

Collection COMAERO

L'histoire des hélicoptères en France depuis 1945



AACHEAR

Associations des auditeurs
et cadres des hautes études de l'armement

La
documentation
Française

L'histoire des hélicoptères en France

depuis 1945

COMAERO

Cet ouvrage collectif présente l'histoire des hélicoptères en France, de 1945 au début du ^{xx}e siècle, telle qu'elle a été vécue par des ingénieurs et des pilotes qui ont exercé des responsabilités à différents niveaux dans les programmes d'hélicoptères, principalement au sein du ministère de la défense.

Ce livre est édité par
l'association des auditeurs des hautes études de l'armement
avec le soutien d'Airbus Helicopters

Direction de l'information légale et administrative

©2016 La Documentation française – DILA

29 quai Voltaire

75007 Paris

ISBN : 978-2-11-xxxxxx

« En application de la loi du 11 mars 1957 (art.41) et du code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992, toute reproduction partielle ou totale à usage collectif de la présente publication est strictement interdite sans autorisation expresse de l'éditeur. Il est rappelé à cet égard que l'usage abusif et collectif de la photocopie met en danger l'équilibre économique des circuits du livre ».

À Émile Blanc†, président du COMAERO

Dont le rôle a été déterminant pour la réalisation de cet ouvrage. Prenant la suite de son ami Daniel Berthault†, il a animé jusqu'à la fin le groupe de rédacteurs. Il a écrit lui-même, avant sa disparition prématurée, une préface et un article de présentation qui donnent, comme il le souhaitait, à cet ouvrage collectif toute sa cohérence et son unité. Les membres du groupe COMAERO hélicoptères tiennent à lui rendre hommage en lui dédiant ce livre qui, sans lui, n'aurait pas existé.

AUTRES OUVRAGES DE LA COLLECTION COMAERO

Un demi-siècle d'aéronautique en France

L'électronique militaire

Les missiles tactiques

Les missiles balistiques

Les équipements de bord (Tome 1)

Les équipements de bord (Tome 2)

Les moteurs aéronautiques

Les avions civils (Tome 1)

Les avions civils (Tome 2)

Les armements aéronautiques

Les trains d'atterrissages

Les avions militaires (Tome 1)

Les avions militaires (Tome 2)

Études et recherches (Tome 1)

Études et recherches (Tome 2)

Les ateliers de maintenance industrielle de l'aéronautique

La formation (Tome 1)

La formation (Tome 2)

La formation (Tome 3)

Centres et moyens d'essais (Tome 1)

Centres et moyens d'essais (Tome 2)

Ces ouvrages n'ont pas donné lieu à édition papier en vente publique. La plupart ont été imprimés par la DGA/CHEAr. On peut télécharger leur version.pdf sur les sites suivants :

www.eurosae.com/pages/comaero/comaero.php

www.3af.fr/article/comaero

www.academie-air-espace.com/ressources/comaero.php

Les lecteurs peuvent faire part de leurs remarques, de leurs propositions de compléments et des erreurs relevées à Gérard Bretécher :

gerard.bretecher@numericable.fr

Les modifications retenues seront insérées dans la version pdf qui sera à terme mise en ligne et maintenue à jour sur les sites indiqués page précédente.

Table des matières

PRÉFACE	1
PRÉSENTATION DU DOCUMENT	5
LES ACTEURS	19
I. Les utilisateurs	20
1. <i>Armée de terre</i>	20
2. <i>Marine nationale</i>	22
3. <i>Armée de l'air</i>	24
4. <i>Autres utilisateurs</i>	25
II. Les services officiels	25
1. <i>STAé</i>	26
2. <i>CEV</i>	27
III. Les organismes de recherche	29
IV. L'industrie	30
1. <i>Hélicoptères</i>	30
2. <i>Moteurs</i>	31
3. <i>Équipements et armements</i>	32
LES DÉBUTS DE L'INDUSTRIE DES HÉLICOPTÈRES EN FRANCE(1945-1955)	35
I. La guerre, l'occupation et leurs séquelles	35
1. <i>Les premières tentatives, avant 1939</i>	36

2. <i>La période de l'Occupation</i>	37
II. Le redémarrage	39
1. <i>Les marchés d'études du STAé</i>	39
2. <i>L'importance des équipes allemandes</i>	40
III. La renaissance	42
1. <i>SNCASE</i>	42
2. <i>SNCASO</i>	45
3. <i>Autres sociétés</i>	46
L'ENVOL	51
I. Le programme Djinn	51
1. <i>Le développement</i>	51
2. <i>Le Djinn dans l'ALAT</i>	53
3. <i>Djinn dans le monde</i>	54
II. Les accords de licence avec les États-Unis	55
1. <i>Le Sikorsky S-55</i>	55
III. Le programme Alouette II	58
1. <i>Historique</i>	58
2. <i>Principales versions</i>	61
3. <i>Production</i>	61
IV. Le programme Alouette III	63
1. <i>Historique</i>	63
2. <i>Le développement</i>	65
3. <i>L'Alouette III dans les Forces armées et les services parapublics français</i>	66
4. <i>Les grands contrats export</i>	70
V. Le programme Frelon/Super Frelon	72
1. <i>Le SE 3200 Frelon</i>	72
2. <i>Le SA 3210 Super Frelon</i>	74
3. <i>Principales versions</i>	78
4. <i>Le Super Frelon dans les forces armées françaises</i>	81
5. <i>Principaux contrats Export</i>	81
VI. Conclusion	82

LES COOPÉRATIONS	83
LA COOPÉRATION FRANCO-BRITANNIQUE	87
I. Aspects généraux	87
1. <i>Conditions de lancement</i>	87
2. <i>L'accord de 1967</i>	88
3. <i>Les motivations</i>	90
4. <i>L'organisation et les hommes</i>	91
5. <i>Déroulement des programmes</i>	94
6. <i>Bilan de la coopération franco-britannique</i>	103
II. Le Puma	107
1. <i>La situation dans les années 1960</i>	107
2. <i>Le développement initial du Puma</i>	113
3. <i>Les développements ultérieurs</i>	120
4. <i>La production et la maintenance</i>	128
5. <i>Conclusion</i>	130
III. La Gazelle	131
1. <i>La situation dans les années 1960</i>	131
2. <i>Le développement initial de la Gazelle</i>	136
3. <i>Les développements ultérieurs</i>	140
4. <i>La production série et la maintenance</i>	153
5. <i>Conclusion</i>	155
IV. Le Lynx	157
1. <i>La genèse du programme</i>	157
2. <i>Le développement des versions de base</i>	160
3. <i>Le développement de la version marine nationale</i>	162
4. <i>Les « petites » histoires du Lynx ou le charme des relations internationales</i>	163
LA COOPÉRATION FRANCO-ALLEMANDE : LE TIGRE	169
I. Origine du programme	171
1. <i>Contexte politique, militaire, industriel</i>	171
2. <i>Les besoins et objectifs de chacun des acteurs</i>	173

II. Un historique mouvementé en trois actes	177
1. Une genèse conflictuelle en coopération : 1975-1987	177
2. La mise en place des fondations : les travaux jusqu'à la mise en série : 1987-1999	194
3. Les réorientations du programme dans l'après-guerre froide : 1993 à nos jours	207
III. Conclusions	214
<i>Résultats – Répercussions</i>	214
<i>Leçons d'une coopération</i>	215
IV. Annexe - Fiche technique	216
LA COOPÉRATION MULTINATIONALE : LE PROGRAMME NH 90	221
I. La racine française du programme	221
1. Situation de la marine française à la fin des années 70	221
2. L'étude de pré faisabilité d'un hélicoptère naval Otan	225
3. L'approche européenne	228
4. L'étude de communalité entre l'hélicoptère naval et l'hélicoptère terrestre	228
5. Conclusions partielles	231
II. Le déroulement du programme jusqu'au lancement du développement	233
1. La «Feasibility and Predefinition Study» (FPDS)	233
2. Première période de transition	241
3. Project definition phase	243
4. deuxième période de transition	244
5. Conclusion sur les diverses étapes qui ont conduit au lancement du programme NH 90	246
III. Le développement et la mise en service	247
1. Les différentes versions	247
2. Les cinq prototypes	248
3. Total des commandes à début 2015	249
4. Les mises en service opérationnel dans les formations	250

TABLE DES MATIÈRES

IV. Bilan (provisoire)	251
V. Annexe - Souvenirs d'un acteur du programme	254
LES PROGRAMMES INDUSTRIELS DITS « COMMERCIAUX »	259
I. Le programme Super Puma	259
1. Les successeurs du Puma : l'AS 331, appareil transitoire	259
2. L'étape suivante : l'AS 332 Mk I	261
3. L'évolution : l'AS 332 Mk II	266
4. Une nouvelle version sophistiquée	268
II. Le programme Dauphin	271
1. Monomoteur 360C : le précurseur	272
2. Bimoteur 365 C : la transition	274
3. Bimoteur 365 N : la maturité	275
4. Les versions militaires	280
5. Les développements expérimentaux	281
6. Bimoteur EC 155 : la prolongation du succès	282
7. Bilan	283
III. Le programme Écureuil	284
1. Aspects techniques	284
2. Le déroulement du programme	291
IV. Autres programmes « commerciaux »	308
1. L'EC 120 B « Colibri »	309
2. L'EC 135	309
3. L'EC 145	310
4. L'EC 175	312
LES PROGRAMMES NATIONAUX MILITAIRES DÉRIVÉS	313
I. Le Cougar	313
1. Origine du programme Cougar AS 532	313
2. Quelques Super Puma de l'État	314
3. Cougar	315
4. Le Caracal	319

II. Le Panther	322
1. Les projets de dérivés du Dauphin monomoteur	322
2. Les dérivés du Dauphin bimoteur pour l'État français	324
III. Le Fennec	331
1. Les monomoteurs	332
2. Les bimoteurs	333
3. Conclusion	335
IV. Le programme HORIZON	336
1. Les origines : le programme ORCHIDEE	336
2. L'utilisation du démonstrateur ORCHIDEE lors de la guerre du Golfe (1990)	339
3. Le programme hélicoptères HORIZON	340
DES INITIATIVES ORIGINALES	347
I. Des projets... sans suite	348
1. Hélicoptère Déchaux Hélicop Jet	348
2. Hélicoptère Citroën RE-210C n°001	353
II. Un succès : l'hélicoptère Guimbal Cabri G2	357
LES MOTEURS DES HÉLICOPTÈRES FRANÇAIS	359
LES RECHERCHES SUR LES HÉLICOPTÈRES	365
I. Introduction	365
1. Le financement de la recherche et des études générales	365
2. Spécificités des recherches et études sur les hélicoptères	367
3. Les thèmes de recherche	373
II. Les recherches menées par l'Onera	374
III. Les recherches menées par l'Aérospatiale/DH puis par Eurocopter	392
1. Le développement de la recherche à l'Aérospatiale/DH	392
2. Quelques projets de recherche	395

ASPECTS INDUSTRIELS ET COMMERCIAUX	405
I. Les structures industrielles jusqu'aux années 60	405
1. <i>À la veille des nationalisations de 1937 et jusqu'à 1939</i>	405
2. <i>De la déclaration de guerre à l'armistice</i>	408
3. <i>De l'armistice à la Libération</i>	408
4. <i>Les activités post-libération</i>	409
II. De 1970 à 1988 : L'Aérospatiale Division hélicoptères	411
III. De 1988 à 1992 : Genèse d'Eurocopter	414
IV. Coopérations industrielles diverses	424
1. <i>La coopération avec la Chine</i>	424
2. <i>Chaînes d'assemblage</i>	426
 ANNEXES GÉNÉRALES	 427
Notices biographiques	427
Glossaire	435
Liste des figures	443

PRÉFACE

Conditions de réalisation des travaux du groupe

(Émile Blanc†)

En introduction de l'ouvrage *L'histoire des hélicoptères en France de 1945 à nos jours*, je me dois de dire quelques mots sur l'entité que l'on nomme COMAERO¹, j'aborderai ensuite les conditions de réalisation de l'ouvrage, enfin je tenterai, dans un stade ultérieur, de faire une présentation des textes, résultat des travaux, de manière à attirer et, si possible retenir, l'attention de tout esprit curieux, soucieux de se documenter à bonne source sur cette réussite technique et industrielle et lui donner l'envie d'« aller plus avant », par lui-même, dans la découverte du contenu de l'ouvrage.

Le COMAERO est un groupe de travail mis en place en mars 2000 au sein du Comité pour l'histoire de l'armement, le CHARME, lui-même créé en 1998 par le délégué général pour l'armement, avec comme support logistique le département d'histoire du CHEAr. La mission donnée au COMAERO consistait à décrire les rôles respectifs des institutions des deux ministères de tutelle : de l'aviation militaire et de l'aviation civile, responsables de l'aéronautique et de l'industrie à partir des études financées et du déroulement des programmes réalisés. Sa tâche est donc de rassembler des éléments

1 /// Un glossaire des nombreux sigles utilisés tout au long de l'ouvrage figure en fin de volume.

(textes fondateurs, faits, témoignages...) qui pourraient être utilisés par les historiens qui se pencheront sur l'histoire de l'aéronautique en France durant la période 1945-1985 c'est-à-dire de l'immédiat après seconde guerre mondiale et de sa reconstruction d'après-guerre à la maturité retrouvée. Le choix de cette période est judicieux car elle est éminemment riche en événements créatifs. Pour tous les acteurs en responsabilité dès 1945, il s'agissait avant tout de retrouver la place de choix qui avait été celle de notre pays avant-guerre et donc d'être à même, après une éclipse de cinq années, de concevoir à nouveau des machines compétitives avec celles qui étaient réalisées, à la fois de l'autre côté de la Manche et de l'autre côté de l'Atlantique, et qui avaient tiré bénéfice des efforts de guerre à la fois dans la Recherche-Technologie et dans les méthodes de production dans l'Industrie. Il fallait à nouveau être à même de suivre le « tempo » imposé par nos grands Alliés : construire des machines capables d'aller toujours plus vite, d'être toujours plus légères et plus performantes, mais aussi toujours plus sûres. En un mot il fallait retrouver le désir de découverte et de réalisations qui, né avec le xx^e siècle, s'était affirmé chez nous dans tous les domaines de l'aéronautique pendant les quatre décennies jusqu'à la déclaration de guerre. Il fallait développer l'état d'esprit qui avait alors animé et permis dans les débuts du xx^e siècle, toutes les avancées ; il s'agissait de progresser à nouveau en une démarche ininterrompue, faite d'audaces nouvelles et de dépassements, et que traduisait si bien le : *citius, altius, fortius* des athlètes olympiques de l'époque. Pendant la période d'assoupissement, ô combien involontaire, et les temps difficiles de la deuxième guerre mondiale, cet esprit avait cependant continué à souffler, certes modérément, mais compte tenu des circonstances, il fallait lui permettre de retrouver toute sa vigueur d'antan, ce qui a été rapidement fait et le moins qu'on puisse dire, c'est que l'on n'a pas jusqu'à aujourd'hui de signes d'essoufflement. Dès lors, rien d'étonnant que le lancement du COMAERO ait suscité, dès sa création, un incomparable intérêt auprès de tous ceux qui avaient eu à jouer un rôle dans la résurrection de l'aéronautique de l'après-guerre. Une lettre circulaire d'appel à participer à la préparation et au lancement des travaux, reçut plus de trente réponses positives. Ce flux exceptionnel – plus

de 70 % - de manifestation d'intérêt annonçait le succès de la première réunion qui s'est tenue le 23 mars 2000 et au cours de laquelle fut mis au point le mandat, précisé le programme de travail, écrite la liste des secteurs et domaines sur lesquels devaient porter les travaux, et que fut dressée la liste des futurs animateurs en leur précisant qu'ils avaient toute latitude pour définir leur propre méthode de travail.

Comment donc travaille le COMAERO ? Les travaux du COMAERO sont conduits au sein de sous-groupes de rédaction spécialisés par grands domaines ; ils sont pilotés par un animateur et leurs membres ont tous eu à des titres divers d'importantes responsabilités, dans l'Administration, les Forces ou l'Industrie pendant la période considérée. Les uns et les autres se donnent pour tâche permanente de recueillir auprès des différents acteurs des témoignages directs, de fournir les éléments authentiques de leur propre vécu, de leur passé d'utilisateur, ou celui de technicien actif ou de responsable étatique, pour ensuite les mettre en forme de telle manière qu'ils puissent être exploités plus tard par les historiens. Cette façon de travailler s'est révélée efficace : presque une vingtaine d'ouvrages ont à ce jour été publiés et sont disponibles pour la plupart sur les sites internet de la 3AF (www.3af.fr/article/comaero), de EUROSÆ (www.eurosae.com/) et de l'Académie de l'air et de l'espace, Ces textes sont, de l'avis même des journalistes de la profession qui font souvent appel à eux, une « référence pour l'Histoire ».

L'ouvrage concernant les hélicoptères avait été, dès la première réunion, inscrit dans la liste des domaines retenus. Daniel Berthault avait accepté d'en être l'animateur. Le rôle qu'il avait joué par ses activités au sein de la section STAé/VT du STAé l'avait tout naturellement désigné comme la personnalité idoine. J'ai beaucoup côtoyé Daniel au STAé d'abord, à la DGA, au GAEO où il représentait la France, enfin au sein de l'association France-Convèrsia à la présidence de laquelle il m'avait succédé. Je peux porter témoignage du grand intérêt qu'il portait à la réalisation du projet *Hélicoptères* et son désir de le faire aboutir. Son départ brutal a interrompu et gravement compromis les travaux qu'il conduisait et ce d'autant plus que

son ordinateur personnel lui avait été naguère dérobé et que ses archives personnelles n'ont pu être retrouvées. Le COMAERO, en souvenir du rôle que Daniel avait joué dans le domaine des hélicoptères, a unanimement suivi la suggestion de Georges Bousquet et décidé de relever le défi en mettant tout en œuvre pour mener à bon terme la rédaction du fascicule COMAERO correspondant. Une lettre a été adressée le 29 mars 2011 à tous ceux qui apparaissaient alors comme susceptibles d'apporter une contribution tant par leur vécu, leurs souvenirs et leurs archives personnelles que leur carnet d'adresses. Elle avait un premier but : renouer les liens qui avaient pu être établis par Daniel à Marignane, dans les différentes branches de l'Industrie, dans les Services ou ailleurs et de motiver les uns et les autres.

Le retour réservé à ce courrier s'est révélé très positif et des plus encourageants ; une équipe s'est donc rapidement constituée et une première réunion s'est tenue le 7 juin 2011. Celle-ci a concrétisé le lancement des travaux du nouveau groupe *Hélicoptères*. Devaient y participer et y participent toujours d'une manière active, assidue et enthousiaste : Mme Legend-Larroche de la DGA, MM. Georges Bousquet (qui, à la direction du STAé où il assurait la supervision de la section « hélico » et à la DCAé qu'il dirigea, joua un rôle de tout premier plan), Michel Lasserre (responsable des développements des moteurs), Alain Crémieux (ancien directeur du CHEAr), Jean-Pierre Dubreuil, Bernard Fouques (anciens du CEV et d'Eurocopter), Étienne Maurice (ancien du CEV), Yves Gleizes (ancien directeur de programme HAP/HAC et ancien DGA) et Gérard Bretécher (ancien responsable de l'HAP/HAC), Jacques Humbertclaude (ancien du SPAé).

Qu'ils soient tous collectivement et personnellement remerciés. Le défi que nous nous étions donné au départ de Daniel à été relevé et ce de la plus brillante manière comme chacun pourra en juger en parcourant le magnifique résultat de leurs travaux rassemblés dans le présent ouvrage « L'histoire des hélicoptères en France depuis 1945 ».

PRÉSENTATION DU DOCUMENT

(*Émile Blanc†*)

L'ouvrage que j'ai le plaisir de présenter est le fruit des travaux d'une équipe COMAERO qui s'était donné pour objectif de relever le défi qu'avait posé le départ prématuré de Daniel Berthault, responsable désigné pour la rédaction du fascicule *L'histoire des hélicoptères depuis 1945 jusqu'à nos jours*. J'ai rappelé précédemment l'initiative collective des membres du COMAERO de constituer l'équipe qui a conduit, exécuté et mis en forme les travaux dont le présent fascicule rend compte d'une manière aussi complète et brillante que possible. Les documents qui le composent ont pour auteurs des personnalités qui ont eu des responsabilités directes dans le secteur. Pour leur contribution, ils ont chacun adopté un style personnel, une composition propre ; leur juxtaposition pourrait créer une certaine confusion dans l'esprit du lecteur et engendrer le sentiment d'un manque d'unité. C'est sans conteste la réalité, mais cette façon de faire a été jugée préférable de manière à conserver à chaque témoignage sa spécificité et son identité et à donner au document une authenticité qu'une rédaction unifiée aurait fait disparaître. Les nombreuses contributions émanent de tous les membres du groupe : anciens du CEV et/ou d'Eurocopter : Jean Pierre Dubreuil, Bernard Fouques, Étienne Maurice - de la DCAé : Georges Bousquet, Gérard Bretécher, Alain Crémieux, Yves Gleizes, Jacques Humbertclaude, Michel Lasserre, Monique Legrand-Larroche. Le document contient également des contributions de personnalités extérieures au groupe : Gilbert Béziac, Jean Cathala, Bernard Certain, Jean-Pierre Dantart, Michel Hancart, Philippe Jung, Jean-Jacques Philippe, Jean Richard, Pierre Rougier, Manuel Torrès. L'assemblage final de ces contributions, clair et harmonieux, est le fruit du

travail de Gérard Bretécher, avec le soutien éclairé de Bernard Fouques et Jean-Pierre Dubreuil ; grâce à eux, les redites ont été limitées au strict nécessaire pour une bonne compréhension, les données historiques recoupées et des compléments utiles ont été apportés pour un résultat très satisfaisant. Qu'ils acceptent dans leur modestie, les remerciements de nous tous. On l'a dit, la tâche principale du groupe consistait à recueillir des témoignages de première main, de rapporter faits et souvenirs des uns et des autres. Je ne peux cacher que je suis personnellement plein d'admiration pour le résultat obtenu qui traduit en une réalité concrète le vœu collectif initial. Cette réussite a été possible tant par l'engagement de tous les membres que par la participation matérielle effective de chacun. Je suis plein de reconnaissance envers eux, mes éloges, qui sont sincères, ne sauraient s'adresser à moi car ma contribution a été des plus réduites, mon apport personnel s'étant borné pour l'essentiel à fixer les dates de réunion et à trouver des salles où elles puissent se tenir et à en assurer sans difficulté un bon déroulement qui allait de soi. Je me dois enfin de souligner l'atmosphère qui régnait dans nos rencontres toutes empreintes du plus grand sérieux et de la plus grande camaraderie, sous-tendue il est vrai par un passé commun et par le plaisir d'évoquer, une fois de plus, les actions et les apports des uns et des autres. Ce fut pour tous l'occasion de revivre de grands moments, d'en découvrir d'autres, mais toujours d'apprendre des choses nouvelles et d'en tirer profit. Je voudrais également rappeler la bienveillance qui nous a été manifestée pour l'organisation de nos rencontres par l'Inserm d'une part et, surtout, par l'amicale des anciens du CHEAr au moment où nous avons été « lâchés dans la nature » après la disparition du CHEAr lui-même en tant qu'entité de la DGA.

Le période concernée par ce dernier volume de la « production » COMAERO débute certes en 1945. Il me semble cependant utile d'éclairer en préambule ce que fut le tout début des *machines à voilure tournante*, de faire un retour en arrière, de remonter aux sources en quelque sorte, et de rappeler dans un premier temps le rôle pionnier joué par notre pays dans les conquêtes du décollage vertical, du vol stationnaire et de la totale mobilité aérienne. C'est

une des vocations que d'aucuns jureront cocardière du COMAERO que de citer les noms et l'œuvre de ceux à qui nous devons ce que nous sommes.

De la longue suite des idées et des initiatives qui ont pris la suite des dessins de l'Helix Pteron de Léonard de Vinci (entre 1486 et 1496), je retiendrai comme point origine de l'activité en France la réalisation de la maquette de Launoy et Bienvenu à rotors coaxiaux mus par un arc bandé (1784) et celle des petites machines à ressort d'horlogerie de Gustave de Ponton d'Amécourt (1863) l'inventeur du mot « hélicoptère ».

Au début du xx^e siècle, les avions avaient montré, après les exploits de Clément Ader et des frères Wright, l'étendue de leurs possibilités, mais ils étaient toujours incapables de décoller à la verticale. Il s'agissait donc, dans la continuité, de faire mieux et d'approcher, sinon réaliser pleinement, le rêve d'Icare : s'envoler à la verticale, rester immobile, se déplacer horizontalement à grande aussi bien qu'à petite vitesse et revenir se poser sans encombre au point de départ. Techniquement, l'entreprise était difficile pour ces « inventeurs » qui ne disposaient ni d'une motorisation suffisante, ni des matériaux aux caractéristiques adaptées, ni même des connaissances d'aérodynamique nécessaires. Leur attitude première fut de se tourner vers la Nature et d'approfondir les solutions que celle-ci avait apportées au vol des oiseaux et des insectes. Ces pionniers ne manquèrent ni d'imagination ni de persévérance. Ils surent faire preuve d'audace, et même de témérité, allant jusqu'à mettre, souvent avec quelque inconscience, leur vie en danger. Il me paraît de pure justice de dire quelques mots sur ce que furent ces hommes et ce qu'ils firent en évoquant quelques-uns d'entre eux.

Après plusieurs années de tâtonnements, l'année 1907 devait marquer un tournant et inscrire sur les tablettes les premiers résultats et les premiers records. Des Français ont tenu un rôle de premier plan dans les premiers balbutiements des machines modernes : Louis Breguet, Paul Cornu et Étienne Oehmichen, sans oublier le monégasque Maurice Léger.

Maurice Léger, né le 14 décembre 1873 à Paris, est diplômé de Centrale en 1896. Embauché à la Société des Bains de Mer, il brevète l'hélicoptère coaxial en 1901 et est associé aux recherches océanographiques du prince Albert 1er, réalisant notamment des cerfs-volants en aluminium. C'est avec l'aide de ce dernier, plus quelques souscripteurs dont Richet, qu'il réalisa le Petit appareil, démonstrateur de 110 kg à l'échelle ½ avec moteur électrique déporté de 5,6 kW, qui le 28 avril 1905 décolle entravé dans le musée océanographique. À partir du 30 mai, plusieurs vols ont lieu avec le directeur du Musée. Léger peut dès lors passer au Grand appareil, en vue de concourir pour le prix du kilomètre, une énorme machine d'une tonne, le premier quadrimoteur de l'histoire avec quatre Antoinette de 25 ch. C'est aussi la première machine entièrement métallique. Après des soulèvements de 40 cm à partir du 5 mars 1907, elle se soulève de 80 cm avec Boisselot le 13 juin, avant de basculer sous une saute de vent.

Louis Breguet né le 2 janvier 1880 à Paris est un ingénieur sorti major de Supelec avec un rang qui efface son échec à Polytechnique. Il est le fils d'industriels du Nord qui développent à Douai des machines électriques. Il travaille dès le début de sa carrière au sein de l'entreprise familiale à perfectionner les modèles existants de groupes électromoteurs pour sous-marins. Avec son frère Jacques, polytechnicien d'un an son cadet, et sous le tutorat d'un ami de la famille : le professeur Charles Richet (un de nos prix Nobel de l'époque), il commence en 1907 à concevoir un « gyroplane » muni d'ailes flexibles. Cette « diversification » à partir de l'activité sous-marinière, n'était pas du goût du directeur général Sciamma qui aurait préféré voir ce jeune ingénieur « s'adonner à la boisson plutôt que de rêver de machines volantes ». Quand on connaît la suite, on reste pantois devant la perspicacité de ce cadre haut responsable !! Les deux frères présentent le 21 septembre 1907 à l'Académie des sciences l'appareil – le gyroplane – qui avait fait ses premiers essais en mai et juin 1907 et avait réussi le 24 août 1907, un premier envol dans la cour de l'usine de la maison Breguet. Retenue par le personnel, la machine d'une masse de 578 kg, équipée d'un moteur Antoinette de 45 ch qui entraîne quatre rotors quadripales biplans, *a été capable de soulever son pilote* le 20 septembre à une hauteur de 1,50 m pendant 1 minute.

Breguet juge toutefois que le gyroplane est trop complexe, trop difficile et trop coûteux à réaliser. Il doute de son avenir et il décide de passer aux aéroplanes avec le succès que l'on sait. Il devait toutefois revenir en 1932 aux voilures tournantes en réalisant en 1935 avec René Dorand le gyroplane de 240 ch qui battit en 1935/36 tous les records, d'altitude avec 158 m, de vitesse à 108 km/h et de distance avec 44 km en 1 h 02.

Paul Cornu, est né le 15 juin 1881, il est le fils d'un modeste marchand de cycles, réparateur de vélos, mais mécanicien inventif. Il réalise dès 1906 un modèle réduit de 13 kg - 2 ch. Le résultat obtenu est suffisant pour qu'il se lance dans la construction d'une machine aux dimensions plus réalistes, à base de roues de bicyclette, de chaînes de vélo et d'un moteur à courroies pour entraîner le tout - les élèves de l'ESTACA ont récemment construit en 2007, pour le centième anniversaire de son vol une réplique de cette machine. L'hélicoptère, car c'en est un, décolle de 30 cm sous entrave le 13 novembre 1907. Son hélicoptère d'une masse de 260 kg, équipé d'un moteur Antoinette de 24 ch (18 kW) entraînant deux rotors bipales, réalise en tout un vol de moins de 30 secondes et se brise à l'atterrissage. Ainsi se termina l'aventure, la réalisation de Paul Cornu, faute de moyens financiers, restera sans lendemain. Il n'avait pu trouver les arguments nécessaires pour convaincre des mécènes de construire d'autres machines.

Un autre Français, dont le rôle vient d'être remis en lumière grâce à une bobine de film retrouvée dans un sous-sol de la région de Montbéliard, mérite d'être cité. Il s'agit d'Étienne Oehmichen né le 15 octobre 1884. Amené enfant par son oncle à une démonstration d'ascension en ballon à Lyon sur les collines de Fourvière, il y réalise son premier 500 mètres en ballon. Il fait un vœu. « Quand je serai grand, je ferai une machine pour m'élever dans les airs ». Ce vœu il le réalisa. Après sa sortie en 1909 de l'École centrale Paris, il travaille chez Alsthom à Belfort puis chez Peugeot, chez qui il reviendra une fois démobilisé en 1918 avec une idée en tête : construire un hélicoptère. Les machines très ingénieuses construites jusque-là pouvaient tout juste quitter le sol ; elles avaient un problème rédhibitoire de stabilité. Oehmichen va s'intéresser avec une démarche toute scientifique aux solu-

tions apportées par la Nature au vol des insectes et des oiseaux et invente pour les étudier l'analyse stroboscopique. En 1921, il construit un premier modèle du genre « hélico » - le n° UN - suspendu à un gros ballon pour assurer une certaine stabilité verticale. Le vol est satisfaisant. La démonstration est faite que le problème est une question de stabilité. Il décide de construire un nouveau modèle - le n° DEUX - à quatre hélices horizontales, celles-ci générant un flux d'air vertical comme le fait une aile d'oiseau ou d'insecte et qui reprend le rôle du ballon ; il équipe sa machine d'une petite hélice verticale : l'ancêtre du *rotor de queue* qui lui permet de se diriger. C'est dans cette configuration que, le 4 mai 1924, il effectua à Arbouans (pays de Montbéliard, Doubs), 17 ans après les premières tentatives, le *premier kilomètre en circuit fermé en hélicoptère* et qu'il inscrivit sur les tablettes son nom comme *premier record du genre homologué pour un « hélicoptère »* par la Fédération aéronautique internationale. Étienne Oehmichem développera en tout sept appareils jusqu'en 1937. Ce bricoleur de génie, ingénieur de talent doublé d'un pilote d'essai, fût aussi un brillant savant naturaliste, pionnier de la biomécanique ; il se verra à partir de 1939 confier la chaire d'aérolocomotion mécanique et biologique au Collège de France.

Nos compatriotes, certes, ne sont pas les seuls à s'intéresser au vol vertical ; une grande activité règne dans le monde et notamment dans de nombreux pays d'Europe, aux États-Unis et en Russie. Quelques avancées primordiales vont être faites qui permettent d'approcher le dessin des machines modernes. Il convient d'en citer, sans chercher à être exhaustif ou distribuer des bons points, quelques-uns d'entre eux : Igor Sikorsky de Kiev vient en France et tente sa chance en 1910 mais renonce une première fois devant la difficulté. Il fera en 1939 un retour remarqué dans ce domaine et construira aux États-Unis son VS 300 et ses dérivés, dont le XR-4, premier appareil construit en série, avec lesquels il amorcera une carrière triomphale. Le marquis argentin Raul Pateras Pescara s'est signalé pour avoir inventé en 1923 le pas cyclique et le levier de pas général. Youriev et Isakson en Russie inventent en 1931 le rotor anti-couple. En Espagne, Juan de la Cierva construisait l'Autogire, une machine à hélice propulsive et rotor sustentateur. De nombreux projets vont voir le jour entre les deux guerres sans qu'aucun ne réussisse à s'imposer

et à l'emporter. C'est pour l'hélicoptère sa période de maturation, celle qu'ont connue et connaissent encore toutes les avancées techniques. Pendant la deuxième guerre mondiale, à l'instar des avions, des progrès significatifs vont être faits pour l'hélicoptère par les Alliés d'une part, mais aussi en Allemagne grâce à la forte impulsion donnée par les responsables du IIIème Reich à la poursuite des études conduites déjà avant-guerre par le professeur Focke et l'autrichien von Doblhoff.

En France, pendant l'occupation, l'activité hélicoptère est mise en hibernation forcée - à signaler toutefois l'autogire SE 700 de l'ingénieur Renoux qui vola le 25 mai 1945 à Marignane. Elle sera reprise dès lors avec vigueur. C'est sur la base des résultats obtenus en Allemagne que seront confiées en France, par le STAé, aux sociétés nationales les premières études : à la SNCAC, à la SNCASE (inspiration Focke) à la SNCASO (inspiration von Doblhoff) et à Breguet. Seules SNCASE et SNCASO iront au bout de leurs développements et connaîtront le succès avec le SE3130 Alouette II pour l'une et le SO1221 Djinn pour l'autre. Les activités des deux sociétés fusionneront ensuite le 1er mars 1957 au sein de Sud-Aviation pour devenir le 1er janvier 1970 la division hélicoptère de la SNIAS à qui sera donné, la même année, le nom plus phonétique d'Aérospatiale. Le rapprochement avec son homologue de MBB concrétisé d'une part par l'accord de principe du 02 avril 1990, du président Henri Martre et du Dr Schöffler, suivi du MOU Bigay/Plückthun, donnera plus tard naissance à la société Eurocopter devenue aujourd'hui Airbus Helicopters.

De nombreux projets sont lancés qui donnent l'occasion aux équipes françaises d'acquérir une fructueuse expérience qu'elles exploiteront plus tard. Les turbomachines de Joseph Szydlowski fabriquées par la société Turbomeca à Bordes vont jouer un rôle de premier plan. Michel Lasserre décrit dans un chapitre dédié l'évolution et le développement de ces moteurs. La recherche en commun avec l'hélicoptériste permet de faire croître modèle après modèle l'optimum des performances depuis le Palouste du Djinn, l'Artouste et l'Astazou de l'Alouette et le Turmo du Super Frelon et du Puma, le Makila du Super Puma et le RTM 322 du NH 90. L'avantage com-

pétitif concrétisé, dès le premier vol le 12 mars 1955 aux mains de Jean Boulet, du SE3130 Alouette II sera maintenu jusqu'à aujourd'hui. Ce vol sera suivi le 6 juin 1955 par un vol qui ouvrira la voie aux records d'altitude avec un premier 8 209 m. Le record d'altitude sera suivi, le 3 juillet 1956, du premier sauvetage à plus de 4 000 m. Cette performance place d'entrée l'industrie française des hélicoptères au niveau d'excellence ; l'Alouette II et le Djinn seront les premiers hélicoptères à turbine au monde fabriqués en série et certifiés le 2 mai 1957. L'Alouette II sera construite à plus de 1 500 exemplaires. Les réalisations se succèdent les unes les autres à un rythme soutenu ponctuées par le premier vol d'une nouvelle machine, en gros tous les trois ans, et montrent que sont atteints les plus hauts niveaux de technologie dans les domaines militaire et civil.

Jean Boulet décolle le SE3160 Alouette III le 28 février 1959. Il sera construit à plus de 2 000 exemplaires (sans compter environ 350 Lama) et il sera longtemps l'hélicoptère de sauvetage de la Gendarmerie, de la Sécurité civile et des militaires. Viennent ensuite les premiers vols du SA3210 Super Frelon le 7 décembre 1962, celui du SA330 Puma le 15 avril 1965, qui sera construit à plus de 700 exemplaires, et auquel succèderont dans l'ordre le premier vol du SA 340 Gazelle le 7 avril 1967 qui sera équipée en 1968 du Fenestron² inventé par René Mouille, celui du SA 360 Dauphin le 2 juin 1972 avec Roland Coffignot comme pilote (le Dauphin obtint son CdN FAR 29 en décembre 1975, il sera adopté plus tard en 1979 par l'US Coast Guard). La même année, le 21 juin 1972, le record absolu d'altitude est porté à 12 442 m par Jean Boulet avec un Lama, une cellule d'Alouette II renforcée et utilisant le moteur et les ensembles dynamiques de l'Alouette III. Le premier vol de l'Ecureuil AS 350 a lieu le 27 juin 1974, suivi de celui de l'AS332 Super Puma le 13 septembre 1978. Un Dauphin CDVE vole à Marignane le 6 avril 1989 ; le Tigre PT1 d'Eurocopter volera le 27 avril 1991 (sa version HAP volera quant à elle le 22 avril 1993). La même année le Dauphin DGV aux mains de Guy Dabadie établit le 19 novembre 1991 le record de vitesse sur base de

2 Fenestron, avec une majuscule, est un nom déposé par Eurocopter en 1975, mais il est passé, sans majuscule, dans le langage courant, devenant homonyme de « petite fenêtre » d'origine provençale.

3 km, à ce jour toujours valable en atteignant 372 km/h. À noter que notre camarade Bernard Fouques qui a fourni de nombreux témoignages et qui a, avec entrain et efficacité, participé à la réalisation de l'ouvrage que je vous présente faisait partie de l'équipage. L'utilisation de l'hélicoptère se développe pour le travail aérien, l'offshore, le transport de passagers et celui des VIP, ainsi que pour les opérations humanitaires. Des modèles de grande taille hautement performants sont étudiés et lancés directement par l'industrie : Le Super Puma Mk II vole le 6 février 1987 il sera certifié le 12 juin 1991, Le Caracal EC 725 véritable « machine à tout faire » apte aux missions spéciales HUS et à la mission Resco vole le 27 novembre 2000, la version civile EC 225 LP sera certifiée le 27 juillet 2004.

Les premiers conflits d'après-guerre vont révéler les possibilités militaires des hélicoptères en combat : En Indochine et en Corée (1950-1954) pour des missions de sauvetage, en Algérie (1954-1962) pour des missions de protection et, à partir de 1956, pour des missions d'assaut. La guerre du Vietnam sera qualifiée de « guerre des hélicoptères » ; les États-Unis y déploieront jusqu'à 8 600 machines.

Si le rappel des « hauts faits » illustre la marche en avant de l'activité hélicoptère en France et traduit sa brillante réussite, on ne saurait se limiter à la simple énumération qui vient d'être faite. Aussi c'est l'histoire, à compter de 1945 jusqu'à une date proche de nous au-delà même de 1985, qui va vous être rapportée sous ses multiples aspects. C'est celle du développement d'une activité technique et industrielle à inscrire à l'actif de la France et, désormais, à celui de l'Europe. Sur ce cheminement qui conduit des balbutiements au plein succès, vous rencontrerez des hommes d'une volonté affirmée, pour la plupart d'un caractère fort et d'une imagination hautement créatrice, vous aborderez des organisations rationnelles et efficaces, vous apprécierez les efforts dans tous les domaines y compris financiers, notamment ; vous verrez enfin s'exprimer beaucoup de ténacité et de courage de la part des acteurs. C'est la conjonction de ces forces concourantes qui a produit l'alliage porteur de réussite. Je vous réserve la découverte du texte dans ses détails, mais je voudrais insister sur certains aspects importants à

mes yeux et recommander à votre attention certains points particuliers. La lecture du premier chapitre de généralités est essentielle avant d'aborder le reste du fascicule. Ce chapitre est consacré aux **acteurs** et au rôle de chacun. Ce sont les Utilisateurs, les Services, l'Industrie :

- **les utilisateurs, militaires et civils**, définissent les caractéristiques des matériels les mieux adaptés à l'exécution de leurs missions qu'elles soient militaires, accompagnées alors de leurs doctrines d'emploi, ou civiles et relatives à leur utilisation pour les missions de transport, de desserte des plates-formes, de secours et de sauvetage. On verra qu'ils ont joué et jouent toujours un rôle de tout premier plan dans le développement des matériels ; en effet en dehors de la fonction « gros hélicoptère grue » la totalité des besoins se trouvent couverts par les produits de notre industrie et tous les marchés lui sont ouverts.
- **les services** : Ce sont le STAé, le CEV, la DGAC. Il est intéressant de rappeler le rôle de chacun d'eux. Le STAé traduit l'expression des besoins des utilisateurs en spécifications techniques qui seront à la base des contrats qu'il notifiera à l'industrie. Le CEV évalue et réceptionne les aéronefs, la DGAC les certifie. Ils animent ensemble les organismes de **recherche** et les Centres d'essais et ont leur part de mérite dans le succès collectif. De ce point de vue, on ne peut que s'associer à la reconnaissance que leur manifeste Jean Richard dans un article joint : *« À coté des équipes des constructeurs, il existe une petite équipe des services officiels qui a su apporter son appui, ses conseils et pris les bonnes décisions au bon moment. Leur rôle n'est en général évoqué que lorsqu'un programme échoue, aussi il convient de les associer à une réussite aussi manifeste »*. Ce sont les Services qui passent les commandes de matériels au nom de l'État utilisateur. Le client État français est de loin le plus important. Même si l'ensemble des machines mises en œuvre dans ses missions militaires et civiles est faible au regard du total en service dans le monde, celles-ci n'en constituent pas moins une flotte de référence. C'est une vitrine opérationnelle complète et exceptionnelle de moyens accessibles qui impressionne favorablement les clients étrangers et contribue pour sa part au succès de notre industrie, l'autre part, la plus importante bien

sûr, revenant à la qualité des matériels produits et des services fournis. Le résultat parle de lui-même : Airbus Helicopters occupe la première place mondiale sur le marché.

- **l'Industrie enfin : avionneurs, motoristes et équipementiers** dont les structures actuelles ont émergé autour du maître d'œuvre Aérospatiale, puis Eurocopter devenu Airbus Helicopters et autour de Turboméca, leader mondial des turbomachines dans sa catégorie. L'activité de l'industrie est décrite au travers des programmes successifs : les programmes de la période de lancement et d'envol d'abord, puis les programmes en coopération et enfin les programmes industriels

Les programmes en coopération ont joué un grand rôle. Il s'agit essentiellement de programmes militaires. Il convient de s'arrêter sur leur impact. À la période de fabrication sous licence qui suit l'immédiat après-guerre, va succéder celle caractérisée par la volonté des décideurs de mettre sur pied une industrie autonome. La coopération va jouer un grand rôle dans la mise sur pied du potentiel industriel national et européen : les fabrications sous accords de licence avec les États-Unis, avec Sikorsky en particulier, furent une première étape initiatrice et très fructueuse. La volonté de l'État français de donner une impulsion forte à son industrie et à la construction européenne dans ce domaine conduisit notre pays à coopérer avec le Royaume-Uni dans un premier temps puis avec d'autres pays membres de l'Otan dans le cadre des Accords de Ditchley Park et, enfin, avec l'Allemagne. Si la coopération franco-britannique a permis d'atteindre dans de bonnes conditions les objectifs opérationnels et économiques fixés – ce qui n'est déjà pas si mal – elle n'a pas eu d'impact majeur sur la création d'une industrie européenne. Le principe du maintien en l'état des structures et des outils de production nationaux, mais fonctionnant au profit des deux Pays a eu, de ce point de vue, une influence négative. La coopération avec l'Allemagne se révélera porteuse d'avenir car, en définitive, elle structurera une bonne partie de l'industrie européenne. C'est dans un cadre coopératif que furent conduits, d'abord avec le Royaume-Uni, les programmes SA 330 Puma, SA 341 Gazelle, WG13 Lynx, puis en franco-allemand le programme Tigre

décliné en plusieurs versions : appui-protection (HAP), appui-destruction (HAD) dans un cadre élargi à l'Espagne, et appui-antichar (UHT/KHS), et enfin en multilatéral le programme NH 90 (géré dans le cadre de l'Otan).

Chaque programme à finalité militaire, Terre, Mer, Air est décrit dans le détail depuis les conditions de sa genèse et celles de son lancement jusqu'à son développement initial. La vie technique et industrielle de chacun d'eux est à chaque fois étudiée, des précisions utiles sont apportées qui éclairent son historique. Le texte présente le détail des adaptations aux nouveaux marchés, ainsi que les extensions des champs d'action, par une meilleure utilisation d'équipements nouveaux ou l'intégration de nouvelles fonctions offrant une meilleure efficacité opérationnelle. Le lecteur curieux de la vie d'un programme trouvera dans le texte la précision qu'il cherche, le détail précieux qui lui manque, et cet ouvrage lui sera dans tous les cas un auxiliaire fiable et un guide généreux.

Un autre groupe de programmes concerne **les programmes dits industriels**. Il concerne des développements initiés et menés par les industriels eux-mêmes qui ont cherché à profiter au maximum des avancées techniques et technologiques acquises à l'occasion des programmes précédents, aboutis ou non, et à exploiter tous les retours d'expérience instructifs. Pour tous les programmes civils, il s'agissait de sentir les tendances d'un marché naissant et de lui proposer des produits adaptés. François Legrand dont ceux qui ont suivi ses cours à SupAéro gardent un très grand souvenir, avait perçu cet appel des marchés et avait lancé sur les fonds propres de sa société, sans être toujours compris de sa hiérarchie d'ailleurs, ce que Jean-Pierre Dubreuil appelle « la nouvelle gamme ». Le lecteur pourra se reporter aux remarquables contributions que celui-ci a faites dans le chapitre consacré aux aspects industriels et commerciaux, il y verra comment les **programmes dérivés** ont consisté à faire évoluer astucieusement les matériels de manière à satisfaire au mieux les besoins opérationnels naissants.

Pour le besoin transport de troupe, l'appareil à l'origine de la lignée des

développements est le Puma SA 330. Une première tentative est faite avec l'AS331 qui, à cause d'un coût trop élevé, sera abandonné. C'est sur la base du Super Puma civil AS 332 que vont voir le jour plusieurs versions Terre, Air et Mer : le Cougar AS 532UL (1ère livraison 13 décembre 88). Suivront de nouveaux développements : le Super Puma Mk II (1^{er} vol le 6 février 1987), puis l'EC225/725 Caracal (1^{er} vol le 27 novembre 2000).

Pour le Dauphin, le lecteur rencontrera d'abord la version monomoteur SA 360 C (1^{er} vol 2 juin 72) qui établira trois records internationaux de vitesse sur base (3 km, 15 km, 100 km) dans sa catégorie. Cette version sera suivie d'une version bimoteur SA 365C, puis SA 365N lancée en 1977 pour un premier vol 31 mars 79 ; moins d'un an plus tard, l'appareil établira trois records de vitesse dont un A/R Paris-Londres avec 303 km/h. Cette version sera retenue par les US Coast Guard en juin 1979. Parallèlement, des versions militaires AS 365 F-K vont être lancées au profit des armées de terre, de mer, de l'air. Le 29 février 84 naît le Panther SA 365 M qui tournera aux mains d'Herrenschmidt en 1988 loopings et tonneaux. Ultérieurement, la gamme sera complétée par une version EC 155 à la fin des années 1990, destinée au transport de passagers (VIP), à la desserte offshore et à l'évacuation sanitaire ainsi qu'à des missions de service public. Toutes versions confondues, plus de 1 000 machines Dauphin étaient construites fin 2013.

Le programme Ecureuil mérite lui aussi une attention particulière. Il est né à l'initiative de l'usine de Marignane. Le directeur en fonction, Fernand Carayon, qui avait fait carrière dans les avions légers, voulait dans le même esprit construire un appareil léger de 4 à 5 places plus simple, donc moins onéreux à fabriquer, et destiné au marché civil en pleine expansion. Son choix se porta sur un hélicoptère équipé d'une turbine libre pour profiter de l'avantage puissance/masse déterminant qu'une telle motorisation procure. Il le fera de plus bénéficier de très nombreuses innovations technologiques. Le premier vol est effectué le 27 juin 74, l'appareil sera rapidement certifié. Les versions successives, l'intégration des améliorations successives de l'ensemble mécanique-moteur font de ce programme une réussite excep-

tionnelle puisque, fin 2013, 800 bimoteurs et 4 800 monomoteurs ont été construits. Bernard Certain ingénieur navigant d'essai a écrit un historique très vivant de ce programme où il relate pour les faire partager ses propres expériences et ses ressentis et qui est résumé dans le présent ouvrage.

Le présent document ne détaille pas les données techniques concernant ces différents programmes. Le lecteur pourra, s'il le désire, consulter le site <http://easa.europa.eu/document-library/type-certificates>, qui contient les données relatives à la certification des versions civiles.

Ces succès, les réussites commerciales que j'ai évoquées doivent beaucoup à l'audace, au travail dans la continuité et à la pertinence des jugements des différents responsables. Ils n'auraient pu être atteints sans les efforts de recherches menées, avec un soutien toujours assuré de la part de l'État grâce à son plan « roulant de cinq ans », aussi bien par l'Onera en collaboration avec l'industrie, que directement par l'industrie toute seule avec un pragmatisme particulièrement efficient. Gérard Bretécher dont j'ai déjà souligné l'apport à la réalisation de l'ensemble du document, a décrit, avec l'aide de Jean-Jacques Philippe, Gilbert Béziac et Manuel Torrès, dans un chapitre particulier Les recherches sur les hélicoptères ce que fut la contribution et les apports de chacun.

Au terme de cette présentation, j'espère que le lecteur aura perçu mon invitation à poursuivre plus avant dans la lecture du fascicule. Il retiendra au regard des difficultés surpassées que la complexité des machines n'est pas en soi un problème dès lors que sont mobilisés les énergies et le savoir-faire des hommes pour satisfaire des besoins essentiels. Pourrait-il être convaincu que le potentiel existe toujours qui permet de regarder avec optimisme l'avenir des hélicoptères en France et en Europe.

Chapitre I

LES ACTEURS

(Georges Bousquet)

De longue date, l'hélicoptère a eu ses inventeurs, ses visionnaires et ses pionniers. Le passage au stade industriel a été moins rapide que pour l'avion en raison des problèmes spécifiques que présentaient ces nouvelles machines. Mais le vol vertical a ensuite trouvé place dans de nombreuses applications du fait de son aptitude unique et souvent irremplaçable pour certaines missions.

En France, grâce à la conjonction de facteurs très favorables, l'industrie des hélicoptères a connu un succès exceptionnel. Le rôle des pionniers étant décrit par ailleurs, on n'évoquera dans ce chapitre que celui des acteurs qui participent en commun depuis 1945 à la poursuite de cette aventure. L'industrie a eu un rôle prépondérant, mais on a respecté l'ordre habituel consistant à mettre en premier l'expression des besoins et donc les utilisateurs :

- utilisateurs ;
- services officiels ;
- organismes de recherche ;
- industrie

I. LES UTILISATEURS

L'hélicoptère intéresse toutes les catégories d'utilisateurs, militaires ou civils, mais ceux qui expriment leurs besoins de la manière la plus directe sont naturellement les militaires. Et, parmi eux, même si toutes les composantes des forces armées sont concernées, celles qui ont orienté le plus profondément la conception et l'emploi de leurs hélicoptères sont, en France, l'armée de terre et la Marine, l'armée de l'air s'équipant essentiellement d'hélicoptères déjà développés.

1. Armée de terre

Les ballons (Fleurus 1794), puis les avions, furent utilisés très tôt pour l'observation et le renseignement des troupes au sol (bataille de la Marne). En 1914, les 156 avions et 78 compagnies d'aérostations sont principalement affectés à l'armée de terre et quelques-uns à la marine. Des autogires³ ont aussi été utilisés entre 1934 et 1937 par les armées françaises pour ce type de missions. Pendant la 2^{ème} guerre mondiale, des moyens aériens spécifiques sont constitués dans les régiments d'artillerie ; ils formeront les groupes d'aviation d'observation de l'artillerie (GAOA). Plus tard, en Indochine, l'aviation légère d'observation de l'artillerie (ALOA), créée en 1952, participe à toutes les actions du corps expéditionnaire.

En 1954 est créée l'ALAT (aviation légère de l'armée de terre). Elle va se développer en Algérie avec des pelotons mixtes d'avions et d'hélicoptères. En 1962, l'armée de terre tire les leçons des opérations menées en Indochine et surtout en Algérie. C'est ainsi que vont être élaborés pour la première fois des concepts d'emploi des hélicoptères particulièrement innovants :

3 *////////////////////////////////////*
Après évaluation d'un autogire Avro Rota Mk1 conçu par Juan de la Cierva, les services français en commandent une douzaine pour la Marine et une cinquantaine pour l'armée de l'air, la plupart construits sous licence en France par Lioré et Olivier (LeO C30, C301). La Marine fera des missions de surveillance, et l'armée de l'air mènera avec l'artillerie de nombreuses expérimentations pour des missions d'observation. La guerre mit un terme à l'exploitation de ces machines dans les armées françaises.

manœuvres combinées des hélicoptères, premiers hélicoptères armés, vol tactique... En 1962 est aussi lancé le programme SA 330 Puma à la demande de l'armée de terre.

Les structures évoluent : en 1977 sont créés des régiments d'hélicoptères de combat puis, en 1983, une nouvelle étape est franchie avec la création de la Division aéro-mobilité qui regroupe tous les moyens permettant à l'hélicoptère de remplir la quasi-totalité des fonctions de combat. L'ALAT définit à cette occasion « *une doctrine d'emploi qui donne la priorité aux hélicoptères antichars, mais avec une protection anti-hélicoptère fournie par des hélicoptères spécialisés et des hélicoptères de manœuvre pour transporter les équipes antichar et assurer la logistique* ».

Au niveau des matériels, cela se traduit par des demandes opérationnelles très claires marquées par une grande continuité, fruit de l'expérience et de la compétence des personnels. Après l'Alouette II et l'Alouette III, armées de SS 11, premiers balbutiements, viendront la Gazelle HOT, véritable hélicoptère antichar et, surtout, le Tigre HAP et HAC. Le Puma aura également de brillants successeurs avec le Super Puma et, plus récemment, le NH 90 qui correspond aussi à d'autres missions.

Certaines personnalités, parmi bien d'autres, sont sans doute à citer particulièrement : le général Crépin pour ses idées très fécondes sur l'utilisation des missiles, le général Cannet pour son influence sur les concepts d'emploi et la définition des matériels.

Sur le concept d'aéromobilité, il faut signaler la conférence du général Le Poitevin de Lacroix de Vaubois lors du colloque sur les hélicoptères, 80 ans de vol vertical français 1907-1987, dont s'inspire d'ailleurs le présent article.

Les expérimentations opérationnelles sont, dans un premier temps, réalisées par la section expérimentale du groupe d'hélicoptères n°1 créé en 1954 sur le plateau de Satory (78) avant de devenir en 1957 le groupe d'expérimentation de l'ALAT (GE ALAT). Le 1er septembre 1967, ce groupe rejoint

le terrain de Valence-Chabeuil et prendra son nom final de groupement aéromobilité de la section technique de l'armée de terre en 1987. En octobre 2003, l'ALAT devient une arme.

2. Marine nationale

Au cours de la 1^{ère} guerre mondiale, des dirigeables de la Marine assurent la surveillance du littoral en particulier dans la Manche. En 1939/40, la Marine met en œuvre plus de 700 avions et 13 autogires (4 Avro⁴ C30 anglais, 4 Lioré et Olivier LeO C-30 et 6 LeO C301) affectés à l'escadrille 3S2.

Au cours de la 2^{ème} guerre mondiale, les sous-marins allemands ont constitué une très grave menace pour le ravitaillement de l'Europe en provenance des États-Unis. Cette menace est restée une préoccupation majeure pour les gouvernements des nations de l'Organisation du traité de l'Atlantique Nord (Otan) créé en 1949 et leurs flottes ont comme mission principale cette lutte anti-sous-marine (ASM). Dès l'immédiat après-guerre, la marine nationale s'est efforcée de mettre au point des systèmes d'armes, avions et hélicoptères, pour prendre part à cette défense ASM. L'aéronautique navale est ainsi devenue une composante majeure de la marine nationale. En 1951 est créé le premier groupement hélicoptère de la Marine GHM qui deviendra à la fin de l'année la 58S à Saint-Mandrier. Les trois grands programmes d'hélicoptères qu'elle a initiés, (Super Frelon, Lynx, NH 90) l'ont été pour être les porteurs de systèmes d'armes de plus en plus sophistiqués destinés à chasser et à détruire les sous-marins ennemis. Dans l'immédiat après-guerre, la première manifestation d'intérêt émane de l'amiral Nomy qui demande que la Marine soit dotée de trois hélicoptères SE 3000, mais cette demande n'aboutit pas, cet hélicoptère n'ayant pu être mis au point. Durant la guerre d'Indochine, l'hélicoptère sert d'aéronef de sauvegarde sur les porte-avions (Sikorsky S51). Cette mission sera ensuite remplie par l'Alouette III puis le Dauphin. En Algérie, les hélicoptères Marine se sont illustrés sous

4 Société anglaise : A V Roe & Co Ltd

le commandement du capitaine de corvette Babot avec des Sikorsky HSS1 équipés d'un canon de 20 mm. Le SE3000 n'avait pas pu être mis au point, mais les études avaient continué chez le constructeur et, finalement, c'est le Super Frelon SA321, hélicoptère très réussi, qui fut adopté par la marine nationale et commandé à vingt-neuf exemplaires dont cinq pour le Centre d'essais du Pacifique. La Marine avait contribué de façon importante à la mise au point du SA321 avec la Commission d'études pratiques d'aviation (CEPA) : le capitaine de frégate Prunetti en fut le principal responsable sous la direction du Service central de l'aéronautique dont le chef était alors le vice-amiral Thabaud. Le Super Frelon était doté d'un système d'armes ASM très complet qui, malgré certaines difficultés d'exploitation, a rendu d'excellents services durant de très longues années. Le Super Frelon termina sa carrière comme hélicoptère de sauvegarde et de transport lourd.

Avec le WG13 Lynx, réalisé dans le cadre de la coopération franco-britannique, l'hélicoptère devient l'auxiliaire indispensable du bâtiment de surface et, notamment, des frégates de type *Tourville*, *La Fayette* et suivantes. La marine nationale en commande quarante exemplaires et fait réaliser par l'Aérospatiale un système d'armes spécifique à vocation essentiellement ASM. La fabrication de l'hélicoptère a lieu à Yeovil chez Westland et la Marine prend une part active à la mise au point de la version française en détachant sur place une équipe de techniciens dirigée par l'officier principal des équipages Meriot. De nombreux essais de mise au point ont eu lieu en France à Saint-Raphaël et sur plusieurs frégates, avec la participation de l'équipe d'essais de Westland. Le WG13 s'est vu attribuer au fil du temps de nouvelles missions et il est encore en 2012 un des aéronefs les plus performants de l'aéronautique navale. Son successeur, le NH 90, issu d'une coopération européenne élargie, a été commandé par la Marine en vingt-sept exemplaires en deux versions, transport, sauvetage et ASM.

Au sein de l'aéronautique navale, c'est le bureau d'études techniques (BET) qui a été à l'origine des fiches programmes des trois principaux programmes d'hélicoptères, en a suivi les développements par ses officiers de marque et a confié à la CEPA les expérimentations des systèmes d'armes.

3. Armée de l'air

Après avoir expérimenté ses premiers autogires C30, et ne trouvant pas le résultat concluant, l'armée de l'air les cède à l'artillerie et ne renouera avec les voilures tournantes que quelques années après l'armistice. Le 12 mai 1950, la place de la cathédrale de Saïgon est le théâtre d'une exhibition d'un genre nouveau. Toutes pales dehors, un Hiller 360 survole un public étonné et conquis. Quelques jours plus tard, cet hélicoptère, le premier en service dans l'armée de l'air, allait faire preuve de son efficacité en sauvant deux blessés sur un champ de bataille indochinois. À ses commandes, le lieutenant Santini dont le nom restera définitivement lié à l'épopée des voilures tournantes. Il sera très vite rejoint par le médecin capitaine Valérie André et par l'adjudant-chef Bartier.

Porter secours aux blessés le plus rapidement possible est la mission du Service de santé et le médecin-général Robert fait ce constat : sans hélicoptère, il est impossible de remplir cette mission. Il achète grâce aux fonds de son service deux Hiller 360 que l'armée de l'air prend rapidement en compte. Très vite, le parc s'agrandit par de nouveaux Hiller puis par des Sikorsky S51 et, en fin 1953, par des hélicoptères plus puissants les Sikorsky S-55 (H-19). Inexistants au début de la campagne d'Indochine, les hélicoptères sont devenus, en quelques années, indispensables à l'armée de l'air.

Le 1^{er} novembre 1954, jour de la Toussaint, à la suite des événements tragiques qui marquent cette journée, la France va se trouver engagée dans un autre conflit, en Algérie. Le style de combat, le type de combattants changent et les états-majors décident d'y adapter d'autres matériels, principalement en moyens de transport. L'armée de l'air, forte de l'expérience acquise en Indochine, allait être l'armée qui mettra en œuvre le plus grand nombre d'hélicoptères, des Sikorsky S 55 (H 19), puis plus de deux cent Sikorsky S-58 (H 34) répartis en deux escadres. Confronté à l'insécurité des zones de pose de ses hélicoptères, le colonel Brunet « invente » le concept de l'hélicoptère armé qui permettra l'héliportage d'assaut au plus près de l'ennemi en protégeant par sa puissance de feu les hélicoptères de trans-

port. Ce concept sera repris et amélioré par les deux autres armées puis par les armées de toutes les nations impliquées dans les conflits modernes.

À son retour d'Algérie, l'armée de l'air redéfinit ses missions et ses hélicoptères sont dispersés sur les différentes bases où ils sont essentiellement utilisés comme soutien logistique, les missions de combat étant confiées à l'Aviation légère de l'armée de terre. Il faut cependant noter l'effort tout particulier de l'armée de l'air pour développer les missions de sauvetage des pilotes tombés en zone ennemie et, plus généralement, les missions de sauvetage de la vie humaine. L'armée de l'air n'initiera plus aucun programme d'hélicoptère et se limitera à acheter des matériels déjà mis au point comme l'Alouette III, le Puma et ses dérivés et l'Ecureuil.

4. Autres utilisateurs

La gendarmerie nationale et la Protection civile (devenue Sécurité civile), les douanes ainsi que les utilisateurs militaires étrangers ont fait appel à des matériels existants avec d'éventuels aménagements. Les utilisateurs civils, de leur côté, ont indirectement influé sur les choix des industriels et, surtout, par le nombre des commandes, ont assuré le soutien de la production.

II. LES SERVICES OFFICIELS

Au sein de la DMA, devenue DGA, tous les services concernés par l'aéronautique ont joué, à des titres divers, un rôle dans l'histoire de l'hélicoptère. En raison de son rôle dans le domaine du combat au sol et de ses missions au profit de l'armée de terre, la DTAT a été largement associée aux programmes, et plus particulièrement pour les viseurs, armements canon, roquettes et missiles antichar. De même, dans son domaine propre, la DGAC est intervenue en étroite association avec la DTCA, notamment pour la certification des appareils et la réglementation, mais aussi le soutien de

certaines recherches et études, voire de certains programmes au titre des avances remboursables. Les directions et services de la DTCA (qui faisait suite à la DTIA, puis est devenue la DCAé) ont tous été impliqués, mais ceux qui l'ont été le plus sont le STAé⁵ (Service technique de l'aéronautique) et le CEV (Centre d'essais en vol).

1. STAé

La création en août 1944 par l'IC Roger Garry de la section voilures tournantes, dont il a été le premier chef jusqu'en 1948, a été le point de départ de toute une série d'actions très importantes pour la suite. L'IC Garry a cherché à constituer des équipes chez plusieurs industriels et a lancé pour cela divers projets dont on peut retrouver l'historique dans le présent ouvrage. Les résultats se sont traduits par l'expérimentation de formules nouvelles et, finalement, la mise au point de machines remarquables et le début d'une industrie d'hélicoptères en France.

Après l'IC Garry, c'est l'IC François Legrand qui a dirigé la section voilures tournantes pendant une longue période (1948-1962) avec l'efficacité que l'on sait. Il a aussi formé de nombreux ingénieurs à SupAéro avant de poursuivre une brillante carrière à Sud-Aviation. Ses successeurs ont continué son œuvre, beaucoup bénéficiant pour cela d'affectations de durée suffisamment significative (Jean Soulez-Larivière 62-64, Bernard Joffre 64-68, Alain Bruneau 68-74, Étienne Lefort 74-79, Daniel Berthault 79-86).

L'action du STAé/VT s'est exercée dans le cadre des programmes nationaux et de ceux menés en coopération internationale, mais aussi, au-delà des programmes eux-mêmes,

- dans les domaines touchant à la préparation de l'avenir, notamment au moyen de développements exploratoires très souvent suivis de réalisations concrètes, par exemple pour les rotors utilisant les élastomères ;

5 Qui a été transformé plus tard en SPAé (Service des programmes aéronautiques)

- ainsi que dans le cadre des réflexions sur les perspectives d'avenir de la coopération européenne, réflexions qui n'ont pas toujours eu d'effets immédiats, mais qui ont sans doute contribué à l'éclosion de futurs programmes.

