M. Stauff ; SEREB : de 1960 à 1970 ; Aérospatiale : Directeur technique général de 1970 à 1982, puis vice-président jusqu'en 1987.

Climaud Jean (1923-) - ESE
 Du Département électronique de Dassault à Dassault Électronique de 1957 à 1992 : directeur du Département autodirecteurs, puis Directeur général.

Collet-Billon Antonin (1921-1996) - IGA (T)
 LRBA (époque du PARCA) de 1948 à 1961 ; Directeur des engins de 1974 à 1983.

Colombani Pierre (1919-) - ICA
 STAé/ES jusqu'en 1959 ; premier professeur des missiles à l'ENSA.

Coulmy Daniel (1928-) - IGA (Télec)
 Directeur du STET de 1979 à 1984.

Crépin Jean (1908-1996) - général d'armée de Terre
 Inspecteur général des programmes et des fabrications des forces armées de 1955 à mars 1959 ; président de Nord-Aviation de 1967 à 1970 ; vice-président de l'Aérospatiale de 1970 à 1973 et président d'Euromissile de 1972 à 1975.

Crépin Roger (1920-1996) - Centrale
 De la Société nouvelle Edgar Brandt à Brandt Armements, de 1948 à 1984 ; responsable des études dès 1952 puis directeur de l'activité armement et Président à partir de 1977.

Decker Michel (1913-2003) - ICA
 Premier chef de la Section ES du STAé de 1945 à 1954.

Delacroix Jean (1924-) - ICA
 CEV - Section engins de 1950 à 1959 et chef de la section à partir de 1953.

Durand Emile (1929-2000) - ICA
 CEV - Section engins de 1955 à 1965 et chef de la section à partir de 1963 ; Matra à partir de 1965 et directeur de la Branche missiles de 1975 à 1986.

Fonvieille Jean (1925-1996) - Général de brigade aérienne
 EMAA/BPM missiles de 1965 à 1968 ; CEV/AE : chef de la Section de 1968 à 1971.

Forgeard Noël (1946-) - Corps des Mines
 Matra : directeur de la Branche Défense-Espace de 1987 à 1998.

Hébel Yves (1928-) - SupAéro
 Matra (missiles) de 1952 à 1994 : Directeur technique de 1964 à 1986, puis Directeur des études avancées jusqu'en 1994.

Germain Jean (1924-) - IGA
 STAé/EG : expert en aérodynamique de 1950 à 1959 ; STAé/ES de 1959 à 1966 et chef de la Section à partir de 1962.

Gérardin Jean (1909-1975) - IGA
 Directeur du STAé de 1954 à 1960.

Girard Philippe (1930-) - ICA (M)
 Aérospatiale : directeur de la Division missiles de 1987 à 1989.

Guillot Jean (1922-) - AM
 De l'Arsenal à l'Aérospatiale de 1947 à 1988 : Directeur technique de la Division des engins tactiques.

Labrunie Henri (1921-) – IGA (M)
 STCAN engins de 1965 à 1970 : responsable Masurca puis chef du groupe ;
 premier directeur du STET de 1970 à 1979.

Lagardère Jean-Luc (1928-2003) - ESE
 Directeur général de Matra de 1963 à 1977, puis Président de Matra, qui
 devint Lagardère Groupe.

Laurent Bernard (1938-) – IGA (T)
 DTEN de 1972 à 1995 : chef du groupe études générales du STET
 jusqu'en 1980, puis adjoint au Directeur de la DTEN, directeur du LRBA et
 chef du Bureau des affaires internationales.

Lecamus Robert (1918-) - IGA
 Directeur adjoint puis directeur de la DTIA de 1962 à 1969.

Leloup Jean-Yves (1940-) – IGA (T)
 SPMT à partir de 1990 : directeur à partir de 1992.

Marguet Roger (1924-) - IGA (T)
 LRBA puis ONERA jusqu'en 1986 ; il a rénové le statoréacteur en France.

Marnay Louis (1911 -1985) - Sup Aéro
 SNCASE : responsable des missiles tactiques de 1946 à 1957 et directeur de
 l'établissement de Cannes à partir de 1949.

Martre Henri (1928-) - IGA (T)
 Directeur de la DPAI de 1971 à 1974 puis adjoint au DGA et DGA de 1977
 à 1983 ; président de l'Aérospatiale de 1983 à 1992.

Mignot Noël (1925-1998) - ICA
 STAé/ES de 1950 à 1957 (sol-air) ; puis SACM et Matra jusqu'en 1986
 (directeur de la Division Espace) ; professeur de guidage des missiles à
 l'ENSA de 1960 à 1967.

Mijonnet Jacques (1937-) - ICA
 STTA (radars de bord) ; à partir de 1971, d'EMD à Dassault Électronique :
 directeur du Département autodirecteurs puis Directeur général.

Mollard Amédée (1922-2000) - ENSA - colonel Air
 EMAA/BPM missiles (R 530, AS 30) de 1957 à 1959 ; CEV Section armes et
 engins : chef de la Section de 1959 à 1963.

Munnich Robert (1916-) - IGA
 Sous-directeur du STAé de 1960 à 1969 ; président français du Comité
 directeur Martel puis directeur du CEV.

Paolorsi Jean (1929-) - ESMA
 Matra (missiles) de 1955 à 1996 : directeur des programmes Martel et Otomat
 puis Directeur technique à partir de 1986.

Pély Maurice (1912-1977) - IGA
 Chef de la Section STAé/ES de 1955 à 1962.

Pinel André (1923-)
 Nord-Aviation de 1947 à 1989 : directeur de programmes, dont les aéroportés,
 puis de l'Exocet.

Précoul Michel (1910-2001) - ENSA
 Chef des études d'Edgar Brandt de 1938 à 1951 (première charge creuse) ;
 directeur technique de la STRIM à partir de 1951, puis président fondateur de
 la société SERAT en 1968, qu'il quitta en 1985.

Rabault Jean-Pierre (1939-) – IGA (T)

Directeur du SPMT de 1988 à 1992 et de la DME à partir de 1992.

Renaut Jean-Claude (1930-) – ICA

STAé/ES de 1955 à 1959 : sol-air ; Nord-Aviation : directeur de la production de 1965 à 1990.

Robert Roger (1900-1980)

Directeur technique de Matra de 1941 à 1965.

Soissons Jean (1919-) - IGA

Chef du bureau « Plans et programmes » de la DTIA de 1957 à 1962 ; premier Directeur du CEL de 1962 à 1969 ; Directeur de la DTCA de 1970 à janvier 1974.

Stauff Jean-Emile (1917-1999) - ICA

De l'Arsenal à la SNIAS : directeur des activités missiles de 1946 à 1974 ; le « père » des missiles de Nord-Aviation.

Turck Jean (1911-) - CNAM

Fondateur et gérant des Éts Turck de 1945 à 1956 ; directeur de l'activité défense à la SAT de 1957 à 1975.

Vialatte André (1917-) - IGA

Directeur du STAé de 1962 à 1970.

Vrolyk Jean-Louis (1934-) - IGA

STAé/ES de 1959 à 1972 (études générales : R 530 et Martel...) ; puis au STAé et au STTE, responsable des études air-air, de la reconnaissance infrarouge et coordinateur des études optroniques de la DGA jusqu'en 1985.

ANNEXE 3

QUELQUES NOTIONS TECHNIQUES

COMPOSITION D'UN SYSTEME D'ARME

Un système d'arme comprend :

- un sous-système surveillance ;
- un sous-système conduite de tir ;
- un sous-système missile, avec son lanceur et son poste de tir ;
- des matériels de maintenance, de servitude...

L'objet du sous-système surveillance est la recherche et la désignation des objectifs ennemis menaçants. Ses principaux équipements sont les suivants :

- un homme équipé d'une lunette à fort grossissement et, à partir des années 1970, d'une lunette de vision infrarouge (nuit), pour les antichars et les sol-air à très courte portée ;
- un radar de surveillance avec système d'exploitation automatique par ordinateur (utilisation d'écrans rémanents après la guerre) et avec identification électronique pour les sol-air, antinavires, etc. ;
- un détecteur infrarouge pour recherche sectorielle avec exploitation automatique.