Depuis l'essor de l'Alouette II, qui avait été soutenu par la commande de deux prototypes en février 1954, les équipes du STAé n'ont cessé de progresser, suivant en cela la complexité et l'ampleur des programmes. L'hélicoptère est devenu, au même titre que les avions de combat, porteur de systèmes d'armes de plus en plus sophistiqués. D'où une évolution vers des directions de programme elles-mêmes plus complexes qui doivent intégrer une base accrue de coopération internationale. Les exemples fournis par le Tigre et le NH 90 illustrent bien cette évolution, comme le montrent les chapitres qui leur sont consacrés dans le présent ouvrage.

On ne peut pas citer toutes les actions qui ont été nécessaires de la part des services, mais il faut faire une place à part pour la section moteurs, tant son rôle a été important dans le développement des turbomachines adaptées aux hélicoptères. Elle a apporté un soutien sans faille aux travaux de la société Turbomeca et le nom de l'IG André Vialatte reste associé à ses succès.

De même, dans le domaine des armements et des missiles, le STAé a joué un rôle décisif dans le lancement des premiers programmes de missiles antichar et des appareils de visée associés (avant le transfert en 1968 des missiles antichar à la Direction des études et fabrications d'armements (DEFA), devenue ensuite DTAT, c'est la DTIA qui en avait la responsabilité dans le cadre de la tutelle sur l'industrie aéronautique).

2. CEV

Le Centre d'essais en vol intervient, à travers ses différentes sections, dans l'ensemble des domaines techniques. Il effectue les essais nécessités par :

- la qualification des hélicoptères militaires et de leurs systèmes associés ;
- la certification des hélicoptères civils ;
- mais aussi la participation aux études amont ou, encore, les demandes émanant de divers clients de l'industrie française ou étrangère.

Le CEV assure aussi la formation des personnels navigants d'essais et de réception pour les besoins de l'État et de l'industrie (EPNER) et la réception des aéronefs de série destinés aux armées. L'organisation des essais de voilures tournantes a connu depuis l'origine de multiples évolutions. Ainsi, il n'y a pas eu tout de suite de section d'essais spécialisée. La direction du CEV avait estimé qu'il était préférable, dans un premier temps, de demander au Service méthodes de définir les méthodes d'essais adaptées à ce nouveau type d'appareils. Cette mission est confiée à un jeune ingénieur, comme c'était fréquent à l'époque. Quatre Bell 47D seront affectés à la section études du Service méthodes entre 1950 et 1954. Georges Petit, entré au CEV en 1948 tout juste sorti de SupAéro, raconte avec beaucoup d'humour, dans le bulletin de l'Association des anciens des essais en vol (AAEV) ses premiers pas et ceux du CEV dans le domaine des hélicoptères.

Ce n'est qu'en 1956 que sera créée la section d'essais voilures tournantes (SE/VT). Elle compte alors trois ingénieurs Bernard Joffre, Jean Richard et Georges Petit, qui en garde momentanément la tête, avant d'exercer en parallèle d'autres fonctions au CEV, puis de revenir aux hélicoptères en 1970, cette fois à Sud-Aviation, comme directeur des études. La section SE/VT va prendre de plus en plus d'importance pour faire face à l'arrivée des nouveaux programmes, civils ou militaires. Après Bernard Joffre, elle sera dirigée par Alain Bruneau, Jean-Pierre Dubreuil (1969-74), Bernard Fouques (1974-78).

Par ailleurs, alors qu'il n'avait pas paru nécessaire après la guerre de dissocier les pilotes avions des pilotes hélicoptères, cette séparation est intervenue au milieu des années 50 et a amené à la création d'une entité dite PN/VT dont le premier chef pilote fut le lieutenant de vaisseau Eugène Le Moustre, qui sera remplacé par Étienne Maurice. À ce sujet, on peut

citer les nombreux essais destinés à permettre le vol aux instruments et le vol de nuit des hélicoptères où, pour la première fois, furent réalisés des vols avec dispositifs à intensification de lumière (jumelles bas niveau de lumière) en tête haute et imagerie infrarouge en tête basse, toutes activités pour lesquelles l'influence du PN/VT a été déterminante.

L'activité hélicoptère du CEV a été transférée de Brétigny à Istres en 1986. Enfin, le CEV a dû adapter ses méthodes de travail au nouveau contexte marqué par la complexité des systèmes d'armes et, surtout, la réalisation de ces programmes dans le cadre de coopérations internationales. Le cas du Tigre et celui du NH 90 en sont des exemples. Ce travail en coopération, qui multiplie les centres d'essais étatiques, a conduit à établir des règles pour répartir les responsabilités et éviter les duplications. Il en est de même au niveau des équipes d'essais intégrées dans lesquelles coopèrent étroitement pilotes et ingénieurs des différents pays membres, à tous les stades de la définition, puis de la mise au point et de l'évaluation.

Des développements exploratoires sont maintenant souvent menés en coopération, ce qui conduit à mettre en commun des moyens appartenant à plusieurs pays, tels qu'aéronefs de servitude ou simulateurs, par exemple pour l'étude des commandes de vol électriques.

III. LES ORGANISMES DE RECHERCHE

En 1946, les moyens de recherche français dans le domaine aéronautique sont regroupés et donnent naissance à l'Onera. Le but est de favoriser ainsi la renaissance de l'industrie après la fin de la guerre. Les plus grands chercheurs s'y retrouvent et l'Onera joue parfaitement son rôle. En particulier, les procédures de transfert à l'industrie des résultats de la recherche deviennent de plus en plus efficaces et notamment dans le cas des hélicoptères. Une collaboration étroite associe l'Onera avec la Division hélicoptères de Sud-Aviation, puis de l'Aérospatiale. De nombreuses améliorations sont nées

de ces travaux en commun. À titre d'exemple, on peut citer les nouveaux profils de pales dont le nom OA rappelle une origine commune. L'Office a également beaucoup travaillé dans le domaine des turbomachines avec Turbomeca.

Il n'y a pas lieu de développer davantage ici les apports de l'Onera aux hélicoptères, puisqu'un chapitre du présent ouvrage *Innovation et recherche* traite de ce sujet. À noter également qu'un exposé très complet des travaux de l'Onera dans le domaine des hélicoptères figure également dans l'ouvrage de COMAERO *Études et recherches* dans un chapitre rédigé par Jean-Jacques Philippe, chercheur à l'Office et spécialiste des hélicoptères (tome II p.108).

IV. L'INDUSTRIE

Comme indiqué plus haut, le rôle de l'industrie a été prépondérant. Même si l'aide de l'État a été importante, ce sont les initiatives et les actions de l'industrie elle-même qui ont permis d'aboutir à une position de tout premier plan au niveau international. Ce fut d'abord le cas de l'industrie des hélicoptères, mais aussi de celle des moteurs, dans une longue et fructueuse coopération, enfin de celle des équipements et des armements.

1. Hélicoptères

À partir de 1945, la SNCAN, la SNCASE et la SNCASO développent des hélicoptères expérimentaux. En 1953, décolle le premier hélicoptère français construit en petite série, le SO 1221 Djinn. À partir de 1955, l'Alouette II est un grand succès technique et commercial. Il marque le début d'une longue saga qui s'est poursuivie au travers de nombreux appareils civils et militaires. Les pilotes et les ingénieurs accumulent de l'expérience. Puis c'est

le tournant décisif pris par la SNCASE avec le lancement de l'Alouette qui sera bientôt équipée du turbomoteur Artouste développé par Turbomeca.

Parmi les nombreuses personnalités qui ont fait le succès des hélicoptères français, il convient de citer René Mouille, inventeur génial, qui a animé pendant de longues années le bureau d'études de la division hélicoptères de l'Aérospatiale. C'est à lui que l'on doit la conception des programmes emblématiques : Alouette II et III, Gazelle, Puma, Dauphin et leurs dérivés, ainsi que les principales inventions qui ont marqué l'histoire des voilures tournantes françaises : les moyeux en composites et le fenestron par exemple.

Le remarquable développement des hélicoptères en France est parfaitement décrit par Jean Boulet dans son livre *L'histoire de l'hélicoptère racontée par ses pionniers*. Ce livre qui concerne la période 1907-1956, comporte une très intéressante annexe (annexe V p.249 et suivantes) dans laquelle il cite avec précision les acteurs pilotes et ingénieurs, d'une plus large période : 1957-1981. La période est également marquée par les très nombreux records du monde établis par Jean Boulet.

La suite voit naître de nouveaux programmes nationaux ou en coopération internationale dans lesquels le constructeur affirme sa maîtrise. L'hélicoptère devient une machine aussi sophistiquée qu'un avion de combat et le support de systèmes d'armes de plus en plus complexes et performants. En même temps, l'industrie doit s'adapter à la place de plus en plus grande prise par la coopération internationale. Toutes ces évolutions conduisent à une nouvelle concentration des moyens industriels, avec la création en 1992 d'Eurocopter.

2. Moteurs

Le développement de l'industrie des hélicoptères en France est étroitement associé à la présence d'un autre acteur essentiel, la société Turbomeca,

œuvre de Joseph Szydlowski, qui lui a consacré toute sa vie. Créateur génial et grand industriel, il s'oriente après 1945 vers le développement des turbines à gaz de petite puissance. Après l'Artouste, il équipe avec ses moteurs tous les hélicoptères d'Aérospatiale, puis d'Eurocopter tout en développant en parallèle une importante activité à l'étranger, directement ou dans le cadre de coopérations. La société qu'il a fondée acquiert une renommée mondiale et sa production s'étend à de nombreux pays (voir au sujet des programmes de moteurs d'hélicoptères le texte de la conférence de Robert Deblache, directeur technique de Turbomeca, au colloque sur les hélicoptères *80 ans de vol vertical en France*, Paris 28 et 29 octobre 1987 ; voir également le chapitre du présent ouvrage consacré aux moteurs).

3. Équipements et armements

Si les équipements de l'hélicoptère étaient au début très sommaires, ils ont par la suite bénéficié des progrès accomplis dans les différents domaines. Les équipementiers ont donc été impliqués de plus en plus dans les programmes. On peut citer l'ensemble des équipements de pilotage et de navigation, mais il faut signaler particulièrement le rôle des industriels français dans le développement de solutions originales dans le domaine de l'optronique.

En ce qui concerne les armements, c'est surtout dans le domaine des missiles et de leur mise en œuvre que les progrès ont été le plus spectaculaires.

L'intérêt du couple hélicoptère-missile a été reconnu très tôt par le général Crépin qui a développé chez les opérationnels les doctrines d'emploi correspondantes. Pour les missiles, malgré les nombreux changements de noms des sociétés, la première ayant été l'Arsenal de l'aéronautique, il y a eu une très grande continuité dans les équipes comme dans les programmes. C'est ainsi qu'Émile Stauff a été pendant 28 ans responsable des programmes antichar.

Les progrès ont été incessants, tant dans le domaine du missile lui-même que dans celui des systèmes de visée. Des étapes significatives ont été franchies avec la validation des couples Alouette II-SS 11 puis Gazelle-HOT, puis les capacités de tir de nuit. À partir du HOT, les programmes ont été réalisés en coopération internationale avec des rapprochements industriels (Euromissile). Voir particulièrement l'ouvrage COMAERO *Les missiles tactiques* rédigé sous la direction de René Carpentier et le texte de l'exposé de Jean Guillot au colloque *80 ans de vol vertical français*.

Chapitre II

LES DÉBUTS DE L'INDUSTRIE DES HÉLICOPTÈRES EN FRANCE (1945-1955)

(Alain Crémieux et Jean-Pierre Dubreuil)

I. LA GUERRE, L'OCCUPATION ET LEURS SÉQUELLES

Chacun connaît l'état de l'industrie aéronautique française en 1944-1945. La séparation de la France en (au moins) deux zones et sa mise sous la tutelle de l'industrie allemande pour laquelle elle travailla *volens nolens* l'avait coupée des progrès considérables faits par celles qui avaient été ses concurrentes depuis les débuts de l'aviation : les industries britannique, américaine, allemande et – dans une moindre mesure – russe ou polonaise, sans oublier la lointaine industrie japonaise.

Elle était donc restée à l'écart (à l'exception d'un petit groupe d'ingénieurs qui travaillaient dans la clandestinité dans le Groupe technique de Cannes sous la direction de Hurel et Dubois et qui ont conçu le SO 30 Bretagne)

des progrès accomplis pendant la guerre dans tous les domaines de l'aéronautique : aérodynamique, structure, propulsion, équipements... Tel avait, bien entendu, été évidemment aussi le cas dans le domaine des hélicoptères. Et, pourtant, depuis le début du siècle, les ingénieurs français s'étaient ingéniés à construire des machines capables du vol stationnaire.

1. Les premières tentatives, avant 1939

Les premiers balbutiements, des machines capables de vols verticaux très éphémères datent de 1907. C'étaient le Breguet-Richet, le Paul Cornu et le Maurice Léger (à Monaco), tous stimulés par le Grand Prix de l'Aéro-Club de France (équivalent à 150 000 €, qui devait récompenser le premier kilomètre en circuit fermé réalisé par un aéronef). Aucun ne réussit à dépasser de courts décollages incontrôlés à proximité du sol.

Le prix fut remporté par Henry Farman, à Issy-les-Moulineaux, le 13 janvier 1908 sur avion Voisin. Ensuite, pendant les années trente, l'hélicoptère de Pescara avait atteint en 1922 à Issy-les-Moulineaux l'altitude de... 1,5 m, mais il avait inventé la variation cyclique du pas et le levier de pas général. À Montbéliard, Oehmichen, qui était financé au départ par Peugeot puis ensuite par le service technique aéronautique, avait fait voler des hélicoptères « purs » et des « héliostats », hybrides de l'hélicoptère et du plus léger que l'air. Il ne réalisa le 1er kilomètre en circuit fermé que le 4 mai 1924. En Espagne, La Cierva avait réalisé à partir de 1923 des autogires munis d'une hélice propulsive et d'un rotor sustentateur en autorotation. Son appareil fut présenté dans les capitales européennes. La Cierva autogiro company, créée au Royaume-Uni, vendit sa licence à de nombreux constructeurs : Lioré et Olivier en France, Focke Achgelis en Allemagne, ainsi qu'à trois industriels américains (Pitcairn, Kellet et Buhl).

Ces pionniers s'étaient évertués à maîtriser l'utilisation d'un rotor et avaient buté sur trois principales difficultés :

1945 à 1965

- le poids des moteurs à pistons ; l'hélicoptère ne se développera vraiment dans les années cinquante et soixante que grâce au turbomoteur ;
- les vibrations et l'instabilité dues au mouvement complexe que doit assumer un rotor chargé d'assurer simultanément la sustentation et la propulsion de l'aéronef ;
- la résonance-sol.

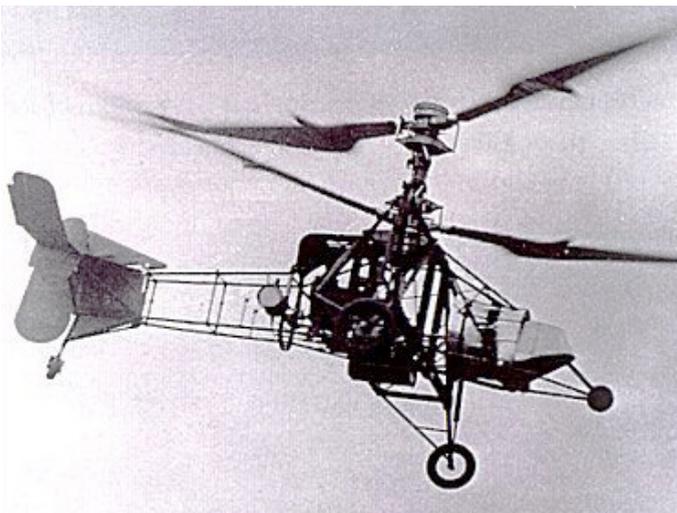


Figure 1 - Breguet-Dorand laboratoire

Ce n'est qu'en 1935 que Louis Breguet fit voler son **Breguet-Dorand gyroplane laboratoire** ; il

franchit 44 km en novembre 1936, premier hélicoptère réussi au monde.

2. La période de l'Occupation

La réalité étant toujours un peu plus complexe qu'on ne croit, quelques études s'étaient poursuivies en France pendant la guerre. La mise au point de l'autogire SE 700 s'était poursuivie à la SNCASE en zone libre à Marignane. Cet appareil, dont la structure était en bois, était équipé d'un moteur Béarn de 220 ch et d'un rotor tripale de 12,5 m de diamètre. Il vola en 1945 et fut accidenté au 6ème vol à l'atterrissage en 1946. Louis Breguet et Jean Brocard avaient d'autre part poursuivi quelques activités au laboratoire de Saint-Cyr qui dépendait de l'université et n'avait donc pas été occupé par les Allemands. Enfin, on signale à Chambéry l'achèvement de l'hélicoptère G 20 Nymphale à deux rotors coaxiaux par Dorand et la Société française du Gyroplane, hélicoptère qu'on n'osa jamais faire décoller en 1947.

C'était pourtant l'époque où l'aéronautique faisait des progrès foudroyants dans le domaine des avions militaires et des progrès moins connus dans celui des hélicoptères, notamment en Allemagne. Ces études avaient notamment été poursuivies par le professeur Focke qui avait réalisé le Focke-Achgelis 223.

Nous citons ici une partie de la communication faite par Paul de Caumont,



Figure 2 - Focke-Achgelis FA 223 Drache

conseiller militaire de la division hélicoptères de l'Aérospatiale lors du colloque de 1987 :

« En 1944, à partir de la base de Valence-Chabeuil décollent trois Focke-Achgelis 223. Ils transportent des soldats allemands qui participent à la réduction de la résistance française dans le Vercors. Ces hélicoptères sont équipés chacun de deux mitrailleuses MG 15. Un des trois hélicoptères s'écrase au décollage

et l'opération héliportée ne se renouvellera pas. Il semble, si ce fait peut être confirmé, que ce fut le tout premier emploi réel d'hélicoptère à des missions de combat ».

II. LE REDÉMARRAGE

En 1944-1945 l'industrie française redémarre. C'est vrai pour les bâtiments et les travaux publics (BTP) ; c'est aussi vrai pour l'industrie d'armement et, notamment, l'industrie aéronautique. L'industrie aéronautique redémarre donc dans les secteurs nouveaux comme ceux des hélicoptères, des réacteurs ou dans celui des avions traditionnels et de leurs équipements. Ce redémarrage est lancé par des marchés d'étude confiés par le Service technique de l'aéronautique (STAé) aux sociétés nationales créées en 1936 et aussi à des sociétés spécialisées dans les hélicoptères.

1. Les marchés d'études du STAé

Ces études se font dans plusieurs entreprises et concernent surtout cinq aéronefs :

- le SE 3000 ;
- le Nord 1700 Norélic ;
- le Breguet gyroplane G 111 ;
- le NC 2001 Abeille ;
- le giravion SO 1100 Ariel.

Le SE 3000 de la SNCASE (Ingénieur Pierre Renoux) est doté de deux rotors tripales côte à côte. Il est dérivé du Focke-Achgelis 223, dont certaines pièces avaient été récupérées, et vola de 1947 à 1950. Le Nord 1700 de la SNCA du Nord, était un monorotor bipale à rotor arrière caréné. Il fit des points fixes en novembre 1947 mais ne décolla jamais.



Figure 3 - Breguet gyroplane G 111 (1951) © Musée de l'air et de l'espace

Le Breguet gyroplane G111 était équipé de deux rotors coaxiaux tripales. Il a effectué son 1^{er} vol le 20 juin 1951. C'était une modification du G11E qui avait fait son 1^{er} vol le 21 mai 1949.



Figure 4 - NC 2001 Abeille © Archives Jacques Moulin

Le NC 2001 Abeille, de la SN-CAC (Ingénieur René Dorand) était un birotor engrenant, concept inventé par Anton Flettner. Présenté au salon de 1946, il fit un unique vol en 1949.

Le giravion SO 1100 Ariel, de la SNCASO (Ingénieur Paul Morain) était équipé d'un rotor tripale mû par des tuyères

d'extrémité reprenant les principes du Doblhoff WNF 342 allemand (SNCA-SO ayant accueilli à la fin de la guerre des ingénieurs de cette société et récupéré quelques pièces). Il fit des vols en 1948 et préfigurait les Ariel III, Farfadet et Djinn.

La plupart des sociétés aéronautiques françaises se lancent donc dans la renaissance d'une industrie des hélicoptères, la Société Dassault fait figure d'exception (elle fera une tentative en 1955, avec le LZ5 de la Société américaine Doman) Dans le domaine des moteurs, au contraire, ce sera la société privée Turbomeca qui s'intéressera à la propulsion des appareils à voilure tournante et non la SNECMA.

2. L'importance des équipes allemandes

Les Français, comme les autres alliés, cherchèrent dès 1945 à recruter en Allemagne. Des « missions » furent envoyées sur place dès mai 1945, auxquelles participa l'IC Garry du STAé. Elles repérèrent l'équipe Östrich de BMW. On transféra même intégralement la soufflerie d'Oetzal qui devint la soufflerie

de Modane. Dans le domaine des hélicoptères, plusieurs de ces missions furent couronnées de succès au point que Jean Richard a pu dire que :

« Pour essayer de rattraper ce retard, le Service technique de l'aéronautique lança plusieurs sociétés de construction sur les études d'hélicoptères en exploitant les résultats qu'avaient obtenu les Allemands, dès 1940, avec le Focke Achgelis, le Flettner FL 282 et le Doblhoff à réaction ».

Diverses équipes furent donc intégrées aux bureaux d'études de diverses sociétés aéronautiques françaises.

À la SNCASE ce fut l'équipe constituée par le professeur Heinrich Focke avec 12 compatriotes. On peut lire dans le rapport du Conseil d'administration de la SNCASE du 26 octobre 1945 (sans doute dirigé par monsieur Deprez) que :

« Le bureau d'études des appareils à voilure tournante, qui a été transféré à la Courneuve, s'est développé par suite de la décision prise par le directeur général de ramener d'Allemagne Monsieur Focke, inventeur d'un hélicoptère et son équipe. Afin d'éviter certains froissements un immeuble a été loué, rue de la Tour, pour y loger le personnel allemand ».

Cette coopération, prélude d'une coopération européenne qui donnera Eurocopter, fut productive même si le même rapport indique que :

*« Ce travail n'a pas été très efficace car ils ne sont pas restés très longtemps, la plupart sont partis en Amérique où les conditions de travail et surtout financières étaient meilleures ».*⁶

À la SNCASO ce fut l'équipe autrichienne de Friedrich von Doblhoff qui réalisa le SO 1100 Ariel. F. von Doblhoff avait réalisé en 1943 le premier appareil à propulsion du rotor par réacteurs en bouts de pales. Chez Turbomeca aussi on voit apparaître de nombreux « transfuges d'Outre-Rhin ».

/////////
6 Jean Richard dans les actes du colloque de 1987.

En résumé, à la fin de la guerre, l'industrie aéronautique française est très affaiblie car elle n'a pas tiré profit des progrès faits par les Alliés et les Allemands depuis cinq ans. L'industrie des hélicoptères est presque inexistante. Quelques ingénieurs ont travaillé sur le sujet au cours des années vingt et trente mais presque rien n'a été fait depuis 1940. Les sociétés nationales, créées en 1936 par le gouvernement de Front populaire, redémarrent et vont se lancer vigoureusement dans la réalisation d'appareils à voilure tournante avec les résultats que l'on sait. Elles le feront à partir de trois « ingrédients » :

- les ingénieurs français auxquels les événements des cinq dernières années n'ont pas enlevé l'espoir de réaliser des appareils capables du vol stationnaire ;
- les équipes et matériels récupérés en Allemagne ;
- *last but not least*, les crédits du Service technique de l'aéronautique.

III. LA RENAISSANCE

À la libération, les développements hélicoptères se concentrent surtout à la SNCASE et la SNCASO.

1. SNCASE

À la SNCASE, six exemplaires du SE 3000 sont commandés en 1946 et le n°1 vole à Villacoublay le 23 octobre 1948 aux mains de Jean Boulet et Henri Stackenburg. Le programme sera abandonné dès la réception du n°2, en raison de nombreuses difficultés techniques.

Le monoplace SE 3101, sera le premier hélicoptère français de l'après-guerre : maquette volante de l'hélicoptère lourd SE 3100 mis à l'étude en 1946, il effectua son premier vol le 13 juin 1948, aux mains de Jean Boulet à Vélizy-Villacoublay. Cet appareil était équipé d'un rotor tripale de diamètre 7 m 50, d'un moteur Mathis de 90 ch, d'un ensemble arrière composé

1945 à 1965

de deux rotors en V, assurant la compensation du couple, le contrôle du lacet et du tangage. Cet appareil préfigure la famille Alouette.

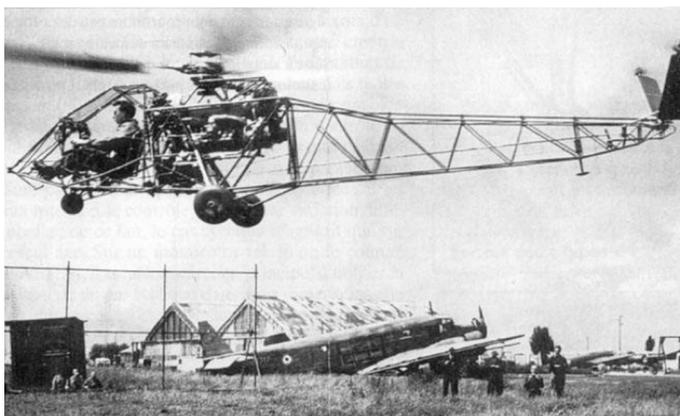


Figure 5 - SE 3101 en vol juin 1948 © Photo DR/Airbus Helicopters

Malgré les difficultés de pilotage induites par les couplages dus au double rotor arrière, une version carénée, le SE 3110, dite « burette volante » fit son premier vol le 10 juin 1950 aux mains de Jacques Lecarme (noter aussi l'unique « patin de nez »). Cette formule, qualifiée d'impilotable par Jacques Lecarme, sera abandonnée dès septembre 1950.



Figure 6 - SE 3110 © Photo DR/Airbus Helicopters



Le SE 3120 « Alouette » volera enfin le 31 juillet 1951, aux mains d'Henri Stackenburg, à Buc. Il est équipé d'un rotor tripale de 11 m 60 et d'un moteur Salmson 9H de 200 ch. Il a établi plusieurs records du monde dont 1 250 km en circuit fermé.

Figure 7 - SE 3120 Alouette © Photo DR/Airbus Helicopters

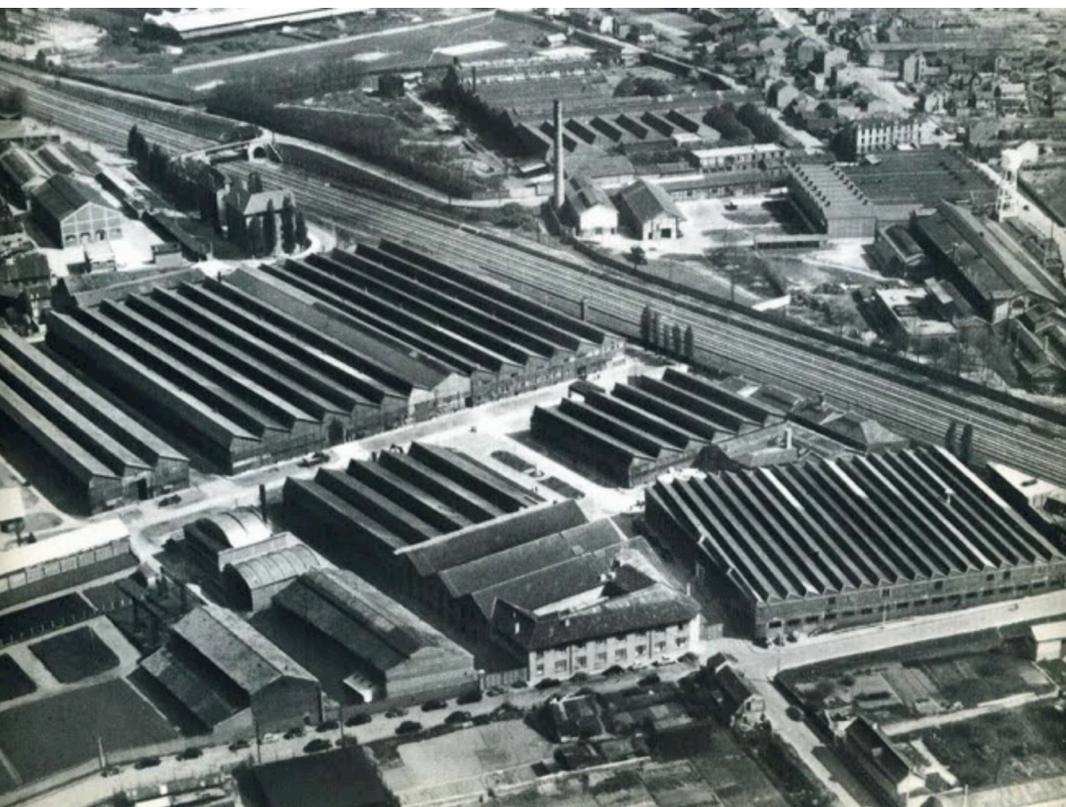


Figure 8 - L'usine de La Courneuve, en 1952, où l'activité hélicoptère se juxtapose à l'activité « avion » (Mistral, notamment) © Photo DR/Airbus Helicopters

2. SNCASO

À la SNCASO, qui disposait des brevets de Paul Morain, relatifs à l'entraînement des rotors par statoréacteur⁷ et bénéficiait des études de l'autrichien von Doblhoff, on s'orienta vers l'étude des hélicoptères à réaction.

Le SO 1100 Ariel I, biplace, équipé d'un rotor tripale de 9 m 75, d'un moteur à pistons Mathis 67 de 175 ch entraînant un compresseur, lequel alimentait en mélange carburé air-essence les chambres de combustion en bout de pale, vola le 14 mai 1947, piloté par Jacques Guignard.



Figure 9 - SO 1100 Ariel 1 © Photo DR/Airbus Helicopters

Le SO 1110 Ariel II, version améliorée plus motorisée (190 ch), fut commandée à deux exemplaires. Le SO 1110 n°01 a effectué son premier vol le 21 avril 1950 à Villacoublay, piloté par Claude Dellys. Les deux appareils ont été réceptionnés par le CEV à Brétigny.



Figure 10 - SO 1110 Ariel 2 © Pyperpote

7 ////////////////
Solution qui ne s'est jamais concrétisée...



Figure 11 - SO 1120 Ariel III © Photo DR/Airbus Helicopters

Le SO 1120 Ariel III était équipé d'un compresseur Turbomeca, entraîné par un turbomoteur Turbomeca Artouste. L'Ariel III fut donc le premier hélicoptère utilisant une turbine pour l'entraînement, par réaction, du rotor ! Premier vol le 18 avril 1951, par Claude Dellys. Qualifié d'agréable par le CEV. La production en série fut envisagée...



Figure 12 - SO 1310 Farfadet © Photo DR/Airbus Helicopters

Le SO 1310 Farfadet était un combiné ambitieux utilisant les éléments dynamiques de l'Ariel III pour le décollage et une hélice à pas variable mue par une turbine Artouste pour la croisière. Il vola le 29 avril 1953 (Jean Dabos et Fernand Castagne) à Melun-Villaroche. Retardé par des problèmes sur les moteurs prototypes, il fut abandonné en 1955 au profit de la mise en série des Djinn et Alouette...

3. Autres sociétés

Giravions Dorand Industries

On peut citer par ailleurs les projets de la société des giravions Dorand, sur la formule de l'entraînement du rotor par éjection en bout de pales : le DH 011, a volé en 1953. Les essais ne furent pas concluants.

1945 à 1965



Figure 13 - Gyration Dorand DH 011 © aviastar.org

SNCAN

En 1945, la **SNCA du Nord** se lance dans l'étude de l'hélicoptère « sans rotor anti-couple » fondé sur les brevets d'André Bruel, utilisant une soufflante axiale carénée.

Le N 1700 *Norelic* (biplace monorotor bipale de 10 m, moteur Mathis G7 de 160 ch, hélice arrière axiale à pas fixe tournant à l'intérieur d'un carénage et soufflant des gouvernes de lacet et de profondeur) vole le 17 novembre 1947 et sera accidenté en résonance sol.

Le N 1710, monoplace expérimental, volera à Montesson, le 1^{er} juillet 1950, aux mains de Jean Boulet. Cet appareil,



Figure 14 - N 1700 Norelic © Archives Jacques Moulin



Figure 15 - N 1710 © Archives Jacques Moulin

sous-motorisé par un moteur *Minie* de 75 cv, sera lui aussi accidenté et le programme n'aura pas de suite. Sa cellule donnera néanmoins naissance au Bruel-Duhamel-Molinari BDM 01 qui effectuera quelques vols en 1956. En 1954, André Bruel rejoindra la SNCASE.



Figure 16 - N 1750 © Photo DR/Airbus Helicopters

La SNCAN construit également le *Nord 1750 Norelfe*, mû par un Artouste I et conçu par Jean Cantinieu, qui volera aux Mureaux le 28 décembre 1954. Cet appareil était (déjà) équipé d'une soufflante latérale permettant de supprimer le rotor anticouple.



Figure 17 - Convertible expérimental N 500
© Photo DR/Airbus Helicopters

La SNCAN, devenue Nord-Aviation en 1958, construira plus tard le **Nord 500**, aéronef convertible à deux rotors carénés qui effectuera quelques courts vols stationnaires à Melun-Villaroche à partir du 23 juillet 1968, aux mains d'Armand Jacquet.

Les hélicoptères Cantinieau

Jean Cantinieau a coopéré également avec la SNCASO sur les hélicoptères à réaction, et réalisé l'hélicoptère Matra-Cantinieau MC 100, monoplace de 75 ch qui volera le 10 novembre 1951, à Saint-Cyr, aux mains de Gérard Henry.



Figure 18 - MC 100 © aviastar.org

Le **MC101** biplace, doté d'un moteur Hirth de 105 ch, volera le 11 novembre 1952, à Buc, aux mains du même pilote. Il a été construit en deux exemplaires.



Figure 19 - MC-101 © aviastar.org

Le choix de l'État français pour l'Alouette II conduit Cantinieau à exporter ses matériels en Espagne, avec Aérotecnic. Le MC101 deviendra **AC11**. Une version **AC 12** (biplace) vole en 1956. Équipée d'un moteur Lycoming de 150 ch, elle donnera lieu à une commande d'une douzaine d'appareils d'entraînement par l'Espagne.



Figure 20 - AC 12 © aviastar.org



Figure 21 - AC 14 © aviastar.org

L'AC13 qui n'est autre que le Nord 1750 Norelfe, donnera lieu à une version motorisée par Artouste II, dite AC 14, mise en vol en 1957, également équipée d'une soufflante à éjection latérale, préfigurant le futur système NOTAR. L'acquisition, envisagée par les Forces espagnoles, se heurtera à l'arrivée des Bell 47...



Figure 22 - AC 15 Bamby © aviastar.org

L'AC 15 Bamby (ou Faon), élégant petit biplace de 180 chevaux, également sans rotor arrière, sera construit en 1962 par Matra et ne fera que quelques vols aux mains de Gérard Henry et Jean Boulet, avant d'être abandonné en raison de problèmes de stabilité.

Chapitre III

L'ENVOL

Les années 50 voient le véritable envol industriel :

- d'une part, à la SNCASO par le lancement en série du tout premier programme : le SO1221 Djinn, suivi, à la SNCASE, par le SE 3130 Alouette II ;
- d'autre part les besoins urgents des Forces armées en Indochine, puis en Algérie conduisent à recourir à l'importation américaine, bientôt assortie d'accords de licence.

I. LE PROGRAMME DJINN

1. Le développement

Le Djinn devait répondre à une spécification relative à un hélicoptère léger d'observation destiné à l'accompagnement des convois de l'armée de terre. Grâce au turbogénérateur Palouste de Turbomeca, le rotor bipale de 8,6 m était directement entraîné par l'éjection d'air pur en bout de pale et le



Figure 23 - Djinn monoplace SO 1220 n°01
© Photo DR/Airbus Helicopters



Figure 24- Djinn biplace, version civile

contrôle en lacet était assuré par une gouverne placée dans le jet de la turbine : la masse à vide de ce monoplace très simple n'était que de 280 kg.

Le SO 1220 n°01 vola le 2 janvier 1953, aux mains de Jean Dabos. Le n° 02 équipé d'un rotor de 10 m volera dès le 23 juin 1953 et permettra à Dabos d'établir dès le 29 décembre, le record du monde d'altitude pour giravions de moins de 500 kg en montant à 4 789 m.



Figure 25- Les Djinn à Rochefort... On note, au fond du hangar, les restes des prototypes Ariel III et Farfadet, et... une 4 CV © Photo DR/Airbus Helicopters

Le SO 1221 n°001 biplace a volé le 15 décembre 1953, suivi du 002. Les résultats prometteurs permettent de lancer rapidement une présérie de 25 appareils : le SO1221PS n°01 vole le 22 novembre 1954. Ils seront assemblés à Courbevoie.

La version de série SO 1221S comporte un rotor de 11 m permettant d'augmenter la masse maximale décollable de 700 à 800 kg avec le même moteur Palouste IV. Le premier Djinn de série est sorti de l'usine de Rochefort le 5 juillet 1956. Le présérie 09 modifié permettra à Jean Dabos de porter le record du monde d'altitude à 8 492 m, le 22 mars 1957, à Brétigny (performance non homologuée par la Fédération aéronautique internationale). La certification de la version civile française est obtenue le 2 mai 1957, et le *type certificate* FAA n° 7H2 est décerné le 15 avril 1958.

Le Djinn est le premier hélicoptère construit en série en France et le seul hélicoptère à réaction produit en série et à avoir obtenu la certification civile américaine.

Ce rapide développement est réalisé sous la direction de Paul Morain et de son bureau d'études dirigé par M. Laville assisté de MM Maillard, Laufer, et Lasserre dont dépendaient les essais en vol avec Jean Dabos, bientôt rattachés à la Direction des essais en vol de Melun-Villaroche et rejoints, notamment, par l'ingénieur navigant Jean-Marie Besse. Les appareils de série, produits à Rochefort, sont mis au point sous la direction de Gérard Boutin, ingénieur navigant.

2. Le Djinn dans l'ALAT

La version militaire est presque exclusivement destinée à l'armée de terre (ALAT) qui en utilisera 112 exemplaires, livrés entre le 25 octobre 1956 et le 18 novembre 1960, pour des missions de liaison, observation, voire d'évacuation sanitaire notamment en Algérie. Des expérimentations d'armement furent initiées y compris le tir de missiles anti-char de type SS10 et 11.



Figure 26 - Djinn ALAT SO 1221 © Photo DR/Airbus Helicopters

3. Djinn dans le monde

La Bundeswehr en utilisera huit exemplaires, la Troupe d'aviation suisse en commanda quatre, et l'US Army en expérimenta trois exemplaires... La version civile et certains appareils militaires réformés seront utilisés pour les traitements agricoles.

Au total 180 SO 1221 de présérie et de série ont été produits, pour seize pays, jusqu'à fin 1960. Le programme Djinn ouvre l'ère industrielle des hélicoptères français...

II. LES ACCORDS DE LICENCE AVEC LES ÉTATS-UNIS

1. Le Sikorsky S-55

(H 19 pour US Army et Air Force, HRS pour l'US Navy)

Dès novembre 1950, United Aircraft (Sikorsky) tenta de développer le S-55 hors des États-Unis et contacta la SNCASE en vue d'une offre de licence du S-55, déjà construit sous licence par Westland et dont l'État français souhaitait s'équiper. Le 16 janvier 1952, le contrat de licence est paraphé et l'appareil est baptisé « Éléphant joyeux » par le Président de la SNCASE, Georges Héreil, qui étend la licence à Fiat pour ce qui est de la mécanique de transmission. En raison des besoins urgents de l'État en Indochine, et sur demande de la Direction technique industrielle, le principe de l'acquisition par l'État des premières machines, baptisées «*WS-55 Whirlwind*» chez Westland, est acquis.

Le premier appareil fut livré par Sikorsky le 24 septembre 1952 et une tournée de démonstration était initiée auprès des forces armées. Les trois premiers appareils de l'armée de l'air seront livrés par Sikorsky à Saïgon le 28 septembre 1953 et réceptionnés (par le capitaine Santini). L'armée de l'air utilisera cet appareil pour le sauvetage et la récupération de pilotes en zone ennemie. L'école de formation des pilotes et mécaniciens est localisée à Buc et gérée par la SNCASE. Jusqu'à la fin des hostilités en Indochine, à mi-54, les appareils (une centaine) seront livrés par l'USAF, Sikorsky ou Westland. La SNCASE ne procédera qu'à des travaux d'assemblage et de finition sur 5 WS-55, après équipement radio par l'AIA de Clermont.

Dans le même temps, la Sabena se lance dans le transport public de passagers le 1^{er} septembre 1953 et exploitera trois S 55 avec un aménagement pour sept passagers, depuis Bruxelles, vers Lille, Paris, Rotterdam, Eindhoven. Air France, qui envisage des liaisons avec les grandes villes autour de

Paris, prend cinq options, qui ne seront jamais concrétisées, auprès de la SNCASE. La Sabena s'équipera, en 1956, d'une flotte de huit hélicoptères de la version S 58 équipés pour 12 passagers et créera la ligne régulière Paris/Issy-les-Moulineaux - Bruxelles en



1 h 45 de vol, deux fois par jour. Les problèmes d'exploitation (VFR seulement) et la concurrence avec les trains rapides de type TEE conduiront à l'abandon du service hélicoptère de la SABENA en 1963. Cette expérience historique a permis de transporter 100 000 passagers.

Figure 27 - S-55 de la SABENA

2. Le Sikorsky S-58

(H-34 pour l'US Army et l'Air Force, HSS1 pour l'US Navy)



Figure 28 - S-58 de la SABENA

Les événements d'Algérie (dès 1954), et les enseignements de l'Indochine conduisent l'armée de l'air et la Marine, à rechercher un appareil de plus gros tonnage et à évaluer le Sikorsky S-58, que Sikorsky commençait à produire (premier vol mars 1954). Le S-55 avait une masse maximale de 3 950 kg et un moteur de 800 ch (version H-19D), contre 5 900 kg et 1 425 ch pour le S-58. Le S-58 fut sélectionné et les soixante-treize premiers

exemplaires seront acquis par commande directe.

Un contrat de licence analogue à celui du S-55 est signé fin 56, y compris la sous-traitance à Fiat des mécaniques tournantes. Une chaîne de montage est installée à Marignane où 185 appareils S-58 seront construits, dont un certain nombre en version HSS1 pour la Marine et cinq pour la Belgique. Le premier appareil sortira de chaîne en mai 1957, juste après la fusion de la SNCASO et de la SNCASE, donnant naissance à Sud-Aviation.

Le soutien de ces appareils resta à la charge de Marignane qui assura également celui des appareils de l'armée de l'air allemande.

Les bonnes relations qui résulteront de ces deux programmes majeurs entre la SNCASE devenue Sud-Aviation et United Aircraft/Sikorsky seront décisives quand le temps viendra de développer des successeurs à ces hélicoptères de transport moyen. (Voir plus loin SE 3200 Frelon et SA 3210 Super Frelon).

III. LE PROGRAMME

ALOUETTE II

1. Historique

Ce programme, défini par la fiche n°10 STAé/VT, fut initié le 8 février 1954 par la DTIA qui commanda deux prototypes du SE 3130 Alouette II. L'objectif était un hélicoptère léger de 3



Figure 29 - S 58



Figure 30 - Chaîne de montage S-58 à Marignane avec, à l'arrière plan, la chaîne Fouga © Photo DR/Airbus Helicopters

à 5 places destiné aux Forces armées et à d'éventuels utilisateurs civils, en partant de la technologie du SE 3120 Alouette, et propulsé par le nouveau moteur Artouste de 260 ch, proposé par Turbomeca. L'équipe de Charles Marchetti, avec René Mouille, Tresch et Normand présente le SE 3130 n°01 le 22 février 55 à la visite de sécurité des services officiels (CEV et STAé).

Le 12 mars 1955, l'Alouette n°01 vole, aux mains de Jean Boulet assisté de l'ingénieur navigant Henri Petit sur le terrain de Buc. Le 27 mai, la 02 vole, aux mains du même équipage. Le 6 juin, Jean Boulet porte le record mondial d'altitude toutes catégories à 8 209 m, 10 jours après le premier vol !

Les deux appareils furent présentés quelques semaines plus tard au Salon aéronautique du Bourget 1955. Une présérie de trois appareils est rapide-

ment lancée ainsi qu'une série de 180 appareils pour les Forces armées destinés aux opérations d'Afrique du Nord. Fin 56, plus de trente appareils auront été livrés.

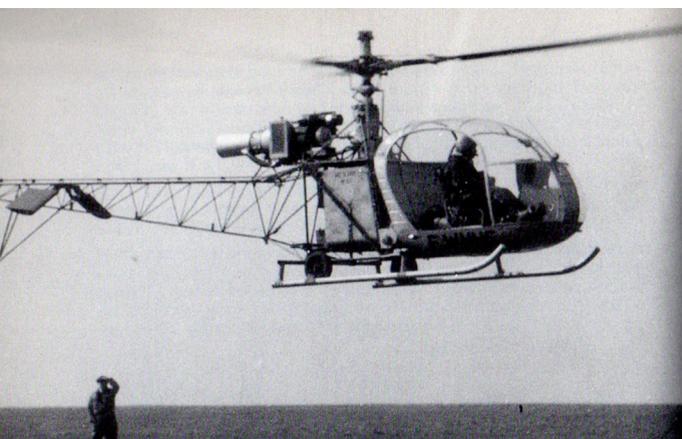


Figure 31 - Vol du record d'altitude de 8209 m par Jean Boulet
© Photo DR/Airbus Helicopters

L'activité hélicoptère de la SNCASE est confiée à La Courneuve, avec une antenne « banc dynamique » au Bourget, sous la direction de Jacques Joly, Charles Marchetti assurant la direction des études. Le 1^{er} mars 1957, Sud-Aviation est créée par la

fusion de la SNCASO et de la SNCASE : les activités techniques et commerciales relatives au Djinn sont transférées à La Courneuve placée sous la responsabilité de Jacques Joly, Charles Marchetti reste directeur des études du nouvel ensemble, Gérard Pertica est directeur commercial, poste où il

avait été rejoint par Jean-Claude Rebuffel.

La certification civile va ouvrir de nouvelles opportunités : l'année 1957 y sera consacrée : la certification française est obtenue le 2 mai 1957 et le certificat de type américain le 14 janvier 1958. Le règlement de référence est le CAR6 (Civil Air Regulation). L'Alouette est le premier hélicoptère à turbine⁸ certifié dans le monde ! Le premier grand contrat « export » est signé le 24 mars 1959, avec la Bundeswehr : 130 Alouette pour la Heer (armée de terre allemande) qui en acquerra 150 supplémentaires.

La chaîne de production est transférée de La Courneuve à Marignane après le 500^{ème} appareil où 220 appareils supplémentaires seront construits dans la version SE 3130 Artouste IIC5/2C6 (PMC : 245 kW – PMD : 300 kW)⁹, avant de passer à la

8 Le rotor de l'Alouette est entraîné mécaniquement par la turbine, alors que celui du Djinn est mû par éjection de gaz en bout de pale, grâce à un compresseur entraîné par une turbine

9 En standard au niveau de la mer.



Figure 32 - La Courneuve. Chaîne BTP et moyeu Alouette II
© Photo DR/Airbus Helicopters



Figure 33 - La Courneuve. 300^{ème} Alouette II en chaîne, en juin 1959
© Photo DR/Airbus Helicopters

version **SA 3180** propulsée par l'**Astazou IIA** (PMC : 353 kW – PMD : 390 kW), et avec une augmentation de masse maximale à 1 600 kg, puis 1 650 kg. Les Alouette Astazou ont été certifiées le 18 février 1964. Après 1968, les dénominations devinrent SA 313B et SA 318B et C.

Mettant à profit la mise au point de l'Alouette III, Sud-Aviation réalise en 1958 une version surmotorisée à l'aide d'une turbine **Artouste III** nommée **SA 3150**¹⁰. L'appareil SA 3150 n°02 fut le premier hélicoptère à dépasser 10 000 m : Jean Boulet atteindra 10 985 m le 13 juin 1958.

Une ultime version reprenant ce concept associant une cellule d'Alouette

II aux éléments dynamiques de l'Alouette III fera son premier vol le 17 mars 1969 et elle sera baptisée plus tard **SA 315B « Lama »** en référence à ses brillantes performances en altitude. Elle a été certifiée le 29 septembre 1970, équipée d'Artouste IIIB puis IIIB1 (PMC : 405 kW – PMD : 420 puis 440 kW). C'est sur un appareil de ce type, allégé pour la circonstance, que Jean Boulet établira le record d'altitude toutes catégories à 12 442 m le 21 juin 1972, à Istres, record qui reste imbattu en 2015, date de publication de cet ouvrage.



Figure 34 - Alouette II Astazou SA 3180 n°02 équipée à titre expérimental d'un moyeu MIR de Bölkow © Photo DR/Airbus Helicopters

10 Il a été également envisagé une motorisation Turmo SE 3140, expérimentée en 1957.

2. Principales versions

L'Alouette II a été utilisée pour de nombreuses missions civiles et militaires. Elle a notamment été équipée d'armements tels que mitrailleuses, missiles antichar. Les différentes versions sont les suivantes, la dernière, le Lama, étant considérée comme une version mixte alliant les ensembles dynamiques de l'Alouette III à une cellule d'Alouette II.

Type	moteur	masse maximale
SE 3130 Alouette II	Artouste IIC	1 500 kg
SA 313 B Alouette II	Artouste IIC6	1 600 kg
SA 3180 Alouette II	Astazou IIA	1 500 kg
SA 318 B Alouette II	Astazou IIA	1 600 kg
SA 318 C Alouette II	Astazou IIA2	1 650 kg
SA 315 B Lama	Artouste IIIB/B1	1 950 kg (2 300 kg avec charge largable)

3. Production

De 1956 à 1975, un total de 1 305 Alouette II furent construites en France, dont :

- 720 3130/313B Alouette Artouste ;
- 585 3180/318C Alouette Astazou.

De plus, des licences de fabrication furent accordées à l'Inde (250 appareils produits), la Suède (Saab en construira deux), aux USA (Republic en construira vingt-deux). Enfin, environ 350 exemplaires du Lama et sa version indienne **Cheetah** ont été construits.

L'Alouette II dans les Forces françaises

Toutes les armées furent équipées d'Alouette II dans les deux versions. La Marine (26), l'armée de terre (230), l'armée de l'air (139), la Gendarmerie (22).



Figure 35 - Alouette II du CIEH (centre d'entraînement des équipages d'hélicoptères de l'armée de l'air) © Photo DR/Airbus Helicopters



Figure 36 - Alouette II Marine
© Photo DR/Airbus Helicopters

L'Alouette II à l'export

Les principales Forces armées ayant utilisé l'Alouette II sont : L'Allemagne (voir plus haut) avec 300 appareils ; L'Inde 275 ; la Belgique (88 appareils jusqu'à 2009) la Suisse (30 appareils) ; la Suède (26 appareils) ; la Turquie (18) ; le Royaume Uni (17 Army Air Corps) ; l'Autriche (16)... Le marché civil restera très dispersé avec moins de deux appareils par client. Au total, en 1975, l'Alouette II était en service dans 80 pays et 47 forces armées.

IV. LE PROGRAMME ALOUETTE III

1. Historique

L'Alouette III a été conçue au départ comme une amélioration de l'Alouette II. Le simple « carénage » de l'Alouette II fut d'abord envisagé, avec l'aide du designer Raymond Loewy, sur un appareil de série rebaptisé « Gouverneur » SE 3131, qui vola le 16 mai 1957. Il fut présenté au Salon aéronautique du Bourget, le 30 mai par Jean Boulet qui transporta le Président René Coty, le 14 décembre sur le trajet Rambouillet-Orly à la rencontre du Président Eisenhower !... Mais le gain obtenu de 20 km/h sur la vitesse de croisière « pesait » un passager... L'élégant Gouverneur ne fut qu'un démonstrateur.

Des tentatives de remotorisation de l'Alouette II furent entreprises dès 1957, par Charles Marchetti à la tête du Bureau d'études de Sud-Aviation avec la complicité de Joseph Szydowski, président de Turbomeca. La remotorisation fut entreprise avec l'Artouste III, complétée par une revalorisation de la transmission. Le premier « prototype » SE 3150 n°01 vola le 11 mars 1958.



Figure 37 - Gouverneur SE 3131 © Photo DR/Airbus Helicopters

L'industrialisation du SA 3150 ne fut cependant pas lancée, pour des raisons budgétaires, et les deux prototypes resteront pour quelques années des appareils de servitude au CEV et à Sud-Aviation. Les Forces armées françaises, « prescripteurs » de l'Alouette II, n'avaient pas de besoin particulier pour une amélioration de cet appareil. Équipées d'appareils moyen de type S.58 et

H-21, en plus des centaines d'Alouette II déjà en service, elles exprimèrent le besoin d'un « gros hélicoptère » déjà baptisé **Frelon** (voir plus loin).



Figure 38 - Alouette III 001 © Photo DR/Airbus Helicopters

Le projet « Alouette III » vit donc le jour dans les conditions d'une initiative industrielle axée sur la continuité technique de la famille Alouette :

- moteur Artouste III de 870 ch thermiques (640 kW) ;
- cabine agrandie équipée de portes coulissantes, capable de six passagers ;
- rotor agrandi à 11 m au lieu de 10,20 m, rotor anticouple triplate ;
- carénage de l'ensemble, à l'exclusion du moteur

pour en préserver l'accès ;

- charge utile augmentée de 250 kg ;
- préservation de la réserve de puissance, par temps chaud et en altitude.

Le premier vol eu lieu, aux mains de Jean Boulet, assisté de Jean Malus, le 28 février 1959, au Bourget, suivi de celui de la 002 (pilote : Roland Cofignot), en mai.

Les deux prototypes seront présentés au 23^{ème} Salon aéronautique du Bourget de 1959. Une spectaculaire démonstration suivra où l'appareil 001 se posera au sommet du Mont-Blanc, avec six personnes à bord (dont le pilote Jean Boulet) confirmant ses brillantes performances en altitude.

L'État passera commande d'une présérie de trois appareils dès l'automne 59... alors que l'Ingénieur en chef François Legrand jouait le rôle d'ingénieur de marque ! Les trois appareils « étatiques » furent livrés en août et octobre 1960.

Poursuivant ses efforts de *marketing export*, Sud-Aviation visa l'Inde et l'Himalaya. En octobre 1960, une démonstration est organisée en Inde. À cette occasion, une remarquable performance fut homologuée par Jean Boulet : le SE 3160 n°002, équipé de skis, se posa sur le Mont Deo Tibaa, à l'altitude de 6 004 m, avec deux passagers et 250 kg de matériel. Les réactions favorables de la clientèle potentielle conduisirent Georges Héreil, président de Sud-Aviation à lancer une première série de trente appareils. Le premier appareil de série pourra être livré à la Birmanie dès le 25 juillet 1961.

C'est au cours d'une cérémonie tenue à La Courneuve, commémorant la livraison de la 500^{ème} Alouette II et le poser au Deo Tibaa que l'État français concrétisera son intérêt pour l'Alouette III : la délégation constituée de Pierre Messmer, ministre des armées, et Jean Blancard, délégué ministériel pour l'armement confirmera sa position favorable : une première commande de cinquante appareils de série sera paraphée... six mois plus tard, juste à temps pour que la continuité avec la production en cours, et quelque peu anticipée, de quarante-cinq appareils export soit assurée.

Le programme de production de l'année 61 comportera ainsi 130 appareils commandés, fabriqués à la cadence huit par mois. Le transfert de la production de La Courneuve vers Marignane sera décidé à mi-61.

2. Le développement

Les premiers vols de développement furent effectués sur les prototypes équipés de moteurs Artouste III et de pales de 315 mm de corde ; cette configuration sera vite revalorisée par le moteur Artouste III B (PMC : 405 kW – PMD : 420 kW¹¹) et des pales de 350 mm de corde. La certification civile française de la **version SE 3160** d'une masse maximale de 2 100 kg sera obtenue le 15 décembre 1961. Elle sera suivie, le 25 mars 1962, de la certification américaine FAA.

//////////
11 En standard au niveau de la mer (dans tout le document).

Deux versions ultérieures ont été développées : la version SA 316B, certifiée le 17 mars 1970 avec le moteur Artouste IIIB1 (PMC : 405 kW – PMD : 440 kW) et une masse maximale de 2 200 kg, puis la version SA 316C, certifiée le 14 mai 1971, avec le moteur Artouste IIID (même puissance) et une masse maximale de 2 250 kg. Une remotorisation par Astazou XIVB de 640 kW thermiques (PMC : 405 kW – PMD : 440 kW) complétée de divers renforcements permettront de revaloriser l'appareil en augmentant la charge marchande de 300 kg tout en réduisant la consommation de 25 à 30 % : ce fut l'ultime version certifiée le 14 mai 1971, dite **SA 319 B**, d'une masse maximale de 2 250kg.

Le SA 319 B n°01 réalisera une performance homologuée en se posant au sommet du **Kilimandjaro** à la masse de 1 550 kg, aux mains de Daniel Bauchart et Didier Potelle, le 18 février 1973.

3. L'Alouette III dans les Forces armées et les services parapublics français

ALAT

Quatre-vingt-neuf appareils livrés à compter de 1961, dont certains capables de tir de missiles antichar AS 11.



Figure 39 - SE 3160 n° 02, toute première machine livrée à l'ALAT dès 1961, pour expérimentation, équipée ici d'une mitrailleuse en sabord.



Figure 40 - SA 316 B de l'ALAT, avec skis, au sommet du Mont Blanc



Figure 41 - SA 316 B équipée du « système » AS 12 (maquettage)

Marine nationale (Aéronautique navale)

Trente-sept appareils de type SA 316 et SA 319 assureront la liaison, le sauvetage (mission PEDRO) sur les porte-avions *Foch* et *Clémenceau* et la formation des équipages aux missions embarquées et au vol aux instruments.

La « navalisation » comprend notamment :

- flottabilité de secours ;
- harpon d'appontage.

Certains appareils SA 319 furent équipés de torpilles Mk 46 et assurèrent les missions ASM à partir de frégates de type *Tourville*, de 1974 à 1979, date d'arrivée du Lynx.



Figure 42 - SA 319 B Marine

Gendarmerie nationale

Vingt-deux appareils, destinés à la liaison, la surveillance, la recherche, le sauvetage en montagne. La dernière sera réformée en 2009, après trente-sept années de service.



Figure 43 - SA 316 Gendarmerie

Sécurité civile

Trente-quatre appareils, d'une définition quasi identique à celle de la Gendarmerie, destinés à la liaison, aux évacuations sanitaires, au sauvetage en mer et en montagne.



Figure 44 - La SA 316B n°1115 lors de son dernier vol le 16 mai 2009, vers le musée de l'air, avec à son bord madame le général Valérie André, accompagnée de madame Alliot-Marie, ministre de l'intérieur (et Michel Drucker)

4. Les grands contrats export

Un total de 1 404 Alouette III furent construites entre 1962 et 1979, à La Courneuve, puis Marignane, auxquelles il faut ajouter 610 appareils construits sous licence, soit un grand total de 2 014 appareils. 83 % de la production nationale a été exportée dans 73 pays auprès de 200 utilisateurs.

Abu Dhabi :	10
Afrique du Sud:	118
Angola :	42
Argentine :	14
Australie :	3 (Royal Australian Air Force)
Autriche :	29
Birmanie :	14
Chili :	10 (Armada de Chile)
Chine :	15
Corée du Sud :	12 (Marine)
Équateur :	17
Espagne :	12
Éthiopie :	20
Inde :	300 construits sous licence, dont 8 vendues à l'URSS
Irak :	51
Liban :	13
Libye :	18
Malaisie :	46
Mexique :	10
Mozambique	14
Pakistan :	43
Pays-Bas :	72 (armée de terre) + 5 (armée de l'air)
Pérou :	15
Portugal :	142
Rhodésie	58
Roumanie :	250 appareils construits sous licence par Brasov
Suisse :	24 appareils + 60 appareils assemblés sous licence
Vénézuela	20
Zaïre :	10

V. LE PROGRAMME FRELON/SUPER FRELON

1. Le SE 3200 Frelon



Figure 45 - Le SE 3200 Frelon 001 © Photo DR/Airbus Helicopters

Appelé d'abord Super Alouette puis Frelon, le SE 3200 était un appareil de 4,5 t mesurant 14,5 m de long et 5,2 m de large ; la formule triturbine monorotor avait été choisie pour que l'appareil occupe le moins de place possible sur le navire. Les turbomoteurs, des Turmo III B de 750-800 ch, devaient être remplacés, en série, par des Turmo III C de 1 000 ch. Groupés au-dessus de

la cabine, ils entraînaient un rotor quadripale de 15 m de diamètre. Le rotor anticouple se trouvait à la pointe arrière du fuselage massif, qui comportait à l'avant le poste de pilotage largement vitré, puis une vaste cabine munie de hublots. Les roues principales du train d'atterrissage tricycle prenaient appui sur deux moignons d'aile qui servaient également de support à des réservoirs de carburant. Les performances prévues du Frelon étaient les suivantes : vitesse maximale près du sol 240 km/h, vitesse de croisière 210 km/h, distance franchissable 1 000 km, plafond 3 000m.

Conçu par l'équipe de Charles Marchetti, le SE 3200 est construit à La Courneuve et convoyé, début 1959, au Bourget où a été construit, en 1958, le premier banc d'essais permettant de faire fonctionner les ensembles tournants entraînés par les turbomoteurs.

Les essais au sol permettent le premier vol du SE 3200-01 le 10 juin 1959 aux mains de l'équipage : Jean Boulet, Roland Coffignot, Joseph « Jojo » Turchini et Jean-Marie Besse. Les essais de mise au point se poursuivent sur

le terrain de Mitry-Mory en 1959 et 1960 où le second prototype effectuera son premier vol le 26 octobre 1959.

De nombreuses difficultés mécaniques : contraintes dans les pales principales, tenue du rotor de queue, efforts dans les timoneries des commandes, etc. freinent considérablement la mise au point du SE 3200.

La première campagne d'essais officielle se déroule en juin 1960 sur le terrain de Brétigny-sur-Orge. Après quelques heures de vol, le CEV conclut que l'intérêt de la formule et la validité d'un certain nombre de solutions ont été démontrés, mais que des défauts importants ont été révélés dont les deux plus graves sont la masse à vide trop élevée et les efforts trop importants dans les timoneries des commandes en provenance du rotor principal.

Le 002 sera présenté par Sud-Aviation au Salon de l'aéronautique du Bourget de juin 1961 ; entouré des Alouette II et III !

Les nombreuses modifications entreprises par l'équipe, rejointe par René Mouille, ne permettront pas de satisfaire pleinement les spécifications. La décision est alors prise par les Services officiels, de ne pas lancer la série prévue, mais de développer un



Figure 46 - Le SE 3200 Frelon n°002 © Photo DR/Airbus Helicopters

appareil dérivé notablement plus gros et, ce, en coopération avec Sikorsky. Les accords de licence de la SNCASE pour la production des S-55 et S-58 ont en effet permis de bâtir de solides relations techniques avec cette société et le contrat de coopération technique, signé par Sud-Aviation, porte sur la conception des rotors principal et arrière. Fiat, déjà partenaire de SNCASE pour la fabrication de la transmission des S-55 et S-58, est choisi pour la conception et la fourniture des boîtes de transmission principale et arrière.

Dès le début 1962, un entretien avait lieu entre les ministres, Messieurs Strauss et Messmer, au sujet de l'hélicoptère SE 3200 Frelon. Monsieur Messmer faisait ensuite part à son collègue allemand des instructions qu'il donnait à ses services et suggérait que ceux-ci prennent contact avec les services du ministère fédéral de la défense pour déterminer la répartition industrielle de fabrication de présérie entre les deux pays et éclaircir toutes les implications financières. En mars 1962 les deux délégations retenaient le principe de la création d'un Comité chargé de la gestion de l'opération Frelon. Ce Comité pourrait confier, suivant besoins, l'étude de certaines questions à des groupes *ad hoc*. Deux groupes ont été chargés de rédiger les fiches programmes des versions Air, Terre et Marine de l'hélicoptère Frelon.

Les représentants des états-majors faisaient alors connaître l'importance des besoins opérationnels des différentes armes :

- Allemagne fédérale :
 - ▶ Armée de terre : 174
 - ▶ Armée de l'air : 170 ou davantage
 - ▶ Marine : 98
- France :
 - ▶ Armée de terre : 145
 - ▶ Marine : 80

L'abandon du Frelon pour le Super Frelon ne devait pas mettre un terme à l'intérêt que portait la République fédérale allemande à cet hélicoptère... voir plus loin.

2. Le SA 3210 Super Frelon

Développement

La décision de lancement du Super Frelon fut prise fin avril 1962 : le développement comportait deux prototypes et quatre appareils de présérie. La

formule trimoteur fut conservée, avec trois Turmo III C-2 de 1 300ch et une coque amphibie un rotor principal hexapale et un rotor AR d'un diamètre de 2,5 m.

Le premier vol du 01, en configuration « armée de l'air » (train fixe) eut lieu le 7 décembre 1962, à Marignane, avec le même équipage que pour le Frelon 01 (Boulet, Coffignot, Besse, Turchini).

Le second prototype, en configuration « Marine » disposait de flotteurs latéraux situés autour du train principal; il fit son premier vol le 28 mai 1963.

Les 01 et 02 furent présentés au 25^{ème} Salon de l'aéronautique du Bourget, en juin 1963.

Le comportement en vol se révéla très vite excellent, tant du point de vue qualités de vol, que niveau vibratoire (« un tapis volant » commentent unanimement les équipages) et performances. Le 01 fut rapidement conditionné pour établir de nouveaux records de vitesse pure, aux mains de l'équipage Boulet, Coffignot, Turchini.



Figure 47 - SA 3210 01 © Photo DR/Airbus Helicopters



Figure 48 - SA 3210 01 en configuration record © Photo CEV

À partir de la base du CEV d'Istres, les records mondiaux toutes catégories suivants furent établis :



- le 19 juillet 1963 : sur base de moins de 3 km, à moins de 100m d'altitude : **341,23 km/h** (contre 320km/h au Sikorsky SH-3A) ;
- le 23 juillet 1963 : sur base de 15 à 25 km : **350,47 km/h** (contre 339 km/h au SH-3A) sur circuit fermé de 100 km, à 1 000m d'altitude : **334,28 km/h** (contre 294 km/h).

Figure 49 - SA 3210 02 © Photo DR/Airbus Helicopters

Les appareils de présérie seront mis en vol pendant l'année 64 (le 06 en janvier 65) et concourront à la mise au point des versions *Air* et *Marine*. Le 03 est présenté aux autorités allemandes en avril 64, depuis les porte-hélicoptères *La Résolue*¹².

Deux autres campagnes d'évaluation sont organisées à la fin de 1964 :

- l'une se déroule à Istres, sous la responsabilité de la Section voilures tournantes du CEV, sur le SA 3210 n°03 ;
- l'autre, en Allemagne, sous la responsabilité du constructeur, assisté des Services officiels français (STAé, CEV, CEAM, CEPA) sur les SA 3210-04 et 05. L'appareil est très apprécié par les évaluateurs...

Les utilisateurs souhaitaient, semble-t-il, un appareil de plus gros tonnage : quelques mois plus tard, après avoir évalué le Chinook, puis le Sikorsky CH 53, la République fédérale d'Allemagne achète le CH-53... Après la perte de cette perspective considérable (environ 450 appareils), le seul client national reste la Marine. Les tentatives de ventes à l'export, tant civiles que militaires, ne dépasseront pas soixante-treize exemplaires malgré le

////////////////////////////////////
12 Nom de la future *Jeanne d'Arc* pendant les essais.

développement de nombreuses versions. Le développement et la mise en service du Super Frelon ont malheureusement été endeuillés par deux accidents survenus en 1965 et 1966.

Le 22 août 1966, la base aéronavale de Fréjus-St-Raphael est en fête, les deux premiers Super Frelon sont, enfin, livrés. L'équipage, commandé par le capitaine de corvette B. Niogret, se pose avec le n°102 sur le parking de l'escadrille 20S et repart aussitôt à Marignane rechercher le n°103. L'appareil et ses passagers n'arriveront jamais à St-Raphael, l'appareil est retrouvé près du village de Pourcieux (Var) sur le trajet de Marignane à St-Raphael, réduit à un tas de cendres. Après une recherche difficile on retrouve dans un bois un morceau de pale, l'examen métallurgique montre que la pale a cassé suite à une crique initiée par une entaille faite par un cutter utilisé pour retirer des morceaux de colle lors de la fabrication de cette pale. Un défaut de cette pale avait bien été signalé par le BIM¹³ (Blade Inspection Method), mais une dérogation à la réserve de vol avait été acceptée, car la fiabilité de ce système de détection de criques était douteuse et on ne lui accordait pas une confiance absolue ! La commission d'enquête dirigée par l'IGA Bonte de la DTCA avait conclu à un accident dû à une rupture de pale et surtout exigeait la mise en place chez le constructeur d'un contrôle efficace et sûr.

Cet accident faisait suite à l'accident du SA3210 - 03 survenu le dans le golfe de St-Tropez le 30 juin 1965. Le vol s'effectuait dans le cadre d'une mini-endurance et était confié à un équipage de la Marine (le commandant de bord était le lieutenant de vaisseau C. Bonvallet, pilote de marque du Super Frelon, décédé dans l'accident). L'examen de l'épave montre une rupture d'un pignon de la boîte de transmission principale qui avait désolidarisé les moteurs du rotor. De plus, l'indication du régime rotor ayant pour origine un capteur situé en amont du pignon incriminé, le pilote a cru à un emballement du rotor. Son action pour limiter le régime a eu un

13 Le BIM est un système de détection de criques sur les longerons des pales. Le longeron est gonflé à l'azote, le BIM détecte une baisse de pression qui serait provoquée par une crique.

effet contraire et l'arrivée dans l'eau s'est produite avec un rotor en perte de régime, ce qui n'a pas permis au pilote de limiter la violence du choc.

Principales caractéristiques

- Motorisation : trois Turbomeca Turmo III C6 de 1 170 kW
- rotor Principal : 6 pales métalliques, diamètre 18,9m, longeron principal tubulaire pressurisé, doté du système BIM (Blade Inspection Method) détectant les amorces de criques
- rotor AR : 5 pales métalliques, diamètre 2,5 m
- porte cargo arrière
- masse maxi : 12 000 kg puis 13.000 kg
- masse à vide 6 910kg, Carburant : 3.975 l
- croisière: 210 km/h, VNE : 296km/h
- plafond pratique : 3 150 m
- distance franchissable : 920 km.

3. Principales versions

SA 321 G - version navale

Premier vol : 30 novembre 1965, 26 seront produits pour la marine nationale C'est un hélicoptère de lutte anti-sous-marine et antisurface, embarquable à bord des porte-hélicoptères, avec repliage automatique du rotor principal et de la poutre de queue.

L'équipement opérationnel comporte notamment :

- treuil capable de 275 kg ;
- système de navigation autonome associé à un radar doppler ;
- système de localisation dit SYLPHE et radar désignation Omera ORB 32 permettant le tir de torpilles Mk 44 et, plus tard, de missiles antisurface AM39.

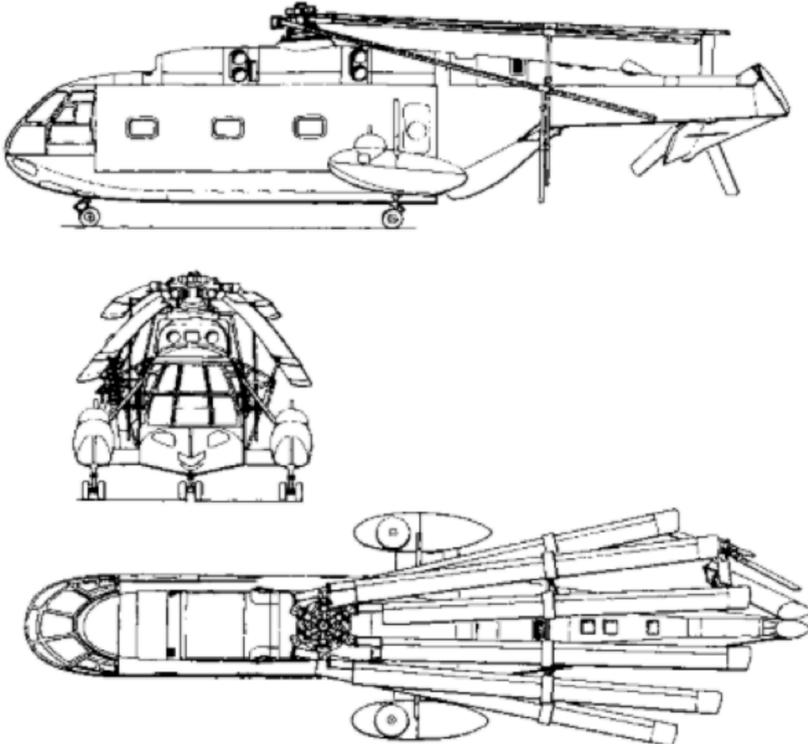


Figure 50 - Plan du repliage des pales SA 321



Figure 51 - Le moyeu repliable du SA 321 G
© Photo DR/Airbus Helicopter

SA 321 H - version Forces aériennes et terrestres

Transport de vingt-sept à trente passagers, quinze civières, 5 000 kg de fret interne ou à l'élingue.

SA 321 J puis Ja - version civile « travail aérien »

Transport de vingt-sept passagers ou 5 000 kg de fret.

SA 321 F - Version civile « transport public de passagers »



Figure 53 - SA 321 F © Photo DR/Airbus Helicopters



Figure 52 - SA 321 F © Photo DR/Airbus Helicopters

La structure du « F » comporte, en lieu et place des flotteurs, des conteneurs à usage de soute à bagages et une cabine allongée, insonorisée et climatisée, capable de transporter trente-sept passagers (ou trente-quatre, avec toilettes et hôtesse). Après un premier vol le 7 avril 1967, l'appareil a été certifié par la DGAC le 27 juin 1968 et par la FAA (FAR Part 29) le 29 août 1968.

L'unique appareil, modifié à partir du n°116, a été mis à disposition de la Société Olympic Airways, et a fait, pendant les étés 68 et 69, des liaisons régulières entre Athènes et les îles Skiatos, Santorin et Mykonos (avec des équipages partielle-

ment Aérospatiale et CEV) où plus de 8 500 passagers furent transportés, dans des conditions malheureusement déficitaires : l'opération ne fut pas renouvelée et les tentatives de pénétration du marché civil furent abandonnées.

4. Le Super Frelon dans les forces armées françaises

Après le retrait de la RFA, seule la marine nationale s'équipera du Super Frelon. Après la commande initiale de 12 appareils, d'autres appareils lui seront cédés et la Royale mettra en œuvre un total de 29 appareils jusqu'à la réforme des derniers appareils, en 2010, après 45 ans de service.



Figure 54 - Tir d'un missile AM 39 depuis un SA 321 G au CEV, à Cazau
© Photo CEV

5. Principaux contrats Export

- **Afrique du Sud** : dix-sept SA 321 version dite L pour l'Air Force
- **Irak** : quatorze appareils navals livrés, dont certains capables ASV
- **Israël** : douze appareils terrestres, version dite K, livrés dès 1966, avec turbines General Electric T 58
- **Libye** : quatorze appareils livrés en versions dites M, et GM
- **Chine** : treize appareils navals Ja livrés en 77 et 78, capables ASW et SAR. La Chine produira localement un appareil « dérivé » sous l'appellation Z8

et Z18 dont une soixantaine a été fabriquée, et une version modernisée AC 313 qui a volé en 2010.

Les versions civiles SA 321 J furent peu exploitées : un SA321 J en Norvège (puis Australie et Indonésie) et un SA 321 Ja au Zaïre (puis en Afrique du Sud). Entre 1966 et 1983, 105 Super Frelon ont été construits.

VI. CONCLUSION

La famille Alouette II et III et Super Frelon constitue ce qu'il est convenu d'appeler :

« La première génération des hélicoptères français ».

Riche de plus de 4 000 appareils produits et, surtout, des nombreux développements exigés par les utilisateurs civils et militaires, cette famille de véhicules a une étonnante caractéristique propre : tous les modèles ont un (faible) niveau vibratoire en cabine, et ce, sans le moindre recours à des dispositifs de filtrage ou amortissement des sollicitations en provenance du rotor principal.

Cette qualité exceptionnelle qui ne peut s'expliquer que par la chance (harmonisation quasi naturelle de la structure aux fréquences d'excitation) ne se rencontrera sur aucune des générations ultérieures où, au contraire, beaucoup d'énergie, et de masse, sera dépensée pour obtenir un niveau vibratoire acceptable, pour un domaine de vol, il est vrai, plus étendu.

Chapitre IV

LES COOPÉRATIONS

(Gérard Brefécher)

Une première forme de coopération apparaît après la guerre, lors de la mise en place en France, sous l'impulsion de l'État, d'une industrie des hélicoptères. En effet, un certain nombre d'ingénieurs allemands ont été intégrés aux équipes françaises de la SNCASE, la SNCASO et aussi de Turbomeca. Les premiers succès des hélicoptères français ont été permis par l'exploitation de leur savoir-faire et de celui des principaux constructeurs américains (Sikorsky) par l'intermédiaire de prises de licences, en y ajoutant le génie de quelques pionniers français. C'est ainsi qu'est née en 1955 l'Alouette II, réussite emblématique de toute l'histoire de l'aéronautique, par la fusion des savoir-faire en matière de moyeux rotors, de plateaux cycliques, de pales et de transmissions, et du génie inventif d'architecte de quelques ingénieurs français¹⁴ (introduction de la turbine et conception d'ensemble).

On s'intéresse dans les chapitres suivants aux coopérations suscitées puis organisées par les États, à la suite, ou à côté, des coopérations industrielles établies par Sud-Aviation, puis l'Aérospatiale, puis Eurocopter, avec leurs partenaires, d'abord pour maîtriser la technologie, puis pour étendre les marchés.

////////////////////////////////////
14 Citons René Mouille

Dans les années 1960, l'État a voulu donner une impulsion à la coopération avec ses partenaires européens. L'aéronautique était un domaine privilégié. Les communautés d'intérêt entre la Grande-Bretagne et la France dans ce domaine étaient importantes. Une coopération franco-britannique a donc été mise sur pied en 1965, avec un volet hélicoptères significatif (1967). Les circonstances étaient en effet favorables pour la coopération F-UK sur les hélicoptères : des objectifs communs, un montage avec trois programmes préservant les intérêts de chacun, et des relations personnelles entre certains acteurs majeurs. Il faut cependant noter que le Puma, fleuron de l'Aérospatiale, ainsi que la Gazelle étaient des produits de conception française alors que le Lynx était de conception britannique. Cette coopération franco-britannique forme un épisode particulier de l'histoire des hélicoptères, qui est détaillée dans un chapitre spécifique, complété par les historiques particuliers des trois projets concernés.

Les années 1970 ont été marquées par des tentatives de coopération européenne avec les démarches qui ont conduit aux accords de Ditchley Park (1975). Il s'agissait de donner une cohérence entre les programmes d'hélicoptères dont avaient besoin les différentes armées européennes et, aussi, d'organiser l'industrie des hélicoptères en Europe. Ces accords, signés par un petit nombre de pays européens, définissent une répartition des programmes futurs entre les pays participants. Ils ont donné un cadre pour les deux coopérations majeures qui en ont découlé : la coopération franco-allemande sur le Tigre, et la coopération multilatérale entre des pays européens sur le NH 90. Leur genèse fait l'objet de deux chapitres spécifiques.

La coopération franco-allemande sur le Tigre (à partir de 1975) est dans la suite logique des accords de Ditchley Park, mais c'est aussi le résultat de la priorité donnée par les politiques à la coopération F-Ge. L'hélicoptère armé s'était d'ailleurs révélé comme la seule opportunité de coopération avec l'Allemagne après les échecs de la coopération sur l'avion de combat européen et sur le char de bataille. Elle a subi bien des vicissitudes, mais elle a rempli ses objectifs, en produisant un hélicoptère adopté par quatre pays et en contribuant à la mise en place d'Eurocopter.

La coopération sur le NH 90 (à partir de la fin des années 1970) est une coopération entre les États européens « majeurs ». Comme son nom l'indique « *Nato Helicopter 90* », il est né dans l'Otan et reste géré par des instances Otan. Le NH 90 correspond au programme d' « hélicoptère de transport moyen », principale composante des accords de Ditchley Park. C'est, par le nombre de pays participants et de clients, un aboutissement de la coopération sur les hélicoptères.



Figure 55 - Deux produits de la coopération : le Tigre et le NH 90
© Photo DR/Airbus Helicopters

LA COOPÉRATION FRANCO-BRITANNIQUE

(Georges Bousquet)

I. ASPECTS GÉNÉRAUX

1. Conditions de lancement

Au début des années 1960, les conditions semblent réunies pour que les gouvernements français et britannique envisagent de coopérer dans le domaine aéronautique sur une gamme étendue de projets. L'accord signé le 17 mai 1965 prévoit le lancement en commun de plusieurs programmes :

- ECAT (école et appui tactique) ;
- avion de combat à géométrie variable ;
- AEW (avion d'alerte avancée) ;
- hélicoptères.

Seuls le programme ECAT, devenu le programme Jaguar, et le programme commun d'hélicoptères seront effectivement réalisés. Le programme d'hélicoptères fait l'objet d'un accord spécifique signé le 22 février 1967 (Messmer- Reilly).

2. L'accord de 1967

L'accord se réfère à celui, plus général, de 1965, dans lequel les gouvernements associés ont déclaré qu'ils entreprendraient en commun le développement et la production d'hélicoptères. Il précise ensuite l'objet et les modalités de la coopération :

« à la suite d'examen et de considérations ultérieures, les gouvernements associés ont décidé qu'il était faisable et à l'avantage mutuel des deux parties de collaborer sur les trois besoins suivants d'hélicoptères :

- *tactique aérotransportable ;*
- *léger d'observation ;*
- *utilité, ASM, reconnaissance et antichar (hélicoptère polyvalent). »*

L'ensemble de ces trois programmes constitue ce qu'il est convenu d'appeler le programme commun d'hélicoptères. L'accord prévoit la mise en place d'un Comité directeur (Steering Committee) bipartite chargé de prendre les décisions importantes (définition, direction et contrôle des phases déjà lancées) et de préparer les recommandations pour la poursuite du programme.

Pour chaque programme, il y a un industriel maître d'œuvre :

- Sud-Aviation pour SA 330 et SA 340 ;
- Westland Helicopters Ltd pour le WG 13,

et une agence exécutive gouvernementale chargée des relations avec l'industrie au nom des deux États, notamment pour la passation des contrats :

- ministère de la défense (DTCA) pour la France ;
- Ministry of Technology (Procurement Executive) pour le Royaume-Uni, devenu Ministry of Defence.

Les responsabilités sont ainsi clairement établies et les industriels sont chargés d'organiser entre eux la coopération industrielle nécessaire compte tenu de

l'état d'avancement des programmes. L'accord initial définit les règles de base pour la répartition du travail et du financement, ainsi que le volume des commandes prévu par les deux gouvernements. Mais il précise aussi que la détermination de la répartition exacte du travail de production correspondant à chaque projet sera fixée immédiatement avant le lancement de la phase de production (en pratique par un avenant au protocole). Les principales clauses sont indiquées dans les alinéas qui suivent pour chacun des trois projets.

Hélicoptère tactique aérotransportable

Le SA 330 est retenu pour satisfaire les besoins des deux pays. Il sera équipé de deux moteurs Turbomeca Turmo III. Il est dit également que l'on fera le choix d'un pilote automatique britannique si les prix et les délais sont acceptables. Le coût du développement est à la charge de la France (sauf pour le PA s'il est britannique). En contrepartie, le gouvernement britannique versera à la France un montant de 13,820 MF (1 million de livres sterling) correspondant à un droit de licence pour quarante-huit appareils, un ajustement étant prévu en fonction des commandes, en plus ou en moins. Les prévisions de commandes sont de 130 appareils pour la France et 48 pour le Royaume Uni. Le partage du travail se fera dans le rapport 80/20.

Hélicoptère léger d'observation

L'accord prévoit un développement en commun sur la base du SA340 existant et d'une fiche programme commune. Le développement est confié à l'industrie française, moteur compris. Le coût du développement commun sera partagé à 50/50. L'appareil retenu sera le SA341 Gazelle équipé du moteur Turbomeca Astazou IIIC. En attendant la sortie des appareils de série, la France mettra à la disposition du Royaume-Uni trente Alouette II. Les prévisions de commandes sont de 200 pour la France et 250 pour le Royaume-Uni.

Hélicoptère polyvalent

Différentes versions sont prévues pour cet appareil entièrement nouveau (WG13) :

- utilité pour l'armée de terre britannique ;
- entraînement pour la Royal Air Force ;
- ASM et liaison pour la marine française ;
- ASM, attaque et reconnaissance pour la marine britannique ;
- reconnaissance et antichar pour l'armée de terre française.

Le développement est confié à l'industrie britannique, y compris le moteur (adaptation ou développement) sachant que s'il s'agit d'un développement, il sera hors protocole. Le coût du développement commun sera partagé à 50/50. Les prévisions de commandes sont de 55 pour la France et 185 pour le Royaume-Uni. En annexe, l'accord prévoit qu'il y aura une chaîne de montage dans chaque pays pour les hélicoptères léger et polyvalent. Les prévisions de vente à l'exportation sont estimées à 50 % du total des besoins nationaux. Par la suite, l'accord initial a été complété ou modifié par de nombreux avenants. Les changements apportés figurent dans la partie traitant du déroulement des programmes.

3. Les motivations

Plusieurs types de motivations peuvent être évoqués à propos de la coopération sur les hélicoptères :

- d'abord, l'esprit de coopération qui animait l'accord de 1965 montrait la volonté des gouvernements de conforter l'industrie européenne face à la concurrence des constructeurs américains, ce qui était particulièrement bienvenu dans le cas des hélicoptères ;
- ensuite, les besoins militaires étaient suffisamment proches pour qu'on puisse envisager de les faire converger sur des projets communs et la formule consistant à réunir trois projets, étalés dans le temps était considérée comme très favorable à l'établissement d'une association durable ;

- enfin, les industriels y trouvaient de réelles opportunités :
 - ▶ Sud-Aviation, après le succès de l'Alouette II qui lui avait permis de connaître un très fort développement, avait besoin à la fois de financement et de débouchés pour une nouvelle génération d'appareils ;
 - ▶ Westland, qui avait été jusque-là tributaire de licences américaines, pouvait espérer acquérir son autonomie grâce à la conception et à la réalisation d'un hélicoptère entièrement nouveau.

4. L'organisation et les hommes

Le dispositif était conçu dans un souci d'équilibre des responsabilités, des activités et des prix payés par les gouvernements, équilibre aussi bien au niveau des services officiels qu'au niveau des industriels.

On a déjà vu le rôle central du Comité directeur. Il comprenait un nombre de membres limité, mais dans les faits, assez variable, avec en France des représentants des utilisateurs armée de terre et Marine ainsi associés directement aux décisions. Au-dessus se trouvait le Comité des projets qui coiffait l'ensemble de la coopération franco-britannique, présidé du côté français par le directeur des affaires internationales. Le Comité directeur s'appuyait sur des sous-comités technique, production et administratif auxquels incombait l'essentiel du travail normalement effectué par les services dans un programme national. Le sous-comité administratif, qui avait un rôle transversal, était commun à plusieurs programmes : hélicoptères, missile Martel et avion Jaguar. Les réunions se tenaient alternativement en France et au Royaume-Uni, ce qui donnait lieu à de très nombreux déplacements, parfois d'une seule journée. Les industriels assistaient à une partie des réunions. Celles-ci avaient souvent lieu dans les usines des coopérants, hélicoptéristes ou motoristes, ce qui permettait des contacts plus étroits entre les différentes parties.

Si les échanges sur les aspects technique ou production étaient assez semblables à ce qu'ils auraient été pour un programme national, il n'en était

pas de même pour les aspects financiers. Les taux horaires des industriels n'étaient pas les mêmes et les taux de change connaissaient des soubresauts (dévaluation de la livre en 1967 et dévaluation du franc en 1969). En outre, les services correspondants n'avaient ni la même structure, ni les mêmes méthodes de travail. Ainsi, le service homologue de ce qu'était à la DTCA le « service d'enquêtes de prix » était le «*Technical cost*» qui avait, en outre, la mission de faire lui-même, par analyse des plans et dessins détaillés des matériels, une évaluation prévisionnelle des coûts. Mais cette formule avait ses limites, surtout lorsqu'il s'agissait de matériels entièrement nouveaux.

Les hommes, comme toujours, ont joué un rôle très important. Dans ce domaine, on doit forcément se limiter, mais il est certain que ceux qui ont ouvert la voie ont exercé une grande influence sur la suite. Le choix des deux co-présidents du comité directeur, hommes particulièrement courtois, fut exceptionnellement bon. Du côté français, l'ingénieur général Munnich avait étroitement travaillé avec les Britanniques, car, après le débarquement de 1942 en Afrique du Nord, il avait été très impliqué dans la réparation des avions anglais. Du côté britannique, l'amiral Gibson, qui avait rapidement succédé à Mr Probert, était un francophile convaincu qui, lorsqu'il prit sa retraite, en cours de programme, se promettait de venir parcourir notre pays en suivant dans son bateau d'eau douce les méandres des rivières et canaux français. La tenue des séances de travail y gagna beaucoup, la recherche de compromis encore plus. Toujours parmi les pionniers de la coopération, il faut citer Bernard Joffre, qui était à l'époque chef de la section Voilures tournantes au STAé et représentant français au sous-comité technique. Du côté des industriels, il y avait François Legrand qui a fait presque toute sa carrière dans les hélicoptères et a joué un rôle très important dans la coopération, mais aussi Gérard Pertica, Georges Petit et Michel Thomas. Il faut aussi citer Joseph Szydlowski dont on connaît la part essentielle qu'il a eue avec ses turbomachines dans le développement de l'industrie des hélicoptères. Son rôle a été très positif dans la coopération elle-même et il a notamment réussi à créer des liens durables avec Rolls-

Royce. Il fut d'ailleurs distingué par la Reine et l'on peut désormais parler de «*Sir Joseph*». Beaucoup d'autres devraient évidemment être mentionnés, mais l'actuel chapitre ayant pour objet la coopération, on n'y trouvera pas tous ceux qui ont œuvré dans les autres domaines : ils auront leur place dans d'autres parties de cet ouvrage.

L'esprit qui animait les débuts de la coopération s'est maintenu avec les responsables français et britanniques qui se sont succédés. Mais ceci n'empêchait pas les différences de comportement de se manifester dans la manière d'aborder les problèmes et la recherche de solutions. On pouvait ainsi noter chez le Britannique une capacité d'attente presque indéfinie face à des problèmes non résolus, alors que le Français ne le supportait pas et cherchait à faire aboutir une solution. André Pommier, qui a bien connu l'ambiance de la coopération, a analysé ces différences dans un texte qui témoigne des états d'âme de certains négociateurs français de l'époque. Il contient une bonne part de vérité, même s'il ne faut pas en exagérer la portée. (Ce texte est joint en annexe au présent chapitre. Pour le lecteur d'aujourd'hui, il faut signaler que les négociations de prix pour le WG13 ne se sont pas si mal terminées, malgré les craintes du rédacteur).

Marcel Bénichou évoque à cet égard une anecdote de cette coopération franco-britannique. Goulias, représentant français au comité de production s'était trouvé bloqué, le jour où les Britanniques ont déclaré ne plus pouvoir commander 48 Puma, comme prévu dans l'accord, mais 40. Les négociations contractuelles se sont arrêtées de ce fait. Les Britanniques plaidaient la bonne foi et ont appelé l'attention des Français sur le fait que l'accord portait le mot *intend* que les Français traduisaient, à tort, par « s'engagent » (...à commander 48 hélicoptères).

Le contrat initial a donc commandé quarante Puma, mais une commande complémentaire de huit sera finalement passée en 1981 et 1982.

5. Déroutement des programmes

SA 330 Puma



Figure 56 - Puma SA 330 B n°1052 en service dans l'armée de terre



Figure 57 - Puma SA 330 en service dans la Royal Air Force

En 1962, l'armée de terre française, qui a tiré les enseignements de l'emploi des hélicoptères en Indochine et en Algérie, exprime le besoin d'un nouvel hélicoptère tactique et de transport logistique appelé « hélicoptère de manœuvre ». Aucun appareil existant ne répondant aux exigences du programme, un nouveau projet est lancé en 1963.

Il est étudié par Sud-Aviation sous le nom de SA 330 Puma et est équipé de deux turbomoteurs Turmo III de 1 300 ch. Le premier vol a lieu en 1965 et c'est donc un projet déjà très avancé qui est inclus dans la coopération franco-britannique. Il a de ce fait un statut spécial, le gouvernement français supportant le coût du développement de la version de base et le gouvernement britannique versant au gouvernement français un montant forfaitaire en contrepartie d'un droit de licence

(1 million de £ pour quarante-huit appareils).

En 1968, le volume des commandes britanniques est ramené à quarante et le montant du droit de licence révisé proportionnellement. Mais, des années après, les Britanniques étant revenus au nombre de quarante-huit appareils, le droit de licence a repris sa valeur initiale.

Les Britanniques avaient mis un point d'honneur à installer, comme un drapeau (flag), un équipement britannique : c'était le pilote automatique. La demande d'un pilote automatique Newmark (à la place du P.A. SFIM 125) avait été inscrite dans l'accord gouvernemental, sous réserve de compatibilité des prix et des délais. Finalement, un compromis a été trouvé, avec la participation de Sud-Aviation, sur le choix d'un pilote automatique SFIM-Newmark type 127.

Un autre problème plus grave fut celui du train automoteur. L'armée de terre française avait des exigences auxquelles elle tenait beaucoup concernant la capacité de l'hélicoptère à se déplacer au sol par ses propres moyens sur des types de terrains très variés. Ces exigences étaient cohérentes avec le concept de mobilité, mais elles conduisaient à la mise au point d'un train d'atterrissage automoteur spécifique et coûteux. Plusieurs tentatives de réalisations prototype d'un train automoteur à chenilles avaient été lancées, mais aucune n'avait réellement abouti. De leur côté, les Britanniques ne voulaient pas de ce type de train dont ils n'avaient pas besoin. Il s'ensuivit un blocage complet des affaires du côté français, mais devant les difficultés techniques, et surtout de coût, l'armée de terre française finit par renoncer à ses demandes et se rallia à la solution britannique moins onéreuse.

Ce fut l'occasion pour le côté français de jouer la carte du *fair play*. En effet, le développement de la version simplifiée pour les britanniques n'était pas gratuit et nos partenaires avaient admis de le payer. Le ralliement français à cette version entraînait logiquement une diminution de moitié de leur financement, la France prenant en charge l'autre moitié. Nos partenaires n'y avaient pas pensé et furent grandement reconnaissants au côté français. Après quoi, ils firent confiance aux Français qui purent préparer, sans conflit entre services, les décisions collectives concernant les aspects financiers des

modifications techniques ultérieures du Puma et de la Gazelle. L'avenant au protocole concernant le choix du système de pilotage SFIM-Newmark et le lancement de la fabrication en série pour 130 appareils français et 40 appareils britanniques a été signé le 2 avril 1968. Le 1^{er} Puma de série a volé en 1968 et la première livraison à l'armée de terre française a eu lieu en 1969.

Du côté britannique, en définitive, quarante-huit appareils ont été construits sous licence par Westland à Hayes pour la Royal Air Force ; le 1^{er} vol a eu lieu en 1970 et la première livraison en 1971.

Les caractéristiques les plus importantes du Puma sont :

- l'aptitude au vol IFR ;
- la mise en œuvre autonome ;
- la facilité de maintenance ;
- la facilité d'évolution à basse altitude.

Les Puma ont donné entière satisfaction à leurs utilisateurs et confirmé la validité des choix effectués par l'ALAT. Le nombre d'appareils construits a été très supérieur aux prévisions (source STPA/HE de janvier 1993) puisqu'il a atteint 705 appareils (dont 193 pour l'État français et 48 pour l'État britannique).

SA 341 Gazelle

L'hélicoptère SA 341 Gazelle a été conçu pour répondre aux exigences communes franco-britanniques d'un hélicoptère léger d'observation. À l'origine, il y avait l'étude par Sud-Aviation du SA 340, successeur de l'Alouette II, qui avait fait son premier vol aux mains de Jean Boulet le 7 avril 1967. L'accord avec les Britanniques s'est fait sur la formule SA 341 très voisine.

Le SA 341 Gazelle est un appareil monomoteur, équipé d'un turbomoteur Turbomeca Astazou III C de 440 kW, qui intègre plusieurs avancées techno-

logiques (rotor de queue caréné Fenestron, moyeu rotor NAT non articulé en traînée, système d'augmentation de stabilité SAS SFENA).

L'accord prévoyait un développement en commun sur la base d'un partage 50/50 du travail et du financement. Cette formule qui devait également s'appliquer au WG 13 n'avait guère de sens compte tenu des écarts de calendrier (le développement de la Gazelle par le côté français était déjà très avancé à la signature des accords). Il fut donc décidé assez vite que le partage se ferait sur la base de 75 % pour la France et 25 % pour le Royaume-Uni aussi bien pour le travail que pour le financement, la même règle (inversée) devant s'appliquer au WG 13. L'activité de la production de série était partagée au prorata des commandes majoré de la part estimée des ventes à l'exportation. Toujours en raison des écarts de calendrier, il était prévu que, dans l'attente de la série, la France mettrait à la disposition du Royaume-Uni trente hélicoptères Alouette II. Enfin, deux chaînes de production étaient prévues, une dans chaque pays, pour le SA 341 et pour le WG 13.



Figure 58 - Gazelle-AH Mk1 Royal Marines en Irak (2002)



Figure 59 - Gazelle SA 341 F2 armée de terre pendant l'opération « bouclier du désert »

Un problème grave apparut au moment de lancer la production en série. Alors que le gouvernement britannique maintenait sa prévision de 250 appareils, le gouvernement français ne trouva pas le soutien attendu auprès de l'armée de terre, qui ne confirma pas son besoin (prévision de 200 appareils). Il s'ensuivit des discussions au sein du Comité directeur afin de conserver malgré tout un nombre d'appareils français aussi cohérent que possible avec la part prise par le côté français dans le développement. Une solution de compromis fut finalement trouvée, grâce d'ailleurs à une attitude très compréhensive de nos partenaires, et le nombre de 170 appareils pour la France, déterminé en commun, fut inscrit dans l'avenant au protocole qui lançait la phase production (juillet 1970).

Le 1^{er} appareil de série français a volé en août 1971 et la première livraison côté britannique a été faite à l'Army en mai 1973. L'ensemble de la production SA 341 (source STPA/HE) s'est réparti comme suit :

- | | |
|-----------------|-----------------------------|
| - État (France) | 170 |
| - autres | 460 (dont 250 britanniques) |
| - total | 630 |

Différentes versions ont été construites avec des dénominations correspondant à chaque utilisateur :

- SA 341 B British Army (Astazou III N)
- SA 341 C Royal Navy
- SA 341 D R.A.F. version école
- SA 341 E R.A.F. version communication
- SA 341 F ALAT (Astazou III C)
- SA 341 G version civile (Astazou III A)
- SA 341 H version militaire export (Astazou III B)

Pour l'ALAT, suivant l'équipement et l'armement retenus, les SA 341 sont capables des missions suivantes :

- reconnaissance : lunette d'observation APX 334 ATHOS permettant d'effectuer l'identification d'un objectif à 3 km ;

- antichar : 2x2 missiles HOT permettant la destruction de blindés jusqu'à 4 km ;
- appui-sol : canon de 20 mm et viseur SFOM 80 ;
- air-air : canon de 20 mm et viseur Sextant T 200.

Les possibilités du SA 341 ont été augmentées avec son dérivé SA 342 (réalisé en dehors de la coopération entre États) qui diffère du SA 341 par sa motorisation (Astazou XIV), un pilote automatique SFIM PA 85 G et son armement : pod mitrailleuse 7,62 mm, lance-roquettes 68-12, missiles air-air Mistral, missiles HOT avec viseur de jour APX 397 ou jour/nuit Viviane (Euromissile). La famille Gazelle a ainsi évolué au fur et à mesure des développements de missiles et des systèmes adaptés au tir de nuit (*Voir à ce sujet l'exposé de Jean Guillot au cours du colloque sur les hélicoptères 80 années de vol vertical français, ouvrage cité*).

La production de SA 342 a été aussi importante que celle du SA 341 (source STPA/HE) :

- État (France)	189
- autres	437
- total	626

L'hélicoptère Gazelle a été un grand succès tant au point de vue opérationnel que commercial. Il a apporté des améliorations significatives en matière de maintenance (réduction des temps d'immobilisation et des coûts) et d'efficacité (plus grande fiabilité et capacités d'intervention accrues).

WG 13 Lynx



Figure 60 - Lynx Marine française © aviationsmilitaires.net



Figure 61 - Lynx Royal Navy n°335 sur l'HMS Cardiff (1982)

L'hélicoptère WG 13 Lynx est un hélicoptère bimoteur polyvalent, dont les caractéristiques tiennent le plus grand compte des besoins Marine pour les deux pays. Au moment de la signature de l'accord de 1967, les marines occidentales étaient très marquées par ce qui s'était produit lors de la guerre des six jours où le destroyer israélien Eilat avait été coulé par un missile Styx lancé par une vedette égyptienne, mettant en lumière un nouveau type de menace. Le Lynx a été conçu pour être embarqué sur des bâtiments porteurs d'hélicoptères spécialement dédiés.

Constituant le troisième volet du programme commun franco-britannique, son développement est confié à l'industrie britannique, moteur compris (adaptation ou développement), Westland assurant la maîtrise d'œuvre. Sa conception comporte plusieurs innovations notables : la tête rotor est en titane et le rotor principal est de type semi-rigide, les articulations de battement et de trainée étant remplacées par des éléments flexibles ; il est capable de voler par tous les temps et de s'arrimer solidement à sa plate-forme grâce à un harpon qui vient se fiché dans la grille du pont d'envol...

Initialement, le développement devait être partagé à 50/50, mais comme pour la Gazelle, et symétriquement, on est revenu de façon symétrique à un partage 75/25. Certaines des versions prévues n'ont pas été réalisées. En particulier, il devait y avoir une version reconnaissance et antichar pour l'armée de terre française qui a été abandonnée par la France (Comité des projets du 26 septembre 1969).

Au cours du développement, les plus grandes difficultés sont venues du moteur. Le choix lui-même a posé problème : la proposition britannique d'un moteur Rolls-Royce BS360 soulevant beaucoup de réticences de la part des spécialistes français. Le recours à un moteur français a même été envisagé au sein du Comité directeur, mais c'est le moteur Rolls Royce BS 360 devenu GEM2 (671kW) qui a été adopté. Cependant, la méfiance, qui persistait malgré tout, avait conduit le côté français (IG Lecamus) à demander et à obtenir que notre contribution aux frais de développement soit limitée à un montant forfaitaire (2 millions de £ forfaitaires révisables CE juillet 1967).

L'IG Lecamus avait pris au mot les Britanniques en proposant que le côté français prenne en charge 50 % de leur estimation (qui nous paraissait par trop optimiste). Rolls Royce est finalement venu à bout de la mise au point de ce moteur très complexe, qui s'est ensuite bien comporté en service. Une nouvelle version plus puissante a été également développée (GEM 41-1 ou 41-2).

La marine française a réduit le volume de ses commandes à 40 appareils tandis que le côté britannique maintenait sa prévision de 185. La France a renoncé à avoir sa propre chaîne de montage et tous les appareils sont sortis de l'usine Westland de Yeovil. Cependant, le développement et l'installation en série du système d'armes pour la version de la marine française ont été réalisés par Aérospatiale à Marignane.

Le premier vol de l'appareil de base a eu lieu en mars 1971. Le premier vol du prototype de la version navale française a eu lieu en juillet 1973 et la livraison du 1^{er} appareil de série à la Marine française en août 1978.

L'ensemble de la production WG13 Lynx s'est réparti comme suit (source STPA/HE 1993) :

- État (France)	40
- défense britannique	234 (185 au titre des accords)
- autres	92
- total	366

Différentes versions ont été construites avec des dénominations correspondant à chaque utilisateur :

- Mk1 British Army (transport de troupes, antichar, reconnaissance, évacuation sanitaire) ;
- Mk2 version navale commune anti-sous-marine (UK, France) ;
- Mk3 version navale Royal Navy avec GEM 41-1 de 835 kW ;
- Mk4 version navale marine nationale avec GEM 41-1 de 835 kW ;
- Mk5 id.mk1 avec GEM 41-1 ;
- Mk7 British Army GEM 41-1 rotor arrière à sens de rotation inversé ;
- Mk8 version améliorée pour la Royal Navy, rotor arrière à sens de rotation inversé ;
- Mk9 British Army avec GEM41-1, train d'atterrissage à roues, rotor arrière à sens de rotation inversé.

Les quarante appareils français se décomposent en vingt-six appareils Mk2 et quatorze Mk4 ; les vingt-six Mk2 ont tous été transformés en Mk4.

L'équipement de la version navale française comprend :

- pilote automatique Elliott avec couplages (transition et stabilisation sonar automatique) ;
- radar de recherche OMERA/ORB31;
- sonar Alcatel HS 71.DUAV 4;

- armement 2 torpilles Mk44 ou 1 Mk46 ou 2 Mk 54 ;
- ou 4 missiles AS 12 + lunette APX334 ;
- navigation radar Doppler EMD.RDN72 B et calculateur digital Crouzet ;
- identification IFF NRAI 7D.

Les résultats en service ont été très satisfaisants; le Lynx a montré dans la durée une excellente tenue en milieu marin et a permis de constituer avec la frégate un système anti-sous-marin particulièrement efficace.

Agusta-Westland a développé un successeur du Lynx, appelé dans un premier temps « Future Lynx ». Cette version améliorée, l'AW 159 Wildcat, entre en service (2015).

6. Bilan de la coopération franco-britannique

La coopération franco-britannique sur les hélicoptères peut être considérée comme un réel succès. Elle a atteint les objectifs fixés aux plans opérationnel, économique et industriel. Les hélicoptères issus de la coopération ont tous donné satisfaction à leurs utilisateurs et leurs capacités se sont accrues au fil du temps.

La production de ces hélicoptères a été supérieure aux prévisions, grâce notamment à un volume d'exportation plus important que celui estimé à l'origine, même s'il faut noter que la part apportée par le Lynx a été plus faible que celle des appareils de l'Aérospatiale. Aérospatiale a compté que plus de 2 500 appareils ont été réalisés au titre de la coopération. La charge de travail ainsi induite dans l'industrie sur une longue période est tout à fait remarquable.

En revanche, cette coopération n'a pas eu la suite qu'on aurait pu espérer, les industriels ayant continué leur chemin chacun de leur côté et souvent en concurrence. Des tentatives ont bien eu lieu pour prolonger au plan européen une coopération organisée sur une répartition raisonnée de

nouveaux projets entre les constructeurs européens :Sud-Aviation, Westland, Agusta et Bölkow. Un Comité directeur hélicoptère quadripartite a même été créé dans ce but. Mais, malgré des propositions cohérentes, aucun accord européen n'a pu aboutir.

Des différentes propositions qui avaient été élaborées, seules les coopérations sur l'hélicoptère de combat — le futur Tigre — et l'hélicoptère de transport tactique — le NH90 — se sont concrétisées.

Une suite inattendue est, par contre, apparue dans l'industrie des moteurs, où l'impulsion donnée à l'occasion de la coopération franco-britannique ne s'est pas éteinte et s'est même étendue à d'autres coopérants.

ANNEXE : Note de l'IC POMMIER (4 octobre 1971)

PARIS, Le 4 Octobre 1971

L'Anglais est un praticien qui n'a pas de théories
L'Allemand est un théoricien qui applique les théories
Le Français est un théoricien qui ne les applique pas
C'est ce qu'on appelle, chez nous, avoir du bon sens.

A. DÉTOEUR

En guise de last-statement
..... ou de testament
sur la coopération F/UK.

Propos de O.L. BARENTON, confiseur.

L'entrée en convalescence de coopération est une période propice aux réflexions, pas très nouvelles sans doute, mais qu'il est bon de répéter de temps à autre.

- 1 - Chaque pays défend son industrie : Si l'on veut aboutir à une coopération politique à long terme, il faut que les industries des deux pays s'allient sous des formes d'engagement à long terme. Rien ne bouge dans ce domaine et les incitations sont faibles, alors que cet objectif devrait être inscrit en tête de tout protocole de coopération.

La poursuite d'une coopération de type actuel incite chaque firme à maximiser ses avantages, ce qui n'est pas compatible avec un optimum de coût. La coopération de ce type additionne les mauvaises habitudes de chaque pays et annule l'intérêt économique que l'on croyait y trouver.

- 2 - Le symbole de la France est le coq, celui de la Grande-Bretagne, le lion

Dans ces symboles il faut voir une représentation des attitudes fondamentales de chacun. Le coq s'épuise en cris vains autour d'un lion qui attend patiemment son heure. Le lion peut attendre très longtemps d'où le danger que, à terme, la solution du § 1 ne soit à son avantage.

- 3 - Les Français sont dirigés par des Ingénieurs qui gouvernent des Ingénieurs les Anglais sont conduits par des financiers qui gouvernent des £.

(Cet aspect du problème peut conduire à des développements désagréables est laissé à la réflexion du lecteur).

En corollaire, le Français parle de technique (que celle-ci soit de développement ou de production), l'Anglais de profit, même si cet aspect de profit est dévié de sa finalité d'origine. En effet, en présence des pertes affichées par un Industriel, les réflexes sont :

- du Français : qu'il améliore sa productivité, donc sa technique de production.
- de l'Anglais : il faut rétablir le profit (même si celui-ci s'applique à un prix de base économiquement faux) pour assurer la rentabilité de ses capitaux.

Cet aspect de l'Anglais est fondamental car il est prêt, pour atteindre ce but, à laisser se détériorer les aspects techniques d'un programme : (exemple du problème ASTAZOU qui va perturber la chaîne et l'emploi opérationnel des SA 341). Dans un tel cas, je pense que le Français aurait cédé ou commis un acte unilatéral ; l'Anglais attend.

4 - L'Anglais peut répéter inlassablement une demande déjà rejetée, le Français, pour en finir, accepte.

Le Français n'aime pas les problèmes non résolus, il était mal noté à l'école dans ce cas et son attitude permanente en est atteinte : il veut trouver une solution (et si possible élégante).

La seule parade est ici le refus systématique de prise en considération de toute demande, les mois puis les années gagnées finissent par éteindre le problème.

CONCLUSION (1) :

Que conclure ?

- 1 - L'Anglais a une capacité d'attente indéfinie en face de problèmes non résolus : le temps travaille pour lui, en obligeant le français, qui aime la planification de toute activité, à céder ou à chercher un compromis le premier.
- 2 - Rien n'est définitif pour l'anglais : tout accord est valable lors de la signature, au-delà, tout se renégocie en fonction des circonstances (et du profit garanti). L'état d'esprit des deux pays se caractérise d'ailleurs par la forme de leurs jardins :
 - font plier la nature des choses à un schéma cartésien pour le Français
 - s'adaptent et aménagent les obstacles lorsqu'ils se présentent pour l'Anglais.

Le jardin français finit par être ennuyeux ; lorsque l'on suit les allées du jardin anglais, on ne sait pas très bien où l'on va (ce n'est d'ailleurs pas leur but d'aller quelque part).

- 3 - Pour en revenir aux étranges machines tourmentées, le point fondamental à résoudre (2) me paraît être actuellement le suivant :

Au moment de lancer en série le programme WG 13, nous devons exiger d'aménager la réglementation U.K. pour disposer de prix réellement forfaitaires attachés à des performances précises pour les appareils et les recharges et il ne faut pas bouger de cette position. Il faut faire savoir officiellement aux Anglais que si cette question n'est pas résolue à une date rapprochée, à fixer, la France ne voit pas d'intérêt à poursuivre les réunions du Comité Directeur des Hélicoptères, cette question restant la seule vraie question de l'ordre du jour.

I.C. POMMIER

II. LE PUMA

(Jacques Humbertclaude)

1. La situation dans les années 1960

Les premières utilisations d'hélicoptères de transport en zone de combat remontent à la guerre d'Indochine, puis à celle d'Algérie. Les principaux appareils utilisés par les armées françaises sont :

Le Piasecki HUP-2/H-25

La Marine s'intéresse à un nouvel hélicoptère naval développé aux USA par Piasecki¹⁵ : le H-25/HUP-2 Retriever, birotor en tandem et moteur à pistons. Le HUP-2 est conçu pour la surveillance, le sauvetage et l'évacuation de blessés. Il fait son premier vol en 1948. La marine française en acquiert dix-neuf en 1954. Ils sont d'abord utilisés sur les porte-avions comme appareils de sauvetage, précurseurs de la fonction Pedro et également pour assurer des liaisons limitées avec la terre car ils ne peuvent transporter que quatre passagers en plus de deux membres d'équipage. Le poids total en charge est de l'ordre de 2 608 kg avec une motorisation



Figure 62 - HUP-2 n°130084 de la flottille 23S de l'aéronautique navale

15 Piasecki est absorbé par Vertol en 1956 avant de devenir Boeing Vertol.

de 405 kW. Deux HUP sont envoyés en Algérie au sein de l'ALAT mais ils se révèlent très vite inutilisables dans le contexte algérien.

Le Sikorsky S-55/H-19

Le constructeur US Sikorsky développe le S-55 – H-19 qui, par ses performances, intéresse toutes les armées américaines qui le mettent rapidement en œuvre en Corée. La France reçoit en 1953 vingt-six appareils (S-55) pour



Figure 63 - Le Sikorsky S-55/H-19

l'armée de l'air pour les opérations en Indochine au titre du *Mutual Defence Assistance Act* (signé en 1949). Cette première livraison sera complétée par soixante-cinq appareils fournis par Sikorsky et quarante-quatre autres construits par Westland (identifiés WA) dans différentes versions. six appareils seront rachetés à la SABENA par l'armée de l'air. Les appareils sont livrés entre 1954 et 1957 à l'armée de l'air, à l'ALAT, à l'Aéronautique navale ainsi qu'au ministère des États associés (Algérie). Pour la plupart, ces appareils seront regroupés dans l'ALAT en 1956. La France fait l'acquisition de la licence de construction en janvier 1952, mais celle-ci ne débouchera que sur des assemblages sans production locale, faute de clients. Cet appareil, d'une masse en charge de 3 200 kg et équipé d'un moteur en étoile de

442 kW (588 kW dans la dernière version H-19-D3), permet d'emporter huit personnes en cabine. En raison de la nature de ses interventions en zone hostile, il est apparu l'intérêt de l'équiper d'un armement pour devenir ce que l'on peut appeler aujourd'hui un hélicoptère de manœuvre.

Il est utilisé en Indochine en particulier sur Diên Biên Phu pour l'évacuation des blessés (six blessés couchés en soute) et ensuite sur le théâtre algérien en mission EVASAN ou avec différents types d'armement : mitrailleuses, 12,7 mm et 7,62 mm. Un essai, non concluant, de canon de 75 mm est même réalisé !

En février 1958, les S-55/H-19 avaient évacué 2 625 blessés et transporté 40 603 commandos

Le Piasecki H-21C

Piasecki-Vertol conçoit le H-21C, successeur du HUP-2, plus connu sous le nom de *Banane volante* en raison de son double rotor en tandem. Il est équipé d'un moteur en étoile à 9 cylindres Wright « Cyclone » de 1 048 kW. Il est retenu pour le transport lourd avec un poids total en charge dépassant les 6 tonnes et une capacité d'emport de 18/20 hommes. Quarante-deux appareils sont commandés pour l'ALAT en 1956 et douze pour la Marine qui seront reversés à l'ALAT en 1960¹⁶. Ils effectueront plus de 87 000 heures de vol en Algérie, malgré leurs performances limitées par temps chaud et en altitude. Après les



Figure 64 - H-21C (surnommé "banane") en Algérie (photo JP Meyer)

16 Un H-21 est visible au musée de l'ALAT à Dax.



Figure 65 - H-21C n°24 en opération de dragage - voir croisse
(photo CEV)

enseignements de l'Indochine, le chef d'escadron Crespin envisage l'utilisation d'hélicoptères armés, mais ne convainc pas les états-majors. Cependant, l'idée se développe pendant le conflit algérien en particulier sur le H21C. Dès 1957, des essais d'armement sont menés avec l'aide d'un ingénieur de Vertol pour intégrer un support pour deux mitrailleuses de 7,62 mm, deux de 12,7 mm et deux lance-roquettes Oerlikon (paniers de huit). Quatre cam-

pagnes d'essais sont menées au cours de l'année 1958. Les lance-roquettes Matra (roquettes de 68 mm) remplacent ensuite les roquettes US. Des lance-bombes Alkan sont aussi testés. Des essais de mitrailleuse en sabord sont également réalisés en 1959. Seulement sept H-21 seront équipés pour l'empport d'armement, car ce sont l'Alouette, puis la Gazelle, plus maniables, qui occuperont ce créneau de l'hélicoptère armé. Il faudra attendre le Cougar Resco pour retrouver un armement lourd sur le successeur du Puma. Le dernier H-21 est retiré du service en 1970.

Le Sikorsky S-58/H-34

Sud-Aviation acquiert la licence du S-58 en 1956. C'est un hélicoptère classique équipé d'un moteur en étoile de 1 122 kW. Sa soute de près de 13 m³ permet d'emporter vingt passagers et le poids total en charge est de 5 700 kg. L'appareil est suffisamment puissant pour intégrer des armements en sabord pour répondre au besoin d'une utilisation comme l'appui-feu en Algérie. Le centre d'essais en vol (CEV) expérimente même une tourelle extérieure équipée d'un canon de 20 mm.

Pour la France, les premiers S-58 sont livrés en pièces détachées pour être montés par Sud-Aviation. Entre 1956 et 1959, soixante-dix-neuf sont réalisés pour l'armée de l'air et treize pour la Marine. À partir de septembre 1957 Sud-Aviation les construit sous licence et en livre 136 à l'armée de l'air et 45 à la Marine. Le S-58 restera en service dans l'armée française jusqu'à la fin des années soixante-dix.



Figure 66 - S-58/H-34 n°1 (photo CEV)



Figure 67 - Tourelle canon sur H-34 (photo CEV)

Du côté britannique, le projet de bimoteur birotor en tandem Bristol type 173 Belvédère (1^{er} vol en janvier 1952) ne donne pas satisfaction. En 1956, le MoD/UK se tourne vers le Sikorsky S-58, mais le juge sous-motorisé. Il décide alors de le faire construire sous licence chez Westland avec une motorisation spécifique. Cet appareil est le Westland Wessex qui est équipé du turbomoteur Napier Gazelle de 1 067 kW. Il fait son premier vol en mai 1957.

Cette période de la guerre d'Algérie, qui a vu l'utilisation massive de l'hélicoptère (environ 87 000 heures de vol) en raison de ses avantages (rapidité, polyvalence, discrétion, atterrissage sans infrastructures...) a permis de concevoir et mettre au point les concepts d'utilisation en opération (appui-feu, observation, Pedro, Evasan, Resco...). Pendant ce temps, les

industriels Sud-Aviation et Westland s'initiaient, sous licence US, à la fabrication d'hélicoptères de masse en charge supérieure à 5 tonnes. L'acquisition de ces licences permet à l'industrie de combler son retard dans le domaine des aéronefs à voilures tournantes. Aux USA, Sikorsky prépare le développement des CH-53 et CH-54 dont la masse maximale au décollage est de l'ordre de 20 tonnes. En URSS, la société MIL développe des appareils encore plus lourds avec le Mi6 (42 tonnes, 1^{er} vol en 1957), le Mi 8/Mi 17 (12 tonnes, 1^{er} vol en 1961) et l'hélicoptère super lourd Mi12 lancé en 1959 (105 tonnes, 1^{er} vol en 1967), pour les besoins militaires et civils (emport de missiles stratégiques et développement de la Sibérie).

En 1957, la Marine exprime le besoin d'un hélicoptère multmissions, permettant en particulier la lutte anti-sous-marine, utilisable à partir de ses bâtiments. Le bureau d'étude de la SNCASE de la Courneuve travaille à la conception d'un appareil de l'ordre de 5 tonnes répondant aux besoins des armées. Ces études débouchent sur le Frelon (Sud-Aviation SE 3200), équipé de trois turbines Turmo II et d'un rotor dont les 4 pales sont celles du Sikorsky S-58. Il fait son premier vol le 10 juin 1959 avec une masse maximale de 9 000 kg. Les essais furent émaillés d'incidents et les résultats ne furent pas à la hauteur des exigences du contrat de développement notifié par l'État. Il évolue vers un appareil plus lourd (12 000 kg) et amphibie pour devenir le Super Frelon (SA321G) qui atteindra les 13 000 kg en milieu de vie. Sikorsky apporte la technologie de la tête rotor avec 6 pales métalliques. Le premier des deux prototypes est en version « Air » et effectue son premier vol le 7 décembre 1962 ; le second sera lui en version « Marine ». Le Super Frelon aura été le plus gros hélicoptère développé en Europe occidentale (13 000 kg).

Devant l'importance du développement des applications de l'hélicoptère de transport pour les besoins militaires, l'ALAT, dès 1961, commence à définir son nouveau besoin avec de nouvelles exigences en termes de vitesse et de capacité d'emport, avec la possibilité d'opérer de nuit et par toutes conditions atmosphériques.

En raison de l'augmentation des performances atteintes par les appareils, à l'image des autres aéronefs, les opérationnels éprouvent le besoin d'étendre le domaine de vol d'une part vers le vol aux instruments et sa conséquence, le vol en conditions givrantes. Cette extension est nécessaire à une utilisation opérationnelle en Europe centrale. Le CEV expérimente ces cas de vol dès 1961 sur le S-58 HSS-1N n° 1376 puis sur le Super Frelon. Ce dernier concrétise ces travaux en 1966 par le premier aller-retour Brétigny Lann-Bihoué en IFR. Les stages de formation IFR des pilotes se mettent en place. Dès 1964, les premiers essais de pales dégivrées électriquement sont réalisés sur l'Alouette III n° 1265 avec des campagnes au Canada.

Les systèmes de navigation à base de radar doppler, les systèmes de localisation et les premiers radars d'évitement d'obstacles sont aussi testés sur différents porteurs du CEV en vue d'une utilisation pour les nouveaux programmes et en particulier sur le Puma.

Dès le début des années 60, la France et le Royaume-Uni décident d'une coopération dans le domaine aéronautique. Celle-ci se concrétise par l'accord de 1965 qui se décline pour les hélicoptères par l'accord de 1967. Le programme Puma sera pris en compte dans cette coopération.

2. Le développement initial du Puma

La fiche de caractéristiques militaires (FCM) pour un hélicoptère moyen de transport tactique et logistique, est rédigée en 1961/62 sous l'impulsion du général Le Puloch, chef d'état-major de l'armée de terre. Le nouvel appareil a pour vocation de remplacer les Sikorsky S-55 construits sous licence et les H-21C ainsi que les S-58 mis en œuvre par l'armée de l'air en Algérie. Les principales exigences sont : la capacité d'emporter douze hommes avec leur armement et leur équipement à une vitesse supérieure à 250 km/h, la capacité de tenir le stationnaire à plus de 1 500 m par temps chaud et la capacité tout-temps. Il est également demandé que l'appareil puisse replier

ses pales et se mouvoir au sol par ses propres moyens pour se camoufler sous la végétation.

La FCM est traduite en spécifications techniques par le STAé/voitures tournantes. Dans un contexte budgétaire difficile, le ministre des armées Pierre Messmer intervient le 7 juin 1963 devant l'Assemblée nationale et lance le programme. Fin juin, un contrat de 20 MF pour la réalisation des deux premiers prototypes et de cinq appareils de présérie est notifié par le STAé à Sud-Aviation et une maquette en bois du SA 330 est présentée au XXVème salon aéronautique du Bourget. Ce contrat a pour conséquence de mettre fin aux essais de remotorisation d'un S-58 avec deux moteurs Turbomeca Bastan VII de 955 kW, le premier vol du prototype de cet appareil ayant été



Figure 68 - Sud-Aviation Sikorsky H-34 A bi-Bastan n°76

réalisé le 5 octobre 1962. L'objectif est une commande de 170 hélicoptères.

Le premier prototype, qui n'est pas encore appelé Puma, mais Alouette IV, est un hélicoptère avec un rotor principal à quatre pales métalliques, un rotor anticouple à cinq pales, un train tricycle semi-escamotable et un nez plus proéminent que celui des Puma de série. Les Bastan VII (comme sur le projet de remotorisation du S-58/H-34) à turbine fixe, initialement prévus dans le projet, sont remplacés par deux Turmo IIIC4 de 1 160 kW dont le premier de série est sorti en 1963. C'est une exploitation du brevet de Joseph

Szydowski sur l'invention de la turbine libre. Les nouveaux moteurs, par leur conception, ne sont pas soumis aux problèmes rencontrés pour coupler les Bastan sur un même arbre et sont donc beaucoup plus faciles à intégrer. Ce moteur est une version de celui qui équipe déjà le Super Frelon. Il a également été installé sur le Breguet 941 en version turbopropulseur et sur les premiers Turbotrain en 1967 et TGV à partir de 1972 (Turmo version G ou X), ce qui démontre la versatilité de ce nouveau moteur.

Les plans sont élaborés à La Courneuve et la production commence début 1964. La conception de la boîte de transmission principale (BTP) est confiée à FIAT, spécialiste européen dans les transmissions de forte puissance. Les essais de la BTP sont réalisés à Marignane. Progressivement, la Surveillance industrielle de l'armement se met en place dans l'établissement pour veiller aux exigences étatiques : essais de tenue mécanique des pièces, doubles approvisionnements, suivi des pièces vitales, répertoire des outillages.

En janvier 1965, le premier appareil est assemblé et peut commencer ses essais au sol de vibration et d'endurance. Le premier vol (SA330A n°01 F-ZWWN) se déroule le 15 avril 1965 avec Jean Boulet et Roland Coffignot aux commandes (pilotes constructeurs) et André Ricaud et Gérard Boutin, respectivement mécanicien et ingénieur navigants. Ce vol ne dure que quelques minutes et à quelques mètres du sol, mais la très importante installation de mesures (près d'une tonne) permet d'analyser rapidement le comportement du prototype en vue du vol suivant.

En mai 1965, l'accord franco-britannique pour une coopération aéronautique est signé avec un volet relatif à la coopération dans les hélicoptères. Le MoD/PE s'intéresse donc de près aux nouveaux développements en cours sur les hélicoptères français. Le second prototype (SA330A n°02 F-ZWVO) sort des ateliers le mois suivant, ce qui lui permet d'être présenté au salon aéronautique du Bourget en juin 1967.

Sur ces deux prototypes, il est constaté un niveau vibratoire élevé, principalement aux basses vitesses, ce qui nécessitera une modification de la

suspension entre la BTP et la tête rotor. Ce nouveau système de suspension sera mondialement connu sous le terme de « barbecue » (brevet Sud-Aviation).

Cette pièce en titane se révélera particulièrement efficace pour obtenir à moindre masse le niveau vibratoire requis.



Figure 69 - Puma SA 330 A n° 01 (photo CEV)

Le second appareil prototype arrivera au CEV Brétigny le 12 avril 1966 pour commencer les essais sous responsabilité étatique. Les cinq appareils de présérie (toujours en version SA330A) sont ensuite lancés. Ils intégreront progressivement les corrections des petits problèmes constatés et pourront continuer les essais de performances, d'endurance, d'utilisation en altitude et par

temps froid. Le CEV participe à tous ces essais afin de vérifier que les spécifications techniques sont atteintes et valider procédures et courbes de performances. Une cellule est envoyée au centre d'essais aéronautiques

de Toulouse (CEAT) pour commencer les essais de fatigue de la cellule et d'endurance de certains équipements (hydrauliques, carburant, électriques ou électroniques, pneumatiques, train d'atterrissage...). Ces essais dureront de nombreuses années.

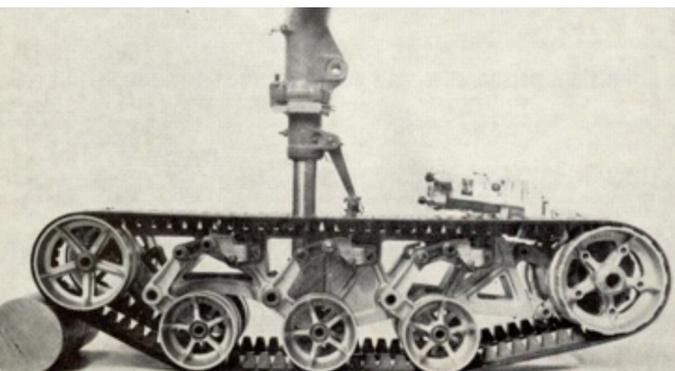


Figure 70 - Train à chenilles du Puma
(Bulletin d'information Hispano de mai-juin 1972)

Une exigence de la FCM pose des problèmes particuliers :

la capacité de se mouvoir seul au sol. Le premier prototype est utilisé pour essayer un train équipé de chenilles motorisées de Messier Hispano à la place des trois diabolos. Mais ce système s'avère complexe, lourd, peu fiable et très coûteux, ce qui provoque son abandon. De nouveaux essais sont effectués



Figure 71 - Puma SA 330 n°06 avec train Dop Precimo et pales repliées (photo CEV)

sur l'appareil de présérie 06 avec un train à 10 roues (2*4+2) DOP PRECIMO développé par la société ERAM : les roues motrices du train principal sont mues par des moteurs hydrauliques et le train auxiliaire est équipé d'une barre de franchissement. Cette solution est également refusée après des essais en situation réelle. Une dernière tentative est faite avec un train avant motorisé. Sur proposition de la DTCA, ce n'est que le 9 janvier 1969, en 7^{ème} commission de modification, que cette exigence est abandonnée par l'EMAT avec regret en raison des dépenses engagées. La définition revient à un train classique de Messier, rétractable, ce qui est novateur sur les hélicoptères.

Après les essais menés par le constructeur et le CEV sur les appareils de présérie, le STAé peut constater que les spécifications sont atteintes en mars 1967, à l'exception du train automoteur, ce qui lui permet de figer la définition et permet au Service de production aéronautique de lancer la fabrication série. Le MoD/PE qui suit le développement décide d'acquérir le SA 330 dans le cadre du MOU de 67.

Un nouvel appareil de présérie est commandé pour les besoins britanniques (SA330 E n°08). Son premier vol a lieu à Marignane (F-ZJUX) le 30 juillet 1968, puis il rejoint en octobre l'usine Westland à Yeovil et les centres d'essais en vol outre-manche avec une livrée camouflage (XW 241).