Le sous-système conduite de tir n'existe que pour les missiles non-« tire et oublie ». Son objet est de poursuivre la cible désignée, de donner l'ordre de tir, d'élaborer l'ordre de guidage transmis au missile par télécommande ou d'illuminer la cible pour permettre à un autodirecteur de la détecter, en utilisant l'énergie réfléchie. Le sous-système est équipé d'un radar de conduite de tir avec illuminateur ou d'un goniomètre infrarouge (ou autres variantes). Pour les missiles « tire et oublie », l'ordre de tir est donné par la surveillance ou par le tireur.

COMPOSITION D'UN MISSILE

La propulsion¹

Deux propulseurs (ou un moteur avec deux niveaux de poussée) sont généralement prévus : l'accélérateur et le propulseur de croisière.

L'accélérateur est nécessaire pour quitter la rampe de tir ; dans le cas d'une phase de croisière assurée par un turboréacteur ou un statoréacteur, il doit amener le missile à la vitesse nécessaire pour leur fonctionnement ; le propulseur à propergol solide est le seul utilisé, depuis le milieu des années 1950. Ce

¹ L'évolution a été indiquée aux chapitre 3, 8 et 13.

propulseur peut être largué après la fin de son fonctionnement, dans le cas des missiles composites.

Pour le propulseur de croisière, trois solutions sont généralement utilisées : propergol solide, turboréacteur pour une croisière en subsonique et statoréacteur pour une croisière supersonique, à Mach supérieur à 2,3. L'intérêt du turboréacteur et du statoréacteur est leur impulsion par unité de masse supérieure à celle du propergol solide (de l'ordre de dix fois). À partir d'une portée de 30 km environ (compte tenu de la masse à vide du turbo), le turboréacteur permet de réaliser un missile de croisière ayant une portée nettement supérieure à celle d'un missile ayant la même masse et équipé d'un propulseur à propergol solide.

Guidage/pilotage

L'objet de cette fonction est d'amener le missile près de la cible malgré les diverses perturbations possibles : manœuvres des cibles aériennes, bruits électroniques du récepteur, de la cible et du brouilleur éventuel. L'erreur lors du déclenchement de la charge est appelée « distance de passage ».

Équipements pour la destruction de la cible²

Il s'agit d'une charge militaire conventionnelle, avec sa mise à feu commandée par une fusée de proximité et/ou par une fusée d'impact. Le type de charge militaire dépend de la nature de l'objectif. Quatre types ont été développés.

La charge militaire à fragmentation équipe les missiles dont l'objectif est « mou » : les avions, les missiles, les antennes des radars et les véhicules non blindés. C'est la destruction fonctionnelle (équipements) qui est recherchée, surtout pour les avions modernes. Pour la destruction de missiles antinavires, on peut rechercher la destruction structurale, mais une faible distance de passage (quelques mètres) est nécessaire pour cela.

L'énergie chimique créée par la détonation de l'explosif est transformée en énergie cinétique des éclats. Pour être efficace, on utilise des éclats de 2 g à 8 g, atteignant la cible à une vitesse de l'ordre de 1 800 m/s ; une charge de 30 kg a une bonne probabilité de destruction pour une distance de passage maximale de l'ordre de 10 m (croissance de la masse avec R^2).

Hors des cas d'impact (assez rares, sauf en autoguidage infrarouge), la gerbe doit toucher la cible, d'où une mise à feu proche du passage travers de la cible ; le signal de déclenchement est fourni par une fusée de proximité électromagnétique (petit radar actif fonctionnant à faible distance), laser (actif) ou infrarouge (mode passif).

La charge perforante équipe les missiles dont l'objectif est « dur », car il est constitué de quelques mètres de béton ou d'un faible blindage, comme la coque des navires. La charge doit détoner après avoir perforé l'objectif. Ce type de charge comporte peu d'explosif (de l'ordre de 10 %). Le signal de déclenchement

² L'évolution a été indiquée aux chapitres 3, 8 et 13.

est fourni par une fusée d'impact ; le dispositif de mise à feu, avec le retard pyrotechnique, doit résister à la pénétration.

La masse des charges prévues contre les bunkers est en général de 250 kg, de 450 kg (2 m de béton) ou de 1 000 kg (au moins 3 m de béton) ; pour les antinavires, elle varie de 150 à 230 kg.

La charge creuse a pour cible le véhicule blindé. Le principe de cette charge est simple : un bloc d'explosif comporte sur sa face avant un évidement conique habillé d'un revêtement en cuivre ; l'explosion se concrétise par un « dard », plasma de cuivre en fusion, projeté vers l'avant à une vitesse de 8 000 m/s, capable de fondre et de perforer un blindage. Depuis la fin des années 1980, sa perforation peut atteindre 10 calibres³.

Elle doit être mise à feu à l'impact ; pour une bonne formation du dard, la charge doit être à l'arrière du contacteur d'impact (30 cm environ).

Enfin, le pénétrateur (sans explosif) est utilisé pour la perforation d'un véhicule blindé par l'énergie cinétique d'un pénétrateur de quelques kg, la vitesse d'impact du missile devant être supérieure à 1 600 m/s (missile hypervélocé).

Les équipements de servitude⁴

On peut citer la pile dite « amorçable » (amorçage lors de l'exécution de l'ordre de tir), le convertisseur, et éventuellement une réserve d'air sous pression, en cas de servomoteurs pneumatiques, ou d'huile, en cas d'équipements hydrauliques.

La structure

Elle a un rôle double. Elle assure d'une part le support des divers équipements, qui doit résister aux accélérations latérales, qui peuvent être très importantes (autour de 500 m/s²), et aux contraintes thermiques. D'autre part, elle constitue la configuration aérodynamique : plusieurs solutions sont utilisées.

La configuration classique comporte les gouvernes derrière la voilure du missile ; des configurations en sont dérivées : corps fuselé avec ou sans voilure et gouvernes ou intercepteurs de jet à l'arrière.

La configuration canard comporte les gouvernes à l'avant du missile, c'est-à-dire devant la voilure ; cette solution est souvent utilisée pour les petits missiles et présente l'avantage d'avoir une partie arrière (charge, propulseur) sans électricité.

La configuration à « ailes mobiles » (par exemple celle du Sparrow) permet la commande au centre de gravité du missile, ce qui réduit la constante de temps de pilotage (mise en incidence immédiate) ; une version pyrotechnique en a été dérivée : configuration classique avec des jets latéraux issus d'un propulseur (par exemple PIF) ou d'impulseurs.

³ Pour les détails, voir Comité pour l'histoire de l'armement terrestre, *Armements antichars*, par M. Stauff (†), puis par MM. Guillot et Dubernet (tome 10), 2002.

⁴ L'évolution des piles a été indiquée aux chapitre 3 et 8.

Figure A : synoptique de la chaîne de guidage

Figure B : principe du téléguidage semi-automatique (missile Milan)

Du point de vue du degré de symétrie, deux types principaux sont utilisés :

- le type « avion », avec un plan de symétrie et la commande en roulis/tangage : cette solution n'est retenue que pour les missiles volant principalement en vol horizontal et qui manœuvrent peu (cibles, drones, missiles de croisière) ;
- le type « cruciforme », avec un axe de symétrie (en général deux plans de voilures identiques) : l'avantage est de pouvoir manœuvrer dans un plan quelconque.

LE GUIDAGE

C'est la fonction spécifique des missiles.

Équipements de la chaîne de guidage/pilotage (cf. figure A)

- détecteur de guidage : il a pour objet essentiel la détermination de l'écart angulaire entre le missile et la cible discriminée dans l'environnement. Il comprend : un radar ou goniomètre infrarouge de la conduite de tir ; un autodirecteur ; une centrale inertielle fournissant la position du missile et l'écart par rapport aux coordonnées de la cible affichée ;
- élaborateur de l'ordre de guidage : calculateur pouvant être complexe ;
- liaison éventuelle entre le poste de tir ou la conduite de tir et le missile, pour transmission de l'ordre de guidage (télécommande) ou d'informations ;
- équipements de pilotage : cette fonction a pour objet de contrôler le mouvement autour du centre de gravité et d'exécuter les ordres de guidage. Elle comporte : une électronique de pilotage (pilote automatique) ; des servomoteurs ou des déviateurs de jet ; des détecteurs de pilotage pour stabiliser le missile (gyromètres, gyroscope de roulis..).