Figure 72 - Essai de givrage devant la grille du NRC à Ottawa
(photo CEV)

Un appareil de présérie sera mis en août 1968 à disposition du groupe d'expérimentation de l'ALAT de la STAT. Ce groupe créé en octobre 1957 sur le site de Satory à côté de Versailles, sera positionné ensuite sur la base de Valence-Chabeuil¹⁷ à partir du 1er septembre 1967. Il permettra de réaliser les essais dans des conditions de plus en plus proches des conditions opérationnelles dans la vallée du Rhône ou dans le Vercors, voire dans les Alpes. Le second

Puma arrive en février 1969.

Les principales avancées technologiques du développement du Puma sont les suivantes :

- pour la cellule, une utilisation massive d'alliage d'aluminium dans la structure travaillante ;
- une aérodynamique améliorée avec la forme avant du cockpit et l'utilisation d'un train d'atterrissage escamotable : la roulette avant dans le caisson avant et les trains principaux dans des carénages profilés ;
- un système de suspension de la BTP/MRP par platine en titane appelée « barbecue » qui permet de réduire fortement le niveau vibratoire en cabine et sera utilisé sur bien d'autres hélicoptères ;
- le mât rotor à quatre bras assemblé autour d'une pièce matricée de grande dimension ;
- une technologie de train d'atterrissage développée par Messier qui est adaptée aux contraintes spécifiques à l'hélicoptère (terrain non préparé, autorotation, masse et encombrement faibles...) ;

17 Et deviendra le groupement de l'aviation légère de l'armée de terre de la STAT le 7 février 1972 puis le groupement aéromobilité GAM STAT en 1987.

- un pilote automatique performant le PA 127 (SFIM et Newark) puis le PA212 (SFIM) de type électro-hydraulique qui associe autorité limitée et « transparence », permet une reprise en main aisée et possède un système de passivation de pannes. Les qualités de ces PA ont permis la qualification « vol sans visibilité » ;
- un turbomoteur à turbine libre développé par Turbomeca, leader mondial de ce type de moteur ;
- les pales et entrées d'air peuvent être équipées de dégivrage électrothermique. Ces aménagements feront du Puma le premier hélicoptère tout temps.

En application du MOU de 1967, le comité directeur met en place l'organisation de la fin du développement et de la production des Puma en France et au Royaume-Uni.

Les essais officiels des Puma français se font au CEV, ceux des Puma britanniques se font à Boscombe Down, à l'AAEE (Aviation and Armament Experimental Establishment). Des vols sont également réalisés à Middle Wallop (Army Air Corps) pour l'expérimentation opérationnelle et pour la formation des pilotes.

Au Royaume-Uni, le premier appareil construit par Westland à Hayes fait son premier vol le 25 novembre 1970 et les livraisons commencent pour la RAF début 1971. Ils sont identifiés SA330 E et désignés aussi Puma HC MkI. Les deux premiers Puma sont livrés à la Royal Air Force en janvier 1971 à la base d'Odiham pour l'entraînement du 33^{ème} Squadron.

Le comité directeur traite de l'ensemble des appareils du MOU, il s'appuie sur les commissions de modifications et les réunions techniques franco-britanniques qui permettront de garder la cohérence technique entre les appareils. Sur le plan industriel, les services techniques mettent en place le suivi des pièces vitales en liaison avec les Services de surveillance en place chez les industriels. Le comité directeur veille à conserver un double

approvisionnement sur l'ensemble des pièces fabriquées. Il faut rappeler que l'État était propriétaire de la définition, des plans et des outillages de fabrication. Ces réunions techniques et commissions locales de modifications se poursuivront tout au long de l'utilisation des appareils par les armées françaises et britanniques et permettront d'échanger sur les problèmes en service, les évolutions prévues et de garder le maximum de définition de base commune.

3. Les développements ultérieurs

Les premières corrections concernent d'une part le porteur et, d'autre part, la motorisation. Les CLM franco-britanniques se poursuivront bien au-delà de l'an 2000 et étudieront plus de 1 000 modifications communes ou non.

Sud-Aviation s'engage rapidement dans un programme de diversification des versions pour les adapter aux besoins des clients potentiels militaires ou civils qui se montrent particulièrement intéressés par les capacités de ce nouveau venu.

La motorisation

Le moteur Turmo IIC4 ne subira pas d'évolution majeure sur les appareils État, mais quelques évolutions seront faites pour les besoins du marché civil ou export. Le premier vol de la version 330C, équipée de moteurs Turmo IVB de 1 030 kW pour des clients export militaires est réalisé en septembre 1968 sur l'exemplaire de série n°1001. C'est la force aérienne portugaise qui sera le premier client de cette version. Le premier vol de la version civile SA 330F est réalisé le 26 septembre 1969 sur l'exemplaire de série n°1007. La certification de l'appareil intervient le 12 octobre 1970 pour une masse de 6,4 t. C'est le premier appareil à obtenir un certificat de navigabilité de transport public catégorie A. Il obtiendra quelques mois plus tard la certification FAA en catégorie transport A et B.

En 1973, le Puma 330G équipé de deux Turmo IVC (1 160 kW) est certifié (PMC : 960 kW – PMD 1 115 kW). Les entrées d'air sont dégivrées par de l'air chaud soufflé et une grille amovible protège de l'ingestion de glace ou de sable. Cette version est principalement destinée à l'export militaire. La dernière version certifiée civile le 29 avril 1976 à la masse maximale de 7 400 kg a été le SA 330 J.

Les entrées d'air polyvalentes sont développées. Elles sont constituées de petits vortex permettant d'éliminer le sable et la glace et, ainsi, de protéger les moteurs. Un nouveau moteur, le Makila, est développé par Turbomeca, permettant de réduire la consommation spécifique. Mais cette nouvelle motorisation ne sera pas retenue par l'État français. Elle le sera sur quelques appareils militaires export. Le moteur Makila 1A1 sera installé sur les Puma de la Royal Air Force en 2012 avec d'autres modifications (*glass cockpit*, moyens radio et autoprotection). Cette modification prévue initialement sur trente appareils a été appliquée à vingt-quatre appareils. C'est la version Westland Puma HC Mk2.

La cellule / les parties mobiles

La cellule du Puma est constituée de cadres et de panneaux travaillants. Après le lancement de la série, il convenait de mettre en place les essais permettant d'anticiper les défauts structurels pouvant apparaître en fatigue. Le STPA fait réaliser des essais de fatigue au Centre d'essais aéronautiques de Toulouse sur une cellule équipée de vérins reproduisant les efforts structuraux. Les charges appliquées sont déduites des mesures effectuées au cours des essais en vol lors du développement ou en exercice opérationnel. Pour les zones de fortes contraintes identifiées au cours de ces essais de fatigue, des modifications sont apportées par le constructeur et intégrées au cours de la fabrication ou sous forme de kits de modifications à appliquer en maintenance. Ces essais dureront plusieurs années.

Le Puma est équipé d'un point de structure renforcé permettant de lever des charges de 1 500 kg à l'élingue (armement, bâches de ravitaillement carburant et grappes de commandos).

Des essais sont aussi menés dans une installation unique en Europe sur une cellule de Puma pour identifier les effets du foudroiement. Ces essais permettent d'identifier les points d'impact de la foudre et d'améliorer la protection des circuits et équipements.

En 1976 après un long développement sur les matériaux et les résultats obtenus sur la Gazelle, les pales en fibres de verre seront montées en série. En plus de la réduction de masse, la technologie permet d'obtenir des profils variables en fonction de l'envergure et une anisotropie structurale qui améliorent le rendement du rotor. Elle permet également de supprimer les systèmes de surveillance (BIM – Blade Inspection Method) chargés de déceler des fissures sur les longerons métalliques (par mesure de la pression de l'azote remplissant ces longerons). Le rotor anticouple en composite est également validé. Ces nouveaux matériaux ont permis de porter la masse maximale à 7 400 kg. L'utilisation de ces matériaux composites apporte des durées de vie illimitées, une meilleure tenue aux projectiles (12,7 mm). Des solutions spécifiques de détection de défauts (taping, ultrasons) et de réparations sont développées par le constructeur.

Quelques problèmes se posent toutefois avec ces pales plus légères et plus souples. D'une part, il faut refaire les diagrammes hauteur-vitesse et tenir compte de la plus faible inertie du rotor et, d'autre part, refaire des campagnes d'appontage car, à faible vitesse du rotor, dans les turbulences aérodynamiques du pont et les mouvements de plate-forme, les pales s'approchent plus près de la poutre de queue. Les appareils de l'armée de l'air et de l'ALAT qui seront modernisés avec des pales en composite se dénommeront ultérieurement SA330 Ba. Cette technologie permet aussi de fiabiliser le système de dégivrage de pales principales dont les essais se poursuivent dans la soufflerie S10 au CEAT sur les performances des profils givrés et dans les caissons de givrage du centre d'essais des propulseurs

(CEPr) sur les profils de pales et sur les entrées d'air. La version civile SA330J est certifiée le 25 avril 1978. C'est le premier hélicoptère certifié tout temps du monde occidental. La voie est ouverte pour un succès dans la desserte des plates-formes pétrolières.

En collaboration avec l'Onera, des essais sont menés en soufflerie au CEAT sur des protections métalliques de bord d'attaque de pales déformées par la grêle, la pluie ou l'érosion, ou sur des bandes de protection polyuréthane à coller pour éviter ces phénomènes, afin de quantifier la diminution des performances aérodynamiques des pales. À partir de 1976, les développements conduits sur les appareils de présérie du Puma font partie du programme Super Puma décrit ultérieurement. En particulier, l'appareil de présérie 05, identifié 330Z (F-ZWWR), sera équipé d'un fenestron à 11 pales surmonté d'un empennage en T et d'un moyeu rotor principal Starflex, modifications qui ne seront pas adoptées par la suite.

En 1972 le CEV effectue le premier appontage d'un Puma sur le porte-avions Clémenceau. D'autres essais seront menés en 1977 sur d'autres bâtiments (porte-avions, porte-hélicoptères et TCD...). Des coupe-câbles canadiens de Magellan Aerospace¹⁸ sont montés en rattrapage avec des renforts structuraux sur les appareils dans les années 1990.

Des modifications sont développées sur les ensembles mécaniques afin d'améliorer fiabilité et coût de maintenance. L'introduction des systèmes Chadwick permet de faire des réglages plus précis et plus rapides de l'équilibrage du rotor et de réduire le niveau vibratoire. Des études et essais sont commandés par le Service des programmes aéronautiques (SPAé, héritier de l'ex-STAé) sur la tenue des pièces aux impacts de projectiles (essais de 12,7 mm sur les biellettes de pas). Des études sont également lancées sur les solutions de réparation de dommage de combat, permettant de faire des réparations d'urgence. Des plaques de blindages développées par Eurocopter et MS composites permettent de limiter la vulnérabilité de

////////////////////
18 Anciennement Fleet industry.

l'hélicoptère aux tirs d'armes légères près du sol. Des essais sont menés par le CEAT, le CELAR et le CEV pour déterminer les signatures infrarouge et radar du SA 330.

De nombreuses campagnes sont réalisées par le CEV, l'industriel et en associant souvent les utilisateurs, sur plusieurs continents pour vérifier les performances temps chaud, temps froid, altitude et sur plusieurs types de terrains. Il faut également signaler les retours d'expérience (Retex) faits avec les Forces suite aux participations dans les différents conflits. L'analyse des incidents et des quelques accidents font également l'objet d'expertises menées par le CEV, CEAT et le CEPr en liaison avec le Bureau enquête accident défense (BEAD), afin de renforcer en permanence la sécurité.

Les équipements

Il faut rappeler ici que les équipements principaux étaient achetés en équipements B, c'est-à-dire acquis directement par l'État auprès de l'équipementier (et du motoriste) et montés sur l'appareil sur la chaîne de production par l'hélicoptériste, les équipements C étant ceux achetés et montés par l'hélicoptériste. Les équipements de bord du Puma sont classiques. Les années 1970 sont marquées par l'introduction du numérique. Les premiers microprocesseurs font leur apparition dans les systèmes de pilotage et de navigation.

Pour les besoins SAR, EVASAN... des treuils pneumatiques ou hydrauliques peuvent équiper les Puma sur le côté droit du fuselage avec une capacité de 275 kg et des longueurs de câbles de 25 à 75 m.

Après les premières campagnes exploratoires de caméra infrarouge sur le Dauphin n° 1003 par le CEV Brétigny, les essais se poursuivent à partir de 1976 sur les premiers FLIR (*forward looking infrared*) avec le Cira (TRT) sur le Puma n°1251. Le Caïman a été le second matériel à être essayé. Mais le refroidissement du capteur nécessitait de disposer d'un réservoir d'azote liquide qui limitait l'autonomie et la fiabilité. Un FLIR US a également été

essayé : l'Aerojet. En 1992, un Puma est équipé d'une boule CHLIO pour la surveillance des jeux olympiques d'hiver à Albertville. Celle-ci sera utilisée sur les Puma SAR (*Search and Rescue*). L'arrivée des jumelles à intensification de lumière achetées par le l'État impose un chantier de modernisation de tous les équipements et de la planche de bord des flottes Puma (et Gazelle). La DGA organise avec la DCMAT une lourde noria pour traiter bas niveau de lumière (BNL) des milliers d'instruments, pratiquement sans impacter la disponibilité de la flotte.

En 1984 se déroulent les premiers essais de contre-mesures d'autoprotection. Les essais sont menés principalement au CEV à Cazaux avec les lance-leurres infrarouges Saphir et Eclair, les boîtiers d'alerte radar Sherlock et Fruit, les détecteurs de départ missile, les détecteurs d'arrivée missile (Damien), détecteurs d'alerte laser. Ils se termineront vers 2000 dans un chantier d'intégration réalisé par le département réparation d'Eurocopter (DERH) pour le détecteur d'alerte radar Sherlock et le lance-leurre Saphir A. Ces dispositifs sont facilement identifiables sur le nez de l'appareil et sur les ballonnets. Toutefois, pour des raisons budgétaires, tous les appareils ne sont pas équipés de ces équipements d'autoprotection.

Un Puma 330B emporte un radar Racine vers 1974 puis Orphée, prototypes de radar de surveillance du champ de bataille vers 1986 (ancêtre d'ORCHIDEE et d'HORIZON). Ces essais se font aussi sous Super Frelon 01 et 05. Le Puma a été le support de l'expérimentation ORCHIDEE qui débouché sur le programme HORIZON décrit ultérieurement.

Pour les besoins des atterrissages en campagne, sans infrastructures, des radars mobiles dans



Figure 73 - Super Puma HORIZON

des shelters sont développés par les services officiels. En 1977 débutent au CEV Brétigny les essais du système GCA de campagne sous fortes pentes ; 500 approches sont réalisées dans différentes configurations et par toutes conditions météo. Ce seront les radars Spartiate¹⁹ qui ont accompagné le Puma sur tous les théâtres d'opération.

Un complément de moyen radio peut être intégré dans la cabine pour faire du Puma un hélicoptère de commandement HM/PC et être au plus près des opérations en contact avec l'ensemble des Forces engagées dans la zone et les moyens éloignés (commandement, surveillance aérienne...).



Figure 74 - Puma Elint (photo CEV)

Une version du Puma dédiée à l'écoute électronique tactique (écoute des signaux radar) a été développée dans une configuration dite Hélicoptère technique Elint (HET). Un contrat DTCA avec Thomson RCM de 1983 a permis d'intégrer des antennes dans un puits mobile sous le cargo du Puma n° 1595. Des campagnes d'essais ont été menées par la section télécommunications du CEV Brétigny et ont donné des résultats tout à fait corrects. Ces

essais ont contribué au développement des nacelles d'analyse électromagnétique ASTAC (Analyseur de signaux tactiques) montées ultérieurement sur les avions d'armes (F1 puis Mirage 2000). Cet appareil a été mis en service à la fin des années 1980 dans l'armée de l'air à côté des Transall Gabriel à Goslar en Allemagne de l'Ouest. Après la chute du mur, cet hélicoptère rejoindra le CEAM de Mont-de-Marsan en 1992. Il a été remis au standard.

19 Système polyvalent d'atterrissage, recueil, transmission, identification de l'armée de terre

Il faut aussi mentionner deux Puma (version 330B) un peu particuliers dénommés : Carrousel et Arc de triomphe, qui, à partir de 1974, ont transporté le Président de la République et les plus hautes autorités de l'État pendant une quinzaine d'années.

Au Royaume-Uni, la version rénovée HCMk2 en 2012 intègre une avionique de type *glass cockpit*, des moyens radios sécurisés et des moyens d'autoprotection. vingt-quatre appareils seront modifiés pour repousser le retrait de service vers 2025. Cette version a terminé en juillet 2012 ses essais constructeurs et a été ensuite testée par QinetiQ à Boscombe Down.

Les armements

Les Puma ne sont généralement pas armés. Toutefois, une ou deux mitrailleuses (MAG 56) peuvent être installées en sabord. En termes d'armement lourd, peu de développements ont atteint une intégration opérationnelle. Un canon GIAT (devenu Nexter) de 20 mm peut être monté en affût sur une plaque d'inertie limitant les efforts sur la structure. Le Puma Pirate de l'ALAT avec son canon de 20 mm à une portée de 1 500 mètres, dispose d'une cadence de 700 coups/minute et emporte 4 x 240 obus.



Figure 75 - Puma 04 HECTOR : appareil de servitude pour canon de 30 mm en tourelle, au profit du Tigre (photo CEV)

Des Puma de servitude ont été utilisés pour préparer le programme Tigre. Il faut signaler en Roumanie, l'intégration de lance-roquettes et d'affûts quadruples de missiles air-sol sur le Puma SOCAT construit sous licence par

la firme IAR²⁰ à Brasov. Pour l'export, Aérospatiale étudia aussi l'emport d'un pod canon latéral et l'intégration de missiles AS 12.

4. La production et la maintenance

Production pour l'État français

Le premier contrat de production notifié par le Service de la production aéronautique commandait quatre-vingt-huit appareils. Il sera amendé pour en commander 130. Il faut rappeler ici que pour le Puma (comme pour la Gazelle), appareil développé sur financement étatique, l'État est propriétaire de la définition et des outillages de production puisqu'il les a financés. En conséquence, il a accès aux plans de fabrication et peut donc faire fabriquer les pièces élémentaires éventuellement avec ses outillages. Il était recherché, au moins pour les parties les plus importantes, une possibilité de double approvisionnement et le processus de fabrication des pièces vitales²¹ était suivi avec attention. Les plans et outillages sont gérés par le SIAR qui dispose d'une équipe en place dans les locaux de l'industriel. Il en était de même pour les moteurs et les équipements B.

Le premier appareil ALAT de série 330B sort des chaînes de Marignane le 12 septembre 1968 et, après vérification des performances finales par le CEV et la réception par le SIAR, il sera pris en compte le 13 mai 1969 par l'ALAT. La production monte rapidement en cadence (environ 30 appareils/an). La première série sera livrée jusqu'en 1977. cinq appareils seront livrés en 1980 puis sept en 1986. Le nombre total d'appareils pour l'ALAT sera de 153. Le 2 mai 1974, le premier des trente-huit SA330B destinés à l'armée de l'air lui sera livré. Au 1^{er} janvier 2013, l'ALAT mettait en œuvre quatre-vingt-trois

20 *Industria Aeronautica Romana*

21 Les pièces vitales sont des éléments de l'hélicoptère qui nécessitent une technologie et / ou un savoir-faire particulier. L'absence de maîtrise de ces pièces peut amener à des accidents ou à un arrêt de vol prolongé de la flotte.

SA 330 et le CEV en possédait quatre pour les besoins en essais. L'armée de l'air en avait vingt-quatre.

Pour la maintenance des appareils de l'État français, le SPAé confie la maintenance (entretiens majeurs-EMJ), les réparations importantes et l'entretien des outillages et des bancs à l'Aérospatiale (département entretien et réparation hélicoptère - DERH). Les nombreuses modifications sur l'hélicoptère sont introduites soit lors de visites périodiques dans les ateliers de la DCMAT ou lors des EMJ. Turbomeca est chargée de la maintenance NTI 3 des moteurs. Les services de la DCAé lancent les études et les modifications associées pour augmenter les pas de visite. Par exemple, entre 1970 et 2008, les Visites P2 passent de 300 h/12 mois à 500 h/26 mois et les visites d'entretien majeur type P4 passent de 1 200 h/8 ans à 6 000 h/15 ans. Pour les moteurs, le SPAé a préparé et contractualisé, au début des années 2000, le contrat d'entretien global des moteurs étatiques de 10 ans avec Turbomeca incluant les Turmo du Puma. Après une période de mise en concurrence des entretiens majeurs des Puma (Héli-Union, OGMA), la maintenance des Puma est finalement transférée à l'AIA de Cuers-Pierrefeu dans les années 2010.

Production pour le Royaume-Uni

Quarante-huit appareils sont construits pour la RAF par Westland sous la désignation Puma HC Mk1 (Puma 330 E). La série sera complétée par un appareil capturé aux argentins et six rachetés à l'Afrique du Sud en 2002. En 2009, la RAF met en œuvre trente-trois appareils au sein du 33 Squadron de Benson et du 220 Squadron d'Aldergrove.

Le 29 septembre 2009, le ministère britannique de la défense (MoD) a signé un contrat pour un montant de 220 millions de livre sterling (250 millions d'euros) avec le groupe Eurocopter, filiale d'EADS pour remettre à niveau vingt-quatre hélicoptères Puma. Ces Puma remis à niveau disposeront de nouveaux moteurs Makila 1A1, d'une avionique modernisée de technologie *Glass cockpit*, de systèmes de communication sécurisés, de systèmes d'au-

toprotection et d'un pilote automatique numérique plus performants. Les Puma passeront ainsi en version HC Mk2. Les appareils seront modifiés par Eurocopter UK, la filiale britannique du groupe, et les livraisons devront être terminées avant décembre 2014. Le premier dans cette version, qualifiée en juillet 2012, a été recetté fin 2012 par le MoD. Le MoD prévoit l'utilisation de cette dernière version jusqu'en 2025.

Autres productions

Dès 1969, les premières commandes export sont destinées au Portugal et à l'Afrique du Sud. Les Roumains d'IAR à Brasov construisent sous licence 165 Puma en version IAR 330L entre 1977 et 1991. Vingt-quatre ont été modifiés en version antichar SOCAT et trois en version navale. Onze appareils ont été produits par IPTN en Indonésie. L'industriel Denel/Atlas en produit cinquante sous licence en Afrique du Sud sous la désignation Oryx avec des moteurs Makila et une nouvelle avionique. Environ 700 Puma SA330 ont été construits par Aérospatiale (puis Eurocopter) jusqu'en 1987, laissant la place au Super Puma et au Cougar. Fin 2013 323 Puma SA330 sont encore en service.

5. Conclusion

Le Puma, dont les spécifications sont issues des besoins d'hélicoptères de transport datant de la guerre d'Algérie a connu, en raison de ses capacités initiales et des évolutions permanentes introduites pour l'améliorer, une brillante carrière dans les armées françaises et britanniques avec une participation systématique aux principaux conflits de la fin du xx^e siècle.

Il a été utilisé, en plus de ses missions initialement spécifiées, sur tous les continents pour des missions SAR, dans l'Offshore, lors d'activité de secours aux populations civiles ou en mode VIP. Il a obtenu en première mondiale des certifications dans des conditions de vols inusitées pour les hélicop-

tères (givrage, IFR, JVN.) Il a été construit sous licence par trois pays. Le retrait du service est prévu vers 2025 après 60 ans de service.

Cette remarquable épopée est le résultat d'un travail impliquant des relations étroites entre les services de la DGA, de l'industriel, des centres de recherche et des états-majors opérationnels.

III. LA GAZELLE

(Jacques Humbertclaude)

1. La situation dans les années 1960

Après le regroupement de SNCASO et de la SNCASE en 1957, l'industrie française de l'hélicoptère s'adapte pour produire des appareils en série à plus grande échelle et regrouper les moyens nécessaires aux nouveaux besoins qui sont principalement militaires, même si les nouvelles performances permettent d'envisager des débouchés civils.

La fin de la guerre d'Indochine et la guerre d'Algérie (1945-1962) ont constitué un terrain d'expérimentation pour l'utilisation militaire de l'hélicoptère : appareils de liaison, de reconnaissance, d'évacuation sanitaire, de transport et, avec l'augmentation des performances, les premiers armements ont été intégrés. Les capacités des hélicoptères en opération ont amené le ministère de la défense à créer l'aviation légère d'observation de l'artillerie (ALOA) en 1952 qui devient l'aviation légère de l'armée de Terre (ALAT) en novembre 1954 et l'État à soutenir l'industrie des hélicoptères. À l'époque, divers appareils sont en présence pour couvrir les besoins militaires de la reconnaissance.



Figure 76 - Bell 47 en Algérie avec brancard
(Photo internet « avions de la guerre d'Algérie » - article Jacques Moulin)

Le Bell 47

Le Bell 47 a été livré à partir des années 1950, principalement à l'armée de terre (quatre Bell 47D, trente-huit Bell G1 et quarante-neuf Bell G2), à la Marine (quinze pour la 58S) et à l'armée de l'air (36)²² (et, pour quelques unités, au CEV, à la Gendarmerie et à la protection civile). L'appareil, capable d'emporter deux passagers, pouvait être équipé d'une civière. L'ALAT comprend vite l'intérêt de disposer d'une

certaine puissance de feu à bord. Certains appareils de l'ALAT assurent des missions avec des tireurs équipés de fusils mitrailleurs ; des armements plus lourds sont envisagés. Fin 1959, le major général des armées interdit à l'ALAT de déployer des aéronefs armés car cette mission est dévolue aux

H-34 de l'armée de l'air. Mais un tir de SS 10 à partir d'un Bell 47 est réalisé au Groupement hélicoptère GH2 en 1960. Ce couple sera utilisé en opération contre des grottes.

Le Djinn SO 1221

Le Djinn est développé par SN-CASO. Le premier vol du prototype SO 1220 est réalisé le 2 janvier 1953 et celui de la ver-



Figure 77 - Djinn avec flottabilité en essai au CEV (photo CEV)

22  Reversés à l'ALAT

sion SO 1221 le 16 décembre 1953. C'est le premier hélicoptère national construit en série. Il est sustenté par un rotor à réaction : les gaz produits par un compresseur entraîné par un générateur Palouste de Turbomeca sont éjectés en bout de pale. Le SO1221 a une masse totale en charge de 800 kg. L'État commande douze appareils de présérie et 100 de série pour l'ALAT qui seront livrés entre le 25 octobre 1956 et le 18 novembre 1960. La production s'arrête en 1959 (180 exemplaires). Le Djinn sera utilisé pour l'observation, mais des essais pour l'armer sont rapidement envisagés puisqu'un missile SS10 (portée 500 à 1 600 m) est tiré le 16 juin 1954. Les Djinn seront réformés en 1972 après quelques années de stockage.



Figure 78 - Alouette II SE 3130 n°01 - essais de parachutage au CEV (photo CEV)

L'Alouette II

L'Alouette II est développée par SNCASE. Après un premier vol effectué en mars 1955, cet appareil a battu de nombreux records grâce à sa turbine Artouste IIC. Après les vols constructeurs, le CEV Brétigny constate les remarquables performances de ce nouveau prototype.



Figure 79 - Alouette II équipée de SS 11 (photo Norbert Forget)

À la fin de la décennie, une commande de l'État permet d'en livrer 230 à l'ALAT (176²³ en version SE 3130 avec moteur

23 Qui seront augmentés par 26 appareils cédés par l'armée de l'Air et 4 par l'Aéronavale.

Artouste et 54 SA 318C avec moteur Astazou), 139 à l'armée de l'air et 26 à la Marine. Le dernier appareil sera livré en 1972. L'ALAT l'utilise comme appareil d'observation, de liaison et de recherche/sauvetage. En raison de ses capacités, l'intégration des armements est facilitée et l'on teste différentes formules : mitrailleuse axiale ou en sabord (mitrailleuse AA52 calibre 7,5 mm) ou dans des pods, lance-roquettes de 37 ou 68 mm. Des essais de canon de 20 mm sont réalisés, mais les effets de recul et de chocs dans la cellule sont importants. Les essais de missiles antichar filoguidés sont concluants : le 1^{er} tir du SS 11 a lieu le 19 juin 1956. L'AS 11 (version air-sol du SS 11) a une portée comprise entre 300 et 3 000 m et perce 600 mm de blindage. L'intégration du missile suivant, l'antichar ENTAC²⁴, sera abandonnée. En opération, l'Alouette II armée sera chargée d'escorter les H-21C en zone de combat.

L'Alouette III

Chez l'industriel, les développements se poursuivent, toujours sous l'impulsion des services techniques de l'État. L'Alouette III fait son premier vol le 28 février 1959 (Jean Boulet et Robert Malus). Elle est équipée d'un Artouste III de 648 kW qui lui ouvre le domaine des vols en altitude. Sa cabine de sept places et son treuil en font un appareil polyvalent pour l'ALAT (quatre-vingt-six appareils) et également pour les autres utilisateurs de l'État (armée de l'air, Aéronavale, Gendarmerie, Sécurité civile, CEV). Comme pour l'Alouette II, de nombreux développements sont lancés pour les équipements radio, l'avionique et les armements.

Une Alouette armée désignée SE 3164 fera son premier vol le 24 juin 1964 avec quatre missiles SS 11 et un canon de 20 mm. Des essais sont menés avec le missile filoguidé SS 12-AS 12 (de portée 6 000 m et capable de percer des blindages de 800 mm). La route pour les hélicoptères lourdement armés est ouverte.

////////////////////////////////////
24 Nord Aviation qui développait l'ENTAC sous financement DTAT avait prévu de le monter sur Alouette, mais le projet fut abandonné.

L'utilisation des turbines (de Turbomeca) par Sud-Aviation (puis Aérospatiale) va permettre de diviser par quatre la masse spécifique par rapport aux moteurs à pistons et de réduire considérablement la maintenance tout en améliorant la fiabilité. Cette révolution est à l'origine du succès de l'Alouette III qui sera produite à près de 2 000 exemplaires dans le monde, dans sa version militaire comme dans sa version civile. Cet appareil ouvre de nouveaux horizons dans l'exploitation civile et de nombreuses variantes seront développées sur cette base. Devant l'augmentation des séries, Sud-Aviation regroupe au milieu des années 60 ses productions « hélicoptère » sur le site de Marignane et la fabrication des pales sur celui de La Courneuve.

Quelques briques technologiques sont développées sur les Alouette pour le futur hélicoptère d'observation :

- rotor quadripale sur Alouette, mais les vibrations sont élevées ;
- nouvelle tête rotor développée avec Bölkow ;
- équipements de bord spécifiques aux hélicoptères, pour le vol sans visibilité, système d'augmentation de stabilité, pilotes automatiques...
- fuselage caréné ;
- intégration d'armements canons ou missiles antichar filoguidés ;
- lunettes d'observation à fort grossissement et gyrostabilisés sur trois axes (issus des développements de la DTAT) ;
- pour la turbine, les motoristes mettaient des espoirs dans le moteur Oredon (330 kW visés), mais les résultats ne sont pas ceux attendus. Ce sera finalement l'Astazou qui sera monté sur l'Alouette II 318 et équipera la Gazelle avec ses 370 kW.

La plupart de ces évolutions sont financées par l'État.

Dès le début des années 60, la France et le Royaume-Uni décident d'une coopération dans le domaine aéronautique. Celle-ci se concrétise par l'accord de 1965 qui se décline ensuite pour les hélicoptères par l'accord de 1967. L'histoire de cette longue coopération fait l'objet du début du chapitre 5. Dans les années 60, les armées britanniques mettent en œuvre pour les missions d'observation les hélicoptères suivants :

- le Bristol 171 Sycamore, appareil de 2 360 kg, 4/5 places et un moteur de 404 kW ;
- le Bell 47 Sioux dont 50 exemplaires construits par Agusta (Army Air Corps et RAF) ;
- le Westland Dragonfly issu du Sikorsky S-51 (16 dans la RAF et 71 dans la Royal Navy) ;
- les appareils Scout et Wasp développés par Westland (1^{er} vol 20 juillet 1958) ;
- les Alouette II (17 dans l'Army Air corps).

2. Le développement initial de la Gazelle

La fiche de caractéristiques militaires pour un hélicoptère léger et rapide d'observation, rédigée par l'état-major, a pour principales exigences : une capacité de cinq places, des performances et une sécurité améliorées et un coût d'entretien plus faible. Les briques technologiques ont été étudiées grâce à l'aide financière de l'État, t en particulier par la DRME et le STAé. En 1965, Sud-Aviation lance le développement de cet hélicoptère polyvalent capable de couvrir et d'étendre le domaine des missions des Alouette : c'est le projet Sud X 300, qui allait devenir le SA 340.

Les avancées technologiques sont :

- une aérodynamique évoluée avec la forme en goutte d'eau qui améliore les performances ;
- une application à grande échelle des nouveaux matériaux composites dans les panneaux sandwich qui s'intègrent dans la structure métallique et dans les pales principales, matériaux qui simplifient la maintenance et améliorent la sécurité²⁵ ;
- un fenestron qui améliore la sécurité autour du rotor anticouple et réduit la puissance nécessaire à la vitesse de croisière ;

25 Il faut signaler ici l'accident du 6 novembre 1975 à Houston où, lors d'un vol, le rotor d'une Gazelle heurte la queue d'un avion Bonanza. L'avion s'écrase au sol et la Gazelle se pose malgré une extrémité de pale broyée.

- un train d'atterrissage à patin simple et robuste, adapté aux conditions d'emploi ;
- un moyeu rotor rigide, qui permet de réduire de manière significative le nombre de pièces, avec les pales composites, concept développé à partir de 1964 avec la société allemande Bölkow, (qui doit permettre de réduire les coûts et les temps de fabrication, faciliter la maintenance et améliorer la sécurité/défectabilité/vulnérabilité/survivabilité),
- un turbomoteur performant Astazou qui reprend la conception de la turbine de l'Alouette II avec une puissance plus élevée.

En application du MOU de 1967 le comité directeur met en place l'organisation de la fin du développement et de production des Puma en France et au Royaume-Uni. Pour le MoD britannique, il s'agit de remplacer les appareils anciens effectuant les missions d'observation, de liaisons et d'entraînement dans l'Army Air Corps, la Fleet Air Arm ou la Royal Air Force, la mission hélicoptère armé étant dévolue au Lynx en cours de développement.

L'accord franco-britannique de 1967 permet aux agences exécutives de faire converger des fiches de caractéristiques militaires initialement différentes vers des spécifications techniques proches. Une poutre cantilever permettra de monter les armements ou équipements spécifiques. Les développements et achats des équipements « B » (achetés par l'État) sont de la responsabilité de chaque État, mais certains équipements restent communs (ex : Doppler Decca).

Le premier prototype, la Gazelle SA340/001 décolle pour la première fois le 7 avril 1967 avec aux



Figure 80 - SA 340-001 avec le rotor anticouple de l'Alouette
© Photo DR/Airbus Helicopters

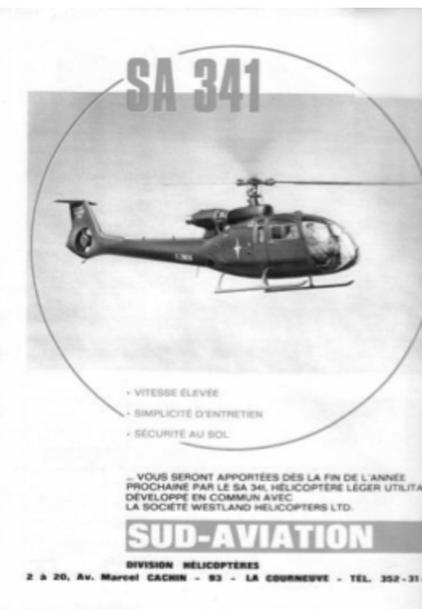


Figure 81- Gazelle avec empennage en T



Figure 82 - SA 341 01 avec flottabilité de secours gonflée (photo CEV)

commandes Jean Boulet²⁶ et André Ganivet. Le rotor anticouple et le moteur sont ceux de l'Alouette II. Le fenestron et le moyeu intégré rigide (MIR²⁷ issu de la technologie Bölkow 105) seront montés sur le premier prototype et sur le second (avec un empennage en T) qui fait son premier vol le 1er avril 1968. Le moteur est un Astazou II qui ne développe que 270 kW. Le moyeu rotor est remplacé ensuite par un rotor « non articulé en traînée » (NAT – brevet René Mouille) et l'hélicoptère prendra alors la désignation de SA 341.

De nombreuses modifications font évoluer la définition des appareils prototypes au cours du développement. Le moteur passera à la version Astazou III d'une puissance de 440 kW.

La construction des quatre appareils de présérie est lancée sous la désignation SA341. Le premier décolle le 2 août 1968 du tarmac de Marignane. Après les essais d'ouverture de domaine et de performances, la définition sera figée par le STAé à l'été 1969. La fabrication de série peut alors démarrer à Marignane et celle des pales en composite à La Courneuve.

26 Ingénieur (X), puis officier pilote dans l'armée de l'air, avant d'intégrer Sud-Aviation.

27 Le moyeu MIR avait été préalablement essayé sur l'Alouette II Astazou SA 3180 n°02 (voir photo dans le chapitre Alouette II)

Les turbomoteurs Astazou III sont achetés par l'État à Turbomeca qui les livre à la SNIAS.

Le 1^{er} appareil de série pour la France sort des usines et fait son premier vol le 6 août 1971. Le premier appareil en version AH Mk1 pour la Royal Army effectue son premier vol à Marignane quelques mois plus tard.

Grâce à une bonne coopération entre les industriels, les chaînes de montage à Yeovil chez Westland peuvent débiter la production pour le MoD. Le premier vol d'une Gazelle réalisée Outre-Manche a lieu en janvier 1972. Une cérémonie en présence de la reine d'Angleterre a lieu à Marignane le 18 mai 1972.

Comme pour le Puma, les essais officiels des Gazelle françaises se font au CEV, ceux des Gazelle britanniques se font à Boscombe Down, à l'AAEE (Aviation and Armament Experimental Establishment). Des vols sont également réalisés à Middle Wallop (Army Air Corps) pour l'expérimentation opérationnelle et pour la formation des pilotes.

Les vols de qualification se poursuivent pour ouvrir le domaine de vol avec le nouveau moteur Astazou III dont les essais au CEPr sont bien avancés. Le 13 mai 1971, c'est avec ce moteur que la Gazelle de présérie SA341-01 pilotée par un équipage constructeur (Prost et Besse) bat trois records internationaux de vitesse dans sa catégorie (E-1C) :

- vitesse sur base de 3 km : 310 km/h ;
- vitesse sur base de 15/25 km : 312 km/h ;
- vitesse sur 100 km en circuit fermé : 296 km/h.

À partir de 1973, les appareils de série sont livrés avec l'Astazou III à puissance augmentée à 478 kW à l'ALAT et à l'Army Air Corps (UK). La version civile SA 341 G, avec ASTAZOU IIIA, a été certifiée le 7 juin 1972 à la masse maximale de 1 800 kg. Le 11 mai 1973, une version équipée d'un moteur plus puissant, l'Astazou XIV de 640 kW prend l'air sous la dénomination SA 342 pour une

nouvelle campagne d'essai. La version civile SA 342 J, avec Astazou XIV H, a été certifiée le 27 avril 1976 à la masse maximale de 1 900 kg.

3. Les développements ultérieurs

La cellule

Les campagnes temps froid, temps chaud et altitude permettent de vérifier les performances dans les conditions extrêmes. Ils ont contribué à la commercialisation de la Gazelle aux quatre coins du globe. Ces campagnes ont été poursuivies au début des années 2000 avec la qualification de la SA342 M1Viviane²⁸ (temps chaud dans le sud de l'Espagne et temps froid en Nouvelle-Écosse au Canada).

D'autres campagnes ont été organisées pour démontrer les capacités d'apontage et de mise en œuvre sur des bâtiments de la Royal Navy (Royal



Figure 83 - Appontage de la Gazelle SA 341 1002 sur l'Engadine (photo CEV)

////////////////////
28 Gazelle équipée du viseur Viviane lui donnant la capacité de tir de nuit du missile antichar HOT (voir ci-dessous le § armement)

Fleet Auxiliary *Engadine*) et de la marine nationale (porte-hélicoptères, porte-avions, TCD...) qui seront fort utiles dans la mise en place pour la guerre du Golfe. Des essais au CTSN ont permis de vérifier qu'il n'y avait pas de risque à voler dans l'environnement électromagnétique du porte-avions.

Le CEAT à Toulouse, reçoit une Gazelle pour y subir des essais de fatigue, permettant d'identifier en avance par rapport au vieillissement de la flotte, les problèmes susceptibles d'apparaître sur les composants structurels. Ces essais démontrent rapidement la bonne tenue en fatigue des matériaux composites. Quelques criques sont identifiées sur les parties métalliques et les modifications sont introduites en chaîne de production ou en maintenance pour limiter les indisponibilités en utilisation. Des essais complémentaires sur de nouveaux cycles de vie seront réalisés dans les années 95 suite aux modifications Viviane sur une Gazelle fournie par le Royaume-Uni afin de vérifier que les contraintes liées à la masse du viseur et aux spécificités du vol tactique sont acceptables en fatigue.

Dans les années 1980, le CEAT procède également à des essais de foudroiement, permettant d'identifier les points d'impact probables, les effets sur les équipements et les techniques de protection.

Dans le domaine du givrage, le CEAT, en collaboration avec l'Onera, étudie en soufflerie (S10) l'influence des formes de givre sur les performances des profils de pale du rotor principal. Par ailleurs, un appareil complet a été essayé devant la grille de givrage du NRC à Ottawa. D'autres essais concernent les effets de l'utilisation de protections métalliques ou plastiques permettant de réduire l'abrasion des profils par les gouttes d'eau et par le sable. D'autres essais de filtre antisable (FAS) ont lieu sur le turbomoteur et ses entrées d'air dans les caissons d'altitude du CEPr avant d'être évaluées en vol.

Des essais sont réalisés pour étudier l'impact de munitions sur la structure (bielles de pas, MRP, BTP...) et d'autres pour vérifier l'effet de produits chimiques (opacification de la bulle...). Des mesures de la signature infrarouge et électromagnétique sont effectuées (CEV et CELAR) et des études

sont menées pour les réduire (déviateur-dilueur de jet). Suite à des essais au sol sur une voiture au CEV Brétigny dans les années 80, le SPAé teste et qualifie le système de couteaux (achetés au Canada) capable de couper des câbles électriques de près de 2 cm de diamètre. Les Gazelle seront équipées de ce dispositif par rétrofit à partir de 1990 ce qui entraîne la disparition des antennes Homing. Ce dispositif a permis d'éviter le crash de plusieurs Gazelle en vol tactique.

En 2001, la rupture d'un faisceau torsible du moyeu rotor sur deux appareils export entraîne la décision (toujours difficile) d'interdire de vol les Gazelle (françaises et britanniques) dans l'attente d'un contrôle méticuleux des pièces. Les appareils sont cloués au sol 10 jours, le temps de mettre au point avec l'industriel une procédure de contrôle. Un problème de corrosion interne est décelé, une modification est approuvée et la production de nouveaux faisceaux est lancée dans l'urgence pour limiter l'impact logistique sur la flotte.



Figure 84 - Gazelle expérimentale SA 349 Z (photo CEV)

Il faut signaler l'utilisation des Gazelle n°001 et 1201, sous la dénomination SA 349Z comme appareils de servitude pour tester de nouvelles technologies.

La motorisation

Le moteur Astazou continue aussi de s'améliorer sous l'impulsion du STAé/Moteurs. Depuis 1965, les essais sur des composants du moteur Astazou se succèdent

au CEPr de Saclay puis au CEV Istres jusqu'à la qualification du moteur Astazou XIVM. La Gazelle équipée de ce moteur devient la version SA342 M et sera livrée à partir de 1980 à l'ALAT. La puissance de 640 kW est désormais atteinte (+47 %). Ce niveau de puissance apporte des marges de sécurité

plus grandes, en particulier lors des vols tactiques, et permet d'emporter une charge accrue.

Des analyses sont faites sur les moteurs après absorption des gaz de combustion de missiles AATCP²⁹, pour vérifier qu'il n'y a pas de risque d'extinction ou de corrosion accélérée.

Dès 1980, Turbomeca fait voler à la CGTM une régulation électronique numérique à autorité totale sur une Gazelle, ce qui permettra, pour la première fois au monde, de certifier cette régulation pour des turbomoteurs civils.

Des mesures sur la signature infrarouge sont réalisées dans les centres d'essais en vol grâce à un moyen mobile du CEAT. Un dispositif appelé dilueur-déviateur de jet (DDJ) est développé par Eurocopter et testé en vol afin de réduire la signature infrarouge autour du moteur et du jet, l'air étant brassé par les pales. Des mesures de signature radar dans différentes bandes de fréquences sont réalisées par l'Onera et par le CELAR.

Des essais avec divers carburants sont réalisés, y compris des carburants russes (opérations en Afghanistan).

Les équipements

En 1975, la Gazelle est le premier hélicoptère à être certifié aux États-Unis IFR monopilote en catégorie I dans sa version SA 341G (version civile) grâce au pilote automatique SFIM PA 85G, au radar Doppler Decca et au Nadir dont les essais ont été réalisés

29 Air-Air très courte portée utilisant le missile Sol-air Mistral de Matra.



Figure 85 - Gazelle SA 341 G n° 1230 pour essais IFR (photo CEV)

au CEV Brétigny.

Pour les militaires, le radar Spartiate³⁰ (Ground Control approach - GCA) développé par la DTCA permet l'atterrissage en campagne sans visibilité grâce à un camion qui assure le guidage en l'absence d'infrastructures. Le CEV réalise plus de 500 approches avec ce système sur plusieurs types d'appareil. La Gazelle l'utilisera en tout temps et en tout lieu.

En 1978, le CEV tente de faire du vol tactique en formation à quatre appareils sur une demande de l'ALAT. La technologie n'est pas mûre et le projet abandonné, mais le PA85G de la Gazelle est modifié pour pouvoir assurer automatiquement la tenue du stationnaire. Ce sera en particulier le cas avec le coupleur de vol stationnaire (CVS) développé sur la Gazelle Viviane. Il permettra de réduire la charge de travail du pilote en vol de nuit, le copilote tireur étant accaparé par l'observation ou le tir du missile et cette phase de vol se déroulant près du sol. Comme pour le Puma, l'arrivée des jumelles à intensification de lumière achetées par le SPAé impose un chantier de rétrofit de tous les équipements et de la planche de bord de la flotte.

Pour la guerre du Golfe, en 1990, le STPA développe en urgence des plaques de blindage amovibles permettant d'améliorer la protection des équipages vis-à-vis des munitions de petit calibre. À partir de l'analyse des derniers conflits, de l'évolution des systèmes sol-air et de celle des performances des missiles, des systèmes d'autoprotection sont développés au cours des années 1990 puis intégrés au début des années 2000 : les lance-leurres Saphir (infrarouge) et les détecteurs d'alerte radar (DAR).

Le poste de radiocommunications tactique protégé PR4G, développé par la DAT et permettant la communication avec les unités de l'armée de terre au sol a été intégré dans la Gazelle au cours de chantiers de modification, principalement à l'occasion de « grandes visites ». D'autres moyens radio ont été ensuite intégrés dans une baie radio spécifique pour que quelques

////////////////////
30 Système polyvalent d'atterrissage, Recueil, Transmission, identification de l'armée de terre

Gazelle puissent avoir une capacité de poste de commandement (HL/PC). L'appareil posé au sol, une antenne est déployée sur le côté de l'appareil. Le chantier était réalisé par l'AIA de Clermont-Ferrand.

Les armements

Les mitrailleuses et le canon

Un canon de 20 mm, de 1 500 m de portée, a été développé par la DTAT (qui deviendra GIAT), à partir de 1962, à la demande de l'armée de l'air. Celle-ci souhaitait un canon à faible recul. L'armée de terre se rallie au programme en 1963 en demandant un système de double alimentation. Mais le développement rencontre des difficultés telles que l'armée de terre quitte le programme le 21 octobre 1969. Elle revient sur sa décision à la fin des années 70 en raison de la présence d'hélicoptères soviétiques fortement armés sur les théâtres extérieurs (Mi 24 au Tchad). L'arme sera finalement adoptée par l'armée de terre en 1986 pour être montée sur la Gazelle.

Une tourelle escamotable Minitat d'Emerson Electric avec une Minigun de General Electric (multitube de calibre 7.62 mm - 6 000 coups/mn) a également été expérimentée à cette époque par le CEV puis par la STAT de Valence sur une Gazelle, mais sans suite opérationnelle.

En décembre 1976, reprenant l'idée imaginée sur l'Alouette, des essais sont réalisés avec deux paniers Matra équipés chacun de deux mitrailleuses AA52. Cette solution est aussi abandonnée en raison de la trop grande dispersion des impacts.

Le STPA et le STTE collaborent pour assurer le montage du viseur T200 de Sextant en 1989 qui apporte des capacités de tir air-air en permettant le pointage du canon qui peut débattre en azimut. Les essais sont réalisés au CEV Cazaux. Le montage série sera réalisé à l'AIA de Clermont-Ferrand. Ce canon a été utilisé de façon intensive lors de la guerre du Golfe en 1990 et

dans les conflits qui suivirent. Cette version canon sera retirée du service en mars 2014.

Les lance-roquettes



Figure 86 - Gazelle SA 341 F n°1255 Aérospatiale avec panier lance-roquettes Matra (photo CEV)

L'installation d'un panier lance-roquettes a été étudiée sur le côté gauche de la Gazelle, le côté droit étant utilisé pour l'export du canon M621. Cette solution sera rapidement abandonnée après quelques vols.

Des essais de lance-roquettes ont été réalisés par le CEV Cazaux. Les derniers essais avec le système TDA Brandt Multidart permettaient, par une judicieuse temporisation, de créer un mur dans l'espace. Le développement de ce système n'a pas été poursuivi sur Gazelle, mais ces munitions équiperont le Tigre.

Le système antichar HOT

Après quelques tentatives de monter le missile SS 11 sur les Gazelle de développement, cette solution est rapidement abandonnée au profit d'un nouveau missile en cours de développement. La DTAT travaille en effet depuis les années 60 au



Figure 87 - Gazelle SA 342 L n°1185 avec panier lance-roquettes (essais CEV pour version export)(photo CEV)

développement du missile anti-char filoguidé franco-allemand HOT (haut subsonique optiquement téléguidé), successeur des célèbres SS 11 et SS 12 et difficile à brouiller.

Le STAé assure le développement de la Gazelle version 341M pour le tir du missile HOT avec viseur de toit APX 334 (viseur développé par la DMA pour l'AS11/AS 12 pour l'export) puis avec le viseur APX397 qui sera finalement retenu. Les essais se déroulent au CEV Cazaux et au camp de

Captieux sur des carcasses de chars. Les quatre missiles d'une portée de 4 km sont accrochés sur des affûts fixés sur le bras polyvalent, les équipements de guidage sont placés en place arrière et en soute.

En 1980, la version SA342M est en service dans l'ALAT équipée du système HOT avec le moteur Astazou XIV plus puissant. Une version avec deux fois trois HOT comme celle qui était développée en Allemagne sur le Bö 105 a été étudiée puis abandonnée. En 1990, soixante Gazelle HOT ont été engagées lors de l'opération Daguet pendant la guerre du Golfe.



Figure 88 - Tir d'un missile HOT de la Gazelle n°1458 (photo CEV)



Figure 89 - Gazelle SA 342 M © Photo Eric Gaba

Vers 1985, les progrès des caméras thermiques (et le retard du programme d'hélicoptère antichar) permettent d'envisager l'introduction de la capacité de tir de nuit du HOT à partir de Gazelle. La DAT lance le développement du viseur Viviane pour le tir HOT de nuit sur la base du capteur thermique Victor. Ce viseur, développé par la SFIM, intègre, outre la voie thermique, une voie optique et un télémètre laser. L'objectif est un viseur d'une masse de 65 kg. Mais après quelques années de développement par la division Missiles d'Aérospatiale pour le HOT (et le viseur SFIM) et d'intégration sur l'hélicoptère par la division Hélicoptères de l'Aérospatiale, le viseur aboutit à une masse de 78 kg dans un environnement vibratoire difficile. Devant les difficultés techniques calendaires et financières, l'ensemble des modifications d'armement³¹ de la Gazelle sont regroupées dans le programme « Capacités complémentaires Gazelle ». La décision est prise d'augmenter la masse au décollage de la Gazelle avec l'utilisation des pales Ecureuil. L'hélicoptère est qualifié, avec son nouveau rotor plus performant et la masse maximale portée à 2 100 kg sous la désignation SA342M1.

Les difficiles problèmes vibratoires sont réglés par l'utilisation d'une platine interface filtrante (câbles d'aciers enroulés).

31 Capacités complémentaire Gazelle : Gazelle canon (avec viseur T200, Gazelle HOT nuit avec viseur Viviane, Gazelle AATCP, et le simulateur de tir de combat Hélicoptère (STCH).



Figure 90 - Viseur jour/nuits Viviane sur Gazelle SA 342 M1 (photo MBDA)

Le développement se poursuit par les essais de caractérisation opérationnelle du viseur (détection/reconnaissance/identification - DRI) menés conjointement entre la DGA (CEV) et le GAM/STAT de Valence. Une vingtaine de missiles au total sont tirés à Cazaux et Captieux. Puis la Gazelle est évaluée en condition opérationnelle par la STAT au camp de Canjuers. Des essais de leurrage sont également effectués avec des phares. Les résultats sont plus que satisfaisants. Le passage aux pales Ecureuil bimoteur imposera de reprendre la mesure des performances de l'appareil et, en particulier, refaire le diagramme hauteur-vitesse en raison du changement d'inertie du rotor. Il faut aussi reprendre quelques essais sur porte-aéronef en raison de la souplesse accrue des pales.

Les premiers films réalisés en infrarouge thermique impressionnent par la stabilité de l'image et font de la Gazelle un bel outil de reconnaissance de nuit en permettant de détecter distinctement un homme à plusieurs kilomètres. Un écran de recopie de visée est étudié et intégré, permettant au tireur de regarder l'environnement du vol sans avoir l'œil rivé au bras

porte oculaire. La Gazelle Viviane démontre à nouveau ses capacités lors d'interventions en Afghanistan et en Afrique aux côtés du Tigre.

Le système HOT 3 est développé dans les années 2000 avec une charge modifiée qui permet de perforer des blindages réactifs et prend place dans les affûts sans modification.

Le système Air-Air Mistral

Le Mistral est au départ un missile sol-air très courte portée (SATCP : 5 km-mach 2.6) développé par la société Matra sur un contrat de la DGA pour la défense sol-air contre des aéronefs lents à basse altitude. Monté sur hélicoptère, il prend alors le nom de air-air très courte portée (AATCP). Il est analogue au missile Stinger, que les Américains tentent d'intégrer sur l'hélicoptère Kiowa et que les Allemands ont en projet d'adapter au Bö 105 et au BK 117.

L'EMAT envisage donc d'intégrer le Mistral sur la Gazelle. Alors que le programme de développement démarre, éclate la guerre du Golfe. Il prend alors la décision de lancer un « crash programme ». Le chef du département Hélicoptère du STPA (ICA Norbert Collo) sollicite l'industrie pour monter le Mistral en version simplifiée (montage CELTIC) compatible avec les délais. Un affût de deux missiles est monté sur le côté gauche du bras polyvalent et la planche de bord et la poignée du manche est modifiée en urgence. Le CEV réalise à Cazaux quelques tirs de développement afin de vérifier un domaine de tir restreint et les trajectoires relatives du missile



Figure 91 - Gazelle « Crash programme » CELTIC (guerre du golfe 1990)
(photo MBDA)

et de l'éjecteur (masse de l'ordre du kilo). Suite à ces essais restreints mais concluants, quatre Gazelle sont équipées avant leur départ pour le Golfe.



Figure 92 - Gazelle SA 342 n°2049- Tir AATCP au CEV à Cazaux(photo CEV)

L'urgence opérationnelle étant passée, les matériels sont déposés et le développement du système AATCP définitif reprend au début des années 1990. Les paniers lance-missiles contiennent deux Mistral équipés d'auto-directeurs infrarouges qui permettent le « tire et oublie » : dès que le missile est parti, l'hélicoptère peut dégager pour se remettre à l'abri. Au cours des premiers tirs, les essais et les simulations montrent que la trajectoire du missile peut atteindre une flèche négative de plusieurs dizaines de mètres. Ce passage du missile sous la ligne droite joignant le tireur et le tiré pouvait être rédhibitoire dans certaines conditions de vol à proximité du sol. Avec le CEV, une solution est trouvée en provoquant un décalage temporaire du réticule du viseur T200. Le cabré de l'appareil à basse vitesse est suffisant pour éviter la flèche. Les tirs sur cibles Fox ou sur CT 20 se succèdent au CEV Cazaux et les derniers tirs ont lieu sur des Alouette retirées du service et

posées sur une plate-forme de 2 m de haut, le moteur tournant permettant d'accrocher l'autodirecteur du missile. Après l'impact, la cible semble intacte, mais la charge militaire déclenchée par la fusée de proximité a criblé de petits trous le réservoir et les équipements et provoqué la rupture des câbles de commande. Le dernier tir est réalisé de nuit à la portée maximale de 5 km. L'AIA est chargé de faire les quelques modifications sur les trente dernières Gazelle livrées en version 342 L avec un kit de modification fourni par Eurocopter. Vers 2005, ces Gazelle AATCP seront passées en version 342Ma avec l'application des pales Ecureuil.

Complément sur les armements

Dans les armements, il faut aussi mentionner l'empport d'une partie du drone CL-289 qui vient se fixer sur le bras polyvalent et permet de tester le système de reconnaissance de terrain ou le système de transmission du drone.

Côté MoD britannique, les Gazelle n'ont pas été armées à l'exception de quelques-unes d'entre elles, qui reçurent le montage en crash programme de paniers lance-roquettes SNEB de 68 mm et de mitrailleuses de 7,62 mm pour la guerre des Malouines (trois furent détruites au combat). Les Gazelle de l'Army Air Corps ont utilisé des viseurs de toit Ferranti AF532, certains pouvant être équipés de télémètres ou désignateurs laser.

Elles furent également utilisées à l'Empire Test Pilot School (école des pilotes d'essais du MoD) à Boscombe Down dans le sud de l'Angleterre. Il faut également signaler en Yougoslavie (qui construisait les Gazelle sous licence) l'intégration d'armements russes :

- lance-roquettes ;
- missiles antichar AT-3 Sagger (2*2) ;
- missiles antihélicoptère SA-7 Grail. Les études sont lancées en 1991 pour intégrer deux affûts de deux missiles pour la lutte antihélicoptère. Ce projet sera rapidement interrompu par l'éclatement du pays et la guerre qui s'ensuivit.

4. La production série et la maintenance

La Société nationale industrielle Aérospatiale (ex Sud-Aviation devenue SNIAS ou Aérospatiale puis Eurocopter) produit en série huit versions de Gazelle 341 et huit versions de Gazelle 342.

Les Gazelle produites pour l'État français sont réceptionnées en vol par le CEV puis acceptées par le service de surveillance industriel de l'armement (DMA/SIAR). Les appareils peuvent alors être pris en charge par l'ALAT.

- 171 Gazelle en version 341F sont produites et livrées entre 1972 et 1977, soixante-sept seront équipées ultérieurement du canon puis du viseur T200. Certaines sont équipées de HOT en attendant l'arrivée de la 342. La production de la Gazelle SA341 prend fin en 1977 avec plus de 600 appareils sortis des chaînes.
- 161 Gazelle 342M sont réceptionnées et livrées à l'ALAT à partir de février 1980 jusqu'en juillet 1988, dont soixante-dix seront transformées en 342M1 version HOT nuit, avec pales Ecureuil et livrées à l'ALAT à partir de 1998, en grande partie par l'AIA de Clermont-Ferrand.
- les trente dernières, désignée 342M L1, seront livrées entre mars 1989 et janvier 1991 avec une avionique bas niveau de lumière BNL, pour être adaptées en version AATCP à partir de 1996.

Les services de la DTCA, puis ceux de la DCAé qui leur ont succédé, ont établi des listes de pièces de rechange ainsi que la nomenclature Otan (NNO) des pièces de rechange de la Gazelle, de ses équipements et de ses armements. La documentation, du manuel de vol aux manuels d'utilisation ou d'entretien des équipements et des armements, a été validée par la DGA avant sa livraison à l'ALAT. Les outillages et les conteneurs de transport ont fait l'objet de tests environnementaux sévères dans les centres de la DGA, en particulier pour assurer la sécurité des munitions.

La maintenance (grandes visites) des cellules et des moteurs est organisée dans les ateliers industriels de l'aéronautique de Clermont-Ferrand et de Bordeaux (DMA puis DGA, puis EMAA/SIAé). Clermont-Ferrand assure aussi

la maintenance de quelques équipements. La DGA a notifié les contrats de réparation dans l'industrie avant que cette tâche ne soit confiée à la SIMMAD. Il faut rappeler que les études ont été lancées par le STPA, puis le SPAé pour augmenter les pas de visites par analyse : des résultats des essais de fatigue du CEAT, des analyses des spectres de vols et des mesures d'accéléro-compteurs montés sur quelques appareils. Cette approche permet de réduire le coût global en minimisant le risque.

La DGA développe avec l'industrie un entraîneur de pilotage et système d'armes EPSA en 2009 (en remplacement des LMT) avec simulation du vol sous JVN. Un entraîneur didactique interactif de tactique hélicoptère (EDITH 3) est mis en service en 2008 sur une commande DGA à TTS.

Les Gazelle sont progressivement retirées du service opérationnel, certaines ont retrouvé une nouvelle vie à l'école de Dax pour la formation des pilotes de l'ALAT. En 2002, la DGA prépare le contrat à financement innovant pour remplacer les Gazelle qui assurent la formation des pilotes de l'ALAT à DAX. Les Gazelle sont alors progressivement remplacées par des EC 120 qui appartiennent à la société de formation HéliDax. Début 2001, le parc de l'ALAT comportait 155 Gazelle 341F, 115 Gazelle 342 M et 70 Gazelle 342M1. En 2015, seules les Gazelle 342 Viviane et AATCP sont toujours en service dans l'ALAT et sont encore largement utilisées sur les théâtres extérieurs aux côtés du Tigre.

Au Royaume-Uni, Westland Helicopters aura produit 295 appareils, dont :

- 212 SA 341B – Gazelle AH Mk1 pour l'Army et le Marine Corps ;
- 40 SA 341C – Gazelle HT Mk2 pour la Navy ;
- 30 SA 341D – Gazelle HT Mk3 pour la RAF ;
- 1 SA 341E – Gazelle HCC Mk4 pour la RAF ;
- 12 appareils civils, dont deux pour la police du Qatar.

La licence a été concédée à l'Égypte (Industriel : Arab British Helicopter Company -ABHCo) qui assembla une centaine de SA 342 dans 3 versions : la version M équipée de missiles antichar HOT, la version L équipée d'un

canon de 20 mm et la version K pour la patrouille maritime. La Yougoslavie, après avoir acheté une trentaine de SA 341, acheta la licence en 1982. La société Soko à Mostar en produisit environ 200 jusqu'à l'éclatement du pays. Certaines d'entre elles ont intégré le missile antichar soviétique AT3 Sagger puis un engin air-air SA7 Grail destiné à la lutte antihélicoptère. La guerre en Yougoslavie a mis fin à cette production.

La DMA, puis la DGA, ont facilité la vente à l'export (procédures CIEEMG³², présentation par le CEV, attachés d'armement, réception des appareils par le SIAR et le CEV), mais n'ont pas participé aux développements des armements de l'Égypte ou de la Yougoslavie.

La majeure partie des Gazelle fut destinée aux Forces armées (France, Royaume-Uni, Yougoslavie, Égypte, Tunisie, Maroc, Koweït, Irak, etc.) en version armée comme en version reconnaissance ou transport VIP, mais elle connut aussi un succès limité dans les milieux civils. La Gazelle vole dans cinquante-sept pays. Elle participa à de nombreux conflits sur tous les continents où elle a pu démontrer ses performances et son adaptabilité à toutes sortes de conditions climatiques ou d'altitude. Au total, 1 269 Gazelle ont été construites en France, 295 au Royaume-Uni, plus de 200 construites sous licence. Fin 2013, 681 Gazelle sont encore en service.

5. Conclusion

Aujourd'hui, qui se rappelle encore que son nom Gazelle SA 341 ou SA342 conserve dans le sigle SA la trace de ses origines chez Sud-Aviation ?

La Gazelle a été une très belle réussite technique et industrielle. Ce programme réalisé en coopération, s'est déroulé sans incident majeur alors que les besoins initiaux des pays coopérants étaient différents. Chacun ayant pu sur une même base faire évoluer sa définition en fonction de ses

////////////////////////////////////
32 Commission interministérielle pour l'étude des exportations de matériel de guerre.

besoins. Un hélicoptère rapide d'observation est devenu en quelques années un appareil antichar efficace, même de nuit, et le premier hélicoptère opérationnel équipé de missiles air-air, préparant les technologies mises en œuvre avec le Tigre.

La Gazelle est reconnaissable extérieurement par sa forme particulière en goutte d'eau, son fenestron et son train à patins. Elle se caractérise aussi par des avancées moins visibles : l'emploi des matériaux composites, des équipements et armements novateurs. Elle a démontré les progrès attendus en termes de sécurité, de performance, de robustesse et d'économie en maintenance. Ces avancées conçues dans les années 65 et suivantes ont été largement reprises ensuite sur une grande partie de la gamme du constructeur comme l'Écureuil, le Dauphin, le Tigre et le NH 90.

Il y a maintenant plus de 45 ans que la Gazelle a fait son premier vol et elle a participé à tous les conflits où l'ALAT a été impliquée (Irak, Kosovo, Afghanistan, Côte d'Ivoire, Tchad...). En mai 2011, lors de l'opération Harmattan en Lybie, un détachement d'hélicoptères composé de dix-huit hélicoptères de l'ALAT (huit Gazelle Viviane HOT, deux Gazelle Canon, deux Gazelle Mistral, deux Tigre et quatre Puma) a été embarqué à bord du BPC *Tonnerre*³³ pour mener des opérations principalement effectuées de nuit. Dans les armées étrangères, les Gazelle syriennes ont détruit trente blindés israéliens en 1982. Pour le Royaume-Uni, elle s'est illustrée dans la guerre des Falkland/Malouines, pendant la guerre du Golfe, dans l'intervention au Kosovo et pendant la guerre d'Irak. Une carrière remarquable qui a démontré ses capacités d'adaptation à l'IFR, au vol de nuit, aux systèmes nouveaux d'autoprotection et a pu intégrer les nouvelles capacités des missiles.

Pour l'ALAT, elle a permis d'améliorer et de sécuriser le vol tactique, l'utilisation en vol de nuit sous jumelles de vision nocturne, de se familiariser avec l'emploi de caméras thermiques performantes pour la recherche de personnes ou le combat antichar, de rechercher les meilleures conditions

33 Par ailleurs, 2 Caracal et 1 Puma ont été embarqués sur le *Charles de Gaulle*.

d'emploi des missiles air-air et des systèmes d'autoprotection. Par toutes ces évolutions qui se sont déroulées sur plusieurs décennies, elle a contribué à la conception d'hélicoptères de nouvelle génération comme le Tigre.

IV. LE LYNX

(Étienne Maurice, pilote d'essai au Centre d'essais en vol avec la coopération de l'officier en chef des équipages P. Meriot)

1. La genèse du programme

Au début des années 1960, la marine nationale lance le programme HELCOR : hélicoptère – corvette (corvette devenue plus tard frégate). En 1967, commence la construction des trois frégates F67 : *Tourville*, *Duguay-Trouin* et *De Grasse*, qui, selon le programme HELCOR, peuvent embarquer un hélicoptère, partie intégrante de leur système d'armes. La *Tourville* est lancée en 1972 et admise au service actif en juin 1975. À l'exception des porte-avions, la marine nationale n'a, jusqu'à l'arrivée des frégates F 67, aucun bâtiment capable d'embarquer des hélicoptères pour des missions de longue durée et a une expérience limitée d'un tel embarquement ; de plus, elle ne possède aucun hélicoptère capable de faire partie du système d'armes de la future frégate car le Super Frelon est un hélicoptère bien trop lourd pour se poser sur ce type de bâtiment. La marine nationale a, en 1967, un besoin d'hélicoptère embarqué de moyen tonnage destiné à armer les nouvelles frégates.

La Royal Navy se lance, à la même époque, dans les programmes des frégates type 21 (classe *Amazon*) et 42 (classe *Sheffield*), destinées, elles aussi, à embarquer des hélicoptères de moyen tonnage. La Royal Navy possède alors l'hélicoptère Wasp qui, mis en œuvre sur des petits bâtiments, lui a donné une certaine expérience de l'hélicoptère embarqué, mais le

Wasp reste un petit hélicoptère et la Royal Navy a besoin d'un hélicoptère mieux adapté au système d'armes de ses frégates.

L'Aviation légère de l'armée de terre (ALAT) française énonce un besoin d'un hélicoptère armé et l'Army Air Corps (AAC) britannique recherche un appareil de transport (*Utility*) de moyen tonnage. Il existe donc le besoin d'un hélicoptère embarqué, de moyen tonnage, qui pourrait également satisfaire, après quelques modifications, les deux armées de terre.

L'accord du 22 février 1967

Cet accord fait suite à l'accord plus général de 1965 où les gouvernements français et britannique ont décidé d'entreprendre en commun le développement d'aéronefs. Le 22 février 1967, est signé le programme commun d'hélicoptères où il est précisé « qu'il était faisable et à l'avantage mutuel des deux parties de collaborer sur les trois besoins d'hélicoptères ».

Ce programme commun prévoit le développement et l'achat par les deux nations de trois types d'hélicoptères :

- le premier : tactique et aérotransportable (SA 330 Puma) ;
- le deuxième : léger d'observation (SA 340 Gazelle) ;
- la troisième utilité : ASM, reconnaissance et antichar (WG 13 Lynx). Cet hélicoptère répond au besoin exprimé par la marine nationale.

Le programme commun d'hélicoptères est dirigé par le Comité directeur (Steering Committee), Amiral Illingworth et IGA Bousquet dans les années 70, assistés des représentants britanniques du Ministry of Defense/Procurement Executive (MoD P.E.) et des représentants français de la direction technique des constructions aéronautiques (DTCA). Ce Comité prend les décisions importantes et une agence exécutive gouvernementale est chargée de la conduite du programme, en particulier des relations avec les industriels et, notamment, pour la passation et le suivi des contrats. Pour le Lynx, l'agence exécutive est britannique (MoD P.E.).

Les deux premiers hélicoptères sont sous maîtrise d'œuvre Sud-Aviation et le troisième sous maîtrise d'œuvre Westland Helicopters Ltd et Rolls-Royce (Small Engine Division) pour les moteurs. Ce programme représente pour la société Westland un saut technologique important car elle n'a construit, jusqu'alors, que le Wasp et des appareils Sikorsky sous licence ; c'est aussi l'assurance de la survie de l'entreprise ! Quant à Sud-Aviation, elle s'assure un marché important pour le Puma et la Gazelle tout en contrôlant le créneau des hélicoptères embarqués.

Les prévisions de commande sont de cinquante-cinq en version ASM pour la France (quarante réellement commandés) et 185 en deux versions ASM et Utility pour la Grande Bretagne (234 réellement commandés). Le marché à l'exportation semble prometteur (quatre-vingt-douze achetés par différents utilisateurs comme le Danemark et l'Allemagne).

L'expression des différents besoins

Le premier impératif de ce nouvel hélicoptère est qu'il doit pouvoir entrer dans les hangars des frégates. Cela aura, par exemple, comme conséquence l'adoption d'une tête rotor très plate qui imposera la technologie du titane.

Le WG 13, pour la marine nationale et la Royal Navy, est un élément du système d'armes des frégates et doit pouvoir relocaliser la détection initiale par la frégate d'un sous-marin au moyen du sonar ou de bouées sonores ; l'attaque du sous-marin, relocalisé, doit être possible par torpilles ou grenades. Bien évidemment, cette mission ASM doit pouvoir se faire de jour, de nuit et par mauvaise météo ; ainsi, le harpon, aide considérable de sécurisation à l'appontage par forts mouvements de plate-forme, sera demandé par la marine nationale.

La Royal Navy, confortée par les conclusions d'un groupe d'exploration Otan sur les menaces « vedettes », demande la capacité ASR (antisurface) d'où la présence d'un radar, d'une lunette de visée et d'emport d'engins type AS 12. L'Army Air Corps exigeait que le WG 13 puisse décoller à la masse de

8 000 lbs sur un seul moteur ; cela aura des conséquences sur le choix des moteurs : le moteur Rolls-Royce BS 360-07 est choisi, entre autres raisons, parce qu'il couvre les exigences de cette performance. En 1969 la version armée du WG 13 est abandonnée car trop difficile et trop chère à développer.

2. Le développement des versions de base

Les différents besoins vont imposer la construction de cinq appareils prototypes et de huit appareils de développement dont un dédié à la mise au point du moteur, un à la version *Utility* et six aux diverses versions Marine et, parmi ceux-ci, deux en version marine nationale. Ces appareils donneront naissance à neuf versions (Mk1 à Mk9).

Le vol initial du premier prototype a lieu à Yeovil, le 21 mars 1971, avec comme commandant de bord Ron Gallatly, chef pilote de Westland Helicopters.

Deux sujets d'inquiétude et de difficultés apparaissent dès les premiers vols du



Figure 93 - Tir d'AS 12 du WG 13 05-04
(prototype pour la Marine française)

prototype : le niveau vibratoire et le moteur. Les comptes rendus des premiers vols effectués par les équipes d'essais du CEV au début 1972 sont sévères : le niveau vibratoire est difficilement supportable par l'équipage et la conduite des moteurs est délicate.

Le choix du rotor rigide, qui permet une réduction importante de la masse, un faible encombrement et un allègement de la maintenance, présente quelques inconvénients comme la difficile réalisation mécanique et est une source de vibrations importantes à moyennes et grandes vitesses.



Figure 94 - Deux prototypes Marine et armée de terre anglaises en vol de groupe

Un travail important a été réalisé par Westland pour améliorer le niveau vibratoire, amélioration confirmée par le CEV au cours de nombreux vols, mais le Lynx est resté un hélicoptère qui présente un niveau vibratoire élevé. Il semble que le coût élevé de la maintenance de cet appareil soit en relation directe avec ce niveau vibratoire qui diminue la durée de vie des éléments importants comme la poutre de queue.

Le moteur est du type modulaire de petite taille dont on attend quelques avantages comme la possibilité par l'utilisateur de faire des échanges standard de modules pré-réglés, d'utiliser du personnel ne possédant pas une qualification supérieure et une économie d'argent ! Cette modularité est très difficile à mettre au point et nécessite de nombreuses heures de bancs d'essais puis de vol.

Les qualités de vol même améliorées par le pilote automatique ne furent jamais excellentes ; le changement de sens de rotation du rotor arrière sera à l'origine de meilleures qualités de vol en lacet. La version marine nationale n'a pas reçu cette modification

Une habitude britannique dans le processus de développement est à souligner : la présence des futurs utilisateurs chez le constructeur. Ainsi, dès 1968, un détachement permanent d'officiers et de sous-officiers des armées britanniques est constitué sous le nom d'United Kingdom Service Liaison Group (UKSLG) et est installé à Yeovil. Ce groupe suit le développement de l'hélicoptère et rend compte à la Royal Navy de l'évolution du programme. La marine française détachera dans ce groupe un officier et deux officiers mariniers en 1971, ils rendront compte directement au Service central de l'aéronautique navale.

3. Le développement de la version marine nationale

Dès 1972, la présence d'un deuxième appareil de développement de la version marine nationale paraît indispensable et les deux appareils rejoignent Marignane à partir de 1973 où sont installés et mis au point les différents composants du système d'armes : radar OMERA ORB 31, sonar

Alcatel DUAV4, calculateur de navigation Crouzet associé à un radar doppler EMD.RDN 72 B. La participation du Centre d'essais en vol (CEV) et de la Commission d'études pratiques d'aéronautique (CEPA) est importante, le CEV permet aux différents industriels de mettre au point leurs équipements sur appareils de servitude et la CEPA apporte sa connaissance du milieu maritime et la technicité de ses spécialistes.



Figure 95 - Les premiers essais à la mer

Le premier Lynx de série est remis par l'IGA Bousquet à la marine nationale le 28 septembre 1978. En 2015, soit quarante-quatre ans après son premier vol, il est toujours en service sur les bâtiments de la marine nationale ; cet appareil est parfaitement adapté à sa mission et il faut noter qu'aucun accident grave dû à un défaut mécanique n'est, jusqu'à présent, survenu.



Figure 96 - Le 1^{er} Lynx français en service à bord d'une frégate de la Marine nationale.

4. Les « petites » histoires du Lynx ou le charme des relations internationales

Un programme en coopération, c'est souvent une confrontation de cultures différentes. Les comptes rendus qu'on en fait ne représentent que la partie émergée de l'iceberg. La véritable histoire, celle de tous les jours, vécue par les acteurs, est une succession d'aventures, quelquefois cocasses, parfois moins drôles, mais toujours enrichissantes pour les participants. Étienne Maurice, ancien chef pilote d'essais hélicoptères au CEV, évoque deux anecdotes qui illustrent les relations avec nos amis anglo-saxons.

Harpon ou not harpoon

L'hélicoptère Lynx avait été développé pour être mis en œuvre sur des bâtiments du type frégate ou corvette ; ces navires de taille moyenne roulent et tangent sérieusement par mer moyenne à forte et il était souhaitable que le Lynx Lynx puisse être mis en œuvre dans ces conditions de mer.

Le premier problème rencontré est la sortie du Lynx du hangar suivi de son maintien sur le pont qui peut être glissant ; il faut ensuite orienter l'hélicoptère dans le vent pour permettre un décollage dans de bonnes conditions. Le même scénario se reproduit à l'appontage.

Deux techniques se sont affrontées. La française consistait à équiper le Lynx d'un harpon qui, fiché dans une grille disposée au milieu du pont, mainte-



Figure 97 - Lynx à l'appontage

Le Lynx est en présentation sur le pont de la frégate Primauguet roues castorées et harpon prêt à se ficher dans la grille dès que le Lynx touchera le pont, au même moment le pilote appliquera le pas négatif.

nait solidement l'hélicoptère sur ce pont. Le transit hangar vers la grille se faisait par un autre système qui assurait le maintien de l'hélicoptère. Ces deux dispositifs avaient été inventés par les services techniques de la Commission d'études pratiques de l'aéronautique et donnaient entière satisfaction sur Alouette III.

Les Britanniques, toujours méfiants quand il s'agissait des inventions françaises, n'étaient pas du tout convaincus du besoin du harpon car, pour plaquer son appareil sur le pont le

pilote avait à sa disposition un pas « négatif ». Les deux parties tombèrent d'accord pour aller vérifier, *in situ*, le maintien du Lynx sur un pont en mouvement.

Nos amis d'outre-manche avaient imaginé et construit un «rig» qui, au sol, représentait un pont de petit navire avec ses mouvements de roulis et de tangage ; cela se concrétisait par un immense tas de poutres métalliques surmonté d'une petite plate-forme qui gigotait dans tous les sens, le tout situé devant un hangar, sur la base de Bedford.

Il fallait se poser sur cette plate-forme et espérer y rester sans glissement ! L'approche se faisait devant un obstacle fixe, le hangar, qui ne bougeait pas, tout en regardant la plate-forme qui bougeait : pilotage intéressant ! Une fois posé, toujours ce hangar fixe et l'hélicoptère qui jouait sur ses trains et quelques petits départs en glissade suivis de décollage en catastrophe.

Finalement, le harpon a été retenu, mais les Britanniques ont amélioré le système en inventant le *castoring* des roues : les roues des deux trains principaux ne sont pas dans l'axe mais décalées de telle sorte que, roulette avant à 90°, l'appareil pouvait tourner autour du harpon et venir dans le vent sans problème.

Le *castoring* posait le problème de l'autorotation³⁴ : les roues castorées ne permettent pas de rouler vers l'avant, or le poser en autorotation ne peut se faire à vitesse horizontale nulle. La démonstration du poser en autorotation a été faite par le futur contre-amiral Bertrand Aury à Boscombe Down, les roues labourant le sol !

Un Lynx en Amé- rique !

Les moteurs de l'hélicoptère Lynx avaient la mauvaise habitude de ne pas supporter une température élevée et il avait été décidé de vérifier, sur une base réputée pour sa chaleur estivale, l'intérêt des modifications apportées. Cette campagne d'essais commune avec nos amis britanniques allait se dérouler sur la base de l'US Navy d'El Centro



34 Manœuvre de poser en cas de panne moteur.

Figure 98 - « The last country before hell ! »

«*the last country before hell !*», proche de San Diego. Notre Lynx fut transporté en Californie par un Transall de l'armée de l'air à la plus grande joie de son équipage qui effectuait un voyage peu habituel. Après de nombreuses séances de vols stationnaires sous une chaleur étouffante où il fut vérifié que la température d'huile des moteurs ne dépassait pas les limites autorisées, il fallait s'assurer qu'en vol stationnaire au-dessus de l'eau cette température restait acceptable.

Après discussion avec le team britannique, il fut décidé que le voyage aller et le vol sur mer serait effectué par l'équipage français et le retour par l'équipage britannique. Je suppose que nos amis anglais, qui avaient encore plus de difficultés que nous à comprendre l'accent californien : « Étienne, tu comprends ce qu'ils racontent ? », nous avaient laissé ouvrir la voie. L'équipage français, composé de deux marins : A.Mazzenga et É.Maurice, arrive sur la base immense de San Diego et parquent le Lynx, entouré de centaines d'avions de l'US Navy. Un officier nous accompagne à bord d'une jeep à la station de lavage où nous devons passer après le vol pour « dessaler » le Lynx.

Nous partons en mer avec une très forte appréhension de passer au-delà de la frontière mexicaine et nous effectuons nos stationnaires entourés de tortues et de raies Manta. Au retour, se déclenche une histoire qui doit rester dans les annales de la base : le contrôle nous fait poser et veut nous envoyer à la station de lavage en roulant sur les taxiways. Il faut savoir que la roulette de nez du Lynx n'a que deux positions, dans l'axe et à 90° de l'axe, chaque changement de cap nécessite l'arrêt, la mise à 90° de la roulette, la prise du nouveau cap, « re-arrêt », remise dans l'axe et « re-départ ». La tour se demandait ce que nous faisons, à chaque virage, en essayant de nous expliquer le taxiway à prendre, d'autant plus que nous ne voulions pas suivre son indication qui ne nous paraissait pas conduire vers la station de lavage. Panique des deux côtés : les Français perdent leur anglais et la tour est obligée de détourner des avions en train de rouler sur les taxiways. Au bout de quelques minutes, une voix plus calme et plus anglaise qu'américaine ayant compris les caractéristiques d'une roulette

de nez européenne, nous demande de nous remettre en stationnaire pour nous guider, en translation lente, vers la station de lavage qui, bien évidemment, n'était pas celle indiquée au départ !

Au retour au parking nous attendait l'équipage britannique qui avait suivi, de loin, nos péripéties, «*Have you completed a good flight ?*».

Chapitre VI

LA COOPÉRATION FRANCO-ALLEMANDE : LE TIGRE

(Gérard Bretécher et Yves Gleizes avec la participation de François Lureau)



Figure 99- Tigre - version HAP

Pour la France et l'Allemagne, le Tigre a été le premier hélicoptère conçu exclusivement pour un usage militaire. Les services officiels des deux États ont pris une part prépondérante dans sa définition. L'histoire du programme Tigre est racontée, de façon naturelle et légitime, par quelques-uns des acteurs qui ont participé, au sein du ministère de la défense, à sa longue

gestation : les directeurs de programme de la DCAé en place depuis les débuts de la coopération (1974/75) jusqu'en 1996.

Cette histoire du Tigre décrit comment, en trois périodes successives – une genèse très conflictuelle, puis l'établissement des fondations et, enfin, une adaptation aux changements géostratégiques – le programme a atteint sa maturité.

On peut s'étonner que, dans les circonstances qui sont décrites, le programme ait été malgré tout mené à son terme. La coopération a finalement tenu grâce à la volonté politique très forte manifestée par quelques responsables de la défense dans les moments de blocage, et parce que c'était l'intérêt des principaux industriels. C'est aussi grâce à la compétence et l'énergie déployées par les équipes des services de l'armement et des armées. C'est, enfin, grâce à l'habileté, la compétence et l'adaptabilité des équipes de programme industrielles, qui ont réussi à proposer un objet répondant à tant d'exigences contradictoires.

Le programme a survécu à des changements géostratégiques majeurs, grâce à des adaptations judicieuses. En définitive, il peut être considéré comme réussi sur le plan technique, après des périodes difficiles de mise au point, et a donné satisfaction à ses utilisateurs dans plusieurs opérations (Afghanistan, Libye, Mali).

Il a donné lieu à une série modeste, malgré un élargissement de sa diffusion vers deux autres nations. C'est cependant un élément non négligeable de la coopération franco-allemande. Il a été le précurseur et le terrain d'expérimentation des intégrations industrielles réalisées avec Eurocopter et EADS. Enfin, pour plusieurs générations d'ingénieurs et techniciens du monde de la défense, et plus particulièrement de l'aéronautique, il aura été l'occasion d'une confrontation des cultures et, au final, d'un réel rapprochement entre les deux nations.

I. ORIGINE DU PROGRAMME

1. Contexte politique, militaire, industriel

L'origine du programme Tigre remonte au début des années 1970. La France disposait à l'époque d'une « aviation légère de l'armée de terre » (ALAT) dotée d'hélicoptères de transport, d'hélicoptères de reconnaissance et, déjà, d'hélicoptères de combat dérivés d'appareils conçus initialement comme des appareils civils. Pour ces derniers, des hélicoptères Gazelle, légers et faiblement équipés pour le combat, la question de la succession commençait à se poser. L'idée d'un hélicoptère spécialisé, à l'instar des programmes américains (Apache, Cobra) se précisait dans l'esprit des responsables du ministère de la défense et de l'industrie. La RFA disposait également d'un hélicoptère léger antichar de jour, le Bölkow 105 (programme PAH1³⁵), et les opérationnels allemands assistaient avec envie à la naissance du programme américain Apache. La succession pour les programmes français et allemand pouvait donc s'envisager avec des calendriers comparables.

Au plan opérationnel, de nombreuses réflexions avaient été menées sur l'emploi et les caractéristiques d'un hélicoptère de combat de la future génération en international, mais aussi en national. Ainsi, dans le contexte d'emploi correspondant à la guerre froide, des fiches de caractéristiques militaires étaient élaborées en coordination entre les armées de différents pays : dans le cadre Otan, mais aussi dans le cadre des organisations européennes : FINABEL, GEIP (GAEO). Les opérationnels français avaient également accumulé une expérience significative dans l'emploi des hélicoptères militaires et développé une doctrine particulière (fondée notamment sur le « vol tactique »), avec des spécificités pour les opérations en Afrique.

Au plan politique, la coopération européenne en matière de défense était devenue un impératif, notamment la coopération franco-allemande : le traité de l'Élysée de janvier 1963 avait donné lieu à des coopérations sur

////////////////////////////////////
35 « Panzer Abwehr Hubschrauber » de 1ère génération.

l'Alphajet, les missiles Milan, HOT et Roland et on cherchait les moyens de leur donner une suite. En 1975, il a été décidé au plus haut niveau (initiative Giscard-Schmidt) d'explorer en parallèle les possibilités de coopération sur les deux programmes d'hélicoptère antichar et de char lourd. Les travaux bilatéraux ont donc démarré officiellement lors d'une réunion de lancement organisée à Bonn³⁶. Une anecdote permet de mesurer la priorité accordée à cette démarche : les deux directeurs de programme avaient été invités à l'Élysée pour un dîner de « militaires » qui avait traditionnellement lieu le 13 juillet ; après le dîner, le Président s'était joint au petit groupe d'ingénieurs de l'armement pour leur dire combien cette initiative était importante ! Ce n'est que quelques mois plus tard que le travail sur le char a été arrêté. La perspective d'un char franco-allemand s'étant évanouie, le projet d'un hélicoptère armé était devenu l'une des rares opportunités pour poursuivre la coopération franco-allemande. Par ailleurs, la coopération franco-britannique, qui avait connu une période faste avec les programmes Puma, Gazelle et Lynx, se trouvait alors sans perspective de prolongement.

Au plan industriel, le paysage européen se composait de quatre constructeurs d'hélicoptères : Aérospatiale (Fr), Westland (UK), Agusta (It) et MBB (RFA). Il était marqué par une double concurrence : avec les constructeurs américains d'une part, et entre constructeurs européens, d'autre part, pour la répartition des programmes européens en cours de gestation. Prenant en compte les situations industrielles de chacun des pays et les besoins de leurs armées respectives, les gouvernements ont été amenés à élaborer progressivement des plans de coopération, au niveau européen, permettant à chaque pays d'obtenir une part du « gâteau ». Étienne Lefort, chef de la section « voilures tournantes » du Service technique aéronautique, a été l'acteur principal dans la mise en place de ce cadre de coopération européenne sur les hélicoptères. Il a su définir un plan équilibré conciliant les intérêts français et européens et a déployé une très grande énergie, et aussi la diplomatie nécessaire, dans la rédaction et la négociation de l'accord.

36 François Lureau, 1er directeur de programme français HAC, assistait à cette réunion.

Ainsi, à la suite de négociations longues et difficiles, l'accord de Ditchley Park, qu'on doit donc largement attribuer à Étienne Lefort, fut signé le 13 juillet 1978 entre les ministres de la défense français, britannique et allemand (pas italien). Ce texte répartit entre les pays participants les responsabilités pour les programmes futurs, qui étaient tous à mener en coopération. La France, leader incontesté de l'industrie européenne des hélicoptères, se voyait confier la responsabilité du futur hélicoptère « moyen » (futur NH 90, successeur du Puma), la Grande-Bretagne celle de l'hélicoptère lourd et la RFA celle de l'hélicoptère armé. Cette responsabilité s'entendait sur les plans étatique et industriel : les services officiels du pays désigné étaient leaders pour la conduite du programme et le constructeur d'hélicoptère de ce même pays en était le maître d'œuvre industriel. Cette décision a scellé définitivement le cadre de l'organisation du programme Tigre, mais aussi celle des autres programmes.

C'est dans ce contexte que, partant d'expressions de besoin nationales, et après d'intenses négociations au plan européen et au plan bilatéral franco-allemand, la France et l'Allemagne signaient en novembre 1976 un premier accord pour étudier un hélicoptère armé commun, sur la base des caractéristiques militaires contenues dans l'accord FINABEL 9A12 (concernant l'hélicoptère armé) du 19 juillet 1976. L'objectif calendaire était alors une mise en service en 1986.

2. Les besoins et objectifs de chacun des acteurs

Les besoins opérationnels

La mission de base sur laquelle travaillaient les opérationnels de tous les pays était la mission **antichar** dans le cadre d'un conflit Otan - Pacte de Varsovie. Il s'agissait principalement, par rapport aux versions existantes, de passer à une deuxième génération d'hélicoptères antichar, tout d'abord en leur donnant la capacité de vol et de tir de nuit, mais aussi en leur ajoutant des caractéristiques de furtivité et de résistance aux environnements de

combat. Ces nouvelles exigences imposaient des sauts technologiques importants dans de nombreux domaines : l'optronique (caméras IR), l'informatique, les transmissions, les détecteurs, les contre-mesures, mais aussi les domaines de la cellule : la discrétion, la vulnérabilité, la résistance au crash. Les réalisations américaines sur ces technologies (1^{er} vol de l'Apache le 30 septembre 1975) servaient de référence pour la définition des caractéristiques militaires. Par ailleurs, pour diminuer la vulnérabilité des hélicoptères, l'évolution vers un missile antichar de type « tire et oublie », l'AC 3G en cours de développement, était prévue.

Pour les opérationnels français, la menace que constituaient dans ce même contexte les hélicoptères armés soviétiques Mi24 « Hind » nécessitait de doter nos unités d'hélicoptères armés et d'hélicoptères de manœuvre d'une capacité d'autodéfense, c'est-à-dire de « protection » contre les hélicoptères adverses. Par ailleurs, l'hélicoptère armé futur devait pouvoir appuyer de ses feux les unités terrestres. Compte tenu des masses respectives des armements concernés, il n'était pas possible d'équiper un même appareil de toutes ces capacités tout en lui conservant sa légèreté, son agilité, sa maniabilité. Ces qualités étaient en effet indispensables pour pouvoir pratiquer le « vol tactique », c'est-à-dire se faufiler dans le relief et parmi les obstacles au ras du sol. Ainsi est née l'idée d'une version « **hélicoptère d'appui-protection** » (HAP) à côté de la version « antichar », idée très tôt défendue par les acteurs français.

Les positions des acteurs

En définitive, à la fin des années 1970, les Français et les Allemands disposaient d'une base significative de coopération : une mission antichar de même niveau, un calendrier comparable et une réelle volonté politique de coopérer, mais avec des positions de départ ou des arrière-pensées différentes. Français et Allemands s'opposaient en particulier sur les choix, faits *a priori*, de solutions techniques précises. Ces conflits avaient souvent

des raisons d'ordre politique et industriel, mais ils résultaient aussi de divergences d'appréciation en matière opérationnelle et technique.

D'une part, les tactiques d'emploi en mission antichar étaient différentes. Pour les Allemands, l'hélicoptère devait être posté en vol stationnaire sur des emplacements repérés à l'avance. Pour les Français, l'hélicoptère devait être en mouvement, à la recherche de positions de tir. D'autre part, l'appréciation sur les risques techniques et la façon de les maîtriser étaient également très différentes. Côté français, la direction des constructions aéronautiques (DCAé) réalisait une préparation technique exhaustive fondée sur les études amont et les développements exploratoires. Les résultats de cette préparation incitaient à la confiance dans les solutions européennes. Côté allemand, cette préparation était beaucoup plus réduite et lacunaire, la confiance allait alors vers la technologie américaine.

Ainsi, on pouvait résumer les positions des différents protagonistes comme suit :

- *les opérationnels allemands*, à défaut de l'Apache AH-64, voulaient surtout la technologie optronique américaine, les systèmes TADS-PNVS³⁷ de cet appareil, seuls systèmes éprouvés, avec une cellule AS-MBB de mêmes caractéristiques que celle de l'Apache ;
- *Les opérationnels français* voulaient un hélicoptère le plus léger possible, pour le vol tactique, doté d'un système de combat de préférence européen, mais surtout avec les capacités d'appui-protection (HAP) ;
- *L'industriel allemand MBB*, qui se serait probablement contenté de la fabrication sous licence de l'Apache, était satisfait de réaliser, en maître d'œuvre, un appareil nouveau PAH2 ;
- *L'industriel français AS* tenait avant tout à préserver son leadership sur le futur hélicoptère moyen (futur NH 90). Le programme d'hélicoptère armé, à réaliser sous la responsabilité de l'Allemagne, était un passage obligé ;

37 *Target Acquisition Detection System / Pilot Night Vision System* de Martin-Marietta (Lockheed).

- *Le ministère de la défense allemand*, qui avait des accords avec ses homologues américains sur la fabrication du TADS-PNVS, soutenait la solution d'un PAH2-(TADS-PNVS), conformément aux exigences des opérationnels, préservant ainsi ses relations avec les Américains ;
- *Le ministère de la défense français* voulait un hélicoptère et des systèmes européens, avec principalement le système antichar de 3^{ème} génération (« AC3G »/ « PARS3 ») en cours d'étude en tripartite (UK-RFA-Fr), prévu justement pour équiper véhicules et hélicoptères dédiés à cette mission.

Il faut noter, en complément, que la notion de « système » posait encore quelques problèmes, au sein même du ministère de la défense. François Lureau avait dû dépenser beaucoup d'énergie pour expliquer, jusqu'au délégué, toutes les implications qui résulteraient de l'adoption d'un « équipement » tel que le « viseur américain ». On entrait avec cet hélicoptère dans l'ère des systèmes d'armes et la question ne se réduisait pas à monter tel ou tel équipement standardisé sur une cellule. Cette nouvelle complexité ajoutait encore aux incompréhensions ou aux malentendus.

Les conditions d'une coopération sereine n'étaient donc pas réunies, d'autant plus que la coopération franco-allemande précédente, sur l'Alphajet (sous leadership français), avait laissé quelques rancœurs chez nos amis allemands. Par ailleurs, on allait découvrir progressivement des différences de culture et de pratiques très marquées entre militaires et entre ingénieurs des deux côtés du Rhin.

Deux références bien différentes dans l'élaboration des besoins et des objectifs, la Gazelle pour les Français, l'Apache pour les Allemands – figures 100 et 101.



Figure 100 - La Gazelle (ici en version HOT de nuit) — Figure 101 - L'Apache américain AH-64

II. UN HISTORIQUE MOUVEMENTÉ EN TROIS ACTES

1. Une genèse conflictuelle en coopération : 1975-1987

Les premières tentatives (1975-1981)

Les premières discussions franco-allemandes sur le sujet d'un hélicoptère armé commun ont donc eu lieu en 1975. Côté français, un directeur de programme³⁸ a été nommé : François Lureau, pour être, auprès d'Étienne Lefort, chef de la section voilures tournantes du STAé³⁹, l'animateur principal des négociations. Son homologue, le premier directeur de programme allemand, a été M. Wagner, qui avait été l'adjoint du directeur de programme allemand sur le programme Alphajet. Il parlait parfaitement français et avait surtout envie de vivre en France, ce qui facilitait les choses, même si

38 Un des trois directeurs de programme de l'époque à la DCAé, précurseurs des DP actuels, avec Pierre Tamagnini (M 2000) et Gérard Bonnevalle (ATL).

39 Service technique de l'aéronautique.

les déplacements à Bonn et Coblenz étaient nombreux. Ces discussions aboutirent à un accord en novembre 1976, permettant de lancer les premières études en commun entre la France et la RFA.

Sur cette base est lancée en 1978 une *phase de faisabilité* de six mois destinée à mesurer les principaux risques du projet. Cette phase a donné lieu à l'exploration d'un nombre considérable d'avant-projets et permis de comparer les différentes options ou préférences exprimées par les utilisateurs et ingénieurs. À titre d'exemple, on avait été, en France, jusqu'à construire des maquettes en bois de poste de pilotage dont une version dite « en tandem décalé », l'ALAT étant très hostile à la configuration tandem. En fait, les points de vue se sont vite opposés sur de nombreux points. Les divergences entre Français et Allemands portaient non seulement sur les systèmes, mais aussi sur de nombreux aspects de la configuration de l'hélicoptère. Au-delà des performances et des caractéristiques, il s'agissait plutôt de divergences sur les solutions techniques que les opérationnels voulaient imposer. Du côté français, on commençait à se rendre compte que la masse de l'appareil serait sensiblement supérieure à celle du Dauphin qui restait, dans le prolongement de la Gazelle, une référence... et que le prix du programme dépasserait le double de ce que l'EMAT imaginait, qui était de l'ordre du milliard de F. Celui-ci était déjà plutôt de l'ordre de 3 milliards !

Bien que les options n'aient pas pu être levées durant cette phase de faisabilité, les gouvernements, soucieux de prolonger une coopération franco-allemande en déclin, ont décidé, par la signature du MOU du 16 octobre 1979, de poursuivre les travaux par une *phase de définition*, d'une part afin de résoudre les problèmes restants et, d'autre part, afin d'obtenir les principales caractéristiques du projet. Les objectifs de première livraison ont été repoussés à 1988.

Cette phase de définition de dix-huit mois s'est déroulée entre 1979 et 1981 et s'est terminée sur un constat d'échec en mai 1981. Les nombreux dossiers d'études présentés n'ont pas été de nature à remettre en cause les choix *a priori* des divers acteurs. On était donc loin en 1981 d'un dossier bouclé,

permettant de lancer la phase qui aurait dû suivre : la phase de développement. Les premières évaluations financières des différentes options dépassaient les budgets envisagés par les États.

LES PRINCIPALES DIVERGENCES

La taille de l'hélicoptère et la puissance de la motorisation : la réduction de vulnérabilité et l'utilisation en vol tactique pratiquée par les français imposaient de maintenir des dimensions de l'hélicoptère aussi petites que possible et, surtout, de disposer d'une forte motorisation (puissance installée égale à 1,3 x puissance nécessaire au vol stationnaire dans des conditions sévères de température). Cette forte motorisation et la maîtrise des coûts imposaient de réduire au maximum la masse de la machine. Pour les Allemands, la référence était l'Apache, beaucoup plus gros et lourd. L'exigence de vol tactique était secondaire.

Le moyeu rotor : compte tenu de l'importance de l'absence de vibration pour la précision du tir canon HAP, le moyeu articulé AS paraissait a priori mieux adapté que le moyeu rigide MBB.

Le rotor anticouple : la vitesse était primordiale pour l'HAP ; les hélicoptères adverses étaient plus grands, donc plus rapides ; d'où l'importance d'un bon rapport puissance moteur/masse et l'intérêt du fenestron qui ne consomme pas de puissance à grande vitesse (effet safran de la dérive) et permet de concentrer la puissance moteur dans le rotor principal au profit de l'avancement ; mais le fenestron présente une efficacité moindre qu'un rotor anticouple classique pour le vol stationnaire, favorisé par les Allemands, dont les PAH2 seront utilisés postés. En fait, il y avait surtout une querelle d'image entre l'Aérospatiale/hélicoptères, inventeur du fenestron, et MBB. Dans le cadre des recherches de compromis, le DP français avait pris position pour le rotor arrière classique, à la grande fureur de l'Aérospatiale.

La position du viseur de tir : le viseur de mât, préféré par les Français, permet de mieux dissimuler l'hélicoptère quand il est posté mais ne permet pas de conserver la voie optique directe VOD du viseur (perte de la couleur, capacité de reconnaissance inférieure). Le viseur de nez, solution du TADS/PNVS préférée par les Allemands, est placé très bas. Le viseur de toit qui conserve la VOD aurait pu être un bon compromis.

Le type de fuselage : côte à côte (Fr) ou tandem (RFA). Les deux formules s'opposaient sur la silhouette, la complexité du dialogue équipage et donc le coût, la stabilité en lacet, l'effet de mode (Apache, Mangusta, Hind...).

Motorisation mono/bi : la formule bimoteur améliore la survivabilité et réduit l'attrition mais impose une machine plus lourde, donc plus coûteuse.

Système de base : la gestion des données numériques avait fait aussi fait l'objet de querelles d'experts nationaux : bus 1553 B (standard américain) contre bus français. Le choix du bus 1553 B n'a pas été accepté facilement.

Visionique US/Eu : la visionique américaine présentait l'énorme avantage d'exister et d'avoir été adoptée par les USA. En revanche, son adaptation au besoin européen – tir du HOT puis de l'AC3G – restait à faire. Par ailleurs, son adoption aurait entraîné probablement des restrictions à l'exportation.

AC3G/Hellfire : le missile Hellfire était un missile à guidage sur tache laser, l'AC3G était doté d'un autodirecteur à imagerie ce qui conférait au missile une capacité tire et oublie.

Ainsi, cette première phase de coopération de cinq ans (1976-1981) a été un échec « diplomatique », puisqu'elle n'a pas permis le lancement du développement, mais a été en revanche une période particulièrement dynamique par les développements technologiques qu'elle a suscités.

Une activité technique intense

En parallèle aux négociations, une intense activité technique avait été développée depuis 1975 du côté français, sous l'impulsion de François Lureau. Il s'agissait de préparer le développement du futur hélicoptère antichar et de la version appui-protection. Ce devait être l'occasion de franchir un bond technologique significatif et de concevoir un véritable « système d'armes » en tirant parti des progrès déjà réalisés dans les cellules (les matériaux composites), dans les moteurs (légèreté / consommation), dans l'optronique (détecteurs IR) et dans l'informatisation. Il importait tout particulièrement, pour les autorités françaises, de démontrer la capacité de l'industrie européenne, à forte dominante française, à relever les défis technologiques qui se posaient encore pour le combat de nuit. L'enjeu était de montrer aux décideurs allemands que l'industrie européenne était crédible face à l'industrie américaine. Il fallait démontrer non seulement que les industriels européens avaient les capacités, mais également que le risque – *Risiko*) était maîtrisé. Le cœur du problème, sur lequel se focalisaient tous les conflits, était le système américain TADS-PNVS. Pour les Allemands, surtout les utilisateurs, son adoption était une exigence, alors que pour la France c'était faire du programme commun PAH2 un cheval de Troie de la technologie américaine en Europe.

Ainsi de nombreux contrats ont été lancés à cette époque pour réaliser les études et expérimentations dans tous les domaines du combat antichar et de l'appui et la protection des hélicoptères. Ces études, spécifiques au futur HAC-HAP, étaient menées en parallèle aux études relatives au futur programme de système de missile antichar AC3G, programme en cours de mise en place en tripartite Fr-RFA-UK dans le cadre des armements terrestres.

**ÉTUDES RÉALISÉES DANS LE CADRE DU PROGRAMME TRIPARTITE
DE MISSILE AC3G**

Le programme AC3G préparait la succession du missile HOT, et développait les technologies concurrentes du système antichar US (TADS-PNVS + Hellfire) : un système antichar destiné aussi bien aux porteurs aériens qu'aux porteurs terrestres, fondé sur une détection par imagerie IR (bande 10 microns), puis une poursuite automatique du missile par corrélation d'image. Ce programme était conduit du côté français par la direction technique des armements terrestres (DTAT).

Pour ce qui concerne la caméra elle-même, la génération disponible tant aux États-Unis qu'en France était fondée sur un dispositif mécanique de balayage par miroir focalisant successivement chaque point de la scène sur un détecteur ou une barrette de détecteurs IR. Les capteurs de l'AC3G devaient faire appel à la génération suivante : caméra état solide à balayage électronique au niveau des détecteurs eux-mêmes appelés IRCCD. Cette technologie était utilisée pour les viseurs, mais aussi pour l'autodirecteur du missile. Différents types de caméras thermiques ont ainsi été développés pour les systèmes de combat terrestres et aériens et des techniques ont été développées pour exploiter les images : reconnaissance de formes...

Pour la France, ces études et développements sur les technologies IR étaient conduits par la DRET⁴⁰ pour les études amont et la DTAT⁴¹ (devenue DAT) pour les études liées aux programmes, la DTCA (devenue DCAé⁴²) réalisant les développements concernant leur intégration aux hélicoptères.

40 Direction des recherches études et techniques

41 Direction technique des armements terrestres

42 Direction technique des constructions aéronautiques

ÉTUDES RÉALISÉES, EN FRANCE, POUR PRÉPARER LE PROGRAMME HÉLICOP- TÈRE ANTICHAIR, HORS AC3G

Une partie des études était réalisée dans le cadre des « études amont », hors programme HAC.

Conformément aux processus d'acquisition technique existant à la DCAé, permettant de lancer le développement de systèmes aériens (avions, hélicoptères) performants et compétitifs avec un niveau de risques acceptable, de nombreuses études, développements exploratoires et expérimentations ont été menés par les ingénieurs des sections et départements spécialisés des services techniques (STPA-STTE). L'hélicoptère armé devait bénéficier des progrès réalisés et validés dans l'ensemble des techniques de base (pilote automatique numérique, centrale inertielle à composants liés, viseur clair électronique, visualisation numérique couleur tête basse, calculateurs centraux et logiciels, bus d'échanges de données) et des techniques de communications et de combat électronique (radio, radionavigation, identification, contre-mesures électroniques).

Une autre partie des études était menée dans le cadre du programme HAC, sous l'autorité du directeur de programme, par les équipes des services techniques. Elles couvraient de nombreux domaines.

Il fallait d'abord développer de nouveaux équipements : viseurs d'hélicoptères gyrostabilisés multicapteurs, poursuites automatiques...

Il fallait aussi préparer, en liaison avec les développements AC3G et en complément, l'intégration de ces éléments sur hélicoptère et par ailleurs préparer l'utilisation de la technologie IR pour le pilotage de nuit. Ainsi, on retiendra les principales expérimentations suivantes, pour

lesquelles des moyens importants d'expérimentation ont été mis en place (hélicoptères de servitude aux acronymes savamment étudiés) :

- *expérimentation de vol tactique et d'empports divers sur un Dauphin (n° 1003) ;*
- *expérimentation du viseur « PORTHOS » sur un Dauphin ;*
- *expérimentation de la boule « VENUS » par l'Aérospatiale, avec la réalisation d'une première démonstration de tir de HOT de nuit au CEV, à Cazaux, au profit d'une importante délégation allemande ;*
- *expérimentation « HELOÏSE » sur Dauphin au CEV ;*
- *expérimentation « APHRODITE » sur Puma au CEV du système de pilotage de nuit par caméra IR asservie à un viseur de casque ;*
- *développement exploratoire « VOMM » d'un viseur de mât sur un Dauphin.*

Il fallait mettre au point la conduite de tir pour la défense contre hélicoptères :

- *développement exploratoire « TAAH » (tir air-air hélicoptère) sur Dauphin ;*
- *expérimentation d'un armement canon à grand débattement : « CASSIOPEE » puis « HECTOR » sur des Puma.*

Il fallait progresser sur la vulnérabilité, la furtivité, l'anticrash.

Enfin, des systèmes spécifiques devaient être étudiés comme le détecteur d'alerte et de veille « DAV »

Toutes ces études formaient un programme exhaustif de préparation, par la France (hors études communes AC3G), du futur programme d'hélicoptère armé.

Dans la vie de tous les jours, il faut bien avouer que l'harmonie ne régnait pas toujours entre les différents protagonistes du camp français : tiraillements entre DCAé et DAT, entre AS/DH et AS/DE. Mais, globalement, ce

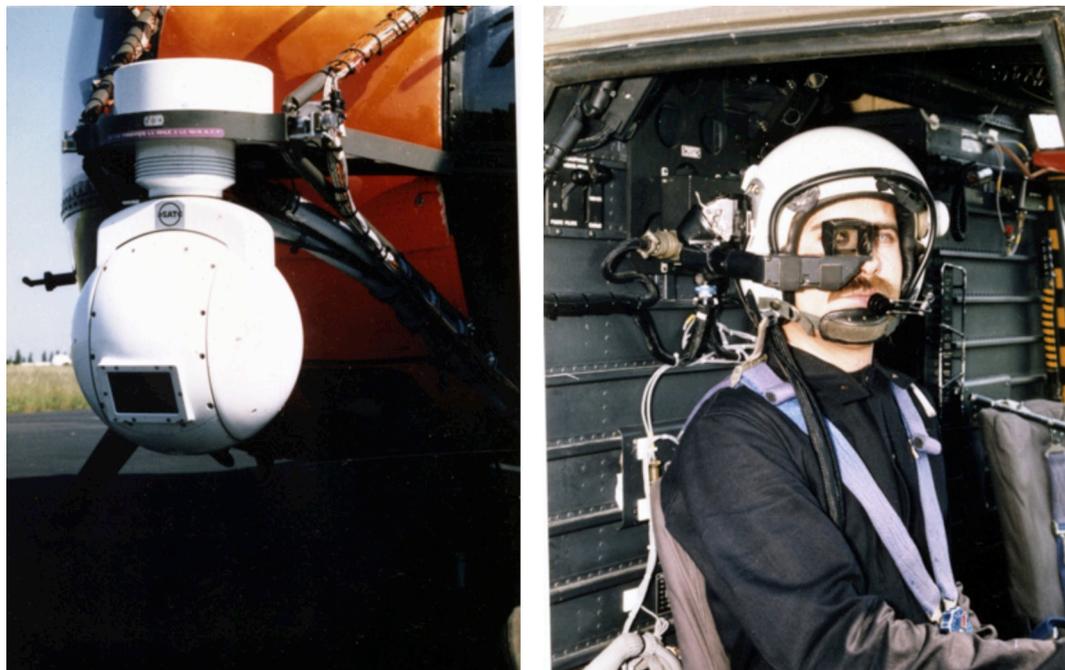


Figure 102 - Un exemple des études préparatoires : l'opération APHRODITE, expérimentation menée au CEV, sur le Puma n° 1027, du système de pilotage de nuit constitué d'une boule contenant une caméra thermique, asservie à un viseur de pilotage.

vaste programme de modernisation du combat hélicoptère a été mené à bien avec cohérence et efficacité.

Le repli en national (1981-1982)

À l'issue de la phase de définition avortée de 1979-1981, chaque pays s'est retrouvé confronté à ses options nationales. Pour les Allemands, l'alternative était l'acquisition de l'Apache, ou la fabrication sous licence, ou la réalisation d'un PAH2 avec une cellule MBB spécifique en utilisant le système TADS-PNVS. Pour la France, l'option nationale consistait à réaliser (ou non) un hélicoptère plus léger qu'en coopération, doté d'ensembles dynamiques (moteurs-rotors) existants (Dauphin) et avec des équipements de mission simplifiés (JVN⁴³ pour le pilotage de nuit, HOT), en deux versions (HAP-HAC).

////////////////////////////////////
43 Jumelles de vision nocturne.

La période mi-1981 à fin 1982 a donc été consacrée, après exploration d'un certain nombre d'avant-projets, à l'étude et la définition d'une telle version nationale. Une mise à jour du besoin opérationnel français a été faite préalablement, l'un des aspects le plus important étant la priorité calendaire donnée, en février 1982, à la mission HAP. En effet, la mission antichar de nuit pouvait être envisagée par amélioration de la Gazelle HOT actuelle, alors que la mission de protection ne pouvait être remplie correctement avec des solutions de type Gazelle. Le calendrier de livraison HAP restait « le plus tôt possible » (1988/1989), alors que celui de l'HAC devenait 1995. Un dossier de lancement du développement a ainsi été constitué par le nouveau directeur de programme Yves Gleizes, nommé en avril 82. Pourtant, un faisceau de raisons, dont aucune n'apparaît déterminante, va conduire une fois de plus cette démarche dans l'impasse. D'abord la pression politique pour promouvoir les coopérations (surtout franco-allemandes) reste présente. Mais aussi, pour ceux qui voulaient vraiment cet hélicoptère, un programme en national n'aurait peut-être pas eu l'immunité apportée par le label « coopération ». C'était, enfin, une version séduisante par certaines performances HAP, mais limitée sur beaucoup d'autres aspects.

L'idée de la coopération d'ailleurs était loin d'être enterrée. Le 8 juillet 1982, des tirs de démonstration de missile HOT de nuit à partir d'un hélicoptère de servitude doté d'une caméra thermique européenne ont été organisés à Bourges par Euromissile devant les principaux acteurs français et allemands, pour mettre en évidence le dynamisme et les capacités de l'industrie européenne. Au même moment se déroulait le match France-Allemagne de quart de finale de la Coupe du monde de football (remporté par l'Allemagne 5 tirs au but à 4, match nul 3-3 après prolongations). Ces derniers tirs furent, à l'évidence, d'un intérêt beaucoup plus important que les tirs de HOT, pour nos invités. En septembre 1982, l'état-major de l'armée de terre annonce l'abandon temporaire pour des questions budgétaires de la solution nationale. Et le nouveau directeur de programme, fraîchement nommé, se retrouve sans programme !

LA JOURNÉE HISTORIQUE DU 8 JUILLET 1982

L'Allemagne accède à la quatrième finale de son histoire en battant la France aux tirs au but lors d'un match épique qui s'est déroulé à Séville. Les Allemands ouvrent le score par Pierre Littbarski puis Michel Platini égalise. En début de seconde mi-temps Schumacher sort au-devant de Patrick Battiston et vient heurter de plein fouet le Français le blessant très gravement. Étant devant l'agression M. Corver, pas plus que son assistant M. Geller, n'interviennent pour la sanctionner. Au lieu de donner un carton rouge à Schumacher et un penalty pour la France, il siffle la remise en jeu pour la RFA. Cette décision est régulièrement citée comme la pire décision arbitrale jamais prise. Le score nul après 90 minutes entraîne une prolongation. À la 92ème minute, Marius Trésor marque, suivi 6 minutes plus tard par Alain Giresse. Les Français tiennent leur finale mais Karl-Heinz Rummenigge (dont le but est entaché de 2 fautes allemandes au début de la contre-attaque), annoncé comme blessé au début du match, suivi par Klaus Fischer, égalisent. Au bout de 120 minutes, le score est de 3-3, et la première séance de tirs au but de l'histoire de la Coupe du monde voit la victoire allemande après le penalty raté de Maxime Bossis. Ce match restera dans les annales, tant du côté français que du côté allemand.

La relance de la coopération (1983)

Au mois de janvier 1983, il apparaît au plus haut niveau des États une volonté politique très forte de relancer la coopération en matière de défense. Dans la continuation du traité de l'Élysée, une réunion de relance a lieu en janvier 1983 au niveau des directeurs nationaux d'armement français et allemands. Pour éviter de retomber dans une situation de confrontation stérile entre des acteurs intransigeants dont les exigences conduisaient à des projets hors de portée financière des États, il était nécessaire de créer les conditions permettant de faire des compromis et, en tout état de cause, de permettre

une réduction des exigences. Il est ainsi décidé de rechercher un allègement des spécifications communes par un travail en petit comité, parfois en tête à tête, des directeurs de programme respectifs (Yves Gleizes, de la DGA, et Hans Jürgen Weiss, du Rüstung). Ce travail devait être supervisé par un comité directeur restreint (Georges Bousquet, Heyden), à charge pour eux de faire valider les allègements par leurs propres utilisateurs. Cette décision s'accompagne de l'annonce d'un besoin français de 215 hélicoptères (215 = 75 HAP + 140 HAC). Le besoin allemand est confirmé (212 PAH2).

Cette démarche a permis de résoudre de nombreuses divergences sur la configuration de l'hélicoptère, de son avionique et sur ses performances. Elle n'a pas permis de se mettre d'accord sur une version antichar commune, le conflit entre système américain et système européen restant affirmé. Elle a abouti à la rédaction de spécifications communes en novembre 1983, qui serviront de base au nouveau MOU⁴⁴, cette fois pour une *phase de développement*, signé le 29 mai 1984.

ÉLÉMENTS FONDAMENTAUX DU PROJET

Trois versions : HAP-PAH2-HAC

Une version de base commune pour le véhicule : classe 5,4 t, bimoteur 2x950 kW, cockpit tandem, train classique, rotor principal rigide, rotor arrière classique

Une avionique (fortement numérisée) commune.

Trois systèmes :

- le TADS-PNVS (US) de base pour le PAH2 allemand (en viseur de nez) ;

44  Memorandum of Understanding = protocole d'accord

- le système AC3G avec viseur de mât pour la version HAC ;
- le système d'appui-protection tourelle-canon, Mistral, roquettes pour l'HAP (viseur de toit).

La position différente des viseurs entraînait une disposition différente de l'équipage : tireur devant, pilote derrière pour le PAH2, l'inverse pour l'HAP et l'HAC.

Une des clauses essentielles du MOU était le cadrage technico-financier. L'Allemagne avait demandé une clause financière plafond imposant une renégociation ou la recherche d'autres partenaires en cas de dépassement prévisible des budgets. Un prix plafond pour le développement avait donc été fixé. En même temps, la priorité était donnée par le côté allemand au respect des exigences techniques, alors que la priorité du côté français était donnée à la maîtrise des coûts.

Les premiers travaux de développement (1984-1986)

En application de l'accord du 29 mai 1984, l'organisation de conduite du programme se met aussitôt en place, sur le modèle symétrique de l'organisation du programme Alphajet. Du côté des services officiels, le rôle d'agence exécutive revient au BWB⁴⁵. Une équipe de programme allemande est donc mise en place à Coblenz sous l'autorité du directeur de programme national, M. Ickenroth. Un ingénieur de liaison français, Michel Bruot, est envoyé à Coblenz auprès de cette équipe pour faciliter les échanges entre les deux directions de programme nationales. Cette équipe a donc pour première tâche de préparer les contrats de développement conformément au MOU et, en particulier, aux spécifications (techniques) communes de novembre 1983.

//////
45 Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung

Du côté industriel, MBB devient maître d'œuvre, la charge de travail devant toutefois être répartie de façon équilibrée entre les industriels des deux pays. La première phase des travaux, conduite par l'équipe du BWB, sous l'autorité du comité directeur bipartite, consiste à préparer, de façon « harmonisée » entre les deux pays, les spécifications des contrats. Sur le plan administratif, ces contrats doivent être établis selon le droit allemand, et signés par le BWB et MBB. Cette phase d'intenses relations entre les divers interlocuteurs français et allemands a été l'occasion de mettre en évidence des différences insoupçonnées de culture entre les deux pays. Pour la plupart des participants, les premiers contacts ont été un choc. Les pratiques respectives étaient extrêmement différentes et il a fallu des années pour trouver un *modus vivendi* permettant dans un premier temps de travailler ensemble, puis de s'apprécier, puis plus tard de mettre réellement à profit la complémentarité des qualités respectives.

Vu du côté français, l'équipe allemande mise en place dans cette première phase a donné l'image d'une équipe très autoritaire, portée avant tout sur les aspects juridiques et administratifs, mettant en œuvre de façon pas toujours pertinente des procédures extrêmement lourdes (américaines) et d'une compétence technique limitée, reposant sur les avis de l'industrie nationale.

Ainsi, la mise au point des innombrables spécifications, globales puis détaillées, en groupes de travail (Arbeitsgruppe) pléthoriques, dans des réunions bilingues avec traduction consécutive, donc interminables, s'est avérée extrêmement lourde et a donné lieu à des spécifications trop nombreuses, trop détaillées, exprimées non pas en exigences, mais en solutions techniques, toujours « polluées » par les conflits d'origine. Cette lourdeur a été partiellement responsable de l'explosion des masses et des coûts de l'hélicoptère qui s'ensuivit. Même si l'agence exécutive ne pouvait être tenue pour responsable des conflits de fond dont elle héritait, sa gestion du programme n'était pas de nature à les résoudre. Toute différence d'appréciation en groupe de travail trouvait finalement sa solution en ajoutant les

exigences de chacun, processus évidemment très inflationniste en masse et en coût. C'est la méthode du consensus, chère à nos amis allemands.

Ce processus a rapidement mis en évidence l'incompatibilité des objectifs respectifs (en plus des questions techniques) : la priorité au respect des exigences techniques donnée par la RFA (politique du pire ?), la priorité à la maîtrise des coûts donnée par la France

Le développement de nouveau dans l'impasse (1986)

Les travaux réalisés pendant cette période 1985-1986, qui sont essentiellement des travaux de définition encadrés par des procédures extrêmement lourdes et menés par des partenaires franco-allemands, étatiques et industriels, qui apprenaient à travailler ensemble, n'ont donc pas abouti. Il s'avérait impossible de respecter les performances demandées dans l'enveloppe financière envisagée, la clause plafond imposée par l'Allemagne étant utilisée par le côté français.

Une fois de plus, les États se replient sur leurs solutions nationales. C'est ainsi qu'un nouveau projet national est étudié par la France en 1986-1987 : le « P211 ». Plus ambitieux que celui de 1982, il prévoit cette fois deux versions HAP et HAC dotées d'équipements de mission de même classe que ceux des versions bilatérales : canon de 30 mm en tourelle, missiles air-air Mistral, roquettes, viseurs jour-nuit et conduite de tir associée pour la version HAP; système AC3G pour la version HAC. L'hélicoptère, de classe 4,5 - 4,6 tonnes, était équipé d'ensembles dynamiques dérivés du Dauphin, et d'un moteur existant (RTM 322) de 1 566 kW (monomoteur). L'intérêt était de compenser l'absence de partage des frais fixes par l'utilisation d'éléments existants et surtout par un gain sur les coûts de série d'un appareil plus petit (monomoteur).

De nombreuses réunions bilatérales, aux niveaux des directeurs de programmes, du comité directeur, des directeurs des relations internationales,

des directeurs d'armement, en grand ou en petit comité, n'ont pas permis de sortir de l'impasse. Lors d'une de ces réunions tenue le week-end dans la maison de campagne que M. Schnell (directeur d'armement allemand) possédait en Bourgogne, la délégation française a pu constater que les artisans français donnaient également du fil à retordre au DNA⁴⁶ allemand.

Des audits sont lancés des deux côtés du Rhin, l'adjoint au DCAé en pilotant un pour le côté français, pour trouver des explications au blocage, à défaut de solutions. Leurs conclusions n'apportent pas d'éléments nouveaux.

L'arbitrage final sur les deux versions (1987)

Devant ces difficultés, c'est encore une fois une décision politique qui va relancer le processus de coopération et donner enfin la solution. La veille d'une réunion franco-allemande prévue au niveau des ministres de la défense, respectivement MM. Giraud et Woerner, André Giraud convoque le directeur de programme et l'officier de zone de la DRI⁴⁷ pour une présentation du programme et de ses difficultés. Pendant deux heures, dans le bureau du ministre, autour d'un petit guéridon rond, il lui est exposé les principales caractéristiques du programme et les problèmes rencontrés. Après le déjeuner, nouvelle convocation. Le ministre se propose de faire décider le lendemain avec son homologue allemand qu'il n'y aurait que deux versions au lieu de trois, c'est-à-dire une seule version antichar commune, sur la base du système antichar européen avec viseur de mât, le tout cadré par une clause de plafond pour les coûts de développement. Le système US TADS/PNVS ne serait plus qu'une solution de secours en cas d'échec de la visionique européenne. Le lendemain, le ministre allemand, convaincu par M.Giraud et connu par ailleurs pour sa francophilie, donne son accord !

////////////////////////////////////
46 Directeur national de l'armement

47 Direction des relations internationales

**ÉLÉMENTS FONDAMENTAUX DE L'AVENANT AU MOU DE DÉVELOPPEMENT
(13 NOVEMBRE 1987)**

Deux versions : appui-protection HAP pour la France et antichar commune PAH2/HAC.

*Une version de base commune pour le véhicule : classe 5,4 t, bimoteur 2*950 kW, cockpit tandem, train classique, rotor principal rigide, rotor arrière classique.*

Une avionique (fortement numérisée) commune.

Le système antichar AC3G de base pour le PAH2/HAC (en viseur de mât).

Le système d'appui-protection tourelle-canon, Mistral, roquettes pour l'HAP.

Mise en place d'un bureau de programme bilatéral avant fin 1988.

Désignation de Eurocopter GmbH comme maître d'œuvre industriel du programme (partie hélicoptère) et de MTM pour le moteur (MTU+Turbomeca) qui deviendra plus tard MTR avec Rolls Royce.

Une clause de plafonnement pour le financement des coûts de développement :

- *payés par les États jusqu'à un certain seuil (objectif) ;*
- *partagés entre les États et l'industrie dans une tranche objectif-plafond ;*
- *payés par l'industrie au-delà du plafond.*

Un prix plafond de série pour le moteur ; seulement des prix de série « objectifs » pour la production.

À partir de cette directive des deux ministres, est donc préparé pendant l'année 1987 un amendement au MOU de développement du 29 mai 1984. Cet amendement est signé par les ministres le 13 novembre 1987. C'est sur cette base que sera enfin mis en place durablement le programme d'hélicoptère armé. On peut considérer que c'est l'acte fondateur du programme Tigre.

2. La mise en place des fondations : les travaux jusqu'à la mise en série : 1987-1999

Dès la signature de l'accord, l'agence exécutive met en œuvre les dispositions de l'avenant et prépare les contrats et spécifications correspondant aux nouvelles configurations des versions. Elle passe dans un premier temps deux contrats préliminaires (avec MBB et MTR) pour couvrir les nouveaux travaux de l'industrie, qui commencent début 1988. Entre-temps après une longue investigation, le programme adopte le nom de Tigre/Tiger en 1987. L'armée de terre française avait appelé « Gerfaut » la version HAP, dénomination qui n'a pas été conservée.

L'ajustement du prix en forfait (Cornillon-Confoux)

Les négociateurs de l'avenant, soucieux de garantir la maîtrise des coûts, avaient mis en place un système de financement plafonné pour les États, mais avec une sorte de clause d'intéressement dans une plage intermédiaire entre l'objectif (2 149 MDM) et le plafond (2 325 MDM).

- Coûts \leq 2149 : supportés par les États ;
- $2149 \leq$ Coûts \leq (2149+176=2325) : partagés (50 %) entre les États et l'Industrie ;
- Coûts \geq 2325 : supportés par l'industrie.

Au cours de la préparation du contrat, Les Allemands, tout particulièrement les industriels, ont souhaité modifier cette disposition en passant à un système de forfait. Parmi les raisons invoquées figurait la difficulté de la mise en œuvre pratique de l'intéressement. Mais un argument primordial



Figure 103 - Les 2 versions, HAP et HAC/PAH2

pour les industriels était leur volonté de ne pas mettre à disposition des services officiels le détail de leurs comptes internes sur le programme. La sacro-sainte « loi allemande » en la matière préservait en effet le droit des industriels, pour les contrats au forfait, de ne pas rendre compte de leurs dépenses réelles. Peut-être espéraient-ils que les faits auraient conduit en définitive à des dépenses inférieures à l'objectif.

Ainsi, après un travail préparatoire significatif de négociation par l'agence exécutive, un séminaire de négociation a été organisé en février 1989 près de Marignane, à Cornillon-Confoux, pour la phase finale de négociation

entre les représentants du comité directeur et les directeurs de MBB et Aérospatiale divisions hélicoptères, assistés de tous leurs collaborateurs.

La négociation a conduit à un résultat qui a satisfait les deux parties : un prix forfaitaire a été fixé, intermédiaire entre l'objectif et le plafond. L'industrie était contente d'obtenir un prix supérieur à l'objectif, sans dévoiler ses comptes. Les États étaient rassurés de payer moins que le plafond auquel on aurait, pensaient-ils, abouti. Le contrat était plus simple pour tout le monde.

Mais ce qui était important dans cette démarche, c'est que, pour la première fois dans l'histoire du programme, les principaux rapports de force avaient changé. Ce n'était plus la France « contre » l'Allemagne, mais les États « contre » l'industrie.

Une nouvelle organisation : le bureau de programme

En parallèle, la démarche de préparation de l'installation du futur bureau de programme bilatéral, le DFHB⁴⁸, commence. Il s'agit dans un premier temps de définir sa composition, ses modes de fonctionnement, mais aussi de préparer les dispositions pratiques permettant d'accueillir une équipe conséquente.

La partie théorique de l'exercice n'est pas si difficile car on dispose déjà de modèles d'organisation de bureaux de programmes internationaux, par exemple dans le cadre des programmes de missiles antichar. La difficulté va être de concilier les positions sur la taille de cet organisme. Le modèle allemand était du type bureau de programme Tornado, c'est-à-dire de la classe 120 personnes. Le modèle français, était plutôt dans la classe 20 personnes.

La négociation a donc été difficile, mais constructive et cordiale. Il n'a pas été possible de mettre en place le bureau de programme dès la fin de 1988,

////////////////////////////////////
48 Deutch-Französisches Hubschrauber Büro

mais un résultat satisfaisant a été obtenu, sur la base d'un compromis au niveau d'environ 50 personnes.

Sur le plan pratique, le bureau a été installé, tout à fait confortablement, à Coblenche au bord du Rhin, dans une dépendance du BWB (le « Schloss »). C'est en fait une entorse au MOU qui prévoyait son installation à Munich.

Dans sa version initiale, le bureau était constitué essentiellement d'ingénieurs ou cadres administratifs français et allemands de façon complètement paritaire. C'est-à-dire que pour chaque grande spécialité, le moteur par exemple, il y avait un ingénieur allemand et un ingénieur français. Et au niveau de la direction, on trouvait deux co-directeurs qui avaient pratiquement les mêmes prérogatives (il fallait la double signature en général).