Les procédés de guidage

Ils sont définis suivant la localisation de l'élaborateur d'ordres et du détecteur de guidage ; il y a deux procédés principaux et trois autres dérivés.

Dans l'autoguidage (dit « direct »), l'élaborateur est un équipement du missile (d'où le nom d'autoguidage), de même que le détecteur de guidage, appelé autodirecteur (d'où la dénomination de « direct »). C'est la solution la plus employée. Le missile est très précis et le deuxième intérêt de ce procédé est la possibilité pour le missile d'être « tire et oublie ».

Dans le téléguidage (dit « direct »), l'élaborateur est localisé au poste de tir (antichar) ou à la conduite de tir (sol-air), d'où la dénomination de téléguidage ; le détecteur de guidage est aussi localisé près de l'élaborateur ; la transmission de l'ordre de guidage est effectuée par la télécommande (liaison filaire ou radio).

Chronologiquement, trois types de téléguidage ont été développés. Le premier fut manuel : le tireur poursuit la cible et le missile et détermine l'écart angulaire.

Dans le téléguidage semi-automatique (cf. figure B), c'est un écartomètre qui détermine l'écart du missile par rapport à l'axe de la lunette de visée. Enfin, dans le téléguidage automatique, après désignation de la cible par le tireur, l'écart cible-missile est déterminé par un (ou deux) radar(s) ou par un écartomètre infrarouge.

Le missile ne peut être « tire et oublie » ; l'opérateur doit avoir la vision du missile, d'où la limitation en portée ; en outre, la distance de passage théorique n'est pas nulle et augmente avec la distance du poste de tir au missile.

L'avantage de ce procédé réside dans un prix inférieur pour le missile (mais il faut prendre en compte le coût du système) ; la possibilité d'emploi de missiles joua aussi, avant la mise au point technologique des autodirecteurs. Ce procédé est en voie d'abandon.

Dans le téléguidage dit indirect, le détecteur de guidage (caméra) est situé à bord du missile et il existe une liaison missile-poste de tir (qui exploite l'image) pour la transmission de l'image et au retour pour l'ordre de guidage. Ce procédé est utilisé actuellement par les missiles à fibre optique.

Dans le guidage par faisceau (faisceau radar durant la première période, puis faisceau laser), le tireur poursuit la cible et dirige son faisceau modulé dans sa direction ; le missile a un détecteur du faisceau, situé à l'arrière, et un élaborateur d'ordres (d'où l'autoguidage indirect) ; en définitive, le missile se dirige vers la cible désignée par le tireur.

Dans le guidage inertiel, le missile se dirige vers la cible qui a été désignée par ses coordonnées. L'erreur de guidage résulte principalement de l'erreur de désignation de la cible et des dérives des équipements constituant (gyroscopes et accéléromètres). En 1990, avec des recalages, la précision peut atteindre 10 m. Aussi, ce guidage ne permet pas la destruction d'un objectif ponctuel avec une charge conventionnelle ; il est utilisé, depuis la deuxième période, pour le guidage mi-course.

Différences des missiles suivant le nombre de procédés de guidage

Les missiles utilisent un ou deux procédés de guidage.

Il existe des missiles autoguidés ou téléguidés de manière intégrale. Les missiles de la deuxième période ont surtout utilisé ce procédé. Ils sont limités en distance de tir par la nécessité de la vision de la cible lors du tir du missile ; pour l'autoguidage, c'est la portée d'accrochage de l'autodirecteur qui crée cette limite. Mais c'est le système d'armes le plus simple.

Pour les autres missiles, il existe une phase d'autoguidage terminal après une phase de guidage mi-course (téléguidage ou guidage par faisceau durant la première période et ensuite guidage inertiel)⁵. Ces missiles sont précis et peuvent avoir une très grande portée : elle ne dépend plus, lors du tir, que de la distance de vision de la cible et de la portée de l'autodirecteur.

Durant la phase de guidage mi-course, des recalages sont nécessaires. Pour les anti-surface, la distance maximale entre deux recalages est de l'ordre de 30 km en subsonique (dans le cas contraire, l'erreur est supérieure à 100 m). Pour les antiaériens, la cible peut manœuvrer et sa position doit être fournie au missile

⁵ Cf. chapitres 8 et 13.

périodiquement (toutes les 1 à 2 s) ; la surveillance doit, pendant la phase de mi-course, suivre l'évolution de la cible et une liaison entre la surveillance et le missile est nécessaire.

Les lois de guidage

Elles donnent la relation entre l'accélération normale à la trajectoire qui doit être exécutée et l'erreur angulaire de la cible détectée. Trois lois sont principalement utilisées, dont deux en autoguidage et la troisième en téléguidage.

La première est la poursuite : le vecteur vitesse du missile est dirigé dans la direction de la cible. Cette loi amène la vitesse du missile en direction de l'axe arrière de la cible lors de la rencontre. Ce n'est pas une trajectoire optimale et, depuis la deuxième période, elle n'est plus utilisée que pour des cibles fixes et pour le guidage de certaines bombes lasers.

La navigation proportionnelle est la loi optimale pour l'autoguidage. L'accélération normale est proportionnelle à la rotation de la direction missile-but (cf. figure C). Cette loi permet la rencontre dans tous les secteurs ; l'interception se termine en collision, MB gardant une direction fixe dans l'espace, près de la rencontre. Son intérêt est l'obtention d'une distance de passage théorique nulle, les seules causes d'erreurs étant les bruits et le régime transitoire en cas de variation brusque de la manœuvre de la cible. Mais le missile doit avoir une capacité de manœuvre trois fois supérieure à celle de la cible.

Enfin, l'alignement est la loi de guidage pour le téléguidage direct et le guidage par faisceau. Le missile doit être aligné dans la direction formée par l'opérateur et la cible. La trajectoire est simple à suivre, sans être optimale.

Rayonnements utilisés pour la détection de la cible par le détecteur de guidage

Il existe deux principes pour la détection de la cible :

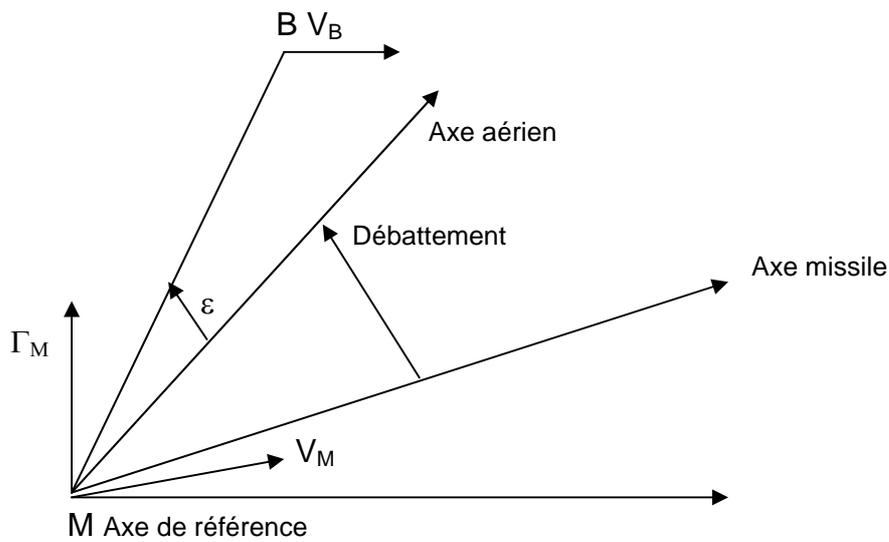
Le premier, et le plus ancien, consiste à sélectionner, dans le champ du détecteur, soit le point le plus chaud pour une détection infrarouge, soit le point le plus brillant pour une détection électromagnétique, et ensuite à déterminer l'écartométrie de la direction de ce point, considéré comme la cible, par rapport à l'axe du détecteur.

Le deuxième principe, très récent et limité aux missiles de croisière, est fondé sur la comparaison en temps réel entre l'image détectée d'une zone terrestre et l'image de la cible mise en mémoire. L'écartométrie pour le guidage (recalage ou autoguidage terminal) s'en déduit. Bien entendu, l'image doit être traitée c'est-à-dire qu'elle doit être décomposée en informations synthétiques.

Notions sur le rayonnement électromagnétique⁶

Les autodirecteurs des missiles antiradars détectent l'énergie émise par le radar, d'où le choix de leurs caractéristiques de réception (fréquence de réception...) correspondant à celles des radars objectifs envisagés.

⁶ Voir l'évolution du rayonnement électromagnétique aux chapitres 3, 8 et 13.



Écartométrie : ε - Accélération normale du missile : Γ_M
 Loi de navigation proportionnelle :
 Accélération normale du missile = A (coefficient de NP- proportionnel à V_r) * V_M *
 Vitesse de rotation de la droite MB

Figure C – Principe de la loi de navigation proportionnelle

Figure D : émission d'un corps noir en fonction de $T^\circ K$

Les autres objectifs (avion, hélicoptère, missile, navire, véhicule blindé), détectés suivant le premier principe, sont discriminés par rapport à l'environnement par leur caractéristique de réflexion, appelée la surface équivalente radar (SER). Une cible réelle est constituée d'une multitude de réflecteurs et le centre de réflexion (ou le barycentre) est appelé le « point brillant ». L'application des études récentes de furtivité conduit à la diminution des SER, d'où la réduction des portées d'accrochage des détecteurs.

Le champ instantané du détecteur (champ de mesure) doit être réduit pour limiter l'énergie des échos parasites. Cela conduit à l'utilisation d'ondes centimétriques (longueur d'onde de 1,8 à 3 cm c'est-à-dire les bandes Ku et X) pour les autodirecteurs ayant un diamètre de l'ordre de 15 à 30 cm ; un champ de 7 à 10° s'en déduit. Pour les sous-munitions, nécessitant une faible portée et ayant un faible diamètre, le champ serait prohibitif pour la discrimination avec une telle longueur d'onde ; on est ainsi amené à adopter des ondes millimétriques (94 Ghz, soit 3 mm environ, bande à retenir compte tenu de l'atténuation atmosphérique) : cette technologie est plus récente.

Deux types d'autodirecteurs se distinguent par la forme de l'onde émise, qui permet la discrimination de la cible désignée par rapport à d'autres objectifs et aux échos sol parasites.

Le premier type, et le plus ancien, discrimine la cible par sa distance avec cet objectif ; l'émetteur émet des impulsions et on mesure le temps entre l'émission et l'impulsion retour, après réflexion sur la cible, la distance étant proportionnelle à ce temps. Ce type d'autodirecteur à impulsions peut convenir pour les antinavires, mais il n'est pas satisfaisant pour les antiaériens devant attaquer une cible à très basse altitude (50 à 500 m), compte tenu du niveau des échos de sol. En revanche, les radars sol, équipés de circuits d'élimination d'échos fixes, fonctionnent – avec des limites.

Le deuxième type d'autodirecteur, baptisé « doppler », est fondé sur la discrimination des cibles par leur vitesse de rapprochement, qui est rendue possible par l'effet doppler (variation de la fréquence de réception linéaire avec la vitesse de rapprochement missile-cible). La fréquence de l'onde émise doit être stable et le temps d'émission doit être continu (illuminateur) ou semi-continu (autodirecteur actif *pulse doppler*). Ces autodirecteurs permettent le guidage de missiles antiaériens sur des cibles à très basse altitude. La technologie nécessaire pour ce dernier type date des années 1970 en France.

Deux procédés principaux ont été utilisés pour la mesure angulaire de l'écartométrie par les autodirecteurs et les radars.

Le premier est le *scanning* mécanique : l'axe du lobe principal de l'aérien est décalé angulairement de quelques degrés par rapport à l'axe mécanique de rotation de l'antenne ; il y a une modulation d'amplitude de l'onde reçue et le taux de modulation est proportionnel à l'écart angulaire de la cible.

Le deuxième procédé est le *monopulse* : la mesure de l'écart est instantanée (mesure sur une seule impulsion). L'aérien se comporte dans chaque plan comme un ensemble de deux lobes identiques ; l'écartométrie angulaire de la cible se déduit de l'écart d'amplitude, en cas de décalage angulaire des lobes, ou de l'écart de phase de l'onde reçue entre les deux lobes.

Figure E : transmission de l'atmosphère à basse altitude (trajet de 2 000 m) et par temps clair (absence de brouillard et de nuage)

Figure F : spectre d'émission (CO_2) du jet d'un réacteur
Réacteur Verdon au sol avec T4 de 600°C et vu de travers (mesure au CEV)

Ce deuxième procédé est nettement plus complexe que le premier, car il nécessite trois chaînes d'amplification pour la mesure dans deux plans (écart site, écart gisement et somme) ; mais il est plus précis et, contrairement au premier, il n'est pas sensible au bruit d'amplitude de la cible et n'est pas brouillable. Le *monopulse* a été généralement adopté pour les AD dans les années 1960.

Notions sur le rayonnement infrarouge et sur la détection laser⁷

C'est l'énergie infrarouge émise par la cible qui doit être discriminée par rapport au rayonnement solaire direct et diffus (de jour) et au rayonnement du sol ; en conséquence, il faut choisir la bande spectrale du détecteur adaptée à la cible, qui va privilégier le rapport de l'énergie reçue de la cible par rapport à celle provenant de l'environnement détecté par le champ de mesure du détecteur ; en conséquence, ce champ optique sera étroit (maximum de 1 à 3°).

Rappelons quelques grands principes⁸. Les corps émettent leur propre rayonnement en fonction de la longueur d'onde suivant une courbe en cloche (loi de Planck) ; le maximum d'énergie correspond à une longueur d'onde liée à la température du corps⁹ : 0,5 μm pour le soleil, 3 à 3,7 μm pour une tuyère d'un turboréacteur d'avion et 10 μm pour le sol et l'homme. L'énergie totale émise est proportionnelle à la quatrième puissance de la température du corps (cf. figure D). Pour un réacteur, en plus du rayonnement de sa tuyère, détectable dans un cône arrière de $\pm 60^\circ$, le gaz carbonique du jet, à haute température, émet une énergie de 4,1 à 4,5 μm , détectable quand on voit le jet (cf. figure F) ; celle-ci augmente énormément en cas de fonctionnement du réacteur en post-combustion.

La basse atmosphère, par temps clair, a une transmission sélective, avec principalement une absorption totale entre 5 et 8 μm et au-dessus de 13 μm (cf. figure E). En outre, les brouillards et les nuages absorbent totalement, tandis que les brumes n'absorbent que les basses longueurs d'ondes.

Ainsi, seule la bande de 1,8 à 13 μm est utilisée pour la détection infrarouge par les missiles :

- bande 1, de 1,8 à 2,7 μm : elle permet une détection des avions, uniquement par l'arrière (tuyère) ; de jour, des échos du paysage peuvent perturber la détection. La technologie est simple, avec la cellule au sulfure de plomb, mise au point dès 1945, et le quartz pour les optiques ; ce fut la première bande utilisée pour les missiles antiaériens ;
- bande 2, de 3 à 5 μm : elle permet la détection des aéronefs dans toutes les directions (tuyère+jet), avec des limites possibles pour le plein avant ; les échos de paysage sont très réduits. Mais la technologie fut moins accessible et elle est plus coûteuse : cellules antimoniure d'indium (InSb), mises au point vers 1953 et nécessitant un refroidissement à la température de 90° K (réfrigérants utilisés : azote liquide à 77° K ; argon liquide à 88° K), et

⁷ Voir l'évolution industrielle et technique aux chapitres 3, 8 et 13.