Contrairement à ce qu'on craignait en France avant cette mise en place, compte tenu de la localisation à Coblenche, il n'a pas été difficile de pourvoir les postes offerts au personnel français. Le recrutement de la vingtaine d'ingénieurs et cadres s'est faite dans de bonnes conditions. Chaque poste faisait l'objet, en moyenne de trois candidatures. On a pu ainsi mettre en place une équipe française de bon niveau. L'attrait de la rémunération, le prestige grandissant d'un programme réputé « majeur », et l'intérêt de l'international ont été déterminants. Côté français, c'est Denys Caraux qui a été désigné comme co-directeur français du bureau de programme. Il s'est installé à Coblenche avec une partie de l'équipe au 2^{ème} trimestre 1989, ce qui a permis une mise en place officielle du « DFHB » le 1^{er} juin 1989 et le bureau a été progressivement complété dans l'année qui a suivi.

Du côté allemand, c'est le directeur de l'équipe nationale M. Ickenroth qui a été désigné comme co-directeur, son adjoint, Wolfgang Brühmann, devenant chef de l'équipe nationale du PAH2 au BWB. La partie allemande du bureau de programme a paradoxalement été plus difficile à constituer car il n'y avait aucun attrait particulier pour ces postes, dans un bureau



Figure 104 - Signature du contrat global de développement avec Eurocopter, le 30 novembre 1989, par le président du BWB pour le compte des États, et par les cogérants d'Eurocopter-Tigre, Franck Dorn et Michel Darrieus

de programme détaché de la maison mère BWB. Les spécialistes du PAH2 préféraient rester dans l'équipe nationale.

Le bureau de programme avait désormais la main sur toutes les questions bilatérales du programme, mais c'est le BWB, agence contractante dotée de la personnalité juridique, qui signait les contrats. On verra que ce point n'a pas été un inconvénient.

La mise en place d'Eurocopter/GmbH

L'industrie se dote d'une organisation paritaire installée à Munich : la société de droit allemand Eurocopter/GmbH. Dirigée par deux co-directeurs (Dieter Halff et Michel Darrieus), elle est constituée d'une équipe légère qui



Figure 105 - Signature du contrat de développement Tigre — la photo de famille

Au tour du président du BWB, une partie des responsables étatiques et industriels en place au moment de la signature du contrat de développement.

Au premier plan :

au milieu : le président du BWB entouré de F Dorn et M Darrieus,

à droite : H Martre (PDG d'Aérospatiale) et JF Bigay (directeur de la division AS/DH),

à gauche : D Caraux et Ickenroth, codirecteurs du bureau de programme (DFHB)

Aux plans suivants on reconnaît, de gauche à droite :

Weiant (BWB, puis Rüstung), X (EC), X, Lederer (BWB), W Brühmann (BWB, DP allemand), W, X, Michel Lasserre (DCAé, représentant Co Dir français), Volmerig (Rüstung), Weiss (Rüstung, représentant Co Dir allemand), X, Fichtmüller (MBB), Le Bel (AS/DH), Jean-Paul Bernadet, Sieffer (AS/DH), X, G Bretécher (DCAé, DP français).

est l'interlocuteur de l'agence exécutive puis du bureau de programme. Elle prépare les contrats, redistribue les tâches vers les deux divisions hélicoptères de MBB et AS et suit les travaux.

Le contrat global de développement

Des contrats préliminaires de développement avaient été mis en place par l'agence exécutive avec l'hélicoptériste et le motoriste pour couvrir les travaux de l'industrie pendant les premiers mois en attendant de disposer de l'ensemble des spécifications et clauses nécessaires à la conclusion de contrats véritablement engageants sur les résultats complets du développement.

Le bureau de programme avait pour tâche de préparer un contrat qui devait engager fermement l'industrie sur des résultats précis garantissant l'efficacité des systèmes d'armes et sur les prestations que les États étaient en droit d'attendre à la fin d'un développement. Plus précisément, il s'agissait de préparer deux contrats principaux, le premier avec Eurocopter pour tous les travaux relatifs à l'hélicoptère et aux intégrations des systèmes d'armes, l'autre avec MTR pour le développement du moteur. En parallèle, chaque État conduisait, sur un plan national, les développements d'équipements spécifiques nationaux, en particulier pour la France les armements et la conduite de tir de la version HAP, et les moyens de communication.

Le bureau de programme s'est avéré, vu des services officiels, très efficace pour mettre en œuvre les « solides » méthodes de management préconisées par le BWB, en associant l'expertise technique des ingénieurs français et l'expertise juridique et administrative des ingénieurs et cadres allemands. Il a établi un contrat global de développement forfaitaire pour toute la durée du développement, avec 111 étapes-clés de paiement, c'est-à-dire une par mois en moyenne, chacune prévoyant des résultats tangibles. Ce contrat s'est avéré efficace et a été une réussite puisque les résultats escomptés ont été obtenus, et au prix fixé à l'origine. Les délais n'ont pas été tenus, ce qui a bien arrangé les États, qui étaient bien incapables de financer les

travaux dans le calendrier convenu et qui ont eu quelques états d'âme à plusieurs reprises, comme on le verra plus loin. Le caractère extrêmement lourd de ce contrat, suivi par les juristes avec une très grande rigueur, n'a cependant pas été préjudiciable au programme.

Il est important de noter que ces contrats globaux, préparés et suivis par l'agence exécutive puis le bureau de programme, ne représentaient qu'une partie de l'ensemble des contrats (certes prépondérante) du programme, et que les services nationaux de la DGA, et dans une moindre mesure du BWB, avaient fort à faire pour le développement des équipements de mission (HAP).

Les appels d'offre pour les équipements

Le programme a été l'occasion de remodeler le paysage industriel franco-allemand concernant les équipements. Toute l'industrie des équipementiers était intéressée par le Tigre. Et c'était un des objectifs de ce programme de susciter des coopérations bilatérales. Ainsi, une vaste compétition a été organisée au niveau des sous-systèmes pour obtenir les meilleures propositions franco-allemandes.

Sous la direction de l'agence exécutive, Eurocopter a préparé les appels d'offres pour vingt-quatre sous-systèmes. Un règlement de consultation extrêmement strict avait été élaboré pour garantir la régularité de l'opération. Eurocopter lançait les appels d'offres sur la base de spécifications et clauses dûment approuvées par les services officiels puis dépouillait et proposait le gagnant à l'agence exécutive (ou bureau de programme), le tout devant être approuvé par le comité directeur.

La règle suggérait des réponses en consortia franco-allemands. Chacun devait être le plus équilibré possible. Les réponses furent pratiquement toutes des binômes équilibrés 50-50. C'est-à-dire que chaque sous-système était coupé en deux (voire en 3 ou 4) systématiquement. Le dépouillement et les analyses qui ont suivi ont encore donné lieu à de sévères batailles

EQUIPEMENTS DU SYSTEME DE BASE HAP.PAH2/HAC-TIGRE

Nr.	Responsable	Sous-système/équipement	Equipementiers
1	MBB	Calculateur de gestion/génération symboles	VDO-Crouzet-Litef-Thomson
2	MBB	Concentrateurs de données	Litef-Crouzet-VDO-Thomson
3	AS	Poste de commande et de visualisation	Rohde Schwarz-EAS
4	MBB	Pilote automatique	Nord Micro-SFENA
5	MBB	Vérins 4 axes P.A.	Liebherr
6	MBB	Vérins de trim	ElektroMetall-Labinal
7	AS	Navigation autonome	Crouzet-Teldix-SFENA
8	AS	Ecrans multifonctions	Thomson-VDO
9	MBB	Servocommandes principales	SAMM
10	MBB	Servocommandes arrière	SAMM
11	MBB	Siège anticrash	Autoflug-SEMMB
12	AS	Train d'atterrissage	MHB-Liebherr-Hella
13	MBB	Génération hydraulique	Bronzavia-ABEX
14	AS	Génération électrique	Auxilec-Siemens
15	AS	Disjoncteurs	ECE
16	AS	Batterie	SAFT
17	AS	Réservoirs	Kleber
18	AS	Jaugeurs	VDO-Thomson
19	AS	Pompes	BronzaviaAé-IFM
20	AS	Climatisation	ABGSEMCA-Liebherr
21	MBB	Intercommunication	Rhode Schwarz-TEAM
22	MBB	Indicateurs de fréquence	Thomson-VDO
23	MBB	Antennes	Chelton
24	AS	Alerte radar-laser	Thomson-SEL

La répartition initiale des équipements entre équipementiers français et allemands

franco-allemandes, les services officiels restant clairement influencés par leurs partenaires nationaux naturels. En définitive, après ces quelques joutes, c'est le choix proposé par Eurocopter qui a finalement été retenu dans 100 % des cas.

Le caractère non-optimisé des réponses en binômes équilibrés systématiques a pu être corrigé au cours du développement et au moment du lancement de la production, Eurocopter ayant pu redistribuer les responsabilités de façon moins morcelée.

La question de l'équilibre global entre industrie française et industrie allemande a été un vrai sujet de conflit durant cette période. Les services officiels allemands étaient extrêmement attentifs à ce que leur industrie recueille au moins la moitié de la part des travaux. Anecdote révélatrice : le bilan initial de la répartition industrielle pour les équipements montrait un déséquilibre en faveur de l'industrie allemande ; après l'action volontariste de la partie française, on s'acheminait vers un équilibre à 1 % près (51 % RFA - 49 % Fr), que le représentant français au comité directeur accepta ; le lendemain de l'accord, le responsable allemand demandait au DP français avec quelle précision le côté français accepterait ce nouveau partage de 51-49 !

Les difficultés techniques 1989-1991

Les premières années du développement ont été marquées par des difficultés techniques importantes dans la mise au point des systèmes et leur intégration. Elles ont induit des retards significatifs, qui ont amené le comité directeur à entériner dès fin 1991 un décalage de deux ans du programme, portant les dates prévisibles de série à 1999 pour l'HAP et le PAH2, et 2003 pour le HAC. Ces décalages n'étaient pas seulement liés aux difficultés techniques. L'Allemagne, après la chute du mur de Berlin et l'effondrement de L'URSS, ne pouvait que s'interroger sur l'avenir d'un hélicoptère spécialisé destiné à lutter contre les chars du Pacte de Varsovie. Mais les décisions n'étaient pas encore prises et un décalage de calendrier arrangeait beaucoup de monde.



Figure 106 - Premier vol du Tigre le 27 avril 1991. Équipage : Étienne Herrenschildt et Andrew Warner. © Photo DR/Airbus Helicopters

Le développement de l'hélicoptère en tant que véhicule ne suscitait pas de difficultés majeures. Le premier vol a eu lieu le 27 avril 1991 (en avance sur le calendrier de 1987). Cinq prototypes ont été construits pour le développement des différentes versions.

Le déroulement du développement

Au-delà des retards d'ordre technique liés aux intégrations de systèmes novateurs et complexes, le développement a atteint globalement les objectifs techniques attendus.

Un challenge était apparu compte tenu de la longueur du développement (accrue par la lourdeur d'un programme en coopération) : la nécessité de corriger les obsolescences. Un soin particulier a donc été mis par l'ensemble des participants pour adapter progressivement la définition des systèmes à l'évolution de la menace et l'évolution des technologies. Les spécifications et les contrats ont donc été adaptés tout au long du développement, sans toutefois modifier de façon significative les bases du programme.

Le calendrier joint indique le déroulement des travaux tel qu'il était prévu fin 1996.

À côté du développement du programme franco-allemand proprement-dit, il ne faut pas oublier le développement des versions export. Eurocopter, soutenu par la DGA et les armées, a toujours fait, depuis l'origine, des efforts importants pour exporter le Tigre. Il a notamment étudié une version spécifique pour répondre aux besoins exprimés par la défense australienne et une campagne de démonstration a ainsi été organisée en Australie en 1998 avec un prototype HAP (prototype PT4). Elle s'est malheureusement terminée par le crash du prototype, mais les deux pilotes sont sortis indemnes. Une commission d'enquête a été constituée, présidée par François Flori. Elle a établi que l'appareil n'était pas en cause. Paradoxalement, cet événement a permis de démontrer l'excellente résistance au crash de la cellule. Le Tigre a finalement été le gagnant de l'appel d'offre australien.

CALENDRIER TIGRE

28 août 97

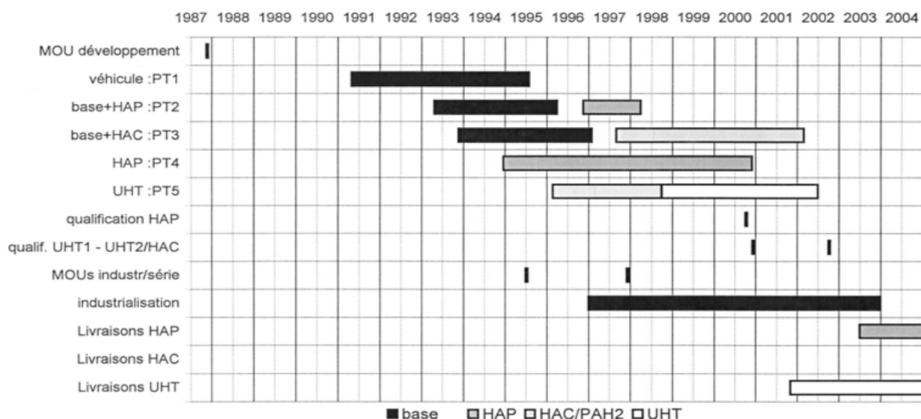


Figure 107 - Calendrier développement et production du Tigre

L'industrialisation

Les méthodes de gestion appliquées au programme Tigre, héritées des méthodes américaines, prévoyaient un découpage différent entre les stades de « développement » et de « production ». Le développement incluait une partie de « Serienreifmachung » qui était pour la France normalement dans l'industrialisation, ainsi qu'une partie de préparation au soutien. C'est un acquis de la coopération d'avoir fait du Tigre le premier programme (pour la France) à avoir été développé en appliquant le concept de « soutien logistique intégré ».



Figure 108 - Prototype n°1 destiné aux essais « véhicule » (performances, qualités de vol,...) ici en configuration HAC (avec une maquette de viseur de mât)

La préparation de l'industrialisation avait commencé dès 1993. Pour les États, un MOU devait être établi, comme pour le développement. La négociation

entre les États ne posa pas de difficulté majeure. En revanche, les dispositions financières nécessitèrent une négociation serrée avec l'industrie, pour le cadrage des prix de production.

Ainsi, un séminaire fut organisé, comme pour la phase de développement, entre les représentants du comité directeur et les directions des maîtres d'œuvres industriels, pour la phase finale de négociation.



Figure 109 - Prototype n°4 destiné (avec le n°2) aux essais de la version HAP



Figure 110 - Signature du MOU d'industrialisation du Tigre, en présence d'Alain Richard, ministre français de la défense et de Volker Rühle, ministre fédéral de la défense allemand. On reconnaît à gauche Manuel Torres et Frank Dorn directeurs de programme Tigre chez EC

Ce séminaire eut lieu cette fois en Bavière en mars 1995. Il permit de fixer les coûts d'industrialisation et, également, de définir des prix de série plafond pour les différentes versions. Le MOU d'industrialisation fut signé le 30 juin 1995. On verra que, suite aux remises en cause du fait des États, les contrats correspondants ne seront signés qu'un an et demi plus tard.

3. Les réorientations du programme dans l'après-guerre froide : 1993 à nos jours

Du côté allemand, l'effondrement de l'URSS mettait en cause l'existence même du programme PAH2.

Du côté français, c'est plus globalement la diminution des budgets de défense, avec les lois de programmation militaires (LPM) successives de 1995 et 1997, qui mettait en danger le programme.

Le nouveau besoin allemand - UHU (devenu UHT) multirôle

Désormais, l'Allemagne ne pouvait plus justifier un programme qui n'avait de sens que dans le contexte géostratégique de la guerre froide. Après une période d'attente et de réflexions purement internes (1989-1992), elle dévoila au début de 1993 son nouveau concept d'hélicoptère multirôle désigné « UHU⁴⁹ » puis « UHT⁵⁰ » dérivé de l'ancien « PAH2 », qui, par des aménagements techniques limités, a rendu le programme plus conforme au contexte opérationnel. En réalité, les aménagements retenus (mitrailleuse en pod) ne lui conféraient qu'une capacité limitée pour les missions autres que l'antichar, mais ont suffi pour rendre son existence justifiable.

////////////////////
49 Unterstützung Hubschrauber

50 Unterstützung Hubschrauber Tiger



À l'occasion de cette modification du programme, le côté français en profita pour modifier la cible affichée pour la production, ou plutôt sa répartition : 115 HAP + 100 HAC au-lieu de 75 +140. Enfin, les deux pays, qui n'osaient pas encore annoncer des réductions de cible, se sont également accordés pour diminuer les cadences de production envisagées.

Figure 111 - Prototype de la version allemande UHU (UHT)

La première remise en cause des budgets en France (1994)

L'effet « chute du mur de Berlin » se fit sentir en France en 1994, à l'occasion de la préparation de la loi de programmation 1995-2000.

Les restrictions budgétaires drastiques imposées au budget de la défense français ont abouti à un étalement du programme, qui fut décidé en octobre 1994. L'HAP était repoussé à 2001 et l'HAC à 2007.

Au même moment, la RFA s'alignait à 2001 pour la première livraison de l'UHT (au lieu de 1999). Il faut noter que la préparation de l'industrialisation était bien entamée lors de ces événements, puisque l'objectif était à l'époque de la démarrer mi 1995.

La deuxième remise en cause des budgets en France (1995-1996)

Le MOU d'industrialisation fraîchement signé (30 juin 1995), la France remet aussitôt en cause son engagement, à la faveur des nouveaux réaménagements budgétaires. Elle demande, en décembre 1995, de surseoir au lancement de l'industrialisation. Puis, en mai 1996, elle définit un nouveau calendrier de livraison : à partir de 2003 pour l'HAP et 2011 pour l'HAC, en réduisant les cadences à moins de dix par an en moyenne. Quelques mois plus tard, en juillet 1997, c'est l'Allemagne qui réduit ses cadences de la même façon, mais sans changer le début de livraison (2001). La LPM 1997-2002 officialise pour la France ce nouveau calendrier.

Ce n'est que fin 1996 qu'un accord est trouvé pour lancer l'industrialisation, le contrat étant finalement signé le 20 juin 1997. En définitive, les remises en cause des budgets auront amené à une rupture de financement entre les années 1994 et 1997, comme le montre le graphe figure 112.

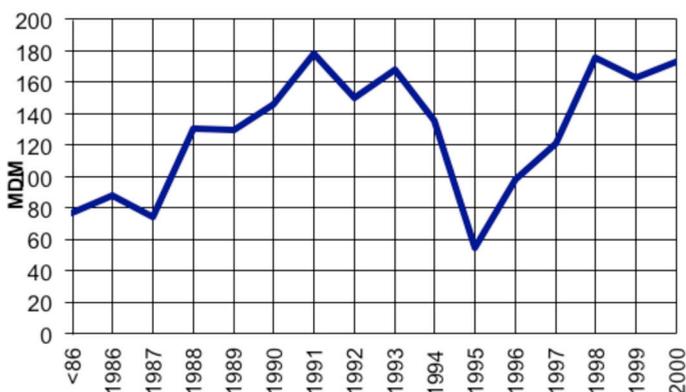


Figure 112 - Part française du financement de Tigre

Les remises en cause des cibles

Depuis l'origine du programme, la cible était de 212 PAH2 et de 215 HAP-HAC. Cette parité faisait partie des dogmes du programme et malheur à celui qui oserait avouer le premier qu'il aurait quelque peine à remplir cet objectif. Il en allait du partage du travail et de la responsabilité de la conduite du programme. En même temps, chacun était bien conscient que cette cible était intenable dès le début.

Cette question devint importante lorsqu'il fallut préparer la production. Il s'agissait de préparer un outil de production qui ne serait plus établi sur la base de 450 appareils environ, mais plutôt sur la moitié, et de définir les prix de série en conséquence. La situation se débloqua à partir du moment où les deux principes suivants ont été adoptés : une commande par les deux États d'une « première » tranche de 160 hélicoptères (80 Fr + 80 RFA), avec des calendriers et cadences voisins.

Ainsi dès 1996, tout se préparait sur la base de la commande de cette 1^{ère} tranche de 160 appareils, même si, officiellement, on continuait à se référer à des prix moyens de série calculés sur une hypothétique série de 212+215.

Existe-t-il une justification opérationnelle du chiffre de 80 pour chacune des armées française ou allemande ? Il semble que ces chiffres n'aient été déterminés que par la ressource financière...

Le nouveau concept français : le HAD

Enfin, compte tenu notamment de l'évolution du programme AC3G, l'armée de terre a été amenée à mettre à jour son concept et à remplacer la version antichar par une version « HAD » réellement multirôle. Ce concept a été défini en février 2001 et il a fait l'objet d'une fiche de caractéristique militaire officielle en décembre 2003.

Le missile AC3G a été abandonné par la France et remplacé par une version du missile US Hellfire. L'évolution des technologies et ces choix sur la mission antichar ont ainsi permis de réaliser une version multirôle ayant des performances satisfaisantes. Cet abandon par la France du missile AC3G a fait de la RFA le seul client de ce qui restait du programme AC3G. Jusqu'à cette période, Français et Allemands du Tigre étaient restés solidaires dans le soutien de cet armement, qui était, à l'origine, le fondement même du programme. Les autres clients potentiels du missile (véhicules terrestres) avaient renoncé après l'effondrement de l'URSS.

L'armée de terre française se dote ainsi de deux versions : l'une purement HAP et l'autre multirôle (deux fois quarante appareils).



Figure 113 - Tigre version HAD © Photo Anthony Pecchi

L'élargissement du programme

De nombreuses démarches ont été réalisées, dès l'origine, pour étendre la coopération à d'autres pays ou pour exporter le Tigre, notamment avec la Grande-Bretagne, les Pays-Bas, l'Espagne, la Turquie, et même le Japon.

L'Espagne, après plusieurs années de discussion, a rejoint le programme en participant à l'OCCAR en 2004 et a commandé vingt-quatre hélicoptères (18 HAD et 6 HAP qui seront « rétrofités » en version HAD).

Par ailleurs, Eurocopter a exporté vingt-deux Tigre ARH (Armed Reconnaissance Helicopter, version proche de l'HAD) à l'Australie.

Les évolutions d'organisation

Les instances étatiques et, sans doute encore plus, le paysage industriel ont beaucoup évolué tout au long du programme.

Pour l'organisation étatique, l'évolution du bureau de programme est révélatrice de l'évolution de l'esprit de coopération. Dans un premier temps, le bureau était bilatéral à tous les niveaux : une double direction franco-allemande et une double expertise franco-allemande dans tous les domaines (création du DFHB en 1989) ; dans un deuxième temps, la double direction a été transformée en direction unique (alternée) avec une répartition des expertises (française ou allemande) suivant le domaine ; enfin, dans un troisième temps, l'attribution des postes d'experts s'est faite sur les seules compétences, indépendamment de la nationalité. Ces dernières évolutions ont été favorisées par le passage sous statut OCCAR, en 1998.

Pour l'organisation industrielle, l'évolution majeure a été la création d'Eu-rocopter en 1992. Cette évolution dépasse largement le cadre de l'histoire du Tigre. Néanmoins, les différentes organisations imaginées et mises en place pour le Tigre à partir de 1989 ont permis d'expérimenter et de mettre à l'épreuve les principes d'organisation et les modes de travail au quotidien des ingénieurs et cadres français et allemands. Ce travail de répartition des tâches et de fusionnement des responsabilités a également été laborieux et n'est sans doute pas encore complètement abouti.

La série et le soutien

Partant des dispositions du MOU d'industrialisation de 1995, notamment des prix plafonds et des projets d'acquisition par les États d'une tranche de 2 x 80 hélicoptères, un MOU de série a été préparé. Il a été signé le 20 mai 1998. Et le contrat a été signé le 18 juin 1999. Des difficultés importantes ont encore été rencontrées pour la qualification des versions et dans la mise au point des premiers appareils. Les premiers appareils ont été livrés en 2004/ 2005 à la France en version HAP (le 1^{er} avril 2004 au CEV et le



Figure 114 - Devant l'HAP, Une délégation DGA entourant Yves Gleizes : Alain Bergeot (CEV), Fabrice Bonne (CEV/ALAT), Yves Gleizes (DGA/D), Jean-Brice Dumont (CEV), Daniel Reydellet (DCE), Didier Malet (CEV) et ...

16 mars 2005 à l'armée de terre) et à l'Allemagne (en version UHT rebaptisée KHS). Les versions HAD sont livrées à partir de 2012. Fin 2015, 135 appareils avaient été produits.

La première capacité opérationnelle du système d'arme Tigre a été reconnue par l'armée de terre le 18 mai 2009. Des Tigre HAP du 5^e RHC ont été déployés en Afghanistan le 27 juillet 2009 (quatre début mai 2012). Ultérieurement, des Tigre UHT y ont également été déployés. Deux



Figure 115 - HAP à l'entraînement © Photo Éric Raz

Tigre HAP ont été déployés en 2011 sur les BPC *Tonnerre* et *Mistral* pendant l'opération Harmattan (Libye).

Le programme, y compris le soutien en service, est géré depuis 1998 par la division de programme Tigre de l'OCCAR implantée à Bonn (Allemagne). Les sous-ensembles nationaux spécifiques français et allemands sont gérés respectivement par la direction générale de l'armement (DGA) et par le Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung (BWB).

L'Allemagne a commandé 80 hélicoptères UHT. La France a commandé 80 hélicoptères (40 HAP et 40 HAD). L'Espagne a commandé 24 hélicoptères (18 HAD et 6 HAP qui seront rétrofités en version HAD). En 2001 l'Australie a commandé 22 Tigre dans la version ARH, proche de la version HAP.

III. CONCLUSIONS

Résultats – Répercussions

Le programme Tigre a été extrêmement long à mettre en place. Il a été remis en cause à de multiples reprises. Il a survécu à des changements géostratégiques majeurs, grâce à des adaptations judicieuses, qui n'ont pas remis en cause ses fondements sauf pour l'AC3G. Il peut être considéré comme réussi sur le plan technique, après des périodes difficiles de mise au point, et a donné satisfaction à ses utilisateurs dans plusieurs opérations (Afghanistan, Libye, Mali). Il a donné lieu à une série modeste, malgré un élargissement de sa diffusion vers deux autres nations.

C'est un élément non négligeable de la coopération franco-allemande. Il a été le précurseur et le terrain d'expérimentation des intégrations industrielles réalisées avec Eurocopter et EADS.

Enfin, pour plusieurs générations d'ingénieurs et techniciens du monde de la défense, et plus particulièrement de l'aéronautique, il aura été l'occasion d'une confrontation des cultures et, au final, d'un réel rapprochement entre les deux nations.

Leçons d'une coopération

Une coopération imposée ?

Au-delà des divergences évoquées précédemment sur le programme Tigre proprement dit, qu'y a-t-il de commun dans le domaine de la défense entre la France et RFA ?

Sur le plan de la politique de défense, s'il n'y a pas de politique *européenne* commune concernant les opérations militaires réalisées ces dernières décennies, il y a encore moins de position commune *franco-allemande* en la matière. Sur les opérations militaires proprement dites, les expériences et les cultures sont totalement différentes dans les deux armées.

Les grandes décisions, c'est-à-dire les budgets, les revues de programmes ou les grands arbitrages, sont prises dans des cadres exclusivement nationaux, sans concertation avec le partenaire. On peut donc s'étonner que, dans les circonstances qui ont été décrites, le programme ait été malgré tout mené à son terme.

La coopération a finalement tenu grâce à la volonté politique très forte manifestée par quelques responsables de la défense dans les moments de blocage, et parce que c'était l'intérêt des principaux industriels. C'est aussi grâce à la compétence et l'énergie déployée par les équipes des services de l'armement et des armées. C'est enfin grâce à l'habileté, la compétence et l'adaptabilité des équipes de programme industrielles, qui ont réussi à proposer un objet répondant à tant d'exigences contradictoires. Il faut

citer ici quelques-uns des collègues industriels, et amis, qui ont piloté ce programme et ont été les véritables artisans de sa réussite : Michel Darrieus, Jean-Claude Sieffer, Joseph Rostaing, Jean-Claude Arribat, Manuel Torrès, Alain Cassier, Gilles Dufour.

Des partenaires complémentaires

Depuis la fin de la deuxième guerre mondiale et sous l'impulsion des Alliés, le système de décision en Allemagne est fondé sur le consensus. Il faut réunir le consentement de chaque spécialiste, totalement responsable dans son domaine. C'est donc inflationniste en matière de masse et de coût. Mais c'est surtout un système très fort. Une fois le consensus réuni, c'est la loi, acceptée par tous.

Les responsables étatiques allemands sont plus juristes que techniciens, en comparaison avec les Français, ce qui laisse entrevoir une fructueuse complémentarité, qui a effectivement été exploitée dans le programme Tigre. La culture de management des programmes est très différente des deux côtés du Rhin. Il faut du respect, de la diplomatie, de la patience, et... un temps d'adaptation.

En définitive, l'histoire du programme a montré que, dans un contexte particulièrement difficile, l'intégration des équipes était finalement possible.

IV. ANNEXE - FICHE TECHNIQUE

Dimensions

- diamètre rotor : 13 mètres
- longueur : 16 mètres
- hauteur (sol/rotor) : 4,32 mètres

Masse

- à vide équipé : 4,1 tonnes
- de missions : 5,9 tonnes
- maximale au décollage : 6,1 tonnes pour HAP et UHT, 6,6 tonnes pour le HAD

Principales caractéristiques

- motorisation (puissance maxi décollage):
 - ▶ HAP et UHT : bimoteur 2x 960 kW avec 2 x MTR 390-2C (MTU, Turbomeca, Rolls-Royce)
 - ▶ HAD : bimoteur 2 x 1 002 kW avec 2 x MTR 390-E (société MTRI : MTU, Turbomeca, Rolls-Royce, ITP)
- structure en composite
- dilution/déviation des flux chauds des turbines
- contre-mesures électroniques, détecteurs de radars et de lasers couplés à des lance-leurres électromagnétiques et IR
- protection balistique additionnelle sur HAP et HAD
- Tous les systèmes dynamiques (BTP, BTA, BTI...) peuvent fonctionner 30 minutes sans lubrification

Armement typique des versions

- Appui-protection (HAP) :
 - ▶ JVN
 - ▶ HUD (pilote)
 - ▶ Viseur de toit STRIX
 - ▶ canon de 30 mm en tourelle de nez
 - ▶ missiles air-air Mistral
 - ▶ roquettes 68 mm
- Appui - destruction (HAD) : Identique HAP plus
 - ▶ capacité roquette 70 mm (Espagne)
 - ▶ capacité missile air-sol : Hellfire 2 (France), Spike (Espagne)

- Appui-antichar (UHT) :
 - ▶ Viseur de mât OSIRIS
 - ▶ missiles antichar HOT et AC3G-LP
 - ▶ missiles air-air Stinger
 - ▶ viseur de casque avec une capacité vision de nuit intégrée
 - ▶ roquettes 70 mm
 - ▶ mitrailleuse de 12,7 mm en pod

Équipements et munitions

- Viseur de casque, viseur binoculaire bi-senseur, réalisé par Thales Avionics, permet indifféremment au pilote ou au tireur, de nuit comme de jour de désigner leur cible visuellement puis de transmettre celle-ci directement au système informatique qui modifie le pointage des systèmes d'arme (tourelle canon, missiles) en conséquence.
- Viseur tête haute, réalisé par Thales Avionics, équipe le poste pilote. Il permet le tir canon ou le tir de roquette dans l'axe de l'appareil et est principalement sollicité dans le cadre d'engagement air-air.
- Viseur de mât Osiris : système de vision gyrostabilisé (pour version UHT) réalisé par la société Sagem, monté sur mât, permet la mise en œuvre des missiles antichars HOT et AC3G-LP.
- Viseur de toit Strix (pour versions HAP et HAD) réalisé par la société Sagem. Système de vision pour les missions de reconnaissance et de mise en œuvre (poursuite automatique et asservissement) des systèmes d'armes. La plate-forme Sagem gyrostabilisée sur 2 axes dispose d'un imageur thermique, d'une caméra TV CCD, d'un télémètre laser, d'une voie directe optique (version HAP), d'un désignateur laser (version HAD) et d'un détecteur de tache laser (version HAD).
- FLIR Systems Inc (pour version UHT), réalisé sous maîtrise d'œuvre d'Eurocopter, permet la navigation et le pilotage de nuit.
- Mistral : Missile de combat air-air et d'autodéfense à autodirecteur infrarouge réalisé par la société MBDA.
- Stinger : Missile de combat air-air et d'autodéfense à autodirecteur dual IR/UV fabriqué par la société Raytheon Systems (pour la version UHT).

- Canon 30 M 781 de 30mm monté en tourelle (THL 30) de nez (pour HAP et HAD) réalisé par Nexter.
- Pod mitrailleuse de 12,7 mm de la société FN Herstal (pour la version UHT).
- Lance-roquettes type 6812 ou 6822 réalisé par TDA Armements SAS (pour HAP et HAD)
- missiles air-sol MBDA : HOT et AC3G/PARS3 (pour UHT).
- Lockheed Martin : missiles air-sol Hellfire pour HAD Fr⁵¹.

(Source DGA)

/////////
51 Missile air-sol israélien Spike pour HAD espagnol

Chapitre VII

LA COOPÉRATION MULTINATIONALE : LE PROGRAMME NH 90

I. LA RACINE FRANÇAISE DU PROGRAMME

(Gilbert Béziac et Manuel Pech⁵²)

Ou : « Comment satisfaire un besoin opérationnel trop spécifique pour une marine nationale, trop cher pour six marines de taille moyenne et rendu faisable grâce à une étude approfondie d'harmonisation de l'ensemble des besoins des armées de terre, de mer, et de l'air en Europe ».

1. Situation de la marine française à la fin des années 70

Le parc hélicoptères de la Marine

À la fin des années 1970, la marine nationale mettait en œuvre :

- des Alouette II et III, essentiellement utilisées en missions de servitude : liaisons, transport, etc.

////////////////////////////////////
52 Les deux auteurs ont vécu de près les premiers pas du programme pendant plusieurs années.

- des Lynx, utilisés en mission ASM, en protection rapprochée des bâtiments de combat ;
- des Super Frelon, utilisés en mission ASM, en protection des approches du territoire national et, prioritairement, des approches de la base de sous-marins nucléaires lanceurs d'engins (SNLE).

Le problème posé par ce parc

Les Alouette, bien que vieillissantes, s'avéraient d'excellentes machines de servitude, fiables et peu onéreuses en coût d'usage. Les Lynx étaient d'excellents hélicoptères navals, de par leur solidité et leur adaptation à la mise en œuvre sur le pont des bâtiments. Mais leur autonomie était trop faible pour assurer une détection ou une acquisition d'un sous-marin détecté en première ou deuxième zone de convergence par les flûtes⁵³ des bâtiments ASM. Leur capacité d'emport était insuffisante pour donner à cet hélicoptère une capacité antisurface significative. Or, cet aspect de la mission devenait de plus en plus important dans l'ensemble des missions de la Marine. De plus, le niveau vibratoire à bord était très élevé, ce qui pénalisait la fiabilité de la machine de base aussi bien que du système d'armes. La compétence de maintenance au niveau industriel était restée chez les seuls Britanniques, qui ne donnaient en général pas la priorité aux problèmes des Français.

Enfin, les Super Frelon étaient d'excellentes machines, bien adaptées à leurs missions, qu'elles soient de protection ou de servitude ; mais, outre que leur coût d'acquisition avait été particulièrement élevé du fait du désistement des utilisateurs potentiels du Frelon, leur coût d'utilisation était proprement rédhibitoire pour une marine de la surface financière de la marine française. À partir de 1978, et pour des raisons financières, les Super Frelon n'assuraient que les missions de servitude au profit de la Force océanique stratégique et des missions de sauvetage en mer.

////////////////////////////////////
53 Une flûte est une antenne de détection acoustique.

La ligne de produits de l'industrie française à la fin des années 70

À la fin des années 70, l'Aérospatiale, Division hélicoptères, avait développé une ligne cohérente et homogène de produits :

- l'Écureuil, dans la gamme des 2 tonnes avec train à patins ;
- le Dauphin, dans la gamme des 4 tonnes ;
- le Super Puma, dans la gamme des 8-9 tonnes.

Des versions « navalisées » de ces appareils avaient été vendues à diverses marines de second rang à l'exception du Dauphin qui avait été vendu aux US Coast-Guard. Concernant la marine française, sa position au regard de cette ligne de produits était la suivante :

- l'Écureuil était bien plus performant que les Alouette, mais ce mieux en performances n'était pas essentiel et, de plus, les patins étaient moins bien adaptés à l'usage naval que le train à roues traditionnel.
- le Dauphin avait plus mis l'accent sur la performance que sur les aspects opérationnels. De plus, sa charge utile n'était pas suffisante pour assurer les tâches allouées à l'hélicoptère dans la lutte anti-sous-marine comme dans la lutte antisurface. La Marine en a commandé (vingt-cinq appareils) pour des tâches de servitude. Cela permettait surtout de donner le label « marine française » au Dauphin.
- le Super Puma était considéré par l'industriel comme le candidat privilégié, et un effort commercial intense s'exerçait sur les opérationnels dans cette optique. Son niveau technologique et sa taille en faisaient un candidat possible. Mais quelques « défauts » essentiels ne pouvaient être effacés par des modifications mineures et le rendaient inacceptable par les marins. En effet, la marine française avait besoin d'un hélicoptère embarqué. Or, le Super Puma, dérivé du Puma, avait été conçu pour un usage terrestre, la protection contre l'air salin n'avait pas été assurée au niveau suffisant dès sa conception et, surtout, sa hauteur, rapportée à son empattement, était trop élevée pour assurer une stabilité intrinsèque suffisante sur le pont des bâtiments.

Les orientations majeures au départ du programme « Hélicoptère naval » des années 90

Consciente que son besoin opérationnel ne pouvait être satisfait par un hélicoptère existant, la Marine souhaitait que son hélicoptère ait la capacité antisurface suffisante pour tirer en autonome ou en réseau un missile du type AM 39 (700 kg) ou, après une reconfiguration rapide, la capacité anti-sous-marine suffisante pour réagir à une détection de sous-marin acquise par le bâtiment mère en première ou en deuxième zone de convergence⁵⁴ (une heure de vol à 50 nautiques du bâtiment).

Tirant les leçons du passé, elle souhaitait que le programme soit mené dans un cadre international. Les coûts de développement de ses programmes aéronautiques (Super Frelon, Atlantique II), avaient été à la limite de ses capacités de financement. Ces coûts apparaissaient d'autant plus élevés que les séries étaient réduites.

Menés dans un contexte purement national, ces programmes avaient supporté tous les avatars des variations de conjoncture : lancement, puis dé-lancement du programme Atlantique, étalement des productions, etc.

Les autres marines européennes, à l'exception de la britannique, étaient dans des situations similaires à celle de la marine française.

Comme, à l'époque, le Groupe européen indépendant de programme (GEIP), organe européen de coordination des programmes majeurs d'armement, était une coquille vide, la seule organisation susceptible de satisfaire les objectifs de la Marine était l'Otan.

54 La trajectoire des sons en milieu sous-marin subit des réfractions importantes, ils plongent profondément avant de remonter périodiquement vers la tranche d'immersion accessible aux sous-marins. La détection des sous-marins se fait donc dans des zones annulaires concentriques appelées zones de convergence.

2. L'étude de pré faisabilité d'un hélicoptère naval Otan

Structures mises en place par l'Otan

L'Otan avait mis en place toutes les structures susceptibles d'étudier les différents besoins en armements des nations partenaires du Traité.

Tout ce qui avait trait à l'armement se traitait sous l'autorité de la Conférence des directeurs d'armement nationaux (CNAD), relayée par des groupes spécialisés par armée. Pour un programme d'hélicoptère naval, le groupe compétent était le NATO Naval Armament Group (NNAG).

Des sous-groupes *ad-hoc* étaient créés pour exprimer les différents besoins des nations et tenter de les faire converger vers une solution technique unique. Pour définir un besoin d'hélicoptère naval, fut ainsi créé le sous-groupe PG 28. Ce PG 28 a alors passé une étude de pré-faisabilité au NATO Industrial Advisory Group (NIAG) sur fonds Otan, qui a créé, pour réaliser l'étude, un sous-groupe industriel n°11 (juin 81 à octobre 82).

Le NIAG était, en fait, un organisme de lobbying, à la mode américaine, où les différents industriels tentaient de promouvoir leurs produits pour influencer les différents clients potentiels ; cet organisme était d'autant plus efficace que les nations clientes y exprimaient leurs souhaits sans avoir à payer directement les études nécessaires à leur satisfaction.

Les trois solutions envisagées

À la fin des années 70, au sein des nations partenaires, trois solutions pouvaient être envisagées pour satisfaire le besoin de la marine française :

- une solution américaine, le LAMPS MK III, de Sikorsky. Cet appareil avait été retenu par la marine américaine, et était en cours de production ;
- une solution anglo-italienne, le EH 101, co-produit par Westland et Agusta. Cet appareil était en cours de développement ;

- enfin, une solution à définir et à développer, qui serait alors mieux adaptée au besoin spécifique des marines européennes, mais à la condition qu'elle attire suffisamment de clients pour pouvoir supporter les coûts de développement et d'industrialisation.

En fait, les industriels les plus actifs dans la mise en place du sous-groupe 11 du NIAG avaient été Westland et Agusta, afin d'attirer vers le programme EH 101 d'autres marines européennes. À cet effet, Agusta s'était réservé la direction du *Steering Committee* et Westland celle du *Team d'intégration de l'étude*. L'Allemand MBB avait reçu la direction du *Team Véhicule* et Aérospatiale celle du *Team Payload*.

Décision de lancer une étude comparative

Le seul moyen d'éviter qu'une *Recommandation* en sortie d'étude ne soit faite sur des bases plus commerciales que technico-opérationnelles fut de produire une étude montrant clairement aux clients potentiels quels étaient les avantages et les inconvénients de chaque type d'appareils entre 4 et 13 tonnes. Tous les industriels ayant participé à l'étude cautionnaient la validité technique des solutions décrites.

Cette approche fut possible car le Team d'intégration et le comité directeur ne pouvaient pas ne pas tenir compte du travail des Teams de niveau inférieur, auxquels participaient leurs ingénieurs.

Les solutions présentées aux opérationnels

C'est ainsi que, fondé sur des hypothèses technologiques comparables, fut présenté aux opérationnels le choix entre :

- un programme d'hélicoptère de 4,5 tonnes. Cependant pour satisfaire la mission, il fallait l'utiliser par groupe de 2 en mission ASM (Hunter-Killer concept). La capacité ASF était limitée, et non simultanée. La reconfiguration ASM/ASF était longue ;

- un programme d'hélicoptère de 6 tonnes. En mission ASM, il pouvait réagir à une détection initiale par le bâtiment à 15 milles nautiques. En mission ASF, il pouvait emmener des missiles à courte portée, mais pas ceux capables de couler un bâtiment de combat ;
- un programme d'hélicoptère de 8 à 9 tonnes. En mission ASM, il pouvait réagir à une détection initiale par le bâtiment à 50 milles nautiques. En mission ASF, il pouvait tirer en autonome ou sur désignation d'objectif (DO) un missile de type AM 39. Nécessité de reconfigurer entre les deux types de mission ;
- un programme d'hélicoptère de 10,5 tonnes. En mission ASM, il pouvait obtenir une détection initiale ; mais pour cela, il devait maintenir avec l'un ou l'autre des bâtiments LAMPS de la flotte le contact à vue directe ; son interopérabilité était donc réduite. En mission antisurface, il avait la capacité requise avec, toutefois, nécessité de reconfigurer. C'était le concept du «*Sea Hawk*», l'hélicoptère SH-60B LAMPS MK III de l'US Navy ;
- un programme d'hélicoptère 12 tonnes. Il avait les capacités ASM et ASF requises ; de plus, il pouvait également être équipé de la capacité antiaérienne d'auto-défense. C'était le concept de l'EH 101, en un peu plus léger du fait des options technologiques prises pour l'étude ;
- Enfin, il n'était pas possible de disposer de toutes les capacités, ASM, ASF et AA, simultanément sur un même hélicoptère quelle que soit sa masse.

Le choix du concept

Au terme de l'étude, le concept LAMPS MK III est resté purement américain. Le concept EH 101 n'a pas convaincu d'autres marines que celles déjà engagées dans ce programme (sauf le Canada). Le concept à 8-9 tonnes a intéressé les marines de la France, d'Allemagne, d'Italie (malgré sa contribution au programme EH 101), du Canada et de la Hollande.

La somme de ces besoins conduisait à un programme d'environ 150 machines. Les coûts de développement étaient trop importants pour être amortis sur un tel nombre d'unités. En restant purement marine, le programme ne pouvait être lancé.

3. L'approche européenne

Dans le cadre du Groupe européen indépendant de programmes, les directeurs de l'armement des pays européens ayant une industrie hélicoptères étaient convenus de se rencontrer périodiquement pour définir les besoins futurs et avaient identifié trois catégories de programmes qui pouvaient donner lieu à une coopération :

- l'hélicoptère de combat, masse environ 5 tonnes ;
- l'hélicoptère moyen/lourd, masse 8 à 10 tonnes ;
- l'hélicoptère lourd, masse > 12 tonnes.

La rencontre de Ditchley Park entre les ministres de la défense (sauf Italie) approuva ce travail et attribua le leadership des programmes à :

- l'Allemagne, pour l'hélicoptère de combat ;
- la France, pour l'hélicoptère moyen/lourd ;
- le Royaume-Uni, pour l'hélicoptère lourd.

L'Italie, pas satisfaite, se retira de ce type de coopération européenne et a ainsi permis à la France de se placer en leader d'un éventuel programme d'hélicoptère de 8/10 tonnes auprès de ses divers partenaires.

De mai 82 à avril 83, les hélicoptéristes avaient, à la demande des états-majors des armées de terre, effectué une approche pour un hélicoptère léger de transport (Light Transport Helicopter) qui avait abouti à la création d'une fiche d'état-major FINABEL 11 A 12.

4. L'étude de communalité entre l'hélicoptère naval et l'hélicoptère terrestre

Rédaction d'un ONST Terre-Marine

Dans le même temps, le NATO ARMY ARMAMENT GROUP (NAAG) travaillait sur la définition d'un hélicoptère de transport tactique (TTH). La définition

de ce besoin était traitée par le sous-groupe PG25 qui avait créé le sous-groupe industriel n°10 pour l'étude proprement dite. Au sein du NAAG, l'armée de terre française n'était pas particulièrement active puisque la priorité des allocations de crédits allait à cette époque au financement du programme d'hélicoptère d'appui-protection et antichar (HAP-HAC). De plus, pour remplacer les Puma vieillissants, elle disposait d'un hélicoptère déjà développé, le Super Puma. Toutefois, elle était en train de moderniser son concept d'emploi du transport tactique.

Celui-ci s'intégrait désormais dans un ensemble de type « poupées russes », où l'on montait l'arme antichar sur un véhicule de l'avant ; ce véhicule était transporté par un hélicoptère, ce qui nécessitait une rampe ; de la sorte, la vitesse de réaction à une approche des chars ennemis était multipliée par un facteur voisin de 10. C'est pourquoi l'armée de terre française avait pris la tête du sous-groupe PG 25 qui avait intégré les travaux des états-majors des armées de terre européennes (fiche FINABEL 11 A 12). Dans les années décisives du début de la décennie 80, la présidence du PG 25 était assurée par l'ICA Berthault de la DGA, qui présidait également le PG 28.

En conclusion de leurs travaux, les sous-groupes PG 25 et PG 28 firent circuler auprès des armées les documents qu'ils avaient établis, appelés ONST (Outline Nato Staff Targets, un pour la Terre, l'autre pour la Marine). Il apparut alors souhaitable à l'ensemble des armées qu'une même machine de base de 8 à 10 tonnes, puisse répondre aux besoins Terre, Mer, Air, ce qui conduisit les sous-groupes PG 25 et PG 28 à établir un nouvel ONST pour cet hélicoptère.

Commande d'une étude de pré faisabilité

L'ensemble des armées commanda alors au SG 14 du NIAG une étude de pré faisabilité d'un hélicoptère commun mettant en évidence les avantages et les inconvénients d'un programme d'hélicoptères destinés aussi bien aux missions navales qu'aux missions de transport tactique.

Rédaction d'une fiche d'état-major

La France se montra très active dans cette étude menée de 1983 à début 1984 qui se conclut par une fiche d'état-major commune et un cahier des charges commun (Statement of work).

Approbation du résultat

Le résultat, entériné par l'ensemble des industriels, était qu'une telle approche était possible, les avantages étant de loin supérieurs aux inconvénients. Pour une pénalisation en poids mineure, liée entre autres à un surdimensionnement de la puissance mécanique installée du fait de la capacité de vol tactique, l'ensemble des utilisateurs profitaient de la protection contre la corrosion, de la stabilité intrinsèque et de l'aspect multirôle de l'hélicoptère naval. Seul l'aspect civil était pénalisé sans contrepartie, du fait de la hauteur limitée de la cabine. Mais ceci était considéré par les services officiels comme le problème des industriels.

L'émergence d'un programme européen

Après établissement du ONSR (Outline Nato Staff Requirements) pour l'armée de terre et pour la Marine avec un appareil de base commun, la perspective d'un programme européen baptisé NH 90 (Nato Helicopter pour la décennie 90) s'est faite jour. À la fin des études Otan, les USA décidèrent de ne pas poursuivre et ne participèrent donc pas aux discussions d'élaboration du MOU (Memorandum of Understanding). En revanche, cinq Marines, quatre armées de terre, et une armée de l'air se déclarèrent intéressées par ce programme, ce qui se traduirait par un besoin d'au moins 700 hélicoptères permettant de bien amortir les coûts de développement.

Citons les armées intéressées :

Armées de terre	Marines	Armées de l'air
France	France	
Italie	Italie ^a	
Allemagne	Allemagne	Allemagne
Grande-Bretagne ^b		
	Pays-Bas	
	Canada ^c	

a - L'EH 101, développé en coopération avec Westland Helicopter, étant de tonnage trop important pour être utilisé sur les frégates italiennes.

b - Ce programme ne faisait pas partie des programmes futurs du ministère de la défense britannique, mais ce dernier désirait que Westland participe à l'étude.

c - Le Canada se retira du programme pendant la préparation du MOU de la FPDS, étant davantage intéressé par un appareil de tonnage plus important tel que l'EH 101.

Le NATO Staff Requirement

Les nations intéressées donnèrent leur accord pour l'établissement des NSR (Nato Staff Requirements) d'un projet commun baptisé NH 90 (Nato Helicopter des années 90).

Chaque nation prépara alors sa fiche de lancement d'un programme d'hélicoptère de 8 à 10 tonnes répondant aux besoins de ses armées en précisant ses besoins et en mettant en place les premiers moyens nécessaires pour le lancement du programme.

En septembre 1984, les ministères de la défense des cinq pays ayant confirmé leur intérêt pour le programme NH 90 (France, Italie, Allemagne, Royaume-Uni, Pays-Bas) décidèrent de lancer une étude de faisabilité et prédéfinition appelée FPDS (Feasibility and Predefinition Study).

5. Conclusions partielles

Cette phase préparatoire à la décision prise par de si nombreux utilisateurs européens de se lancer ensemble dans un programme commun d'hélicop-

tère a innové dans plusieurs domaines et c'est cette capacité d'innovation qui a permis la mise en place de ce programme.

Il y avait la volonté d'échapper aux contraintes commerciales qui fondent habituellement les actions de lobbying menées au sein du NIAG et qui se traduisent, *in fine*, soit par la victoire du parti politiquement et industriellement le plus fort, soit par l'échec de toute tentative de programme commun. Dans ce contexte, le SG14 a accepté, sous la pression, en particulier, des représentants des industriels franco-allemands, de présenter au PG 28 une série de solutions reconnues techniquement valides par tous les partenaires industriels, montrant clairement quels étaient les coûts à payer pour obtenir les différentes capacités opérationnelles souhaitées par les états-majors.

Il n'a pas été facile non plus, au sein même des différentes compagnies industrielles de changer les habitudes et de s'extraire de la pression des bureaux d'études, toujours tentés de privilégier les dérivés des hélicoptères existants, même lorsqu'il s'avère que ces derniers souffrent de faiblesses très difficiles, pour ne pas dire impossibles, à corriger.

C'est cette victoire qui a permis, pour ce programme particulier, de prendre enfin dans le bon sens le problème des *navalisations* ou des *remilitarisations*.

Jusqu'au NH 90, les hélicoptères adaptés à un usage *Terre* ou *Marine* à partir d'une base la plus commune possible étaient en général développés en version *Terre*, puisque les séries y étaient beaucoup plus nombreuses ; puis ils étaient navalisés, ce qui posait des problèmes d'adaptation parfois insolubles (ex: hauteur du Super Puma). Avec l'approche suivie pour le NH 90, les contraintes, en particulier celles de l'emploi naval, ont pu être prises en compte dès le début, sans que pour autant la capacité terrestre en soit pénalisée.

Ces différents points d'ordres techniques et industriels ayant été résolus avant le début du travail de réelle définition, il a été possible de lancer un

programme dans des conditions similaires, en termes de production de série, aux programmes américains. De plus, mené en coopération internationale, ce programme devait être beaucoup moins sensible aux aléas des budgets nationaux qu'un programme purement national. Les leçons tirées de l'expérience de la marine française avaient toutes été prises en compte, ce qui a peut-être permis de faire de la racine française de ce programme l'élément le plus nourricier⁵⁵.

II. LE DÉROULEMENT DU PROGRAMME JUSQU'AU LANCEMENT DU DÉVELOPPEMENT

(Gilbert Béziac et Manuel Pech)

1. La «*Feasibility and Predefinition Study*» (FPDS)

(2 septembre 1985 - 17 décembre 1986)

Désignation des industriels

Sous le contrôle des services officiels, l'étude de faisabilité et de prédéfinition devait être réalisée par un groupement d'industriels des pays concernés, chaque gouvernement désignant une compagnie de son pays comme maître d'œuvre du projet.

C'est ainsi que furent désignés fin 1984 :

- Aérospatiale (Division hélicoptères) pour la France ;
- Gruppo Agusta pour l'Italie ;
- MBB pour l'Allemagne ;

//////////
55 M. PECH était un des représentants français.

- Westland Helicopters pour la Grande-Bretagne ;
- Fokker pour les Pays-Bas.

Il était convenu, dans la ligne des accords de Ditchley Park, que la coordination générale des directions de programme, tant du côté des Services officiels que de l'Industrie serait confiée à la France. Les industriels avaient pour première tâche de proposer aux gouvernements l'organisation leur paraissant la mieux adaptée à la réalisation de cette première phase.

Objectif de l'étude de faisabilité et de prédéfinition.

La FPDS doit fournir une évaluation technique de la faisabilité du développement et de la production d'un hélicoptère Otan de la décennie 90, avec les performances requises par les Nato Staff Requirements (NSR) correspondant aux deux besoins :

- l'hélicoptère pour la frégate Otan (ou pour des équivalents nationaux) : version NFH (Nato Frigate Helicopter) ;
- et l'hélicoptère de transport tactique : version TTH (Tactical Transport Helicopter).

Le cahier des charges de l'étude précise la nature des résultats à soumettre aux services officiels des pays participants et fait apparaître qu'en plus des résultats liés à la définition du véhicule et des systèmes correspondants, l'étude doit également porter sur la préparation de l'ensemble du programme (phases de définition, développement et fabrication).

Les objectifs principaux de la FPDS sont résumés ci-après :

- élaborer et proposer une prédéfinition technique de l'hélicoptère de base, structure, moteurs et systèmes, à l'exception des systèmes spécifiques à la mission ;
- acquérir des informations précises quant à la définition, aux caractéristiques techniques et aux performances des versions navales et de transport ;

- pour les versions concernées, identifier et définir une série de solutions techniques possibles pour les équipements de mission et les capacités opérationnelles correspondantes ;
- identifier les parties communes de l'appareil de base et les interfaces entre les parties communes et les systèmes des versions concernées ;
- fournir les éléments techniques, de coût, de risque et de préparation ;
- lister les développements préliminaires (si nécessaire) concernant les solutions recommandées et proposer des solutions de rechange ;
- recommander un Système de soutien logistique intégré ;
- développer le plan de mise en œuvre d'un projet qui définira :
 - ▶ les avantages du programme,
 - ▶ les implications financières, en personnel et en installations,
 - ▶ le programme et l'organisation des phases de suivi,
 - ▶ les plans de partage des tâches de recherche et développement proposés,
 - ▶ le plan de gestion proposé pour le contrôle des aspects techniques et de programme.

Organisation de la FPDS

Fin novembre 1984, Aérospatiale propose à ses partenaires industriels son projet d'organisation pour la FPDS approuvé par la DGA. Ce projet devient, courant décembre 1984, la charte d'organisation industrielle du programme, diffusée à tous les pays participants pour approbation. En janvier 1985, présentation à l'Otan, en présence des services officiels, de l'organisation envisagée pour l'étude. L'accord de principe obtenu permet à l'industrie de se mettre sérieusement au travail dès février 85, la charte d'organisation industrielle étant quant à elle formellement signée par les cinq industriels le 10 avril 1985.

Etant donné la brièveté de l'étude et l'incertitude quant aux phases suivantes, les organismes officiels et les industriels décidèrent de ne pas mettre en place des groupes internationaux travaillant en permanence au même endroit. Les tâches seront ainsi effectuées dans les installations des services

officiels ou des sociétés participantes ou lors des réunions internationales prévues dans le cadre de chaque structure.

Cette méthode de travail impliquait la mise en place des actions suivantes avant que l'étude puisse réellement commencer :

- structures bien définies basées sur une organisation « miroir » à trois niveaux (cf. schéma page 184) ;
- procédures de liaison entre les services officiels eux-mêmes, entre les industriels eux-mêmes et entre les services officiels et les industriels ;

	Côté officiels	Côté industriels
Niveau 1	Comité directeur (Steering Committee)	Comité de gestion industriel (IMC Industrial Management Committee)
Niveau 2	Direction de programme (Ad Hoc Group)	Direction de programme (IPG Industrial Project Group)
Niveau 3	Experts des Services officiels	Groupes de Spécialistes (ET Expert Teams)

Schéma de l'organisation « miroir »

- mise en place de moyens de transmission et de diffusion rapides des documents.
- utilisation d'une langue commune, l'anglais ;
- décomposition des tâches à réaliser ainsi que leurs délais et coûts ;
- ordre du jour général et programme des réunions pour chacune des structures mises en place.

Structure des organisations gouvernementales

L'organisation gouvernementale s'appuie sur le comité directeur et le groupe *ad hoc* qui sont en liaison avec les sociétés industrielles traitant l'étude. Le

groupe *ad hoc* fait appel à des groupes d'experts des services officiels pour examiner les travaux des groupes de spécialistes de l'industrie. Le comité directeur est pleinement responsable du programme. Il est constitué des représentants autorisés des pays participant à l'étude qui prennent les décisions au nom des gouvernements. Le groupe *ad hoc* est l'organisme exécutif du Comité directeur et met en œuvre les actions décidées par ce Comité. Il comprend des membres des services officiels de chaque pays et des représentants des armées participantes. Il est présidé par le représentant français de la DGA.

Rappelons le nom des représentants de la DGA dans ces organismes jusqu'en 1992 :

- pour le comité directeur, l'IGA Lasserre puis l'IGA Gonin
- pour le groupe *ad hoc* (devenu ensuite JEC), l'ICA Berthault puis l'ICETA Gillon après un court intérim de l'IA Lambert.

Structure des organisations industrielles

L'organisation industrielle repose sur plusieurs principes :

- comme il s'agit d'une coopération internationale, cela implique un juste partage des tâches et du financement. L'étude doit en particulier refléter l'opinion de l'ensemble des participants, dans la mesure du possible ;
- l'organisation doit identifier clairement les différents niveaux de responsabilité et respecter les impératifs d'efficacité ; elle doit également être adaptée à l'organisation officielle prévue ci-dessus ;
- l'étude doit tenir compte des règles de l'art et doit être largement ouverte à toutes les sources d'information, en particulier de la part des fournisseurs. Elle doit prendre en compte les progrès technologiques envisagés par les industriels pour la décennie à venir ;
- l'étude doit également tenir compte des exigences militaires export ainsi que des exigences civiles afin de garantir au projet le potentiel de ventes supplémentaires le plus élevé conduisant à des coûts réduits et d'assurer la plus grande rentrée possible de redevances pour les États ;

- la structure comporte trois niveaux :
 - ▶ un comité de gestion industriel (IMC) constitué de cinq membres, chaque société étant représentée par un de ses directeurs. Il contrôle le travail de l'Industrie et assure la liaison avec le Comité directeur,
 - ▶ un groupe de projet industriel (IPG) constitué de dix membres (deux par société) et présidé par le Coordinateur général appartenant à l'Aérospatiale. Un des représentants d'Agusta est l'adjoint du coordinateur général. Ce groupe constitue la direction de programme telle qu'on la conçoit dans l'industrie aéronautique,
 - ▶ L'IPG est en liaison avec le Groupe ad hoc,
 - ▶ Les équipes d'experts (ET) ; quinze en tout, chacune étant responsable d'une partie de l'étude.

Chaque équipe d'experts est constituée de quatre à cinq spécialistes (un par société représentée) et est coordonnée par un des partenaires avec partage de la tâche de coordination des quinze équipes d'experts entre les cinq industriels. La constitution de ces quinze équipes d'experts internationales permet de rassembler les connaissances et le savoir-faire des cinq nations participantes.

Rappelons, pour mémoire, les noms des cinq membres leaders de l'IPG qui resteront en place jusqu'en 1990 (sauf pour Westland) :

G. Béziac	Coordinateur général	(Aérospatiale)
M. Sala	Adjoint	(Gruppo Agusta)
A. Kirchner		(MBB)
R. Lawton		(Westland Helicopter)
J. Ramihjer		(Fokker)

Chacun de ces cinq membres étant le directeur du programme NH 90 au sein de sa compagnie.

Réalisation de la FPDS

La première réunion de l'IPG a lieu à la Courneuve les 7 et 8 février 1985. Elle permet de découper le travail en quinze *Experts Teams* qui fournissent l'enveloppe de leur programme début avril. En Mai, la DGA est informée que l'industrie est prête à démarrer la FPDS. En juin 1985, au salon du Bourget, les représentants de l'Aérospatiale⁵⁶ organisent une réunion avec les principaux équipementiers français pour leur décrire le programme et les informer que pour le partage des équipements, des coopérations sont à créer avec leurs homologues des autres pays.

Sans attendre la signature du MOU (Memorandum of Understanding) de lancement de la FPDS par les gouvernements, l'IPG et les ET se mettent d'accord sur les programmes détaillés de ces derniers, ce travail pouvant être considéré comme terminé début septembre. Le 19 septembre 1985, les ministres de la défense signent le MOU de lancement de la FPDS. Auparavant, les organisations gouvernementales ont été constituées. Le 2 septembre 1985 est la date officielle de début de la FPDS qui est prévue pour une durée de 14 mois.

Quelques dates initiales marquantes :

- Premières réunions du Steering Committee avec *ad hoc Group* suivies de réunions avec IMC et IPG :
 - ▶ 9 octobre 1985 : approbation du programme proposé par l'Industrie,
 - ▶ 17 avril 1986 : présentation de l'Intérim Report fourni par l'Industrie,
 - ▶ 16-17 décembre 1986 : présentation du rapport final fourni par l'Industrie au Groupe ad hoc le 4 novembre 1986.
- Depuis février 1985 :
 - ▶ IPG seule s'est réunie 20 fois,
 - ▶ IPG + ad hoc Group, 10 fois,
 - ▶ IPG + IMC, 7 fois,
 - ▶ IPG + ET, 3 à 4 fois avec chaque Expert Team.

/////////
56 MM Béziac et Pech

Les travaux effectués par l'industrie sont concrétisés par :

- la création d'une maquette de l'appareil à l'échelle 1, maquette qui servira de présentation du NH 90 dans divers salons aéronautiques ;
- la fourniture d'un rapport final répondant aux objectifs de la FPDS, le volume 1 étant un *Executive Summary*, c'est-à-dire une synthèse très condensée de l'étude.

Le rapport final comporte en particulier :

- une définition générale du NH 90 avec les divers choix techniques pour l'appareil, les systèmes et équipements ;
- les performances et les masses pour diverses configurations ;
- le *Master Plan* (établissement des activités majeures et des dates clés entre la FPDS et la mise en service du NH 90) ;
- l'estimation des coûts du développement et de la production, du coût unitaire pour le TTH et le NFH, du coût de l'ILS (Integrated Logistic Support) ;
- la définition de l'organisation souhaitable pour les phases futures (conduite du programme assurée sur le plan international par une agence de type Otan⁵⁷ du côté des gouvernements et une société de type SARL⁵⁸ du côté des industriels, toutes deux étant étroitement reliées pour assurer une bonne synchronisation du programme. La SARL est le contractant de l'agence gouvernementale et signe les contrats avec les firmes industrielles leader en accord avec le plan de partage des activités. Les firmes leader signent les contrats avec les fournisseurs retenus ;
- par rapport à ses concurrents dans la gamme 7/12 tonnes, le NH 90 présente de nombreux progrès liés à la conception de l'appareil de base et aux équipements adoptés. Sans revenir sur les descriptions parues dans divers documents dans les années 87/91, on peut signaler quelques points particuliers pas toujours mis en évidence :
 - ▶ fuselage de grande capacité pouvant être équipé d'une rampe arrière, les formes extérieures étant inchangées qu'il y ait ou non une rampe. De plus, le passage d'une version sans rampe à une

57 Ce sera NAHEMA

58 Ce sera NHI

version avec rampe peut se faire en rattrapage sans dégâts importants sur la structure,

- ▶ possibilité d'embarquement et de débarquement sur les versions avec rampe d'un véhicule P4 et, beaucoup plus rapidement, d'un véhicule léger tactique (LTV - Light Tactical Vehicle) en projet dans l'armée de terre française,
- ▶ dimensions, pales et poutre de queue repliées, permettant le logement dans les hangars de frégate conçus pour le Lynx,
- ▶ amélioration des qualités de vol grâce aux CDVE (commandes de vols électriques),
- ▶ vulnérabilité et détectabilité réduites par le choix des concepts et des matériaux.