⁸ Pour plus de précisions, cf. René CARPENTIER, *Le rayonnement infrarouge*, Cours ENSAE, 1984.

⁹ $\lambda * T = 2\,900 \mu\text{m}.\text{°K}$

matériaux optiques spéciaux devant être transparents et durs pour éviter l'érosion des irdômes lors de la traversée de nuages à grande vitesse (fluorure de magnésium fritté, saphir...). C'est la bande optimale pour les missiles antiaériens ;

- bande 3, de 8 à 13 μm : elle est adaptée à la détection des objectifs terrestres (autoguidage terminal des missiles de croisière, lunette thermique...); en outre, les brumes absorbent moins que dans les autres bandes. La technologie est voisine de celle de la bande 2, avec la cellule au tellurure de cadmium et de mercure (dite TCM) mise au point en 1970 et qui nécessite d'être refroidie.

Dans le cas de la détection laser, la différence fondamentale avec la détection infrarouge est l'utilisation d'un émetteur laser ayant un rayonnement quasi monochromatique. Le pinceau de l'illuminateur est très étroit. Deux applications existent. Pour la première, la cible, située dans la surface illuminée, est discriminée par son coefficient de réflexion diffuse, dit « albédo » : c'est l'autoguidage laser, utilisé pour les cibles terrestres sans rayonnement. La deuxième consiste en un guidage par faisceau laser, le pinceau modulé éclairant le missile ; c'est son détecteur, situé à l'arrière, qui détermine l'écartométrie par rapport à l'axe du pinceau.

Deux types principaux d'émetteurs ont été mis au point : le laser solide, à base d'un cristal YAG (grenat d'yttrium et d'aluminium dopé au néodyme) émettant dans le proche infrarouge à 1,06 μm (et, pour la version moderne, à 1,53 μm), et le laser moléculaire, utilisant le gaz carbonique et émettant à 10,6 μm .

Bien entendu, la comparaison utilise les informations, pour la transmission de l'atmosphère et pour la technologie, indiquées dans le paragraphe relatif à l'infrarouge. Le laser moléculaire permet des performances supérieures dans le cas de temps brumeux, mais la technologie du détecteur le rend plus coûteux.

Finalement, on peut souligner que la détection électromagnétique est « tous temps », contrairement à l'infrarouge (pas d'utilisation en cas de brouillards et en cas de traversée de nuage durant le vol). En revanche, la détection infrarouge est plus précise ; elle a été privilégiée pour l'autodirecteur terminal des missiles de croisière ; elle est moins brouillable et moins détectable (pas d'émission). Enfin, la détection infrarouge est moins coûteuse.

Modes de guidage suivant la localisation de l'émetteur - « tire et oublie »

Trois modes sont utilisables, l'autodirecteur comportant toujours le récepteur.

Dans le mode passif, c'est le rayonnement émis par la cible qui est utilisé ; la détection est discrète et seule l'écartométrie peut être déterminée. Ses applications sont la détection infrarouge, et la détection électromagnétique (missile antiradar et missile antiaérien effectuant du *homing*¹⁰ sur le brouilleur).

Dans le mode semi-actif, l'émetteur, appelé illuminateur, fait partie de la conduite de tir ; c'est une solution qui permet l'autoguidage intégral, grâce à une

¹⁰ En français « radorallieement » : navigation d'un aéronef se dirigeant continuellement vers une station émettrice grâce aux signaux émis par cette station.

portée qui a pu être jugée satisfaisante. En électromagnétique, la portée est environ quatre fois celle d'un AD actif ; c'est la solution qui a été utilisée pour les antiaériens jusqu'en 1990. C'est aussi la solution de l'autoguidage laser, le tireur désignant la cible.

Dans le mode actif, l'émetteur fait partie de l'autodirecteur (AD actif) : le missile est indépendant de la conduite de tir ; mais la puissance de l'émetteur est très faible et, en conséquence, la portée est réduite. La réalisation de l'émetteur a posé des problèmes et ce type d'AD a un coût plus important que celui du précédent mode. Ses applications sont l'autodirecteur électromagnétique moderne adapté au guidage terminal : antiaérien, antisurface et antinavire.

Nous en déduisons que la spécification « tire et oublie » impose l'adoption de l'autoguidage et en outre celle d'un autodirecteur actif EM ou d'un autodirecteur passif, IR ou EM. L'avantage opérationnel est la possibilité pour un système d'effectuer des tirs simultanés sur plusieurs cibles, c'est-à-dire de satisfaire la demande opérationnelle du « multicable ».

Caractéristiques principales des autodirecteurs

En plus du rayonnement utilisé, il faut citer :

- la stabilisation de l'antenne : pour fournir la vitesse de rotation de la droite missile-cible, nécessaire pour effectuer une navigation proportionnelle, l'aérien doit être mobile et stabilisé par rapport aux petits mouvements du missile ; on utilise le plus souvent soit la tête gyroscopique (aérien monté sur la toupie), pour les petits missiles, soit des gyromètres montés sur l'antenne, pour les autres missiles ;
- le débattement de l'antenne : le champ de l'aérien (champ de mesure) est faible (10° en électromagnétique et 2° en infrarouge). Dans le cas d'une attaque latérale, l'autodirecteur doit pouvoir détecter une cible dont la direction est décalée de 30 à 60° par rapport à l'axe du missile (champ de détection) : en conséquence, le débattement de l'antenne est indispensable pour les antiaériens.
- la portée : c'est la caractéristique clé de l'autodirecteur ; elle dépend du choix de ses caractéristiques physiques (diamètre de l'aérien, choix de la longueur d'onde, sensibilité du récepteur...), de celles de l'émetteur, de la SER de la cible et de la transmission de l'atmosphère.

PRINCIPALES PERFORMANCES DU MISSILE

Constante de temps de guidage du missile (détecteur+pilotage)

Elle doit être faible, la distance de passage étant proportionnelle – par exemple $0,1$ s pour un missile antimissile à basse altitude et $0,3$ s pour un missile anti-avion à basse altitude.

Zones d'attaque de la cible aérienne

On distingue l'attaque dans la zone arrière ($\pm 60^\circ$ par rapport à l'axe arrière), l'attaque dans la zone frontale ($\pm 60^\circ$ par rapport à l'axe avant) et l'attaque dans la zone latérale.

La caractéristique de la zone frontale est l'importante vitesse de rapprochement V_r (somme des vitesses missile et cible en plein avant) ; en conséquence, le temps d'interception est très inférieur à celui en attaque arrière.

Pour l'attaque latérale, le débattement de l'autodirecteur est nécessaire.

Le missile est dit « tous secteurs » quand il n'y a pas de limitation pour l'attaque.

Distance d'interception du missile

Par rapport au lanceur, c'est la distance que peut parcourir le missile en étant efficace. C'est la portée pour un missile antiradar. Il existe une distance minimale pour assurer la sécurité du tireur (activation de la charge).

Distance de tir du missile

C'est la distance entre le tireur et la cible lors du tir ; elle varie avec la zone d'attaque et elle est proportionnelle à la vitesse de rapprochement. Dans le cas de l'autoguidage intégral, la portée maximale de l'autodirecteur définit la distance de tir maximale en attaque frontale.

Bien entendu, pour l'antiaérien, il existe une différence entre la distance d'interception et la distance de tir, d'où l'ambiguïté des indications de la portée dans la documentation. Dans le présent document, la portée indiquée correspond en principe à la distance d'interception pour les sol-air et à la distance de tir pour les air-air (distinction souvent utilisée).

Temps de réaction d'un système

C'est le temps compris entre la première détection de la cible et le départ effectif du premier missile. C'est une notion importante, qui conduit à une adaptation de la surveillance au missile, et réciproquement.

Pour le réduire, la période de recherche du radar de surveillance doit être faible (un tour de l'antenne par seconde, par exemple), le missile doit être tiré verticalement (pas de rampe à diriger dans la direction du tir) et le temps de préparation avant le tir du missile doit être très faible (mise en route de gyromètres, initialisation éventuelle de la centrale inertielle, accrochage éventuel de l'autodirecteur).

ANNEXE 4

BIBLIOGRAPHIE

(par ordre de parution)

- Pierre BARCHEWITZ, M. AMAT, M^{me} ROSSETTI, « Contribution à l'étude de la transmission infrarouge de la basse atmosphère », *Bulletin des services techniques du ministère de l'Air*, n° 116, 1954.
- History of German Guided Missiles Development*, AGARD, 1^{er} séminaire sur les missiles à Munich (avril 1956), 1957.
- Eric BURGESS, *Guided Weapons*, The Macmillan Company, 1957 (intéressant pour connaître le niveau des renseignements non classifiés en 1956).
- René CARPENTIER, *Le rayonnement infrarouge*, cours de l'ENSAE, 1984 (bibliographie permettant une comparaison de l'avancement des études, de 1950 à 1960, entre la France, les États-Unis et la Grande-Bretagne).
- Michel ALLIER, « L'évolution des engins tactiques », in *Colloque de l'aéronautique à l'espace : 40 années de développement aérospatial français 1945-1985*, Paris, 26 et 27 novembre 1985, Fondation pour les études de défense nationale, Institut d'histoire des conflits contemporains/Université de Paris-1 Panthéon-Sorbonne, Centre d'histoire de l'aéronautique et de l'espace, 1985.
- Interventions de Philippe Jung aux congrès de l'*International Astronautical Federation* : IAA 89 (SE 4100), 93 (SE 4200), 90 (SE 4300), 88 (SE 4400), 95 (SE 4500), 92 (SE 1500) : pour une histoire détaillée des programmes SNCASE.
- Bernard ESTIVAL et Jean GUILLOT, *L'extraordinaire aventure de l'Exocet*, éd. de la Cité, 1988.
- Roger MEGRET, Yves HEBEL *et al.*, *Il était une fois... Matra*, Matra, vers 1990.
- Contre-amiral Bernard ESTIVAL, *Les missiles navals*, Larivière, 1990 (intéressant pour l'histoire des combats utilisant des missiles).
- DEN Actualités*, numéro spécial du 29 novembre 1990 consacré au 25^e anniversaire : interviews des directeurs successifs.
- Comité pour l'histoire de l'armement terrestre : *Les centres de recherche : LRBA, LRSL* (tome 3.2), 1990.
- Le Centre d'essais en vol 1944-1994*, Association amicale des essais en vol, Union de publicité et d'édition, 1994.
- Olivier Darasson, *Les missiles tactiques, rapport de la Commission de la Défense, Assemblée nationale*, n° 1845. Assemblée nationale, 1994.
- IGA Lucien TOCHE, *Une histoire des poudres entre 1945 et 1975*, Comhart, 1995 (tome 3 : *Propergols solides*, par l'IGA Guy Pontvianne ; tome 5 : *Charges creuses*, par l'IGA Paget)
- Michel FORGET, *Puissance aérienne et stratégies*, ADDIM, 1996.
- Centre d'études d'histoire de la Défense, *La IV^e République face aux problèmes d'armement*, ADDIM, 1998 (exposé financier, par Christian Schmidt et Guy Vidal ; « Les calculateurs », par Pierre Mounier-Kuhn ; « Les propergols

solides », par l'IGA (P) Guy Pontvianne ; « Émergence de l'industrie des missiles tactiques » par Jacques Villain¹¹.
Revue scientifique et technique de la Défense, 1998 (numéro spécial consacré à la recherche aéronautique ; travaux de L'ONERA sur les statoréacteurs).
G. BAFFERT-FORGES, « La robotique militaire aérienne aux États-Unis et en Israël », *Revue scientifique et technique de la défense*, n° 44, 1999-2.
Comité pour l'histoire de l'armement terrestre, *Armements antichars*, par M. Stauff puis par MM. Guillot et Dubernet (tome 10), 2002.
Comité pour l'histoire de l'armement terrestre, *Systèmes de missiles sol-air*, par l'IGA Collet-Billon puis par l'IGA Bienvenu (tome 11), 2002.
Collection de *L'Armement*. Cette revue, dont la parution a commencé en octobre 1968, contient des articles souvent rédigés par le responsable du programme ; leur lecture peut permettre la vérification des dates de certains événements. Nous l'avons utilisée pour confirmer certaines informations.

Principaux documents américains utilisés :

Encyclopedia of Modern US Military Weapons, New York, Berkeley Books, édition de 1995 : intéressante pour les descriptions des différentes versions et les quantités produites (il y manque la distinction entre le marché domestique, les ventes FMS et les exportations).

US Missile Data Book, Data Search Associates, édition annuelle (la 16^e en 1992). C'est le document pseudo-officiel qui donne pour chaque programme le calendrier, les quantités commandées par le gouvernement américain et les budgets annuels. Mais le nombre de missiles exportés, y compris dans le cadre FMS, et les productions sous licence n'y figurent pas. C'est l'une de nos « bibles ». Nous avons retenu *a priori* ses informations. Des incohérences existent quelquefois pour les ventes hors des armées américaines entre ce livre et les revues ; dans ce cas, nous avons fait une étude critique en utilisant nos archives et celles de M. Amann, ce dernier ayant suivi les marchés durant sa carrière.

Plusieurs sociétés ont édité un historique à l'occasion d'anniversaires. Ces documents contiennent des informations peu connues ; mais ils sont souvent partiels et difficiles à se procurer (auprès des sociétés) ; nous citons ceux que nous avons pu consulter.

Comité d'établissement de l'Aérospatiale de Châtillon, *Mémoire d'usine. Châtillon-sous-Bagneux de 1924 à 1985*, 1985 (document très intéressant pour les

¹¹ Cet article comporte plusieurs détails inexacts, mais souvent repris. Dans la décennie 1950, on ne peut pas dénombrer une soixantaine de programmes, mais seulement une trentaine de missiles : au moins 10 expérimentaux, 6 missiles sol-air étudiés par 6 organismes – dont seul le Masurca fut mis en service, suite à l'acquisition du Hawk –, 10 autres programmes, dont 6 mis en service, 5 programmes de cibles aériennes, dont 4 ont été mis en service. Les domaines officiels de responsabilité des deux missiliers n'étaient pas limités en 1958-1959, car ce n'était pas la politique de la DTIA. Dans les faits, en 1963, chaque société était responsable d'un programme air-sol ; en revanche, chaque société avait son domaine de compétence, le téléguidage pour l'une et l'autoguidage pour l'autre.

interviews des pionniers et l'évolution des techniques – quelques informations ne sont pas exactes¹²).

Un demi-siècle d'optronique infrarouge en France, SAT/Albin Michel, 1993.

TDA : L'épopée industrielle, TDA Armements SAS, 2000.

La passion de la conquête : d'Aérospatiale à EADS, 1970-2000, éditions du Chêne, 2001.

Matra, la volonté d'entreprendre, éditions du Chêne, 2003.

¹² L'origine du SS 10 est celle indiquée in Comité pour l'histoire de l'armement terrestre, *Armements antichars*, par M. Stauff (†), puis par MM. Guillot et Dubernet (tome 10), 2002, qui a une valeur historique ; la numérotation des programmes du STAé a été définie en 1946 par M. Decker, et non pas par l'Arsenal.