2. Première période de transition

(17 décembre 1986 - 15 juin 1987)

Période dévolue aux discussions sur les résultats de la FPDS et à la préparation de la phase suivante appelée PDP (Project Definition Phase I). Début février 1987, les gouvernements organisent une réunion générale à l'Otan pour présentation des NSR définitifs à l'industrie.

Le 21 février 1987, l'IPG apprend au cours d'une réunion à Yeovil chez Westland que le Royaume-Uni se retire du programme NH 90. Le retrait est rendu officiel en avril 1987. La raison retenue en général par les participants au programme était que Westland, en mauvaise posture financière, s'était rapproché de Sikorsky qui ne tenait pas du tout à ce que le Royaume-Uni s'équipe en NH 90 car cette firme cherchait à placer une version du *Black Hawk* baptisée «*Brown Hawk*» auprès des Britanniques. Robb Lawton, membre de l'IPG, ainsi que plusieurs de ses collègues britanniques, estimaient que ce retrait était dû à l'application des théories libérales du Premier ministre Mme Thatcher. Le ministère de la défense anglais, pour éviter de se voir imposer

à très court terme le «*Brown Hawk*», aurait préféré déclarer officiellement qu'il n'y avait plus de besoin opérationnel d'un hélicoptère de cette taille dans les armées britanniques, ce qui impliquait évidemment le retrait de l'Angleterre du programme européen NH 90. Les conséquences du retrait du Royaume-Uni sont alors examinées aux divers niveaux et il en est conclu que le programme ne sera pas remis en cause.

Fin mai 1987, accord de M. Martre, PDG de l'Aérospatiale, pour le programme NH 90 tel qu'il est prévu, de préférence à d'autres scénarios. Cet accord est important car il confirme la volonté de l'Aérospatiale de participer au programme NH 90 en coopération, de préférence à un repli national sur des développements possibles du Super Puma (qui auront lieu cependant par suite des retards pris par le NH 90, tous les clients ne désirant pas non plus des versions aussi militarisées que le TTH et le NFH pour leurs propres besoins).

En cohérence avec sa position sur le programme Tigre, le ministre de la défense M. Giraud tranche entre une voie purement nationale et une voie coopération. Il annonce, au cours de sa visite à Marignane le 5 juin 1987, la participation de la France à la phase suivante PDP (version allégée d'une phase normale de définition refusée par les gouvernements pour des motifs financiers).

Durée PDP : 1 an

Objectif : fournir aux gouvernements des résultats suffisants leur permettant de prendre une décision quant à la poursuite du programme.

Autre fait important : la décision d'utiliser des locaux loués par l'Industrie à Paris-la Défense à partir de mai 1987 pour la plupart des réunions exigées par le programme. Ces locaux sont baptisés du nom de PRAM (acronyme de Paris - Rome - Amsterdam - Munich). Une équipe permanente⁵⁹ de

59 Équipe permanente : un représentant par compagnie et un secrétaire. Pour l'Aérospatiale, ce sera Manuel PECH, la secrétaire étant Mme Anne-Marie COLLET.

l'industrie y est installée. La gestion est assurée par l'Aérospatiale, les frais étant partagés entre les nations.

3. Project definition phase

(15 juin 1987 - 15 juillet 1988)

L'organisation est similaire à celle de la FPDS, seul le *Ad Hoc Group* change de dénomination et se baptise JEC (Joint Executive Committee). L'IPG est inchangée.

Quelques dates notables :

- 16 juin 1987 : au Salon aéronautique du Bourget, l'IPG présente le programme aux équipementiers européens en réitérant la consigne de réaliser des accords entre compagnies des différentes nations ;
- 9 septembre 1987 : première présentation internationale du NH 90 au Forum européen des hélicoptères en Arles par le Coordinateur général ;
- 26 novembre 1987 : *Steering Committee* ;
- 16 mars 1988 : démonstration de l'embarquement du véhicule terrestre léger à la DGA et l'armée de terre française à Marignane ;
- 18 mars 1988 : premier *Steering Committee* avec présentation du *Design Review* par l'Industrie ;
- 12-13 juillet 1988 : *Steering Committee* avec présentation par l'Industrie du :
 - ▶ *PDP Final Report*,
 - ▶ Proposition de travaux pour une nouvelle période de transition,
 - ▶ Coûts de la *D & D (Design and Definition Phase)*.

Au total :

- IPG seul s'est réuni 20 fois ;
- IMC seule ou avec IPG 6 fois ;
- JEC + IPG 8 fois.

4. deuxième période de transition

(mars 1989 - septembre 1992)

Avant d'entamer une deuxième période de transition, plusieurs mois s'écoulaient après le Steering Committee des 12 et 13 juillet 1988 et la phase de transition ne démarrera qu'en mars 1989 de façon officielle.

Ces sept mois sont mis à profit pour examiner en détail avec les services officiels les résultats de la PDP et pour diverses présentations du programme et de la maquette échelle 1.

À noter en particulier :

- la présentation de la maquette au Salon naval du Bourget en octobre 1988 ;
- les travaux liés aux changements de définition imposés par l'exigence des gouvernements de réduire le coût de la phase de développement de 30 % ;
- les discussions difficiles, en particulier avec Gruppo Agusta, quant à l'implantation de NHI et NAHEMA.

À partir de mars 1989 et jusqu'en fin 1992, la deuxième période de transition officielle qui va aboutir au lancement de la phase de développement se traduit par plusieurs changements et par quelques dates clés.

Années 1989 et 1990 :

- 2 mai 1989, visite à Marignane de M. Chevènement, ministre de la défense ;
- juin 1989, présentation de la maquette échelle 1 en version TTH au Salon aéronautique du Bourget (version avec rampe) ;
- mars 1990, présentation par l'IPG du programme NH 90 au ministère de la défense espagnol à Madrid ;
- préparation du contrat de développement par les services officiels ;

- compléments de travaux de définition pour aboutir au lancement de la phase de développement ;
- confirmation des assurances de financement du développement par :
 - ▶ RFA Septembre 1990 331 M.Ecu
 - ▶ Pays-Bas Octobre 1990 92 M.Ecu
 - ▶ Italie Décembre 1990 370 M.Ecu
- Fin 1990, signature par les gouvernements du MOU général et du MOU du développement par la France et l'Allemagne sur la base d'un coût total de 1 400 M.Ecu pour la part commune, mais avec réserve de la France qui demande de ramener ce coût à 1 350 M.Ecu.

Année 1991 :

- signature des MOU par les Pays-Bas en janvier ;
- en février, l'IPG disparaît et devient le PMC (*Program Management Committee*) composé des directeurs de programme des compagnies ;
- en février également, l'IMC disparaît et son rôle est repris par la compagnie NHI qui débute ses activités à PRAM ;
- mars 1991, l'industrie tient un atelier de travail pour accélérer la préparation du contrat de développement ;
- avril 1991, coût du développement fixé à 1 376 M.Ecu (soit une participation française de 583 M Ecu) ;
- juin 1991, décision d'implanter NAHEMA et NHI à Aix-en-Provence. Présentation de la maquette échelle 1 au Salon aéronautique du Bourget (version navale) où le Premier ministre français, Mme Édith Cresson, tient des propos très encourageants pour le lancement du développement. Signature des MOU par l'Italie ;
- 8 août 1991, lettre DGA reportant le lancement du NH 90 pour des raisons budgétaires ;
- 22 août 1991, visite de MM. Bigay⁶⁰ et Béziac à l'Élysée où le Général Vougnny, conseiller militaire de la Présidence, confirme le lancement du NH 90 suite à l'accord donné la veille par le président de la République François Mitterrand ;

////////////////////////////////////
60 Alors directeur de la division hélicoptères de l'Aérospatiale.

- novembre 1991, démarrage des activités de NHI et NAHEMA à Aix-en-Provence.

Année 1992 :

- 1^{er} janvier 1992 : création d'Eurocopter qui réunit les activités hélicoptères de MBB et de l'Aérospatiale ;
- 24 mars 1992 : feu vert de principe donné par le *Steering Committee* pour la signature du contrat de développement ;
- 19 mai 1992 : NAHEMA autorisé par le ministère de la défense allemand à signer le contrat ;
- 28 mai 1992 : idem pour l'Italie ;
- 31 mai 1992 : idem pour les Pays-Bas ;
- 31 juillet 1992 : idem pour la France ;
- 1^{er} septembre 1992 : signature du contrat de développement à Aix-en-Provence par le directeur général de NAHEMA et le directeur de NHI, J-P. Barthélémy.

5. Conclusion sur les diverses étapes qui ont conduit au lancement du programme NH 90

Étapes préliminaires

Otan/PG 28	Étude de préfaisabilité d'un programme naval	juin 81 à octobre 82
GEIP	Étude préliminaire d'un hélicoptère de transport tactique léger (LTH)→Fiche FINABEL 11A12	mai 82 à avril 83
Otan/PG 25	Étude de préfaisabilité d'un hélicoptère de transport tactique	1982 à début 83
Otan/SG 14	Etude de commonalité	début 83 / début 84
Otan	Décision de lancement de l'étude de faisabilité et de prédéfinition du NH 90	septembre 84

Programme NH 90

Préparation	fin 84 à septembre 85
FPDS	2 septembre 1985 au 17 décembre 1986
Première période de transition	17 décembre 1986 au 15 juin 1987
PDP	15 juin 1987 au 13 juillet 1988
deuxième période de transition	mars 89 à septembre 92
Signature du contrat de développement	1 ^{er} septembre 1992

Au total, il aura fallu environ trois ans d'études préliminaires puis environ huit ans d'études du programme pour aboutir à la signature du contrat de développement. Cette dernière durée peut paraître excessive par rapport aux quatorze mois de la FPDS à l'issue de laquelle les grandes lignes du programme étaient déjà tracées, mais s'explique en partie par les incertitudes de financement, en particulier du côté français⁶¹. Quoiqu'il en soit, le programme NH 90 était bien sur les rails et il allait s'affirmer comme un grand projet européen en matière de voilure tournante.

III. LE DÉVELOPPEMENT ET LA MISE EN SERVICE

(Étienne Maurice⁶² et Éric Escoubet)

1. Les différentes versions

Deux versions de base du NH 90 sont retenues :

- le Tactical Transport Helicopter ou TTH, destiné en premier lieu aux armées de terre ;

61 Les difficultés rencontrées du côté français sont bien entendu mieux connues des rédacteurs que celles qui ont pu survenir chez les autres participants.

62 Ancien chef pilote d'essais hélicoptères au CEV.

- le Nato Frigate Helicopter ou NFH, version navale embarquée ou destinée à opérer en mer à partir de la terre.

2. Les cinq prototypes



Dénomination : PT.1 à PT.5. Ils ont été attribués aux constructeurs suivants, chargés du développement de domaines spécifiques :

- PT.1 (1^{ère} phase), PT.2 et PT.3 à Eurocopter- France ;
- PT.1 (2^{ème} phase) et PT.5 à Agusta-Westland (Italie) ;
- PT.4 à Eurocopter-Allemagne.

Figure 116 - Premier vol du NH 90 PT1, à Marignane, le 18 décembre 1995 © Photo Jérôme Deulin

Le PT.1 a effectué son premier vol à Marignane le 18 décembre 1995, en version TTH. Il a effectué au total 365 heures de vol, au cours desquelles ont été testées les vibrations, la motorisation, les qualités de vol et la boîte de transmission principale (BTP). Il a ensuite été transféré chez Agusta-Westland pour les essais de la motorisation General Electric T 700.

Le PT.2 a fait son premier vol à Marignane, en version NFH le 19 mars 1997. Le 2 juillet suivant, il effectuait le premier vol avec des commandes de vol électriques et secours mécanique. C'est sur le PT.3 qu'a eu lieu, ultérieurement à Marignane, le premier vol en configuration complète commandes de vol électriques.

Les trois autres prototypes ont suivi rapidement pour permettre la montée en puissance des essais en vol. Le PT.4 a ainsi fait son premier vol le 31 mai 1999.



Figure 117 - Premier vol du PT1 (Équipage : Boutry-Dabadie-Tri-
vier-Rabany) © Photo Jérôme Deulin



Figure 118 - Premier vol du PT4 en version TTH, le 31 mai 1999, à Ottobrun.
Équipage : Graser-Warner-Hamel.

3. Total des commandes à début 2015

Pays	Version TTH	Version NFH	Remarques
Allemagne	82	18	
Australie	46		MRH 90
Belgique	4	4	
Espagne	22		
Finlande	20		
France	68	27	
Grèce	20		
Italie	70	46	
Norvège		14	
Nouvelle Zélande	9		
Oman	20		
Pays-Bas		20	
Portugal	10		
Suède	18		Version spécifique : cabine haute et système d'armes suédois
Totaux : 518	389	129	

Le 4 mai 2004, le premier appareil de série (en version TTH pour la Bundeswehr) a effectué son premier vol (TGEA 01 - NH 90 n° 1001). Le 15 décembre 2005, le premier appareil de série en version NFH (destiné à la marine italienne) a effectué son premier vol (HITN 01 - NH 90 n° 1004). Le 11 septembre 2012, livraison du TTH TFRA n° 3 à l'ALAT pour mise en service au Luc. Le 21 décembre 2012, livraison à la Marine du NFRS n° 9, à un standard amélioré (première capacité opérationnelle-PCO), qui préfigure le standard 2 (Step B) attendu pour la fin 2013. Début 2015, 241 appareils avaient été produits par les différentes chaînes d'assemblage.

4. Les mises en service opérationnel dans les formations

La première mise en service opérationnel du NH 90 *Caiman* dans l'Aéronautique navale a été faite sur la BAN de Lanvéoc-Poulmic (Finistère) le 8 décembre 2011, avec la réactivation de la flottille 33F (qui avait été dissoute



Figure 119 - Livraison du premier NFH à la Marine nationale, par Lutz Bertling CEO et Dominique Maudet aux CV Beauchesne et CF Hede-Havy © Photo Éric Raz

en octobre 1999). Cette flottille a été initialement dotée de trois NH 90 NFH (NFRS n° 2, 3, 4). Elle a pour missions la lutte ASM et au-dessus de la surface – lutte antinavires de surface (ASF) et contre-terrorisme maritime (CTM) – à partir des nouvelles frégates multimiissions (FREMM) basées à Brest, dont la première *L'Aquitaine* est en service, suivie de *La Provence*. En dehors de ces missions de combat, la 33F assure l'alerte « moyen-lourd » de sécurité maritime (SECMAR) sur la base de Lanvéoc.

La deuxième étape a été réalisée le 4 octobre 2012 avec la réactivation de la flottille 31F (qui était en sommeil depuis le 25 juin 2010) sur la BAN d'Hyères.

Elle aussi a reçu en dotation initiale trois NH 90 (les n° 5,7, 8). Cette flottille doit fournir des détachements sur les frégates en service à Toulon (frégates furtives type *La Fayette*, frégates de défense aérienne du programme *HORIZON*, frégates FREMM). La 31F assure aussi l'alerte SECMAR en Méditerranée.

IV. BILAN (PROVISOIRE)

Le programme NH 90 peut être considéré, au début du *xxi*^e siècle, comme une grande réussite, technique, commerciale, industrielle, acquise à l'issue d'un processus extrêmement long et difficile.

C'est une réussite technique par l'ampleur des innovations technologiques, notamment l'emploi généralisé des matériaux composites, l'introduction des commandes de vol électriques, et des systèmes de combat extrêmement performants. Ce succès doit être attribué d'une part aux initiateurs du projet qui ont eu le courage et la ténacité de spécifier un système d'arme ambitieux et à la pointe du progrès. Daniel Berthault, qui a dirigé les comités gouvernementaux pendant sa conception, conscient du temps que cela nécessiterait, avait toujours manifesté sa volonté de « mettre la barre des spécifications le plus haut possible ». Il doit être attribué d'autre part à la compétence des équipes des industriels, qui ont réussi à réaliser ces systèmes, malgré des contraintes d'organisation très fortes, liées au nombre et à la diversité des partenaires.

Ceux qui ont vécu ces périodes de gestation du projet retiendront l'ampleur des difficultés qui ont été rencontrées. Les nombreux reports de financements des États dans les années 1990, qui ont vu les budgets de la défense drastiquement réduits, auraient pu conduire à un abandon du projet.

Les difficultés techniques de mise au point d'un projet aussi ambitieux ont été réelles et ont également induit des retards, mais c'est peut-être la diversité des partenaires et de leurs exigences, la concurrence industrielle



Figure 120 - La version NFH marine nationale © Photo Anthony Pecchi



Figure 121 - La version TTH ALAT © Photo Anthony Pecchi

sur les systèmes et la dualité industrielle Eurocopter – Agusta, spécialement pour la version navale, qui auront rendu particulièrement laborieuse cette longue gestation.

En définitive, c'est une coopération européenne exemplaire qui aura produit un programme utilisé et apprécié par un grand nombre d'opérationnels, dont la plupart étaient équipés auparavant d'appareils américains.

V. ANNEXE - SOUVENIRS D'UN ACTEUR DU PROGRAMME

(Souvenirs de Jacques Bongrand, chef de la délégation française au comité directeur NH 90, d'avril 1997 à janvier 1999)

Les enjeux de la période et climat général

Le problème principal était le partage des activités entre les quatre nations coopérantes pour le lancement de la production. La France avait financé le développement à hauteur de plus de 40 %, mais sa part des commandes annoncées était nettement inférieure.

Le comité directeur se réunissait généralement à la NAHEMA, à Aix-en-Provence. Le format restreint aux quatre chefs de délégation était propice aux discussions. Il s'ajoutait souvent les directeurs de programme, voire les officiers de programmes, ainsi que le directeur de la NAHEMA, qui au début de la période était un italien, l'amiral Battigelli. Le comité directeur était présidé par un des membres avec rotation annuelle. Le processus consistait à s'entendre sur les questions à poser aux industriels qui devaient apporter une réponse commune. D'où une impression de « renvoi de balle ». Bien entendu, entre les réunions du comité directeur la délégation française se

concertait avec Eurocopter et, en particulier, avec son président français, Jean-François Bigay.

Je n'avais pas de relation directe avec les arcanes ministérielles (j'ai été invité une fois à un déjeuner avec le ministre, Alain Richard, mais la discussion était restée assez générale). Je recevais mes instructions du DGA, Jean-Yves Helmer (données souvent notamment lors de réunions de programme auxquelles participait le directeur du SPAé, Yves Gleizes). L'appartenance de l'agence à l'Otan se sentait peu : à une occasion au moins, le comité directeur a approuvé un rapport assez général.

Événements particuliers

L'accord sur le partage de la production

Cet accord s'est fait lors d'une réunion du comité directeur au salon de Berlin en 1998. Je me flatte de penser qu'un élément décisif a été l'idée de définir une part globale de travail pour l'Allemagne et la France, qui pouvait être attribuée à Eurocopter, parce que les positions de l'Allemagne et de la France étaient inverses (l'Allemagne avait participé au développement pour une proportion nettement plus faible que sa part des commandes annoncées). De sorte que la part globale était à peu près la même pour le financement du développement et pour les commandes.

Je me souviens d'avoir proposé à deux reprises, lors d'une réunion de préparation, cette position au DGA qui ne l'avait pas retenue. Le hasard a voulu qu'il me téléphone peu après (ce qui était rare) pour une autre question et j'en ai profité pour insister : il a finalement accepté (au moins en dernier recours). J'ai fait cette proposition au comité directeur à Berlin alors que le président du moment, le commodore Van der Struis, représentant des Pays-Bas, constatant l'absence d'accord, émettait l'idée d'arrêter là la réunion (et d'aller boire ensemble une chope de bière).

Le choix du sonar

Il y avait un désaccord entre la position française de retenir le Flash de Thomson-CSF (dont la division en charge était alors dirigée par Denis Ranque, futur président de Thales) dont les qualités avaient été reconnues puisqu'il avait été sélectionné dans une compétition antérieure par les États-Unis, et un autre choix proposé par l'Italie. Or l'ingénieur en charge du dossier à la NAHEMA était italien.

J'ai le souvenir qu'à une question posée à cet expert très voisin de : « Comment expliquez-vous que le sonar recommandé par l'Italie réponde aux spécifications alors que la longueur du câble est inférieure à la profondeur requise ? » la réponse était simplement (en anglais) : « *compliant* ». J'avais demandé une enquête administrative (française) sur la procédure de choix, enquête confiée au contrôleur général Menu. Le procédé n'a malheureusement pas réussi, et la France et l'Italie ont finalement choisi des sonars différents.

La direction de l'agence NAHEMA

Le mandat du directeur italien arrivant à échéance, mes partenaires étaient convenus qu'il serait remplacé par un allemand, en s'appuyant sur la pratique de l'Otan qui veut que la direction d'une agence ne soit jamais confiée à un ressortissant du pays hôte, lequel fournit en revanche le directeur adjoint, chargé de questions matérielles.

Dans l'esprit de ne rien céder sans contrepartie, j'ai réservé mon accord sur cette proposition. J'ai constaté que mon homologue allemand M. Heumann, pourtant calme d'habitude, devenait rouge de colère. J'en ai compris la raison plus tard, lorsque ce principe a finalement été retenu : c'est M Heumann qui a été désigné par son pays comme directeur de la NAHEMA.



NFH MARINE NATIONALE

Le 12 mars 1980, jour du vingt-cinquième anniversaire du premier vol de l'Alouette II, les trois bimoteurs de la nouvelle gamme sont présentés en vol à Marignane en version civile



Chapitre VIII

LES PROGRAMMES INDUSTRIELS DITS « COMMERCIAUX »

(Jean-Pierre Dubreuil et Bernard Fouques, avec les contributions de Jean Cathala, Michel Hancart et Bernard Certain)

I. LE PROGRAMME SUPER PUMA

(Jean Cathala⁶³)

L'hélicoptère Puma SA 330, qui correspondait à la fiche programme que l'ALAT avait émise en 1963, était un hélicoptère de manœuvre destiné au transport de troupe, capable de se poser en campagne et d'être entretenu ou réparé de façon autonome. Son premier vol eut lieu le 15 avril 1965. Il s'agissait d'un bimoteur dont la masse totale, initialement de 6,4 tonnes, fut successivement portée à 6,7 tonnes, puis à 7 tonnes. Équipé au départ d'un rotor principal articulé de 4 pales métalliques, il fut muni en 1976 de pales en composite. Développé en plusieurs versions militaires ou civiles, il fut produit à près de 1 000 exemplaires, dont 705 en France.

////////////////////////////////////
63 de la société Eurocopter.

1. Les successeurs du Puma : l'AS 331, appareil transitoire

L'armée de terre désirant remplacer ses Puma par un appareil plus performant et plus moderne, capable de prendre progressivement leur relais à partir des années 80, établit une fiche programme définissant ses nouveaux besoins. Le marché d'État correspondant fut annoncé en 1975 à l'occasion du salon aéronautique du Bourget pour l'étude et la réalisation d'un appareil bimoteur de transport tactique de moyen tonnage, appareil entièrement nouveau, mais aux caractéristiques opérationnelles proches de celles du Puma.



Figure 122 - Puma 05

Après avoir essayé quelques modifications (dont un rotor arrière de type fenestron et un moyeu rotor principal de type Starflex qui ne furent pas retenus par la suite) sur le Puma de présérie 05, un nouvel appareil, baptisé Super Puma AS 331, fut réalisé.

Il devait pouvoir bénéficier de technologies plus modernes capables de lui procurer de meilleures performances avec des turbomoteurs Makila de nouvelle génération plus puissants et plus économes, des mécaniques à puissance accrue et de nouveaux équipements montés sur une structure entièrement refondue. De plus, pour améliorer ses caractéristiques opérationnelles, il devait être muni d'équipements dits « anticrash » lui permettant de sauvegarder la vie des commandos et de l'équipage en cas d'accident : train d'atterrissage de nouvelle conception à double absorption d'énergie, circuits carburant résistant au feu, aux déchirures ou aux projectiles, sièges équipages ou de troupe munis d'absorbeurs d'énergie, coupe-câbles, blindages, etc.

Il était demandé également d'améliorer la maintenance (potentiels entre révisions et des durées de vie plus importants) de façon à réduire les temps d'immobilisation et les coûts d'exploitation.

Le premier vol du AS 331 eut lieu le 5 septembre 1977 et sa mise au point se déroula sans problèmes particuliers.



Figure 123 - Le SA 331 au cours de son premier vol. L'appareil a été profondément modifié et le nez rallongé. Remarquer la tête rotor, le train et la poutre de queue. © EC

2. L'étape suivante : l'AS 332 Mk I

Les coûts de développement et d'industrialisation de cette nouvelle machine s'étant avérés trop importants, l'AS 331, qui fut alors considéré comme banc d'essai, n'eut pas de suite et il fut décidé de revenir à une solution moins onéreuse qui consistait à conserver l'essentiel de la structure du Puma, mais en y ajoutant les adaptations nécessaires, tels que des renforts localisés pour les nouvelles mécaniques et le train d'atterrissage, une pointe avant plus effilée, une quille sous la dérive, etc. Ces aménagements confèrent à l'appareil une silhouette légèrement différente de celle du Puma. Tous les nouveaux équipements développés et mis au point sur le 331 : boîtes de transmissions, moteurs, rotors principal et arrière (dérivés de ceux du Puma), équipements anticrash, etc. furent montés sur cette structure.

Au cours de la longue carrière que cet appareil allait connaître, de nombreuses versions, tant militaires que civiles, furent développées.

Les versions militaires

AS 332 B standard de transport tactique (court)

Pour satisfaire les exigences de la fiche programme : performances, sécurité, fiabilité et caractéristiques opérationnelles, ce nouvel appareil se caractérisait par :

- une forte réserve de puissance offerte par le nouveau moteur Turbomeca Makila 1A, procurant la marge de manœuvre et la maniabilité nécessaires pour le vol tactique, en donnant aussi de meilleures possibilités au vol sur un moteur. De plus, sa faible consommation devait lui conférer un important rayon d'action ;
- l'adoption de pales en composite à durée de vie infinie pour le rotor principal (4) et le rotor arrière (5) ;
- la possibilité de replier les pales manuellement ;
- la capacité (en option) de vol tout temps grâce au dégivrage électrique des pales principales, à l'antigivrage électrique des pales arrière et à l'antigivrage pneumatique de l'empennage horizontal ;
- des ensembles mécaniques plus puissants avec la possibilité, pour la boîte de transmission principale, de fonctionner sans huile au moins pendant au moins trente minutes ;
- le caractère *fail-safe* de certains ensembles structuraux ou mécaniques ;
- une cabine capable de recevoir, aussi bien intérieurement qu'extérieurement, et ce dès la version de base, une grande diversité d'aménagements ou d'équipements pour satisfaire toutes les missions militaires demandées ;
- une avionique de génération récente, permettant, notamment, le vol tactique de nuit (jumelles à intensification de lumière) ;
- la possibilité d'être entretenu en campagne de façon autonome, avec l'aide d'outillages spécifiques aérotransportables ;
- des périodicités de révision des ensembles mécaniques supérieures à 2 000 heures ;

- la possibilité de fournir au sol l'énergie hydraulique avec un moteur en fonctionnement, l'autre arrêté et rotor stoppé ;
- la protection au crash des occupants, grâce au train d'atterrissage à haute absorption d'énergie et à pneus basse pression, des circuits carburant résistant au feu et aux impacts de projectiles de 12,7 mm, des sièges anticrash pour l'équipage et les commandos, etc.
- la cellule de l'appareil, très semblable à celle du Puma, en diffère par l'adjonction de renforts structuraux rendus nécessaires par l'augmentation des performances. La silhouette diffère de celle du Puma par une pointe avant plus effilée, l'adjonction d'une dérive verticale sous l'empennage vertical et la présence du train d'atterrissage anticrash ;
- d'être aérotransportable dans les cargos existants (Transall, Hercules) avec des démontages ou remontages n'excédant pas une journée ;

Le premier vol de l'appareil répondant à ces spécifications eut lieu le 13 septembre 1978.

Version allongée AS 332 M

Une version allongée de 0,760 m offrant une capacité de carburant accrue de 500 litres, permettait un plus grand rayon d'action et l'emport d'un plus grand nombre de commandos. Deux hublots (un de chaque côté) ont été ajoutés dans la partie avant de la cabine.

Version navale AS 332 F (courte)

Pour couvrir les besoins opérationnels d'une utilisation en mer, une version navale de l'appareil fut réalisée couvrant trois missions principales :

- lutte anti-bâtiments de surface avec un ou deux missiles Exocet AM 39 ;
- lutte anti-sous-marine avec sonar, radar, bouées sonores et torpilles ;
- missions de recherche et sauvetage (SAR) avec radar de recherche, treuil, phare de recherche, flottabilité de secours, etc.

Pour le poser sur bâtiments, les appareils pouvaient être munis d'un système d'aide à l'appontage, de repliage manuel des pales principales et du pylône de poutre de queue. La protection contre la corrosion fut renforcée.



Figure 124 - SA 332 F1 équipé de ses deux missiles subsoniques Excocet

Les versions civiles

Cet appareil, initialement conçu pour une utilisation militaire, possédait des performances et des caractéristiques qui pouvaient facilement être transposées à une utilisation civile, notamment grâce à sa cabine dont les dimensions étaient bien adaptées au transport de passagers. C'est pourquoi, afin d'accroître les perspectives de ventes, des études furent lancées pour étudier les adaptations devant satisfaire les certifications exigées pour le marché civil.

Version standard civile AS 332 C (courte)

Le marché civil étant en pleine expansion, les missions suivantes ont été développées : travail aérien, off-shore, transport de passagers, opérations humanitaires, sauvetage en mer, transport de VIP, etc. De façon à réduire les coûts d'exploitation, l'appareil bénéficiait des mêmes caractéristiques de base que la version militaire et des mêmes améliorations de maintenance offertes : potentiels et durée de vie élevés, facilités d'intervention, etc. Pour satisfaire les besoins des opérateurs civils, les équipements spécifiques suivants ont été ajoutés : insonorisation renforcée, grande variété d'aménagements cabine, flottabilité de secours, etc. De plus, dès la version de base, plusieurs points d'attaches structuraux ont été ajoutés sur la structure de façon à pouvoir équiper les différentes versions d'un large éventail d'équipements optionnels. Le premier vol du premier appareil de série (2001) a eu lieu le 1er février 1980 et le certificat de navigabilité DGAC a été obtenu le 24 avril 1981.

Version civile allongée AS 332 L

Les caractéristiques générales de cette version sont identiques à celles de la version militaire allongée. Les deux hublots de la version de base, existant sur la partie avant ont été remplacés par des hublots de plus grande dimension.

Le premier vol de cette version (appareil 2004) a eu lieu le 10 octobre 1980 et le certificat de navigabilité DGAC a été obtenu le 2 décembre 1981.

Caractéristiques principales des versions AS 332 Mark I

Super Puma MK I	Versions militaires		Versions civiles	
	AS 332 B Court	AS 332 M Long	AS 332 C Court	AS 332 L Long
Longueur rotor tournant (m)	18,7	18,7	18,7	18,7
Diamètre rotor (m)	15,6	15,6	15,6	15,6
Masse maxi (kg)	8 350/8 600	8 350/8 600	8 350/ 600	8 350/8 600
Masse à vide (kg)	4120	4265	4.325	4.325
Capacité	2 pil. + 21 com.	2 pil. + 25 com.	2 pil. + 19 pas.	2 pil. + 22 pas.
Charge utile (kg)	4 140	4 140	4 140	4 140
Charge à l'élingue (kg)	4 500	4 500	4 500	4 500
Installation motrice	2 Makila 1A	2 Makila 1A	2 Makila 1A	2 Makila 1A
Puis. max (ch)	2 x 1 750	2 x 1 750	2 x 1 750	2 x 1 750
Vit. crois. (km/h)	280	280	280	280
Dist. franchissable (km)	645	850	645	850

Versions ultérieures

D'autres versions B1, C1, M1, L1 vivent le jour. Elles furent équipées du moteur Makila 1A1 dont la puissance fut augmentée de 7 %, soit 1 872 ch. Le CdN des deux versions civiles a été obtenu le 14 mars 1985. Par ailleurs, la dénomination des versions militaires est devenue AS 532 Cougar, les chiffres étant suivis de lettres caractérisant la mission ; par exemple, le 332M1 est devenu le 532UL (non armé) ou 532AL (armé).

3. L'évolution : l'AS 332 Mk II

Le succès commercial remporté par ces différentes versions incita Eurocopter à développer, une nouvelle version revalorisée : le Super Puma type Mark II, devant être disponible à partir des années 1990 et capable de satisfaire une clientèle militaire ou civile, toujours plus exigeante, en offrant des performances plus larges de vitesse, rayon d'action, masse transportée, sécurité, fiabilité, etc.



Figure 125 - AS 532 UL. À l'exception des options rien ne le distingue de l'AS 332 M1

L'appareil fut équipé d'un moteur Makila 1A2, à puissance accrue, d'un nouveau moyeu rotor principal de type « sphériflex » toujours à quatre pales (avec de nouveaux saumons d'extrémité) et d'un nouveau moyeu rotor arrière « sphériflex » et quadripale lui aussi ; la masse maximale au décollage fut en conséquence accrue jusqu'à 9 300 kg.

L'avionique de nouvelle génération à écrans cathodiques de type EFIS permet une vision synthétique des paramètres de vol sur un seul écran. Un calculateur de maintenance intégré assure une surveillance des ensembles mécaniques en temps réel. Cet écran regroupe aussi les alarmes qui étaient réparties sur plusieurs écrans dans les versions précédentes.

La partie arrière de la cabine (existant en version longue uniquement) a été modifiée en remplaçant le cône de queue de base par un cône de volume accru en stratifié de carbone, avec rampe de chargement intégrée. Pour

le personnel embarqué, la visibilité vers l'extérieur a été améliorée grâce à l'agrandissement des hublots à l'arrière de la cabine.

Son premier vol eut lieu le 6 février 1987, et le CdN obtenu le 12 juin 1991.

Les versions militaires

Pour les appareils de cette nouvelle gamme, la désignation AS 532 Cougar fut conservée ; cette désignation était suivie d'une lettre et du chiffre 2 pour différencier les diverses missions auxquelles l'appareil était destiné, par exemple 532U2 ou 532A2.

Les versions civiles

Les appareils de cette nouvelle gamme ont conservé la désignation AS 332 (L2 seulement, car il n'existait pas de version courte).

4. Une nouvelle version sophistiquée

Version militaire EC 725 (CARACAL dans les forces armées françaises)

Les missions militaires devenant de plus en plus variées et complexes en raison des nouveaux théâtres d'opérations qui apparaissaient un peu partout dans le monde, les états-majors des armées ont été conduits à définir de nouvelles exigences d'utilisation qu'Eurocopter a pris en compte pour étudier et réaliser une nouvelle version, initialement dénommée Mk2+, directement issue de la version (longue) précédente, mais en lui procurant des performances supérieures et en le dotant d'aménagements spécifiques. Cet appareil est devenu ainsi une véritable « machine à tout faire », car, outre les missions habituelles offertes par les versions précédentes, il assure aussi des missions spéciales telles que HUS (hélicoptères pour unités spéciales) pour les besoins de l'armée de terre et Resco (sauvetage au combat) pour l'armée de l'air.

Pour réaliser ces performances qui devaient conduire l'appareil loin à l'intérieur des territoires ennemis ou loin en mer pour la recherche et le sauvetage d'équipages en détresse, l'appareil fut doté d'un nouveau rotor principal sphériflex à cinq pales en composite d'un diamètre de 16,2 m offrant un meilleur niveau vibratoire (le rotor arrière est, lui, resté quadripale), de nouveaux moteurs Makila 1A4 (renommés ultérieurement Makila 2A) procurant un accroissement significatif de puissance, de nouveaux ensembles mécaniques (+ 8 % de puissance), des réservoirs supplémentaires internes ou externes, démontables ou largables, assurant un rayon d'action de plus de 500 nautiques (926 km), d'une perche de ravitaillement en vol qui fut une grande innovation (déjà développée pour le Mk2), permettant un doublement du rayon d'action, d'un treuil de base d'une capacité de 272 kg pouvant être doublé d'un treuil de secours. En outre, les hublots ont été agrandis et deux d'entre eux comportent une bulle d'observation vers l'extérieur. Les deux hublots situés à la partie avant ont été équipés d'une fenêtre coulissante permettant le tir latéral avec deux mitrailleuses de 7,62 mm.



Figure 126 - EC 725 AP ravitaillé à partir de l'avion de transport Hercules KC 130 J

L'appareil peut être aussi pourvu de tous les armements déjà existants sur les versions précédentes.

L'équipage dispose de six écrans LCD et d'un PLS (Personal Locator System) permettant de récupérer des équipages tombés en territoire ennemi. La navigation est assurée par GPS, centrale inertielle, Doppler, VOR, TACAN, DME. Pour alléger sa charge, l'équipage dispose du concept IFDS (Integrated Flight Display System) qui intègre un pilote automatique quatre axes regroupant tous les modes de navigation SAR, permettant notamment des



Figure 127 - Le 27 novembre 2000, premier vol du Cougar AS 532 Mk II+ © EC, G Deulin, P. Penna

approches sûres par tout temps, avec calculateur de navigation Nadir. Pour les phases critiques de recherche, l'appareil est équipé de phares de recherche, de caméras TV/infrarouge, de blindages, d'un radar de détection ainsi que de la flottabilité de secours.

Le premier vol a eu lieu le 27 novembre 2000.

Version civile EC 225

Directement dérivée de la version militaire, une version civile baptisée EC 225 LP a été développée pour satisfaire les exigences des clients civils, notamment pour la recherche en mer. Elle a été certifiée DGAC le 27 juillet 2004.

Le succès commercial des différentes versions du Super Puma ne se démentit pas puisque, toujours en production, à la fin 2015, soit trente-cinq ans après le premier vol du prototype, 953 appareils ont été livrés à de nombreux utilisateurs civils ou militaires dans le monde. Ils ont totalisé environ 5 260 000 heures de vol. Il doit cet exceptionnel succès à sa capacité d'avoir pu évoluer par étapes successives pour satisfaire une clientèle toujours plus exigeante.

Caractéristiques principales :

	EC 725 Militaire	EC 225 Civil
Moteurs Makila 2A ou 2A1 (ch)	2 x 2 382 kW	2 x 2 382 kW
Masse maxi (kg)	11 000	11 000
Charge utile (kg)	5 330	5 271
Charge à l'élingue (kg)	4 750	4 750
Vitesse maxi (km/h)	310	324
Vitesse croisière (km/h)	262	276
Endurance max. (heures)	6,5	4,5
Rayon d'action maxi (km)	1 340 (*)	850
Capacité réservoir (litres)	3 900	2 553
Capacité transport	2 pil. + 29 soldats ou 11 civières et 5 sièges pour blessés	2 pil. + 24 passagers
(*) avec tous les réservoirs et sans ravitaillement en vol		

II. LE PROGRAMME DAUPHIN

(Michel Hancart)

En juin 1970, la division hélicoptères de Sud-Aviation décida de lancer, pour la première fois sur ses fonds propres, l'étude d'un appareil destiné à prendre la relève de l'Alouette III. L'objectif consistait à développer un hélicoptère emportant dix passagers dans une cabine largement dimensionnée, aux performances améliorées et doté de tous les équipements modernes du moment au service de la sécurité et de la maintenance.

1. Monomoteur 360C : le précurseur

C'est ainsi que naît le Dauphin SA 360 doté d'un rotor principal quadripale à moyeu NAT (non articulé en traînée) issu de la Gazelle et de pales composites en fibre de verre avec revêtement carbone pour une meilleure rigidité. Le rotor anticouple est du type fenestron également issu de la Gazelle, équipé de treize pales métalliques.

La disposition de réservoirs structuraux sous le plancher permet d'aménager une cabine de quatorze places (deux pilotes et trois rangées de quatre sièges). Le cône de queue de grande section assure une transition sans décrochement de profil entre la cabine et l'ensemble arrière dérive/fenestron, conférant ainsi au fuselage une excellente finesse. Le train d'atterrissage fixe, à roues, est de type tricycle avec roulette de queue.

Le moteur Turbomeca Astazou XVI à turbine liée développant 1 050 ch, prévu à l'origine pour une vitesse maximale de 270 km/h à la masse appareil de 2 600 kg sera remplacé rapidement par un Astazou XVIII autorisant une extension de masse.



Figure 128 - Premier vol SA 360 © Photo DR/Airbus Helicopters

Le premier vol a lieu le 1^{er} juin 1972 et les bons résultats des essais en vol, en particulier la stabilité et l'excellent niveau vibratoire, permettent d'obtenir moins d'un an plus tard, en mai 1973, trois records internationaux de vitesse dans la catégorie de masse appareil 1 750-3 000 kg :

- 312 km/h sur base de 3 km ;
- 303 km/h sur base de 15/25 km ;
- 299 km/h en circuit fermé de 100 km.

Le SA 360 C obtient sa certification civile le 21 décembre 1976 à la masse maximale de 3 400 kg. En novembre 1978, et pour la première fois sans pilote automatique dans l'histoire de l'hélicoptère, il obtient la certification IFR bipilote catégorie I aux USA grâce à ses exceptionnelles qualités de vol et à sa stabilité. La certification IFR monopilote est également acquise avec seulement l'installation d'un système d'augmentation de stabilité.

Malgré ces performances, le SA 360 ne rencontra pas un grand succès commercial, seulement trente-quatre machines seront vendues. En effet, le marché et l'évolution de la réglementation réclament désormais une architecture bimoteur pour renforcer la sécurité des missions dévolues à cette catégorie d'appareils.

Une version militaire surmotorisée équipée d'un moteur Turbomeca Astazou XX de 1 400 ch et du moyeu rotor principal Starflex emprunté à la future version bimoteur du Dauphin sera également expérimentée sous la dénomination 361 H (deux appareils fabriqués).

Une version navale effectuera une campagne d'essais à la mer et une version terrestre équipée d'armements axiaux et du missile antichar HOT avec système de visée OPHELIA sera développée dans le cadre de l'étude HCL (hélicoptère de combat léger) destinée à l'armée de terre française. Aucun de ces deux programmes n'ayant été retenu, les études associées au 361 H seront définitivement abandonnées au seuil des années 1980.



Figure 129 - SA 361 H 1012 avec boule Vénus
© Photo DR/Airbus Helicopters

Le dernier SA 360 sera retiré du service en 2011.

2. Bimoteur 365 C : la transition

Cette évolution vers la bimotorisation avait cependant été anticipée dès 1970 par la création de provisions d'espace sur le plancher mécanique et un dimensionnement des ensembles dynamiques permettant d'accueillir la configuration bimoteur sans modifications fondamentales de la structure. Simultanément, la division hélicoptères avait demandé à Turbomeca de travailler sur un nouveau moteur à turbine libre de 650 ch en vue d'équiper le futur hélicoptère monomoteur Ecureuil et de transformer le Dauphin en bimoteur.

À partir de 1974, la première version du moteur Arriel de 578 ch est disponible pour l'installation de deux moteurs côte à côte dans un compartiment élargi avec cloison de séparation centrale, à l'arrière de la boîte de transmission principale aménagée avec deux prises de mouvement.

Le rotor principal est modernisé par l'introduction du moyeu Starflex en matériau composite verre/résine qui assure l'ancrage des pales au moyen de paliers lamifiés en élastomère. La suppression des articulations traditionnelles qui en résulte permet avec moins de pièces une réalisation plus légère et plus économique ainsi qu'une économie significative de coût de maintenance par rapport au moyeu NAT. Le rotor arrière de type fenestron est conservé ainsi que le train d'atterrissage fixe à roulette de queue. Seule une option d'atterrisseur à patins sera développée pour satisfaire les conditions d'atterrissage sur zone exigüe, en particulier sur les plates-formes pétrolières.

Le premier vol a lieu le 24 janvier 1975. Un bref épisode du développement consistera à équiper un prototype⁶⁴ avec le moteur Lycoming LTS 101 (qui équipera plus tard la version Dauphin 366G US Coast Guard), mais cette configuration fut rapidement abandonnée pour revenir à l'Arriel. À partir de 1981, un appareil de présérie sera utilisé par Turbomeca comme banc d'essai volant du futur moteur TM 333 à régulation numérique.

////////////////////////////////////
64 Le prototype 003, dénommé 366 pour la circonstance.

Les versions successives du SA 365 C ont été les suivantes :

- SA 365C, équipé de deux Arriel 1A, Masse maximale 3 400 kg, Certifié le 4 juillet 1978 ;
- SA 365C1, Arriel 1A1, 3 400 kg, 26 mars 1979 ;
- SA 365C2, Arriel 1A2, 3 500 kg, 18 février 1980 ;
- SA 365C3, Arriel 1C, 3 500 kg, 14 janvier 1982.

Cette première famille de bimoteurs a été appréciée pour ses performances et sa robustesse dans les missions civiles les plus variées et elle a, en particulier, assuré la première percée du Dauphin dans la desserte des plates-formes pétrolières, d'abord en mer du Nord, puis en Afrique et jusqu'en Inde. La production du 365 C sera néanmoins limitée à quatre-vingt exemplaires car de nouvelles modifications s'avèrent nécessaires pour satisfaire pleinement la clientèle : augmentation du rayon d'action et abandon de l'atterrisseur à roulette de queue jugé pénalisant par les utilisateurs civils. La voie est ouverte à l'évolution majeure du programme : le 365N.



Figure 130 - SA 366 C 003 © Photo DR/Airbus Helicopters

3. Bimoteur 365 N : la maturité

Cette première grande modernisation est lancée fin 1977. Son objectif est triple : augmenter significativement le rayon d'action, installer un train tricycle à roulette de nez adapté aux plates-formes et améliorer l'espace cabine par élimination du pilier central de commandes de vol au profit d'un cheminement de ces dernières dans les cadres latéraux.

Un nouveau dessin de fuselage avec pointe avant allongée pour abriter un radar aboutit à un affinement général des lignes qui, combiné à la rétraction en vol du train d'atterrissage, confère à la machine l'un des meilleurs coefficients de traînée aérodynamique de sa catégorie. L'aérodynamique des pales est entièrement revue avec la contribution de l'Onera, les extrémités de pale en flèche à 45° permettent d'accroître la vitesse pour une même puissance. Les vibrations sont filtrées par une suspension souple bidirectionnelle de la boîte de transmission principale.

Le rendement de l'installation motrice est optimisé par l'adoption d'entrées d'air frontales dynamiques pour chaque moteur Arriel 1 C développant maintenant 700 ch. La capacité des réservoirs est quant à elle doublée pour atteindre 1 140 litres (contre 640 sur le 365 C).

Les caractéristiques du nouveau projet permettent d'augmenter la masse maximale au décollage de 300 kg de conserver une vitesse de croisière maximale proche de 300 km/h et d'atteindre une distance franchissable de 900 km.

Le premier vol a lieu le 31 mars 1979 et, moins d'un an plus tard, l'appareil établit plusieurs records du monde de vitesse sur le trajet Paris-Londres :

- le 6 février 1980 : Paris-Londres-Paris à la vitesse de 294 km/h ;
- le 8 février 1980 : Paris-Londres à la vitesse de 322 km/h, puis Londres-Paris à la vitesse de 281 km/h (moyenne aller-retour homologuée : 303 km/h).

Entre-temps, le 14 juin 1979, la division hélicoptères d'Aérospatiale, en compétition avec Sikorsky et Bell, se voit attribuer, sur la base du 365 N, le contrat de quatre-vingt-dix appareils de recherche et de sauvetage émis par l'administration des Garde-côtes américains (US Coast Guard). La mission type du cahier des charges consiste à hélitreuiller trois naufragés à la distance maximale de 165 miles nautiques avec tenue du vol stationnaire pendant 15 minutes puis retour à la base.

L'exécution du contrat, conforme au *Buy American Act*, impose que la moitié en valeur des équipements soit d'origine américaine : les moteurs Lycoming LTS 101, l'avionique intégrée Collins (navigation, recherche tout temps et communications) et une station de treuillage spécifique Breeze pour l'introduction de la civière à bord. Les cellules nues livrées par Marignane sont équipées par la filiale américaine AHC (devenue ultérieurement AEC) de Grand Prairie (Texas).

Ce contrat, le premier d'une telle importance pour le programme Dauphin, va donner une impulsion commerciale majeure au programme et, à partir de cette période, trois segments vont être développés simultanément dans la gamme : le 365 N à vocation civile, la version spécialisée 366 G1 pour la US Coast Guard (HH-65 pour le client) et les versions militaires.

365 N

Cette version dédiée au transport de passagers, à la desserte des plates-formes off-shore, à l'évacuation sanitaire et aux missions de service public est certifiée le 9 avril 1981 à la masse maximale de 3 850 kg (portée ultérieurement à 4 000 kg). Elle fera notamment l'objet d'un contrat de licence avec la République populaire de Chine qui se concrétisera par la construction de plus de 260 appareils (estimation en 2015).



Figure 131 - Premier vol du SA 365 N (appareil n°5100)
Max Jot, René Stevens, Michel Sudre, 31 mars 1979
© Photo DR/Airbus Helicopters

Plusieurs variantes s'échelonnent pour assurer la compétitivité du produit jusqu'à nos jours :

- le SA 365 N1 (premier vol septembre 1981) reçoit le moteur Arriel 1C1, le fenestron en matériau composite carbone-résine à diamètre augmenté de 0,9 m à 1,1 m, équipé de onze pales en kevlar. Ce nouvel ensemble arrière commun avec la version 366G1 permet d'améliorer la tenue du vol stationnaire par vent latéral et la performance de décollage en altitude. La masse maximale au décollage est portée à 4 100 kg. Il est certifié le 28 juillet 1983 ;
- le AS 365 N2 (premier vol décembre 1988) reçoit les moteurs Arriel 1C2 dont la puissance est augmentée à 763 ch, ce qui autorise une masse maximale au décollage de 4 250 kg. Il est certifié le 25 octobre 1989 ;
- le 365 N3 à hautes performances par temps chaud et en altitude (premier vol octobre 1996) est équipé de moteurs Arriel 2C à régulation numérique développant 977 ch pour une masse maximale de 4 300 kg. Cette variante est toujours en production aujourd'hui. Il est certifié le 6 octobre 1997.

366 G1



Cette version performante est proposée lors de l'appel d'offres lancé en 1979 par la US Coast Guard qui doit remplacer sa flotte de Sikorsky HH-52A Sea Guard, assurant les missions de surveillance, de protection et de sauvetage. Le Dauphin a pour rival le S-76 Spirit proposé par Sikorsky.

Figure 132 - Le SA 366 n°6002, équipé du fenestron de 0,90 m
© Photo DR/Airbus Helicopters

Ce Dauphin fera son premier vol le 23 juillet 1980 et il prendra alors l'appellation MH ou HH 65 Dolphin⁶⁵ (SA 366G1 dans la dénomination du constructeur). La mise en conformité de la définition avec les normes très contraignantes de la marine américaine impose l'introduction d'un nombre important de modifications par rapport à la configuration de base du 365 N. C'est en particulier l'exigence de tenue du vol stationnaire par vent latéral de 35 kt à la masse maximale de 4 060 kg qui impose l'installation du fenestron à diamètre augmenté commun avec le 365 N1. Le premier appareil sera transféré au Texas chez Aérospatiale Helicopter Corporation (AHC), pour terminer son équipement avec des instruments US. Deux turbomoteurs Lycoming LTS-101-750B2 de 699 ch équipent ces appareils. La masse maxi est de 4 060 kg et distance franchissable de 650 km. Il peut emporter une mitrailleuse de 7,62 mm pour ses missions de surveillance des côtes et de lutte contre les narcotraficants.

Il est certifié le 9 mai 1983. La première livraison intervient le 19 novembre 1984 et c'est un total de 106 appareils qui sera finalement produit. À partir de 2004, la US Coast Guard, soucieuse d'assurer une deuxième carrière de vingt ans à un appareil qui lui donne entière satisfaction (avec le meilleur score de disponibilité de l'ensemble de sa dotation en matériel), décide la revalorisation de sa flotte en remplaçant les moteurs LTS 101 par des moteurs Turbomeca Arriel et en modernisant l'avionique.



Figure 133 - SA 366 G1 de la US Coast Guard. On note le fenestron agrandi et le treuil spécifique © Photo DR/Airbus Helicopters

65 Les HH sont les appareils destinés au sauvetage en mer et les MH les appareils polyvalents suite au programme Deepwater.

4. Les versions militaires

365 F



Figure 134 - SA 365 F © Photo DR/Airbus Helicopters

La version navale ne tarde pas à suivre le développement du 365 N, le 365F effectue son premier vol le 22 février 1982. C'est un appareil de lutte anti-surface équipé d'un radar panoramique Agrion et de quatre missiles AS 15 commandé par l'Arabie Saoudite dans le cadre du programme Sawari et homologué à la masse de 3 900 kg. La première commande de l'État français pour la marine nationale interviendra en 1989. Les

premiers appareils livrés seront des N navalisés, suivis par des F, tous en configuration sauvetage, destinés notamment aux porte-avions.

365 K

La version militaire terrestre (transport commandos et appui feu) effectue son premier vol le 29 février 1984 et sera notamment commandée à trente-six exemplaires par l'armée de terre brésilienne (AVEX). Cette configuration sera progressivement enrichie par l'adjonction d'équipements spécifiques : protection anticrash, blindage, caméra thermique et lunettes de vision nocturne, déviateur/dilueur de jet des turbines pour la discrétion infrarouge.

Ces deux versions 365 F et 365 K donnèrent lieu à une nouvelle appellation AS 565 « Panther ».

365 M

La recherche de performances supérieures en altitude et par temps chaud amena à créer⁶⁶ une nouvelle version uniquement militaire, appelée elle aussi Panther, équipée de deux moteurs Turbomeca TM 333 de 900 ch en remplacement des Arriel. Seuls deux prototypes ont été construits.

Le 365 M établit le 15 septembre 1987 deux nouveaux records mondiaux de vitesse de montée dans sa catégorie à la masse de 2 774 kg (équipage : M. Jot et P. Rougier) :

- montée à 3 000 m en 2 minutes 54 secondes ;
- montée à 6 000 m en 6 minutes 14 secondes.

Par ailleurs, l'appareil a réalisé les premiers essais officiels de voltige (boucle et tonneau barriqué) avec pour équipage Étienne Herrenschildt et Bernard Fouques le 1^{er} avril 1988.



Figure 135 - SA 365M « Panther » n°6005 équipé du TM333 et du système antichar HOT
© Photo DR/Airbus Helicopters

5. Les développements expérimentaux

En marge de ce programme riche en variantes et porteur de nombreux records, deux développements expérimentaux de premier ordre utilisant la plate-forme Dauphin vont marquer l'évolution technique des produits.

66 À noter également l'installation expérimentale de 2 moteurs américains T 800 sur un des appareils de développement (n° 6006) de la version Coast Guard en 1992

Le Dauphin CDVE : le premier appareil de série n°6001 est modifié et utilisé à partir de 1989 pour l'évaluation exploratoire des commandes de vol électriques. Cette expérimentation permettra de quantifier l'intérêt des nouvelles lois de pilotage et de quantifier la charge de travail des pilotes afin d'ouvrir la voie au développement du premier hélicoptère à commandes de vol électriques : le NH 90.

Le Dauphin grande vitesse (DGV) : le rotor de l'appareil de série est remplacé par un rotor à 5 pales avec moyeu Spheriflex caréné et mât en composite carbone-résine issus du développement technique probatoire X 380. La propulsion est assurée par deux moteurs Arriel X de 880 ch chacun. Après un premier vol le 27 février 1991, c'est sous l'appellation AS 365 X DGV 200 (pour 200 kt) que l'hélicoptère bat le record du monde de vitesse (à basse altitude) sur base de 3 km⁶⁷ toutes catégories le 19 novembre 1991 à la vitesse de 372 km/h (200 kt), avec comme équipage : Guy Dabadie, Michel Sudre et Bernard Fouques.

Le rotor Spheriflex à cinq pales sera retenu dans la définition de la dernière évolution du Dauphin ; l'EC 155.

6. Bimoteur EC 155 : la prolongation du succès

L'adaptation de l'hélicoptère aux futures normes environnementales et l'aspiration de la clientèle à disposer d'une cabine plus spacieuse amènent le constructeur (devenu Eurocopter) à envisager dès 1995 une nouvelle revalorisation du Dauphin sous l'appellation EC 155B. Elle voit l'introduction du rotor Spheriflex à cinq pales associé à un fenestron silencieux à pales moulées suivant le procédé RTM. Par ailleurs, la cabine bénéficie d'un accroissement de volume de 40 % en longueur et en hauteur. Enfin, l'hélicoptère est propulsé par deux moteurs Arriel 2C1 de 977 ch chacun.

67 Le record du monde de vitesse sur base de 15/25 km toutes catégories est détenu depuis le 11 août 1986 par un Lynx avec 400 km/h (record en altitude)

L'appareil, destiné aux marchés de transport de passagers VIP et offshore ainsi qu'aux missions de service public effectue son premier vol le 17 juin 1997. Il peut atteindre 270 km/h à la masse maximale de 4 800 kg dans des conditions de confort comparables à celles de l'aviation d'affaires avec un niveau de bruit externe largement inférieur aux prescriptions de l'OACI. Il est certifié le 9 décembre 1998.



Figure 136 - EC 155 © Photo Anthony Pecchi

La police des frontières allemande, client de lancement, reçoit ses premiers appareils en 1999. Une version EC 155B1, équipée d'Arriel 2C2, est certifiée, à la masse de 4 850/4 920 kg le 16 juillet 2002. Les livraisons atteignent 161 hélicoptères à fin 2013.

7. Bilan

Lancée il y a 40 ans, l'activité du programme Dauphin est loin d'être terminée. Partant d'un projet d'hélicoptère de 2 600 kg aboutissant aujourd'hui à une masse totale de 4 800 kg soutenu par une évolution tout aussi remarquable du moteur Arriel, le Dauphin a réussi à dominer le créneau très disputé des bimoteurs moyens de la classe 4-5 tonnes.

Toutes versions confondues, le 1 000^{ème} hélicoptère Dauphin a été livré en 2011 et à fin 2015, 1 100 appareils avaient été produits et avaient accompli 6 200 000 heures de vol.

III. LE PROGRAMME ÉCUREUIL

(Résumé et extraits des souvenirs personnels de Bernard CERTAIN, ingénieur navigant d'essais de 1973 à 2004 à la division hélicoptères d'Aérospatiale puis chez Eurocopter)

Nous sommes au début des années 1970, les appareils en production à Marignane sont les Alouette II et III, Lama, ainsi que le Super Frelon. Développés en coopération avec les Anglais, le Puma commence à être livré et la Gazelle termine ses essais. Tous deux sont destinés aux marchés militaires, ils visent des performances élevées « quoi qu'il en coûte ».

1. Aspects techniques

Les raisons du changement

Le directeur de l'usine de Marignane Fernand Carayon vient de la SOCATA où il a lancé la série des avions légers Rallye, appareils simples et faciles à piloter. Il veut faire de même avec un hélicoptère léger, moins cher, moins complexe que les machines existantes ou en gestation, destiné au marché civil en pleine expansion, tenu majoritairement par le tout nouveau Bell 206 Jet Ranger, financé d'ailleurs par un programme militaire US.

C'est un changement d'état d'esprit complet, cela suppose une maîtrise accrue du monde complexe des voilures tournantes, car on ne peut simplifier que ce que l'on comprend bien. Plusieurs mutations technologiques paraissent suffisamment mûres pour être appliquées, et justifier la création d'un nouvel appareil dans une gamme déjà bien remplie. Ces mutations sont explicitées dans les paragraphes qui suivent.

Le moteur

De petites turbines libres existent comme l'Allison C20F mais sa puissance de 313 kW est insuffisante pour l'appareil de 5 à 6 places visé. Le motoriste américain Lycoming, plus connu pour ses moteurs d'avions légers propose une nouvelle turbine le LTS 101 dans la gamme des 500 kW. Son inconvénient est qu'il n'a jamais été avionné. Turbomeca en France, un peu en retard, propose un moteur de puissance équivalente disponible en 1975. Ce sera l'Arriel 1B qui volera en 1974 sur une Gazelle à la CGTM. Le passage des « turbines liées » type Artouste à des « turbines libres » est un sujet chaud, car le Puma avec ses Turmo, eux aussi à turbine libre, seule technologie viable sur un bimoteur, a des reprises de puissance poussives. Jean Boulet le chef des essais en vol, pense que c'est inacceptable pour un appareil léger, habitué sur les Alouette aux reprises immédiates des Artouste.

Pourtant, les gains apportés par ce nouveau concept sont importants :

- solution au problème du décrochage compresseur en surpuissance, « pompage » destructeur avec perte de puissance immédiate ;
- absence d'embrayage ce qui fait gagner environ 30 kg, ainsi que de délicats problèmes de maintenance, balourd, usure des patins plus ou moins homogène, « une mécanique de tracteur » disent les ingénieurs de Turbomeca ;
- gain en masse, on passe de 2.5 kW/kg à 3.5 kW/kg, en consommation spécifique de 0.4kg/kWh à 0.36 kg/kWh.

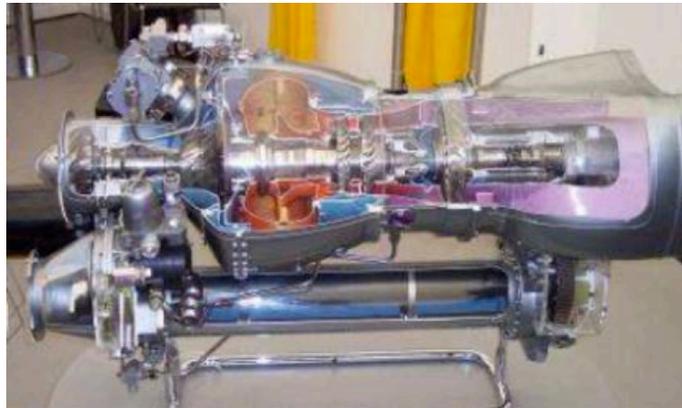


Figure 137 - Écorché du moteur Arriel 1B

Cette évolution se poursuivra lentement jusqu'à aujourd'hui et les derniers Arriel sont à 4.2 kW/kg et 0.34 kg/kWh, démontrant que le gain majeur a été réalisé dès l'origine sur cette gamme de puissance.

Ces deux moteurs très différents ont une particularité commune, la puissance peut sortir soit vers l'avant soit vers l'arrière, ou les deux. En conséquence la boîte principale est plus simple car elle ne fournit plus la puissance au rotor arrière.

Les pales principales

C'est le deuxième gros contributeur aux performances. La Gazelle a ouvert la voie avec des pales en fibres de verre de technologie Bölkow, issue de la coopération sur une Alouette II à moyeu rigide. Il reste à industrialiser cette technologie prometteuse, qui laisse entrevoir des durées de vie infinies, que les pales en métal ne peuvent atteindre. Toutefois l'idée de laisser de côté le vieux profil symétrique NACA 0012 qui date des années 1935 au profit de nouveaux profils, plus minces, légèrement cambrés, ne viendra que plus tard en 1978 avec le 355.

Sur la figure qui suit, en bas une coupe de la pale Gazelle, avec revêtement en fibre de verre et remplissage en nid d'abeille. Au-dessus la pale

Écureuil initiale en fibre de verre, et remplissage Nomex, et enfin la pale montée aujourd'hui sur toute la gamme AS350 et 355, de même technologie que la précédente, avec une corde de 350 mm au lieu de 300 mm et un profil OA209 au lieu du NACA 0012. Cette pale aux caractéristiques remarquables demande seulement 100 h de fabrication, ce qui est un tour de force jamais égalé.



Figure 138 - Coupe des pales Écureuil et Gazelle

Le moyeu principal

Baptisé Starflex, cet élément, à lui seul, fixe beaucoup de caractéristiques de l'appareil :

- le moment de contrôle, c'est-à-dire le moment que le rotor va exercer sur la cellule pour un déplacement donné du manche cyclique ;
- la sensibilité à la résonance sol est aussi en partie fonction de l'amortissement du mouvement des pales dans le plan, que l'on nomme la traînée. La position de l'amortisseur de traînée (4) se révélera très astucieuse, car il n'induit pas d'effort parasite dans la commande de pas.

Jusqu'à là les moyeux sont en métal et comportent de nombreuses pièces, batteries de roulements et système de reprise de l'effort centrifuge qui atteint 15 à 20 tonnes sur les appareils de 1 500 à 2 500 kg.

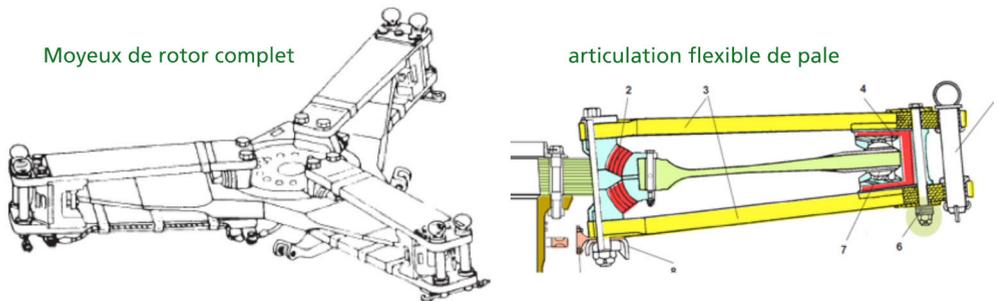


Figure 139 - Moyeu Starflex

Toutes les pièces sont ici en fibre de verre, sauf la butée sphérique (2) en alliage léger et en caoutchouc, ainsi que les goujons de fixation et les broches de pale (5) en acier.