INDEX DES NOMS DES ORGANISMES ET DES MISSILES

ORGANISMES ET SOCIETES (page du début des articles) :

CIEES - CEL - CEM : 28, 69 et 114
CEV : 26 et 94
DCCAN, DTCN : 32 et 113
DEFA, DTAT, DAT : 31, 111, 209, 211, 215 et 228
DTEN, DEN, DME, STET, STSMT : 105 à 111 et 205 à 228
DTIA, DTCA, STAé : 19 à 26 et 93 à 105
États Majors : 25, 67, 90, 95, 219, 224 et 273
IGFPFA : 29

Arsenal, Nord-Aviation, Aérospatiale : 35, 45, 47, 117, 132, 133, 222, 229, 244 et 292
CFTH, CSF, Thomson-CSF Equipementier : 43, 130, 131, 207, 212, 241, 243 et 292
Direction des Poudres, Snpe : 46, 133 et 246
EMD, ESD, Dassault Electronique : 127, 242 et 292
Matra : 37, 45, 119, 126, 132, 223, 244 et 291
Microturbo et Turbomeca : 47 et 134
Onera : 47, 106 et 206
SAGEM : 132, 224, 245 et 292
SEPR, Sep : 47, 133 et 247
SFENA, Sextant : 44, 45, 132 et 245
SNCASE : 39, 45 et 46
STRIM et Serat : 47, 134 et 247
Thomson-Brandt : 47, 133 et 247
Thomson-CSF systémier : 32, 109, 122, 217 et 218
Turck et SAT : 41, 123, 207 et 240

MISSILES NATIONAUX OU DEVELOPPES EN COOPERATION

ANS et ANF : 206, 222, 231 et 293
Apache - SCALP/EG : 213, 218, 219, 224, 227, 257, 258, 293 et 304 – fig. N° 75 à 78
ASMP : 109 – fig. N° 68
Aster : 217, 225, 226, 243, 265, 293 et 303 - fig. N° 84 à 87
AS 12 : 97, 140 et 155 - fig. N° 26
AS 20 : 52, 67 et 141
AS 30 et AS 30 Laser : 67, 97, 108, 141, 154 et 266 - fig. N° 27, 46 et 48
AS 33 et 34 : 97, 98 et 160
Bombe Guidée Laser : 154 et 202 - fig. N° 47 et 49
Brevet : 223, 268 et 293 - fig. N° 88 et 89
CT 10 : 64 - fig. N° 4
CT 20 : 65 et 169 - fig. N° 24
CT41 : 66 - fig. N° 23
C22 : 108 et 170 - fig. N° 67
Crécerelle : 224 et 269 - fig. N° 90
Crotale, VT1 : 122, 163, 221, 239, 241, 264 et 303 - fig. N° 61 à 64
ENTAC : 31 et 50 - fig. N° 7
Eryx : 215, 249, 293 et 300 - fig. N° 34 et 35
Exocet (MM 38 et 40 - AM 39 – SM39) : 99, 107, 114, 128, 156, 231, 293 et 304 – fig. N° 50 à 57
Magic 1 et 2 : 120, 124, 146, 255 et 301 - fig. N° 40 et 42
Martel : 93, 99, 128, 151 et 206 - fig. N° 44 et 45
Masurca : 33, 67, 113 et 130 - fig. N° 21
Mica : 106, 205, 201, 215, 2345, 240, 242, 253 et 302 - fig. N° 69 à 74

Milan et Hot : 99, 107, 124 et 138 - fig. N° 28 à 33
Milas : 215, 260 et 293 - fig. N° 59
Mistral : 214, 240, 262, 293 et 302 - fig. N° 79 à 83
Nord 5103 : 51 et 67 - fig. N° 11
Nord 5104 (projet) : 96 et 142
Otomat : 120 et 159 - fig. N° 58
Roland : 99, 112, 162, 221, 265 et 303 - fig. N° 60
R 20 : 166 - fig. N° 25
R 422 et 431 : 59 et 67 - fig. N° 17 et 18
R 510 et 511 : 52 et 67 - fig. N° 12 et 13
R 530 : 96, 97, 119, 123, 127 et 142 - fig. N° 36 à 39
SE 4100, 4300 et 4400 : 58 - fig. N° 14 à 16
SE 4200 et 4500 : 62 et 67 - fig. N° 22
SS 10 : 36 et 49 - fig. N° 5 et 6
SS 11 : 50, 70, 125 et 137 - fig. N° 8 à 10
Super 530 F et D : 102, 120, 129, 148 et 302 - fig. N° 40 et 41
TRIGAT (MP) et (LP) : 209, 241, 250, 292 et 301

MISSILES ETRANGERS ADOPTES EN FRANCE

CL 89 et 289 : 125 et 167 - fig. N° 65 et 66
Hawk : 30, 61, 67, 70 et 161 - fig. N°19
Sidewinder : 55, 70, 145, 148, 256 et 302
Tartar : 33, 130 et 161- fig. N° 20

PRINCIPAUX MISSILES ETRANGERS DECRITS

AMRAAM : 234, 254 et 302
Harpoon : 159
Paveway : 155
SA6 : 106 et 161
SA7, SA9 à SA16 : 164 et 263
Sparrow : 55, 144, 150 et 302
Stinger : 263 et 303
Styx : 118 et 155
Tomahawk : 201, 259 et 304
Tow : 139

PRINCIPAUX SIGLES UTILISES

AA	Missile air-air
AASM	Armement air-sol modulaire
AATCP	Air-air très courte portée
AC3G	Antichar de troisième génération
ACCP	Antichar courte portée
ACRA	Antichar rapide
AD	Autodirecteur
ADIR	Autodirecteur infrarouge
AGARD	<i>Advisory Group for Aeronautical Research and Development</i>
AGL	Armement guidé laser
ALT	Aérodyne léger télépiloté
AM	Armements missiles (section du STAé)
AMD	Avions Marcel Dassault
AMRAAM	<i>Advanced Medium-Range Air-to-Air Missile</i>
AMX	Atelier de construction d'Issy-les-Moulineaux
ANF	Antinavire futur
ANS	Antinavire supersonique
APTGD	Arme de précision tirée à grande distance
APX	Atelier de Puteaux (DEFA)
AR	Armement reconnaissance (section du STAé)
AR	Missile antiradar
Armat	Antiradar Matra
Ars	Arsenal de l'aéronautique
AS	Missile air-sol ou air-surface
ASA	Armes et systèmes d'armes (Service DTAT)
ASMP	Missile air-sol moyenne portée
ASRAAM	<i>Advanced Short-Range Air-to-Air Missile</i>
Atlis	Autopointeur télévision et laser d'illumination au sol
BAC	<i>British Aircraft Corporation</i>
BAe	<i>British Aerospace</i>
BGL	Bombe guidée laser
BGT	Bodenseewerk Gerätetechnik
BPFA	Bureau de programmes franco-allemand
BPM	Bureau des programmes de matériels de l'EMAA
BVRAAM	<i>Beyond Visual Range Air-to-Air Missile</i>
BWB	<i>Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung</i>
CAA	Centre d'archives de l'armement (Châtellerault)
CAB	Calculatrice arithmétique binaire (ordinateurs SEA)
CAB	Cabinet (comme service d'origine d'une note)
CASDN	Comité d'action scientifique de la Défense nationale
CASOM	<i>Conventionally Armed Stand Off Missile</i>
CEA	Commissariat à l'énergie atomique
CEAM	Centre d'expérimentations aériennes militaires (Mont-de-Marsan)
CEL	Centre d'essais des Landes
CEM	Centre d'essais de la Méditerranée
CEP	<i>Circular Error Probable</i>
CERES	Centre d'essais et de recherches des engins spéciaux
CEV	Centre d'essais en vol (Brétigny et Cazaux)
CFTH	Compagnie française Thomson-Houston
CGE	Compagnie générale d'électricité
CHEAr	Centre des hautes études de l'armement
CIEES	Centre interarmées d'essais d'engins spéciaux (Colomb-Béchar)
CITGV	Circuits intégrés à très grande vitesse
CNET	Centre national d'étude des télécommunications

Cotal	Conduite de tir d'artillerie lourde
CSF	Compagnie générale de télégraphie sans fil
CT	Cible téléguidée
CTPFA	Comité technique des programmes des forces armées
DAI	Direction des affaires internationales (de la DMA et de la DGA)
DAT	Direction des armements terrestres
DCA	Défense contre avions
DCCAN	Direction centrale des constructions et armes navales
DE	Développement exploratoire
DEFA	Direction des études et fabrications d'armement
DEN	Département des engins ou direction des engins
DIRCEN	Direction des centres d'expérimentation nucléaire (au CEA)
DGA	Délégation générale pour l'armement
DMA	Délégation ministérielle pour l'armement
DME	Direction des missiles et de l'Espace
DP	Direction des poudres
DPA	Délégation aux programmes d'armement
DPAI	Direction des programmes et des affaires industrielles
DRET	Direction des recherches, études et techniques d'armement
DRME	Direction des recherches et des moyens d'essais
DSE	Division des systèmes électroniques de la CFTH
DTAT	Direction technique des armements terrestres
DTCA	Direction technique des constructions aéronautiques
DTCN	Direction technique des constructions navales
DTEN	Direction technique des engins
DTIA	Direction technique et industrielle de l'aéronautique
EADS	<i>European Aeronautic Defence and Space Company</i>
ECA	Études et constructions aéronautiques
ECAN	Établissement de constructions d'armes navales de Ruelle
ECPAD	Établissement de communication et de production audiovisuelle de la défense
EG	Études générales (section du STAé)
EM	Électromagnétique
EMA	État-major des armées
EMAA	État-major de l'armée de l'Air
EMAT	État-major de l'armée de Terre
EMD	Électronique Marcel Dassault
EMDG	<i>Euromissile Dynamic Group</i>
EMM	État-major de la Marine
ENSA	École nationale supérieure de l'aéronautique (Supaéro)
ENSAE	École nationale supérieure de l'aéronautique et de l'espace (Supaéro)
ENTAC	Engin téléguidé antichar
EQ	Équipements (section du STAé)
ES	Engins spéciaux (section du STAé)
ESD	Électronique Serge Dassault
ESE	École supérieure d'électricité (Sup'élec)
EX	Section enquêtes de prix du SMPA puis du SPAé
FLIR	<i>Forward Looking Infrared</i>
FSAF	Famille de missiles sol/surface-air futurs
GAG	Groupement d'artillerie guidée
GEB	Groupement des engins balistiques
GIE	Groupement d'intérêt économique
GIFAS	Groupement des industries françaises aéronautiques et spatiales
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HAC	Hélicoptère antichar (Tigre)
HELIP	<i>Hawk European Limited Improvement Program</i>
HF	Haute fréquence
Hot	Haut subsonique-guidage optique-lancement par tube
HSD	<i>Hawker Siddeley Dynamics</i>

HT	Hors taxes
IA	Ingénieur de l'Air ou de l'armement
ICA	Ingénieur en chef de l'Air ou de l'armement
ICETA	Ingénieur en chef des études et techniques d'armement
IFF	<i>Identification Friend and Foe</i>
IG	Ingénieur général
IGA	Ingénieur général de l'Air ou de l'armement
IGPFA	Inspecteur général des programmes et fabrications des forces armées
IPA	Ingénieur principal de l'Air ou de l'armement
IR	Infrarouge
IR-CCD	<i>Infra Red - Charge Coupled Device</i>
ISL	Institut franco-allemand de recherches de Saint-Louis
JDAM	<i>Joint Direct Attack Munition</i>
LAM	Liaison de données hyperfréquence avion-missile
LAMS	<i>Local Area Missile System</i>
LP	Longue portée
LRBA	Laboratoire de recherches balistiques et aérodynamiques de Vernon
LRSL	Laboratoire de recherches de Saint-Louis
LTV	Ling-Temco-Vought
Martel	Missile antiradar télévision
Maruca	Marine Ruelle contre avions
Masalca	Marine Salmon contre avions
Masurca	Marine supersonique Ruelle contre avions
Matra	Mécanique, aviation, traction (sigle devenu ensuite un nom propre de société)
MBB	Messerschmitt-Bölkow-Blohm
MBD	Matra BAe Dynamics
MF	Million de francs
Mica	Missile d'interception et de combat aérien
Milan	Missile d'infanterie léger antichar
Milas	Missile de lutte anti-sous-marine
MLRS	<i>Multiple Launch Rockets System</i>
MM	Missile mer-mer
MOA	<i>Ministry of Aviation</i>
MoU	Memorandum of Understanding
MP	Moyenne portée
MSOW	<i>Modular Stand Off Weapon</i>
MURAT	Munitions à risques atténués
MWDDEA	<i>Mutual Weapon Development Data Exchange Agreement</i>
MWDP	<i>Mutual Weapon Development Program</i>
NG	Nouvelle génération
OCCAR	Organisation commune de coopération de l'armement
ONERA	Office national d'études et de recherches aéronautiques
OTAN	Organisation du traité de l'Atlantique Nord
PAAMS	<i>Principal Anti-Air Missile System</i>
PAF	Pilotage aérodynamique fort
PARCA	Projectile autopropulsé radioguidé contre avions
PC	Poste de commandement
PDG	Président directeur général
PIF	Pilotage par impulsion en force
PME	Petites et moyennes entreprises
RAE	<i>Royal Aircraft Establishment</i>
RFA	République fédérale allemande
RFI	<i>Request for Information</i>
RFP	<i>Request for Proposal</i>
RRE	<i>Royal Radar Establishment</i>
SA	Missile sol-air
SAAM	Sol-air antimissile
SABA	Sol-air basse altitude

SACP	Sol-air courte portée
SACM	Société alsacienne de construction mécanique
SADTC	<i>SHAPE Air Defense Technique Center</i>
SAGEM	Société d'applications générales d'électricité et de mécanique
SALP	Sol-air longue portée
SAMAT	Sol-air Matra
SAMP	Sol-air moyenne portée
SAMP/N	SAMP naval
SAMP/T	SAMP terrestre
SARL	Société à responsabilité limitée
SAT	Société anonyme des télécommunications
SATCP	Sol-air très courte portée
SCALP-EG	Système de croisière à longue portée - emploi général
SCC	Station de contrôle et de commandement
SCIT	Service central d'information technique
SCT	Sous-comité technique
SEFT	Section d'études et de fabrications de télécommunications
SEP	Société européenne de propulsion
SEPR	Société d'études de la propulsion par réaction
SER	Surface équivalente radar
SERAT	Société d'études, de réalisations et d'applications techniques
SFECMAS	Société française d'études et constructions de matériels aéronautiques spéciaux
SFENA	Société française d'équipements pour la navigation aérienne
SFIM	Société de fabrication d'instruments de mesure
SHAA	Service historique de l'armée de l'Air
SHAPE	<i>Supreme Headquarters of Allied Powers in Europe</i>
SIAR	Service de surveillance industrielle de l'armement
SMB 2	Super Mystère modèle B 2
SMPA	Service des marchés et de la production aéronautique
SNCAC	Société nationale des constructions aéronautiques du Centre
SNCAN	Société nationale des constructions aéronautiques du Nord
SNCASE	Société nationale des constructions aéronautiques du Sud-est
SNIAS	Société nationale et industrielle aérospatiale
SNPE	Société nationale des poudres et explosifs
SPAé	Service de la production aéronautique
SS	Missile sol-sol
SSAF	Systèmes de sol/surface-air futurs
SSBS	Sol-sol balistique stratégique
SSBT	Sol-sol balistique tactique
STAé	Service technique de l'aéronautique
STCAN	Service technique des constructions et armes navales
STET	Service technique des engins tactiques
STRIM	Société technique de recherches en industries mécaniques
STSMT	Service technique des systèmes de missiles tactiques
STTA	Service des télécommunications de l'Air
TCM	Cellule au tellurure de cadmium et de mercure (infrarouge)
TDA	Thomson Dasa Armements
TDS	Tiré à distance de sécurité
TGW	<i>Terminal Guided Weapon</i>
TOP	Tube à ondes progressives
TRIGAT	<i>Tripartite Guided Antitank</i>
TRM	Camion lourd toutes roues motrices
TRT	Télécommunications radioélectriques et téléphoniques (groupe Philips)
TST	<i>Telefunken Systemtechnik</i>
TV	Télévision
TVA	Taxe sur la valeur ajoutée
USIAS	Union syndicale des industries aéronautiques et spatiales
YAG	Grenat d'yttrium et d'aluminium dopé au néodyme

Imprimé par DGA/ECS/MG REPRO 03.2004