Le rotor arrière

Ici aussi, le désir de simplifier est net : pas de roulement, tout est construit autour d'une lame de roving qui va du bout de la première pale au bout

de la seconde, et qui reprend la force centrifuge, donne de la souplesse en battement, remplace l'articulation de pas par torsion, donne la rigidité en traînée nécessaire à la reprise du couple, et sert de longeron de pale. Cette lame au centre est fixée de manière rigide sur l'arbre d'entraînement.

Le profil NACA 0012 est conservé, et on n'a pas jugé bon de mettre du vrillage. À partir du centre une zone torsible assure la mise de pas. C'est l'élément de l'appareil qui subira le plus de modifications avant la certification.

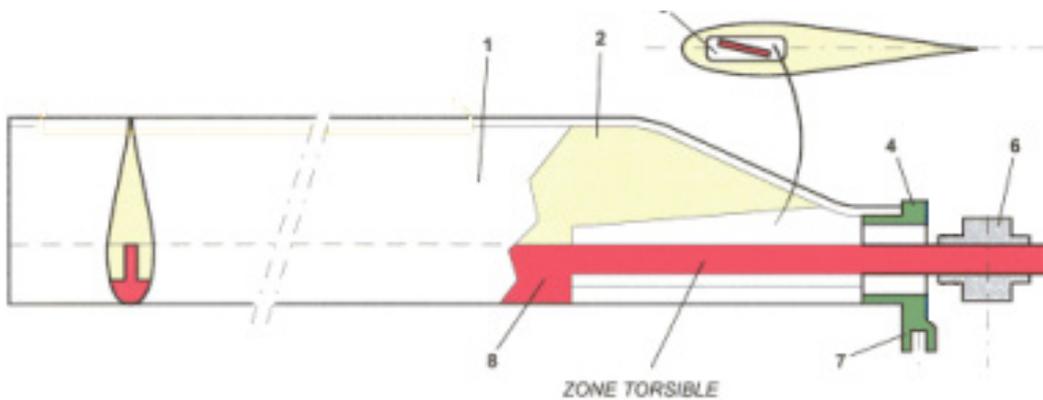


Figure 140 - Articulation flexible de pale de rotor arrière

La boîte de transmission principale

Les moteurs prévus ayant une sortie de puissance horizontale tournant à 6 000tr/mn, il faut transformer ce mouvement dans l'axe vertical à un régime choisi égal à 386 tr/mn, cohérent avec le diamètre rotor envisagé, 10,69 m. Le critère est une forte vitesse en bout de pale pour tirer beaucoup de portance et emmagasiner beaucoup d'énergie cinétique dans le rotor, mais pas trop pour limiter le bruit. Le choix est ici de 216 m/s.

Les schémas ci-dessous montrent la grande pureté du dessin de cette boîte qui n'a subi que très peu de modifications jusqu'à aujourd'hui, bien que

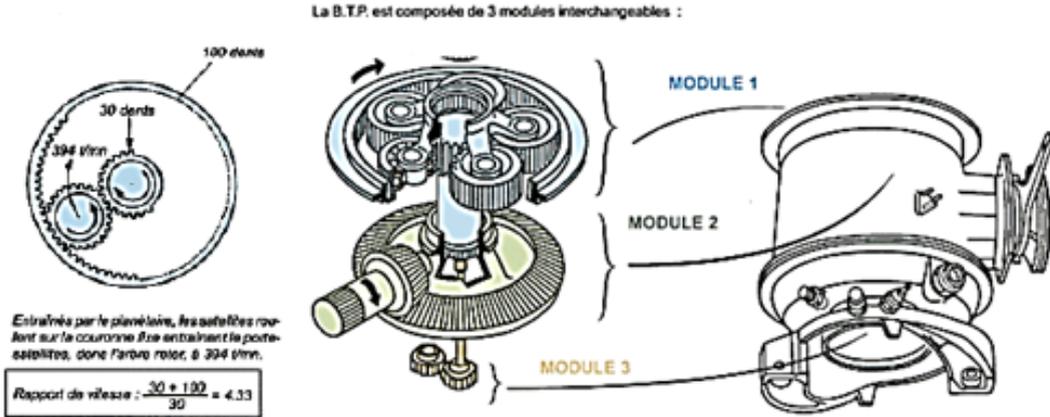


Figure 141 - Boîte de transmission principale épicycloïdale

la puissance qu'elle est capable de transmettre soit passée de 390 kW à plus de 500 kW. Le bon choix des nombres de dents des pignons en fera une mécanique très silencieuse.

On remarquera, à la base de cette BTP, le système de reprise de couple, premier élément de la platine souple de liaison que l'on nomme « barbecue » par référence au système monté sur le Puma qui, lui, ressemble à un grill.

Les commandes de vol

Les servocommandes sont semblables à celles de la Gazelle, fixées sur la boîte de transmission, mais la génération hydraulique est faite avec une pompe industrielle entraînée par courroie plate. À l'origine il n'y a pas de servocommande de lacet.

La cellule

Contrairement aux Alouette construites autour d'un treillis en tubes d'acier soudé, ici tout est en dural riveté, utilisant un nouvel alliage mis au point pour Concorde. La poutre de queue est, par exemple, réalisée avec deux demi-cônes d'épaisseurs différentes, sans nervures. La structure centrale est aussi réalisée à l'aide de grandes pièces embouties (comme les cloisons en

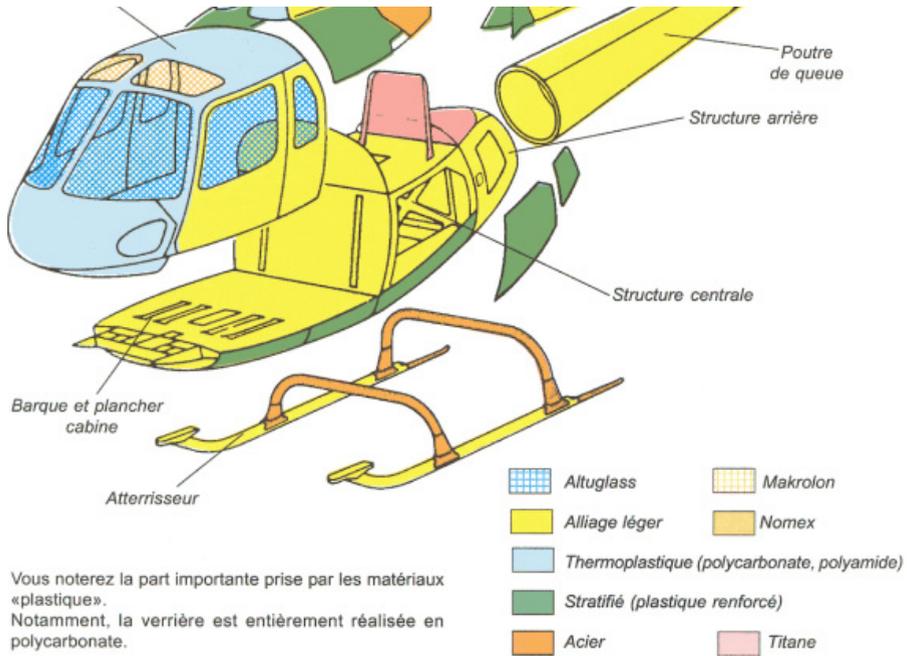


Figure 142 - Décomposition de la cellule de l'Écureuil

X que l'on distingue bien sur le dessin). Les empennages sont réduits à leur plus simple expression. Il semble que l'expérience des Alouette avec leur poutre de queue en treillis qui assure une stabilité naturelle par la traînée engendrée, ait masqué la nécessité de surfaces plus grandes derrière un fuselage plus aérodynamique !

Beaucoup de matériaux nouveaux sont utilisés, notamment les thermoplastiques qui se révéleront cassants, et qu'il faudra renforcer par du métal à l'intérieur des montants de verrière par exemple.

Le réservoir carburant

C'est une pièce en un seul tenant obtenue par roto-moulage, en polyamide. Cette technologie ne permet pas de mettre des cloisons internes et sur variation rapide d'assiette de tangage, l'appareil se mettra à osciller quelques secondes dans le sens avant-arrière, on dira qu'il fait le chameau. Ci-contre, ce réservoir en position inversée et ses deux berceaux sur lesquels il est maintenu par des sangles, ainsi que les pompes de gavage (version B2), l'appareil initial n'en avait qu'une. Cette définition correspond aux normes de certification en 1974. Depuis elles ont bien changé et les essais de démonstration du caractère résistant au crash n'autorisent plus cette grande simplicité.



Figure 143 - Réservoir de carburant Écureuil

2. Le déroulement du programme

1974 : le premier vol

Le premier vol du prototype 001 (qui s'appelle alors l'Alouette affaires) équipé d'un moteur Lycoming LTS 101 a lieu à Marignane le 27 juin 1974 avec comme équipage Daniel Bauchart et Bernard Certain, il dure 40 mn.



Figure 144 - Premier vol de l'Écureuil, les observateurs.

Sur la photo René Mouille écoute avec attention les paroles de Daniel Bauchart ; derrière lui, l'ingénieur Jourdan concepteur du cœur électrique est anxieux. On reconnaît sur la deuxième photo, de dos, Lafourcade patron des installations d'essai, Carayon, Mouille, Grandcoing, et derrière lui René Stevens ingénieur d'essai du Dauphin.



Figure 145 - Premier vol de l'Écureuil, la machine !

La mise au point initiale

La mise au point initiale de l'appareil progressera bien et les principales modifications apportées concerneront :

- le rotor arrière qui sera monté en balancier (articulation de battement), équipé d'une servocommande de lacet et de rotules renforcées ;

- le plan fixe horizontal qui sera installé en traversant la poutre de queue (après avoir été positionné derrière le rotor de queue puis en sommet de dérive) ;
- l'installation d'un antivibreux de tête bifilaire sur le moyeu rotor principal ;
- l'installation d'accumulateurs sur les servocommandes.



Figure 146 - l'Écureuil prototype N°002 en vol

Le prototype 002, équipé lui d'un moteur Turbomeca Arriel effectue son premier vol le 14 février 1975 et les deux appareils seront modifiés pour recevoir une cabine plus longue.

La certification et les premiers appareils de série

L'appareil 002 équipé d'une installation d'essai légère, surtout orientée moteur, permet d'essayer des améliorations, alors que le 001 effectue les vols « GIR », bardé de jauges de contraintes pour pouvoir définir les durées de vie des pièces en utilisation. Par ailleurs, la Gazelle de servitude sur laquelle était développé le moteur Arriel ayant été accidentée, les évolutions du moteur sont essayées directement sur AS 350.

À l'été 77, a lieu à Marrakech une grande campagne temps chaud avec tous les prototypes qui sont en cours de certification, à laquelle participeront le prototype 002 équipé d'un Arriel et le deuxième appareil de série (1002) équipé d'un LTS 101. Au cours de la même période, pendant des essais de panne au décollage à Brétigny, la poutre de queue est un peu froissée en dessous au niveau de l'emplanture. Lors des mêmes types d'essais effectués en altitude au terrain de La Llagonne proche de Saillagouse dans

les Pyrénées, une pale coupe la transmission arrière. Ce type d'essai n'est jamais de tout repos !

Finalement, la certification est obtenue quasi-simultanément pour les deux versions le 350C avec le LTS101-600 A1 (2 septembre 1977) et le 350B avec l'Arriel 1B (27 octobre 1977). La masse maximale est de 1 950 kg et l'altitude maximale de 16 000 ft (4 800 m).

Les appareils de série sortent de chaîne, le 1001 est utilisé pour des essais d'optionnels, puis pour mettre au point la régulation du LTS101 600A2, ainsi que celle du même moteur monté sur le Dauphin Coast Guard. Le 1002 et le 1005 serviront pour des démonstrations notamment aux États-Unis. Le 1003 version Arriel fait des démonstrations en Europe. C'est à cette époque que François Legrand cherche un nom d'animal pour le 350. L'Ecureuil est choisi, bien que ce mot soit imprononçable pour les américains, lesquels, comme Barbara Streisand chante *A star is born*, le nomment ASTAR.

Le 6 avril 1978, le premier appareil destiné à la Gendarmerie, le 1006, doit faire un vol de démonstration au profit du patron de MBB ; au cours du vol, ce dernier demande à voir comment vole un moyeu « souple », concurrent des moyeux dits rigides, marque de fabrique de l'industrie allemande, ce que le pilote Aérospatiale, Henry de Fonclare, ne manque pas de faire. Lors du vol retour, alors que l'appareil passe au travers du petit terrain de La Fare, il appelle le contrôle de Marignane pour signaler qu'il a un problème et qu'il se détourne vers ce terrain. Un sifflement aigu s'est déclenché en provenance du moteur. Il n'y arrivera jamais, et au cours de la tentative de poser avec un moteur qui crache des flammes, d'après des témoins au sol, il essaie visiblement d'éviter les champs humides et vise la petite route parallèle, à 500 m au sud de la route d'Aix. Ce faisant il passe sur la ligne haute tension, vire pour se mettre face au vent, découvre le pylône juste devant lui, tire le pas pour le sauter, et termine sa trajectoire dans un gros arbre. Le pilote et plusieurs passagers sont tués, le patron de MBB restera paralysé des jambes, le passager à l'arrière gauche, J.C. Poggi, sera sérieusement blessé.

La montée en cadence de la chaîne Ecureuil est extraordinaire, atteignant 40 par mois. Au début, ce sont surtout des versions C et maintenant D avec le LTS-600A2, moteur un peu plus puissant (certification le 4 juillet 1978) et une masse maximale de 1 950 kg. Malheureusement, ce moteur léger à faible consommation spécifique qui grâce à une maintenance pointilleuse du mécanicien de Lycoming, s'est fait oublier pendant le développement initial, se révèle très fragile en utilisation. Le nombre d'accidents dus à une perte de puissance monte en flèche. Lors des essais de réception, nous sommes par ailleurs en bute à des problèmes de performances. Soit les moteurs sont assez puissants, mais ils pompent sur remise de pas, soit le contraire. Nous avons un stock impressionnant de ces moteurs à Marignane et nous finirons par arrêter la production de cette version après avoir livré 300 de ces appareils. Une campagne de retrofit sera par ailleurs lancée avec remplacement du moteur américain par le moteur Arriel. Certains gros utilisateurs américains continueront à utiliser des LTS 101 au prix d'une maintenance lourde, un stock très important de moteurs d'occasion à bas prix étant disponible. Ces versions auront pratiquement disparu autour des années 2000. Depuis, à la suite de la dépose de versions plus puissantes développées pour le SA 366 Coast Guard, remotorisé en 2005 avec des Arriel IIC2, des STC (*Supplemental Type Certificates*) sont apparus, et l'on revoit à nouveau la flotte des AS350 à moteur LTS 101 grandir...

Devant l'augmentation catastrophique des accidents liés à la motorisation, la direction d'Aérospatiale va prendre deux décisions, d'abord lancer un bimoteur léger, partant du principe que les bimoteurs sont moins sensibles à la panne de l'un des moteurs, puis trouver un autre motoriste pour le monomoteur

1979 : le SA 355

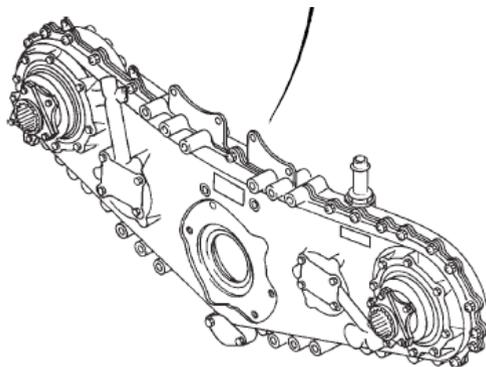
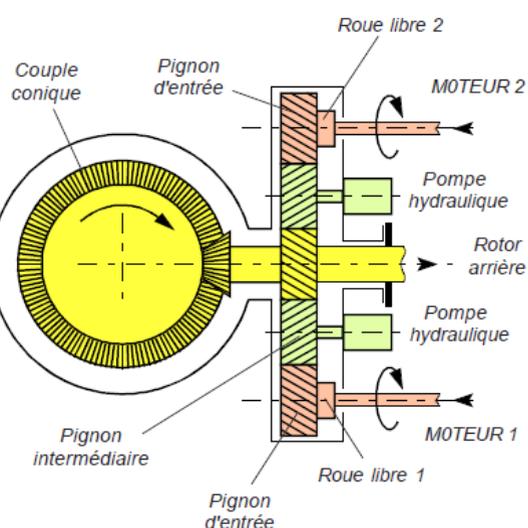
Le 355 est construit autour d'une cellule de monomoteur dont la partie centrale est modifiée pour avoir deux réservoirs structuraux de 330 et 400 l et d'une boîte de transmission de monomoteur avec un boîtier d'addition capable de recevoir la puissance des deux moteurs ; ces derniers sont



Figure 147 - Le SA 355

des Allison 250C20F variante du moteur C20B du Jet Ranger, ce sont des petits moteurs bien faits, mais dont la fragilité vient des cinq étages de compresseur axial dont les pales sont « fines comme du papier à cigarettes ». Les pales du rotor principal ont une corde agrandie à 350 mm et un profil OA209. Le cœur électrique est doublé ainsi que tout le réseau électrique.

Il est prévu de monter des servocommandes principales double corps, mais elles ne sont pas immédiatement disponibles ; le 355E aura des simples corps et une masse maximale limitée à 2 100 kg. Très peu d'appareils seront livrés dans cette définition (certifiée le 24 octobre 1980) et dès la disponibilité des servocommandes double corps, c'est la version 355F (certifiée le 14 avril 1981) qui la remplacera avec une masse maximale de 2 300 kg.



Le boîtier de conjugaison permet de coupler la puissance délivrée par les 2 moteurs au pignon d'entrée du couple conique. Les pignons d'entrée du boîtier sont équipés de roues libres. Les pignons intermédiaires entraînent les pompes hydrauliques.

Figure 148 - La BTP de l'Écureuil SA 355 bimoteur

Le premier vol a lieu le 27 septembre 1979, avec Pierre Loranchet, Bernard Certain et Claude Hamonière.

Avec ce nouvel appareil, la bimotorisation facilitait bien sûr tout ce qui concernait la démonstration des pannes au décollage, car ce n'est pas du tout pareil de se retrouver avec une puissance nulle, ou 60 à 70 % de celle-ci. Cependant la puissance thermique installée étant passée des 478 kW de l'Arriel 1B, à 2 fois 313 kW, c'était le rotor arrière qui ne « suivait » plus et plusieurs modifications ont été nécessaires :

- allongement de l'arbre du rotor ;
- augmentation du régime rotor de 386tr/mn en croisière, (là où il est le plus élevé) à 394tr/mn ; par le jeu de l'anticipateur au pas général cela fera passer de 382 tr/mn à 386tr/mn en stationnaire ;
- installation de tabs sur les pales arrière, largeur 20mm, braqués de 6° ;
- installation d'un compensateur d'efforts (rotor arrière).

Par ailleurs, l'installation de baguettes de balsa en bord de fuite des surfaces fixes a permis de « restaurer » les qualités de vol, mises à mal par des capots plus volumineux. Ultérieurement (1984), à l'occasion d'un vol sur le 355 n°002, appareil de servitude utilisé par la CGTM pour développer le moteur Arrius (voir plus loin), il sera démontré le bénéfice d'augmenter de 2 X 25cm l'envergure du plan fixe horizontal. Cette configuration sera conservée sur les versions ultérieures : 355F1 (certifiée le 9 mai 1983), à la masse maximale de 2 400 kg et 355F2 (certifiée le 12 décembre 1985) à 2 540 kg.

Parmi les nombreux équipements certifiés sur 355, il faut signaler une version IFR monopilote et l'installation de kits de rallumage automatique des moteurs.

1981 : le 350 G

Retour sur le monomoteur ; en mai 1981, l'appareil de série n°1448 est transformé par installation d'un moteur Allison C30 de puissance équivalente à l'Arriel 1B. Le 350G est lancé, la modification est relativement simple, il faut cependant prendre en charge la roue libre, jusqu'à présent dans la part

moteur. Le premier vol du 350G a lieu le 5 août 1981, par chance, il fait très chaud et nous réaliserons le fameux point FAA au-dessus de Gap sans avoir besoin d'aller faire une campagne temps chaud.

La certification de cette version sera obtenue en un an, mais elle ne sera finalement pas produite (suite probablement aux pressions de Turbomeca).

1985 : les 350 L1 et 350 B1

Les 1er mars et 24 avril 1985, premiers vols avec la nouvelle génération des monomoteurs, pales du 355, régime rotor augmenté, et moteur Arriel 1D sur les appareils n° 1798 L1 version militaire (destiné au Danemark, à Singapour et au Brésil) et n° 1822 B1 version civile. Cette version est certifiée le 9 janvier 1986 à la masse de 2 200 kg.

En parallèle, le 14 mai trois records du monde de temps de montée sont battus par l'équipage Loranchet-Certain sur l'appareil n°1836

- 3 000 m en 2 mn 59 ;
- 6 000 m en 6 mn 55 ;
- 9 000 m en 13 mn 52 ;



Figure 150 - Écureuil 355N essais au froid sur le terrain de Gap

1986 : le 355 N

Le prototype de la nouvelle version équipée de deux moteurs Arrius 1A, le 355N n°5308 effectue son premier vol le 23 janvier 1986 et les essais au froid commencent immédiatement, démarrages à -17°C sur le terrain de Gap. Les principaux problèmes rencontrés seront la sensibilité

à la neige recirculante, qui nécessitera de changer la forme du plenum, demandera trois hivers d'essais à la neige et nécessitera la mise au point

d'un système de visualisation en temps réel de l'intérieur des entrées d'air avec un endoscope médical. Une refonte complète des radiateurs d'huile moteur sera aussi nécessaire ainsi qu'un changement de longueur de tuyères pour minimiser les recirculations d'air chaud.

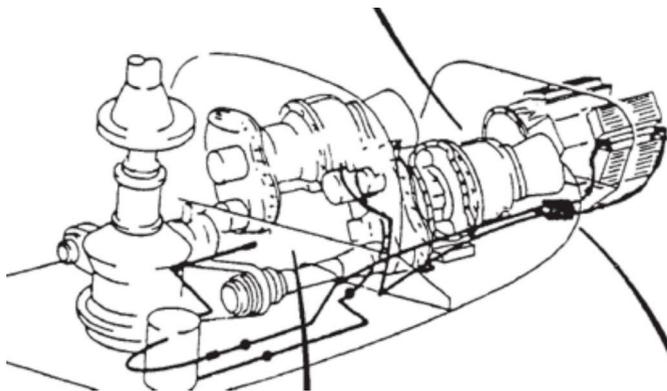


Figure 150 - compartiment moteur SA 355N

Par contre, la protection vis-à-vis des interférences électromagnétiques (EMI) des régulations numériques est un problème nouveau qui amènera à protéger la porte de la soute (à l'intérieur de laquelle sont installés les deux régulateurs des moteurs) par un fin grillage en cuivre et à l'entourer par un joint spécial.



Figure 151 - L'Écureuil 355N

Côté cellule, même problème de rotor arrière qu'au début du 355 : les nouveaux moteurs tirent 360 kW à la PMD au lieu des 313 du C20F et de nouvelles modifications sont nécessaires :

- tabs de 30 mm braqués à 10° (à la place de 20 mm et 6°) ;
- installation d'un anticipateur palonnier.

L'AS355N est certifié le 13 juin 1989 à la masse maximale de 2 600 kg.

1987 : Le 350 Z



Le 350 Z est un 350 B1 dont la partie centrale et la poutre de queue sont modifiées et qui est équipé d'un rotor arrière de type fenestron. Le premier vol a lieu le 6 février 1987 avec l'équipage Loranchet-Certain.

Figure 152 - Écureuil 350 Z en vol



Figure 153 - SA 350Z à l'usine de Marignane

Sur ce porteur un certain nombre de problèmes fondamentaux seront résolus :

- mise au point du fenestron avec redresseurs, gain de 10 % en puissance ;

- résolution du problème de roulis hollandais, (apparu sur cette version) par les carénages de traverses de train ;
- essai d'une entrée d'air moteur sous capot ;
- mise au point d'un indicateur dit Delta NG capable d'indiquer une limite de régime de décollage variable.

Cet appareil actuellement installé au-dessus de la porte d'entrée de l'usine de Marignane a volé jusqu'en mi-1992 et les nombreux résultats obtenus serviront au futur 350 B2 et à l'EC 120 B.

1988 - 1989 : les 350L2 et 350B2

Les différentes versions militaires du 350 (à l'avenir dénommées 550 en monomoteur et 555 en bimoteur et répondant au nouveau nom de Fenec) demandent de plus en plus de masse et de puissance, Turbomeca vient de sortir le nouvel Arriel 1C1 dont la version monomoteur 1D1, tire 18 kW de plus que le 1D par simple rotation du support arrière de la turbine libre. Le régime générateur (NG) à la puissance maximale de décollage (PMD) qui est de 101,8 % au sol est limité à 100,8 à 20 000 ft. L'instrument mis au point sur le 350Z, dit Delta NG, peut permettre de piloter cette limite variable. La philosophie est issue du Delta NG mis au point sur le 355N, mais l'absence de FADEC oblige à introduire tout le calcul dans l'indicateur. On pourra ainsi utiliser la limite 101,8 au lieu de 100,8 au sol, soit 18 kW de plus. Finalement, ce moteur donnera au sol à la PMD $510+18+18= 546$ kW.

Ce seront le 350 B2 (certifié le 26 avril 1989) et le 350 L2. La limite de couple BTP est aussi mieux gérée tenant compte autour du stationnaire de la puissance minimale consommée par le rotor arrière. La masse maximale est portée à 2 250 kg en interne, 2 500 kg avec charge à l'élingue, et, pour les militaires, 2 400 kg avec armements largables. On montera enfin le rotor à tabs 20 mm/6°, et le compensateur du 355 F2.

L'utilisation militaire impose ses propres contraintes, il faut pouvoir tirer des missiles à tous les caps. En vent arrière la recirculation des gaz chauds



Figure 154 - SA 350 L2 avec TOW

fait pomper le moteur vers 25 kt ; la solution sera l'adoption d'une tuyère droite longue à la place de la courte et coudée du B1. Cela coûtera 1 kg, mais deviendra aussi la base pour le futur 350B3.

Figure 154, une très méchante version L2 équipée d'un canon de 20 mm et d'un missile TOW. La stabilité naturelle de la plateforme combinée aux viseurs modernes avec «hot line» donne une grande efficacité jusqu'à plus de 1 000 m pour le canon.

1991 : le 350 BA

Le remplacement sur 350 B (Ariel 1B) des pales principales 350 mm par des pales principales de 355 mm donne naissance à la version 350 BA. Le gain de performance est de plus de 100 kg et la masse maximale est portée de 1 950 kg à 2 100 kg. La certification est obtenue le 26 novembre 1991. Le rétrofit finira par s'étendre rapidement.

1993 : la version navale du 355N

Le 355N 5308 est équipé d'un énorme radar en mentonnière, destiné à désigner des objectifs transhorizon pour les navires de guerre de la marine malaisienne. Le travail au niveau des empennages est nécessaire pour compenser l'effet de ce gros radar. En contrepartie, cette taille donne de très bonnes performances notamment un bon pouvoir de séparation des cibles lointaines, que les missiles modernes des bateaux sont capables d'atteindre.



Figure 155 - Écureuil 355N version navale

1994 : la montée en puissance du monomoteur

Le 19 mai, nous réalisons le premier vol avec un Ecureuil B2 d'occasion, le 2156 équipé du moteur Arriel 1X de rechange du 365 Dauphin grande vitesse. Notre but est d'augmenter les performances en altitude, toujours à la poursuite du Lama qui continue de nous narguer, avec sa faible masse à vide et la puissance de son vieil Artouste.

Je note des montées à 25 500 ft les 16 et 22 juin. Je fais équipe avec Philippe Boutry depuis le début sur cet appareil, 26 000 ft le 23. Nous préparons une mission au Pakistan qui se réalise sur tout le mois de juillet. L'armée pakistanaise a des Lama, nous allons pouvoir nous mesurer !

Merveilleuse mission, et après avoir remonté l'Indus de Karachi jusqu'à Skardou avec escale à Islamabad, nous nous posons le 20 juillet à la base avancée à 20 000 ft (6 000 m) sorte de selle de cheval sur la ligne de crête qui sépare les zones de combats avec l'Inde. Notre Ecureuil peint en vert, ce qui lui vaut le surnom d'Olive, fait merveille. Vitesses en palier et en montée écrasant le Lama, consommation inférieure de 30 %, performance pure en stationnaire pratiquement égale, marges au palonnier supérieures. Le Lama est pratiquement en butée de pied à ces altitudes, à chaque atterrissage. Hors mission, nous réaliserons quelques évacuations d'alpinistes.

1997 : le 350 B3



Figure 156 - AS 350 B3

Le 350 B3 n° 2968 fait son premier vol le 3 mars 97, avec l'équipage Guerin - Certain. L'appareil est équipé du moteur Arriel 2B, d'une poignée tournante, du VEMD version adaptée de l'EC120B, d'une régulation issue de celle de l'Arrius 1A du 355N, d'un rotor arrière de 355 N, d'une BTP à puissance augmentée de 13 % et pouvant utiliser de l'huile minérale ; la masse maximale est portée à 2 250 kg et avec charge à l'élingue à 2 800 kg.

Le premier B3 de série le 3063 vole le 8 décembre 97. La certification est obtenue le 24 décembre 1997.

1999 : l'EC130 B4

Aux États-Unis, les vols de découverte du paysage se développent rapidement. Le rendement est directement lié au nombre de passagers ; les versions à six passagers de l'Écureuil existent, mais un passager de plus ferait gagner 16 %. Une nouvelle cabine est proposée à partir de celle de l'EC 120 en ajoutant une tranche centrale. Sur le prototype n° 3161, le pilote sera toujours à droite, mais il est proposé de le mettre à gauche en série. On peut ainsi gagner la place prise par le pas général, et envisager une version huit places, c'est-à-dire sept passagers.

À l'arrière le rotor sera remplacé par un fenestron miroir de celui de l'EC 135 dont le rotor principal tourne dans le sens inverse de celui du 350.

Le moteur Arriel 2B1 est une évolution de l'Arriel 2B avec une régulation double canal et un secours automatique. Le nouveau FADEC ayant deux entrées « anticipateur » du système développé sur le 355 N est ici facilement adaptable sans boîtier extérieur.

Afin de pouvoir augmenter fortement la masse et répondre à la demande de clients voulant développer des versions IFR, le circuit hydraulique est doublé, ce qui est d'autant plus intéressant que le fenestron ne nécessite pas de servocommande.

Cependant, le décalage vers le haut du plateau cyclique provoque des anomalies sur l'entrée d'air moteur, les capots sont donc remontés de 9 cm.

Le premier vol a lieu le 24 juin 1999. Les essais de panne moteur au décollage en septembre 2000 permettent de fixer la masse maximale à 2 427 kg. Il sera certifié le 14 décembre 2000.

2003 : le « B3+ »

Fin 2003, le 350 B3 n° 3744 est équipé du moteur Arriel IIB1 n° 71 de l'EC 130 B4. Le dépouillement des vols en altitude jusqu'à 28 500 ft en mars 2004



Figure 157 - Écureuil EC130 B4

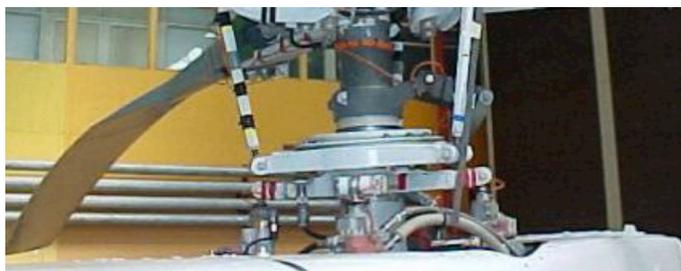


Figure 158 - EC130-B4 Plateau cyclique

montre que le moteur produit en altitude près de 40 kW réels de plus que le modèle mathématique. En effet, à la suite de problèmes de coincements de turbine libre lors de redémarrages à chaud, Turbomeca a repris les jeux ainsi que la ligne de fonctionnement des Arriel II, ce qui, finalement, a peu changé la puissance autour de la PMD à 15°C, mais a provoqué cette surpuissance en température froide. Le rêve d'atterrissage sur l'Everest devient possible, sans vent.



Figure 159 - En vol près de l'Everest

2005 : enfin l'Everest

Après analyse des excellentes performances du moteur Arriel II B1 n° 71 Eurocopter finit par accepter la tentative de poser au sommet de l'Everest. Ce sera un 350 loué à un client (et allégé d'équipements non indispensables à la navigabilité) qui va servir de monture.

Afin de tout vérifier et d'entraîner Didier Delsalle, il est prévu de battre les records de temps de montée de 1985, ce qui est réalisé à Istres le 12 avril

2005 ; comme il est seul à bord, les temps tombent logiquement, 3 000 m en 2 mn 21 s, 6 000 m après 5 mn 6 s, et 9 000 m après 9 mn 26 s.

L'appareil est équipé de caméras et d'un GPS enregistreur. Le 5 mai l'appareil est sur place au Népal, sur l'altiport de Lukla. Le 12, Didier réussit le poser au col sud à 26 000 ft, presque 8 000 m. Le vent est très fort, dans cette tuyère gigantesque et le redécollage sportif.

Le 14 mai, le vent est toujours fort, Didier tente l'approche du sommet, le vent qui monte furieusement le long de la paroi, s'il élimine tout problème de performance, rend le pilotage délicat, Didier grâce à sa grande expérience choisit le bon angle. Au sommet il reste 3 minutes, mais impossible de lâcher les commandes pour prendre le temps ! Alors il compte presque 4 minutes. De retour à Lukla c'est la joie, tempérée par la découverte que le GPS s'est arrêté d'enregistrer au sommet... Didier repartira le lendemain et fera de nouveau son atterrissage, réitérant son exploit, montrant son exceptionnelle maîtrise. Les gesticulations de nos concurrents auprès des autorités népalaises ne serviront à rien et la validation de ce record absolu sera prononcée par la Fédération aéronautique internationale.



Figure 160 - Poser au sommet de l'Everest

Après 2005

Le 355 NP, certifié EASA le 15 février 2007, est une nouvelle version du bimoteur : le double ventilateur mécanique qui consomme 12 kW, est remplacé par deux groupes de monomoteur consommant chacun 600 W électriques ; un balancement adapté entre puissance de décollage et d'urgence sur l'Arrius 1A1 permet aussi de gagner 12 kW de plus en urgence ; le VEMD, écran de pilotage des EC 120 B et des B3 remplace les vieux instruments.

Le nouveau B3e qui est équipé de l'Arriel 2D a maintenant une régulation intégrale, mais les lois de variation du régime rotor du B3+ ont été adaptées, comme prévu, à ce nouveau concept. La version est livrée depuis juin 2011. Elle dispose aussi de *masses chinoises* adaptées sur le rotor arrière en remplacement du compensateur d'effort et le manuel de vol s'allège d'une dizaine de pages.

Une version EC130 T2, équipée d'Arriel 2D, a été certifiée EASA le 25 mai 2012 à 2 500 kg.

Fin 2015, 6 006 appareils avaient été produits (dont 4 652 monomoteurs type AS 350 et 636 type EC 130, ainsi que 791 AS 355 bimoteurs). Ils avaient accumulé 29 056 000 heures de vol.

IV. AUTRES PROGRAMMES « COMMERCIAUX »

(Bernard Fouques)

L'histoire des programmes « commerciaux » des familles Super Puma, Dauphin et Ecureuil et de leurs nombreux développements est racontée dans les pages précédentes. D'autres programmes « commerciaux »⁶⁸ ont égale-

68 Un projet d'hélicoptère léger (2/3 places), le X 370, équipé d'un moteur rotatif Wankel-Citroën a fait l'objet en 1973 d'études et de maquetages, sans suite.

ment vu le jour ultérieurement, à des dates sortant de l'épure imaginée pour cet ouvrage ; les quelques lignes qui suivent en donnent un bref aperçu.

1. L'EC 120 B « Colibri »

L'EC 120 B « Colibri » est un hélicoptère léger monoturbiné (Turbomeca Arrius 2F de 376 kW au décollage), pouvant emporter un pilote et quatre passagers, d'une masse maximale au décollage de 1 715 kg ; le rotor principal est tripale et le rotor arrière du type fenestron. Il est destiné à des missions de travail aérien, de transport, de police et d'écologie ; il est utilisé en particulier à l'école de l'ALAT à Dax.



Figure 161 - EC 120 Colibri © Photo DR/Airbus Helicopters

Il a été développé quasi exclusivement par Eurocopter (France) et son premier vol a eu lieu à Marignane le 9 juin 1995. La certification a été prononcée le 19 juin 1997. La production de ses pièces a été partagée avec des industriels chinois et singapouriens ; une deuxième chaîne d'assemblage a été créée en Chine pour fournir le marché intérieur de ce pays. À fin 2013, plus de 700 appareils ont été fabriqués en France et plus de 150 en Chine.

2. L'EC 135

L'EC 135 est un hélicoptère léger biturbine (version 135T : 2 Turbomeca Arrius 2B1, version 135P : 2 Pratt et Whitney PW206B), pouvant emporter un pilote et sept passagers, d'une masse maximale au décollage de 2 980 kg ; le rotor principal est quadripale et le rotor arrière de type fenestron. Il est multmissions



Figure 162 - EC 135 © Photo Anthony Pecchi

et il est, en particulier, très prisé dans les missions dites EMS ; il est en service dans la gendarmerie nationale et dans plusieurs armées étrangères sous le nom d'EC 635.

Il a été initialement conçu chez MBB sous le nom de Bo 108 comme devant être le successeur du Bo 105 (deux prototypes ont volé), puis, à l'occasion de la création d'Eurocopter, le programme a été modifié (cabine agrandie, installation d'un rotor

arrière du type fenestron, avionique) pour devenir l'EC 135, dont le 1^{er} vol a eu lieu en 1994 ; il est assemblé en Allemagne. Les deux versions ont été certifiées le 14 juin 1996 par le LBA. Des versions ultérieures ont été développées (P2, P2+, T2, T2+).



Figure 163 - BK 117 - EC 145 © Photo Anthony Pecchi

Fin 2013, 1130 machines avaient été construites.

3. L'EC 145

L'EC 145 est un hélicoptère moyen biturbine (deux Turbomeca Arriel 1 E2), pouvant emporter un pilote et neuf à onze passagers, d'une masse maximale de 3 585 kg ; le rotor principal est quadripale et le rotor arrière conventionnel

(une version avec fenestron est en développement). Il est multi-missions et également très prisé dans les missions type EMS ; il est en service dans la Sécurité civile et dans la gendarmerie nationale. Sa version militaire a été commandée en 361 exemplaires par l'US Army, sous le nom d'UH-72 Lakota.

L'EC 145 est l'appellation commerciale des dernières versions du BK 117. Il est coproduit par l'allemand MBB et le japonais Kawasaki (1^{er} vol le 13 juin 1979) ; les dernières versions ont été le BK 117 B2 équipé de deux turbomoteurs Lycoming LTS 101 et le BK 117 C2 (renommé EC 145) équipé de deux turbomoteurs Turbomeca Arriel1E2, dont le 1^{er} vol a eu lieu en 1999 et la certification le 20 décembre 2000 par le LBA ; il est assemblé en Allemagne. Une version ultérieure BK 117D2 (appellation commerciale EC 145 T2), équipée de deux Arriel 2E et d'un rotor arrière de type fenestron a été certifiée par l'EASA le 16 avril 2014.

Fin 2013, 444 BK 117 et 646 EC 145 avaient été livrés. La Sécurité civile a acquis trente-deux EC 145 et la Gendarmerie huit.



Figure 164 - EC 145 Gendarmerie © Jean-Pierre Brassler



Figure 165 - EC 145 Sécurité civile © Photo Anthony Pecchi

4. L'EC 175

L'EC 175 est un hélicoptère moyen lourd biturbine (deux Pratt et Whitney PT6C-67E), pouvant emporter deux pilotes et seize passagers, d'une masse maximale de 7 500 kg ; le rotor principal est à cinq pales et le rotor arrière conventionnel. Il est multmissions et destiné en particulier au marché pétrolier.



Figure 166 - 1er vol EC 175 © Photo Patrick Penna

Il a été codéveloppé et est coproduit avec la Chine (appareil Z 15 motorisé par deux turbomoteurs Turbomeca) ; il a effectué son premier vol le 4 décembre 2009 et a été certifié EASA le 30 janvier 2014 ; il est assemblé à Marignane et le Z 15 sera assemblé en Chine.

Chapitre IX

LES PROGRAMMES NATIONAUX MILITAIRES DÉRIVÉS

I. LE COUGAR

(Jacques Humbertclaude avec le concours d'Alain Girardet)

Ce chapitre traite du Cougar, version militaire développée sur la base du Super Puma AS 332. Cet hélicoptère de transport tactique porte la désignation AS 532, spécifique aux versions militaires depuis 1990.

Dans cette partie nous examinerons principalement les différentes définitions des Cougar de l'État français et, également, la configuration dérivée du Cougar Resco qui a reçu la dénomination spécifique d'EC 725 et a pris le nom de Caracal, félin de l'espèce des Lynx, alors que le Puma désigne une autre espèce de félin. Le Cougar et le Puma sont les deux désignations pour le même animal.

1. Origine du programme Cougar AS 532

L'appareil d'origine est le Puma SA 330, conçu par l'Aérospatiale sur la base d'une fiche programme de l'ALAT, dont le premier vol a eu lieu le 15 avril

1965. Le développement ultérieur et la production de ce programme ont été réalisés dans le cadre du MOU de 1967 régissant le « programme commun d'hélicoptères » (Puma, Gazelle, Lynx) entre la France et le Royaume-Uni, l'Aérospatiale restant responsable pour le Puma et la Gazelle.

En 1975, est lancée l'étude d'une nouvelle version plus puissante, intégrant de nouvelles technologies, adaptée aux missions des armées ou de clients exigeants comme les dessertes de plates-formes pétrolières :

- moteur Makila à faible consommation spécifique ;
- train d'atterrissage amélioré (stabilité et capacité d'absorption) ;
- meilleure tenue au crash ;
- dégivrage des rotors ;
- volume de carburant embarqué ;
- avionique et équipement de mission.

L'AS 332 Super Puma fait son premier vol le 13 septembre 1978 et le succès commercial se confirme.

2. Quelques Super Puma de l'État

Les Super Puma de la DIRCEN

Les trois premiers AS332 pour l'État sont achetés par la direction des centres d'essais nucléaires (DIRCEN) en décembre 1982 en vue de remplacer les Alouette et offrir une plus grande capacité de transport de passagers et de convoyage de matériel. La DIRCEN en confie la mise en œuvre à l'armée de l'air (ETOM 082) à Tahiti à leur arrivée en 1984. Un quatrième appareil sera livré en version longue en septembre 1989. Un crash en 1991 ramène la flotte à trois Super Puma qui seront reversés à l'armée de l'air en 1998 à la suite de l'abandon des essais nucléaires et de la dissolution de la DIRCEN.

Les Super Puma du GLAM

En 1988, deux Super Puma n° 2233 et n° 2235 baptisés respectivement Fontainebleau et Chambord sont livrés au groupe de liaisons aériennes ministérielles (GLAM) pour le transport des hautes autorités de l'État. Reconnaissables à leur livrée blanche et leur bandeau tricolore, ils sont équipés en version VIP. Ils remplacent le Puma SA330 n°1346 Arc de triomphe qui s'est crashé en septembre 1986 et le Dauphin n° 6024 Vendôme qui sera transformé en Dauphin de service public et livré à la Marine en 1993. Un troisième appareil, le n° 2377 Trianon viendra rejoindre la flotte en 1992.



Figure 167 - Super Puma AS 332 du GLAM (photo CEV)

En 1995, le GLAM sera dissous et les hélicoptères seront ensuite affectés à l'armée de l'air (EH 3/67 Parisis).

En 1990, la version militaire de l'AS332 devient AS532 et porte désormais officiellement le nom de Eurocopter Cougar Mk1.

3. Cougar

Armée de terre

L'armée de terre crée en juillet 1985 la 4^{ème} division aéromobile (4^{ème} DAM), intégrée à la force d'action rapide pour frapper fort, vite et loin.



Figure 168 - Super Puma AS 532 UL équipé de lance-leurres
(photo CEV)

Elle exprime un besoin d'une cinquantaine d'appareils plus puissants, bénéficiant des avancées technologiques et d'une signature infrarouge réduite par rapport à ses appareils PUMA. Le Cougar (40 % de puissance en plus) est un bon candidat pour une utilisation terrestre, alors que la Marine réfléchit à un besoin équivalent, mais adapté au milieu naval, ce qui n'est pas le cas du Cougar. Une commande est passée par la DGA pour vingt-huit hélicoptères Cougar AS532UL.

L'ALAT prévoit d'en équiper quatre du radar de surveillance utilisé par le démonstrateur ORCHIDEE (Observatoire radar cohérent héliporté d'investigation des éléments ennemis) en cours de développement par la section d'étude et de fabrication des télécommunications (DGA). Ce système de surveillance deviendra le programme HORIZON.

Le premier appareil (n° 2252) est livré le 13 décembre 1988 et, après réception, va rejoindre le 1^{er} RHC à Phalsbourg. L'appareil suivant est livré en même temps au CEV et deviendra le Cougar Athos du programme ORCHIDEE. Les appareils sortent à un rythme d'un par mois et la quasi-totalité est livrée avant mi-91 (sauf les deux derniers qui ne seront livrés qu'en 1996 et deux Cougar HORIZON qui ne seront livrés qu'en 1998).

Ces appareils seront largement utilisés par le 1^{er} RHC et bien qu'ils ne participent pas à l'opération Daguet lors de la première guerre du Golfe aux côtés des Puma, leur première mission opérationnelle sera en 1991 au profit de la 4^{ème} DAM lors de l'opération LIBAGE d'aide humanitaire à la population

kurde où six appareils sont engagés. Ils transporteront 4 500 passagers et 150 tonnes de fret. En revanche, le Cougar HORIZON, bien qu'en cours de développement, sera déployé avec sa station sol et fournira des situations tactiques particulièrement utiles pour l'ensemble des Forces alliées.

Tirant les enseignements des opérations menées pendant cette guerre, le ministère de la défense crée en 1992 le commandement des opérations spéciales COS (rattaché directement à l'EMA). Le COS utilise les appareils de l'armée de terre pour mener ses opérations de renseignement, d'action et d'environnement, au bénéfice des commandos des trois armées.

Les hélicoptères sont sollicités par de nombreuses opérations : Somalie, Rwanda, Comores, Centrafrique et Albanie et, en 1997, l'armée de terre crée le détachement ALAT des opérations spéciales DAOS à Pau. Le DAOS regroupe des Cougar, Puma et Gazelle pour le déploiement des commandos du commandement des opérations spéciales.

Après les attentats du 11 septembre 2001, l'État éprouve le besoin de renforcer sa sécurité et décide d'acquérir de nouveaux Cougar dans une définition proche des Cougar Resco utilisés par l'armée de l'air depuis 1999 avec des spécifications complémentaires définies en commun par les états-majors des trois armées. Cet hélicoptère des unités spéciales (HUS) sera l'EC725 Caracal et, avec l'arrivée de ces appareils, le DAOS devient en 2009 le 4^{ème} régiment d'hélicoptères des forces spéciales (4^{ème} RHFS). Il reste basé à Pau. Il met en œuvre cinq Cougar et reçoit progressivement les Caracal.

Armée de l'air

Les premiers Super Puma de l'armée de l'air ont été ceux transférés de la DIRCEN et ceux du GLAM qui ont été décrits ci-dessus. Ces appareils ont été utilisés par l'armée de l'air pour mener des missions de sauvetage, de sécurité publique et de souveraineté.

Les missions Resco étaient assurées par des SA330 Puma qui ont intégré au fil du temps des équipements de mission spécifiques. Au cours de la guerre du Golfe en 1990 et lors de l'intervention de l'ONU en ex-Yougoslavie, qui voit la multiplication des opérations aériennes de jour comme de nuit dans un cadre international, l'armée de l'air exprime un besoin d'un appareil moderne et spécialisé capable de récupérer des pilotes tombés en zone hostile pour remplacer les trois Puma qui assuraient ces missions. En 1995 une première fiche de caractéristique militaire est élaborée et une première commande est passée par la DGA à Eurocopter. Quatre appareils sont confirmés dans la loi de programmation militaire 1997-2002, pour un achat sur la base du Cougar Mk II et d'un besoin estimé à 14.

Au cours du développement, des itérations techniques successives sont introduites sur le premier appareil pour l'adapter au mieux à ses missions CSAR Resco (combat search and rescue / recherche et sauvetage au combat) et à leur environnement particulier (sous jumelles de vision nocturne, contre-mesures/autoprotection, signatures IR, radar et acoustique...). Le premier hélicoptère est évalué par le CEV à Istres et surtout à Cazaux et par le centre d'expériences aériennes militaires de Mont-de-Marsan (CEAM). L'appareil est présenté à différentes délégations étrangères et participe à divers salons.

Le premier Cougar Resco est officiellement remis à l'armée de l'air en septembre 1999. L'appareil est équipé d'une boule gyro-stabilisée TV/infrarouge (FLIR), d'une flottabilité de secours intégrée, d'un puissant phare de recherche, d'un système de localisation personnel crypté (PLS) et d'un treuil, permettant de retrouver et de secourir en toute discrétion le pilote recherché. La navigation autonome de précision est basée sur une centrale inertielle, un Doppler et un GPS couplés et d'un pilote automatique quatre axes. L'appareil équipé d'écrans multifonctions possède une interface homme-machine adaptée à ces missions (tenue stationnaire, transitoires, y compris sur l'eau) et compatible avec les JVN de 3^{ème} génération, permettant ainsi des interventions par nuit noire. La cabine, également traitée bas niveau de lumière, est équipée de hublots avec bulles d'observation.

Le volume de la cabine permet de recevoir des civières, ou des armements canon de 20 mm Nexter M693 et mitrailleuses de 7,62 mm en sabord. Dans cette configuration, la masse maximale atteint désormais 11,2 tonnes, et permet de secourir deux pilotes à plus de 740 km ou d'avoir une distance franchissable de près de 1 500 km avec réservoirs supplémentaires.



Figure 169 - Réception du premier Cougar Resco à Marignane le 9 septembre 1999

Le budget 2000 donne le feu vert pour la commande du quatrième et dernier Cougar Resco.

4. Le Caracal

Les attentats du 11 septembre 2001 et les préparatifs de la guerre en Afghanistan révèlent de nouveaux besoins opérationnels.

Pour assurer la sécurité intérieure du territoire et disposer de moyens efficaces d'intervention rapide (besoin ALAT) et de récupération d'équipages en zone de combat (besoin armée de l'air) et de contre-terrorisme maritime (besoin Marine en remplacement des Super Frelon et dans l'attente du NH 90), une nouvelle commande d'hélicoptères est envisagée par le ministère de la défense.

L'état-major des armées impose aux états-majors d'armées de définir un appareil avec des spécifications communes. Les premières réunions entre la DGA et les représentants des trois armées sont tendues car chaque armée souhaite garder les spécificités de sa flotte de Cougar Resco/opérations spéciales (trappe de soute, perche de ravitaillement, navalisation, blindages...). De plus, Eurocopter souhaite rester proche de la définition « Mark II plus » sur laquelle il travaille. En parallèle, l'état-major envisage de les déployer dans

le cadre d'un organisme à vocation interarmées (OVIA) permettant de mutualiser cette flotte particulière avec des personnels venant des trois armées. Les Caracal sont utilisés pour certaines missions avec l'appui des Tigre de l'ALAT et doivent pouvoir opérer à partir de plates-formes navales. Finalement, une définition commune est élaborée et le développement se termine en décembre 2004.



Figure 170 - EC 725 Caracal au Bourget en 2005 avec sa perche de ravitaillement en vol et son armement

L'appareil finalement assez différent du Cougar et parfaitement adapté à ces missions en environnement opérationnel de combat est appelé EC 725 avec le code HUS pour hélicoptère unité spéciales et sera baptisé

du nom de Caracal. Il possède un moteur Makila 2A, un blindage, une perche de ravitaillement en vol, une panoplie complète de contre-mesures et détecteurs (radar, laser, missile...).

Une première commande de quatorze appareils sera notifiée en 2002 dans le cadre du plan de relance de l'économie. Ils seront livrés sur la période 2005-2007 à l'escadron d'hélicoptères EH1/67 Pyrénées sur la BA 120 de Cazaux (4), à la 3^{ème} escadrille des opérations spéciales (EOS3) du 4^{ème} RHFS de Pau (8), et au GAM 56 (2). Deux appareils sont mis en place à la Marine sur la base de Lanvéoc-Poulmic, en attente du déploiement des NH 90.

En 2009, une nouvelle commande de cinq appareils est lancée dans le cadre d'un nouveau plan de relance de l'économie. Ils ont été livrés à partir de juin 2011.

En juin 2013, le ministère de la défense décide dans un plan d'économies de regrouper sur la base de Cazaux les hélicoptères EC 725 Caracal du 4^{ème} RHFS, de l'ALAT à Pau.

L'été 2007 permet à Eurocopter de faire l'expérimentation d'un Caracal en bombardier d'eau à Bastia avec un réservoir souple de 4 000 l qui se monte en 20 mn et un nouveau dispositif de largage. En configuration transport, il peut emporter dix à vingt pompiers avec leur équipement.

Les EC725 Caracal interviennent dans tous les conflits récents en particulier en Afghanistan et au Mali, prouvant l'intérêt d'un appareil fortement armé, bien protégé, d'une grande discrétion et dont la capacité est appréciée pour transporter des commandos ou récupérer des équipages en zone hostile. Il est présent dans tous les salons et intéresse de nombreux pays.

II. LE PANTHER

(Jacques Humbertclaude)

Ce sous-chapitre traite des appareils à vocation militaire développés, à partir du Dauphin, pour l'État français.

1. Les projets de dérivés du Dauphin monomoteur

À la fin des années 1960, dans le prolongement de l'Alouette III qui rencontre un grand succès à l'export dans des activités civiles ou parapubliques, Sud-Aviation décide de développer sur fonds propres un nouvel appareil, le SA 360, intégrant les dernières évolutions technologiques, améliorant la sécurité et réduisant les coûts de maintenance. Deux prototypes sont réalisés. Le premier SA 360-001 fait son premier vol le 2 juin 1972. La série est lancée en 1974 et le premier de série SA 360-1001 effectue son premier vol en avril 1975. Seulement trente-quatre appareils SA 360 monomoteurs seront construits et la production s'arrête en 1977.

Aérospatiale, consciente du manque de puissance et de l'exigence des clients, demande à Turbomeca d'étudier un nouveau turbomoteur de 650 ch pour une version bimoteur.

Un projet de version du 360 pour les armées de terre

Pour l'export, l'Aérospatiale étudie sur fonds propres une version militaire monomoteur plus puissante grâce à un Astazou XX de 1 400 ch (+33 %). Elle est aussi équipée d'un moyeu Starflex. Dans ce projet, l'appareil peut être équipé de deux paniers de quatre missiles HOT et d'un viseur gyrostabilisé jour-nuit SFIM. Il peut aussi recevoir un canon de 20 mm, des roquettes et de mitrailleuses de 7,62 mm et il prend alors la désignation SA 361 H, le H désignant la version HOT and High, ou HCL (hélicoptère de combat léger). Il a une masse à vide de 1 760 kg et une masse maximale de 3 100 kg.

Ce projet ne correspond pas au besoin de l'armée de terre française. Plusieurs appareils seront toutefois utilisés par l'État comme appareils de servitude.

Les expérimentations militaires sur la version mono-moteur SA360

L'état-major de l'armée de terre et la DGA commencent à préparer à cette époque le futur hélicoptère antichar, qui succédera à la Gazelle. La direction de programme HAC lance à ce titre en 1975 une phase d'études et d'expérimentations sur les technologies nouvelles à développer. Plusieurs appareils de servitude seront nécessaires. C'est dans ce cadre qu'est acquis par l'État le Dauphin de série n° 1003 pour servir de support aux expérimentations liées au combat antichar. Les essais seront essentiellement réalisés au CEV. En 1987, on expérimentera, également sur un Dauphin, un viseur de mât, dans le cadre d'un développement exploratoire (VOMM) préparant la version antichar du futur hélicoptère de combat. Le 16 novembre 1990, le Dauphin n°1003 termine sa carrière au sein du musée de l'ALAT à Dax.



Figure 171 - Dauphin 1012 équipé du système VENUS, pour le tir du HOT de nuit

De son côté, l'Aérospatiale utilise le Dauphin n° 1012 pour promouvoir sa version export. Il sera notamment équipé d'une boule VENUS permettant le tir de nuit du HOT.

Un projet de version du 360 pour la Marine

Après ses essais de certification française et américaine, la tête de série SA-360-1001 est 'navalisée' et mise à la disposition de la marine nationale

en novembre 1978. L'appareil est remis à la toute nouvelle flottille 35F à Saint-Mandrier pour son évaluation sur le porte-hélicoptères *Jeanne d'Arc*. Après son évaluation, la Marine préfère attendre la version bimoteur et l'appareil sera rendu à l'Aérospatiale.

En 1976-1977 Aérospatiale étudie deux types de missiles légers antisurface pour succéder à l'AS 12 : une version guidée par radar qui s'appellera l'AS15 TT, et une version floguidée désignée AM 10 LASSO pour Light antisurface semi-automatic optical, avec un guidage terminal infrarouge, mais l'AM 10 sera abandonnée en 1978. Ces deux missiles, qui mesurent 2,1 m et pèsent une centaine de kilogrammes avec une portée de l'ordre de 10 km, sont envisagés sur le Dauphin.

2. Les dérivés du Dauphin bimoteur pour l'État français

Les Dauphin de service public (Dauphin SP)

La Marine est chargée du sauvetage en mer, de la protection des personnes et des biens et de la surveillance des pollutions maritimes. Pour ces missions, elle fait l'acquisition à partir de 1987 des trois premiers appareils bimoteur Dauphin N pour armer trois bases sur la façade atlantique : Le Touquet, Cherbourg et La Rochelle. Les appareils n° 6019, 6081 et 6091 sont acquis d'occasion et mis au standard pour leur nouvelle mission : treuil, flottabilité. Ils offrent une autonomie proche de 3 h et un rayon d'action de plus de 300 km.

Ils sont mis en œuvre et entretenus par la société Heli-Service dans le cadre d'un contrat de 3 ans, mais qui ne sera pas renouvelé, suite à un rapport de la Cour des comptes qui demande leur retour dans le giron de la Marine. Ils seront pris en charge par la flottille 35F.

Le 15 septembre 1997, les Dauphin de service public sont transférés de la 35 F, dissoute, à la 32 F ainsi que le Dauphin mis en place à Hyères au sein de l'escadrille 23 S pour remplacer l'Alouette III détruite dans un accident en 1995. La 32 F opère désormais depuis quatre bases. En décembre 1998, le Dauphin 6019 se pose pour la première fois sur le porte-avions *Charles De Gaulle*. En 1999, la 35F renaît et récupère ses Dauphin.

La Marine décide d'acquérir deux nouveaux appareils d'occasion qui seront livrés en 2001 : le n° 6017 et le n° 6024, ce qui permet de faire fonctionner les cinq bases (Le Touquet, Cherbourg, Lanveoc, La Rochelle et Hyères). Le premier juin 2001, l'ensemble des Dauphin est regroupé au sein de la flotille 35F et c'est toujours le cas en 2014.

En 2002, la Marine souhaite acquérir un sixième appareil et recherche un appareil d'occasion. La DGA lance un premier appel d'offre qui se révèle infructueux. Une nouvelle procédure d'appel d'offre est lancée et en définitive, le Dauphin n°6157 est remis à la Marine en janvier 2004 à l'issue d'une procédure de deux ans.

En 2008, la Marine décide de louer pour cinq ans deux appareils. C'est la société belge Noordzee Helikopters Vlaanderen NHV qui gagne l'appel d'offres. Les appareils n° 6510 F-GVHN et n° 6540 F-HCHN sont livrés en 2009. Ce contrat permet d'attendre l'arrivée des NH 90. Une nouvelle commande de Dauphin N3+ est lancée en 2011 pour la base de Tahiti en Polynésie : le 6872 et le 6928. La Marine est le premier client de cette nouvelle version à l'avionique rénovée et à pilote automatique quatre axes.

Depuis une quinzaine d'années, les Dauphin de service public ont permis de sauver près de 100 personnes au cours de plus de 500 missions par an, ce qui représente 750 heures de vol. Ils ont participé activement aux secours lors des principales catastrophes (Xynthia...). Un beau succès.

Les Dauphin Pedro⁶⁹

La Marine a utilisé très tôt les hélicoptères pour assurer la récupération des équipages lors d'opérations embarquées. Elle a utilisé des Sikorsky S-55, des Piasecki HUP-2, puis des Alouette III 316B au sein des escadrilles 20S et 23S pour récupérer ses pilotes malchanceux à proximité du *Foch* ou du *Clemenceau*.

Un premier Dauphin monomoteur (n° 1001), prêté par Aérospatiale, avait déjà été testé par la Marine sur le porte-hélicoptère *Jeanne d'Arc* en 1978, mais sans suite. Un nouvel essai est tenté en 1984 par l'escadrille 20S sur un pétrolier ravitailleur avant une campagne d'évaluation sur le *Foch* et le *De Grasse*.

Avec les augmentations des vols de nuit et par mauvaises conditions des aéronefs embarqués, la Marine éprouve le besoin d'acquérir trois nou-

veaux hélicoptères en 1988, capables de prendre et de tenir la stationnaire pour récupérer ses pilotes dans toutes les conditions opérationnelles des missions Pedro. Les trois Dauphin Pedro commandés sont des AS 365 F équipés : d'un coupleur de vol sur quatre axes qui réduit la charge de travail des pilotes et assure une bonne stabilité lors des opérations, d'un treuil, de flottabilité de secours.



Figure 172 - SA 365 F 6318

69 Cette désignation a pour origine le nom du premier pilote d'hélicoptère ayant secouru un pilote lors de la guerre de Corée.

En complément de leur mission, ils assurent une aide lors de transfert de personnels ou de matériels entre bâtiments à la mer ou avec la terre ferme.

Les deux premiers sont livrés en février 1990 à l'escadrille 23S sur la BAN de Saint-Mandrier. Ils seront affectés au *Clemenceau* lors de la guerre du Golfe où ils rempliront pleinement leur mission opérationnelle. Le troisième sera livré en 1991 et ils participeront à tous les déploiements du *Foch* et du *Clemenceau*. Deux appareils sont en opération pendant que le troisième est en maintenance. Afin d'économiser le potentiel de ces appareils très sollicités, une Alouette III a longtemps été utilisée en complément pour les interventions diurnes.

Fin 1999, Ils quittent leur escadrille pour rejoindre la flottille 35F nouvellement recréée sur la BAN d'Hyères. La mission de la flottille est la sauvegarde des pilotes sur le *Charles de Gaulle*. Ils seront très vite opérationnels pour accompagner le groupe aérien au large du Pakistan, pour les missions menées au-dessus de l'Afghanistan : opération Herakles fin 2001 et Agapanthe en 2004, puis à nouveau en Afghanistan en 2007.

Les Pedro ont également été sollicités lors d'opérations de secours aux populations comme lors des inondations dans le Var en 2010.

Après plus de 25 ans d'activité, les Dauphin Pedro restent sur toutes les mers du globe les anges gardiens des pilotes de l'aéronautique navale lors des catapultages ou des appontages.

Les Panther Marine

Les nouvelles frégates⁷⁰ furtives, antiaériennes et de surveillance, commandées par la marine nationale, sont équipées d'hélicoptères. Pour cette raison, la Flottille 36F est créée le 15 septembre 1995 sur la base aérona-

70 *Frégates furtives : La Fayette, Surcouf, Guépratte, Aconit et Courbet. Frégates antiaérienne : Jean Bart et Cassard. Frégates de surveillance : Germinal, Floréal, Prairial, Nivôse, Vendémiaire et Ventôse.*

vale de Saint-Mandrier, puis déplacée à Hyères en 2003. Sixième flottille d'hélicoptères de l'aéronautique navale, elle mettra en œuvre les Panther acquis par la Marine.

La mission principale est la lutte au-dessus de la surface. Les Panther peuvent être équipés de missiles pour les missions de lutte antinavires. Leurs radars, capables de détecter des cibles lointaines, permettent d'informer la force navale de la situation tactique. Contrairement aux radars portés par les navires, ils permettent au commandement de détecter des menaces au-delà de l'horizon, ce qui permet de doubler la zone de surveillance. Les Panther assurent un soutien efficace lors d'une opération de contrôle d'embargo (armement, dépose de commandos...). Ils peuvent déployer rapidement les commandos de marine sur terre comme sur mer et dans toutes les conditions opérationnelles, de jour comme de nuit. Leur polyvalence leur permet d'assurer aussi les sauvetages en mer et autres évacuations sanitaires grâce à leur treuil, assurant le transport de charges jusqu'à 900 kg sous l'hélicoptère.

Une commande de quinze Panther SA 565 SA est passée. Ils seront livrés à compter d'octobre 1993. Le premier appareil n° 6355 est remis au CEPA pour expérimentation et se pose pour la première fois sur la frégate *Germinal*. Le 15^{ème} sera livré en 1998. En 2004, la décision est prise de transformer le 365N n° 6403 utilisé par l'État pour le développement du programme AC3G en version Panther Marine 565 SA par l'AIA. Ce 16^{ème} Panther sera livré en juillet 2009.

Le Panther, d'une masse à vide de 2 800 kg et de 4 200 kg en charge, dispose d'un rotor avec repliage de pales pour entrer dans le hangar des frégates et d'une poutre de queue étanche qui participe à la flottabilité. Ses deux moteurs sont des Arriel 1MN1 de 760 ch. Il est équipé d'un radar météo et recherche ORB32 de Thales, d'une portée de 180 km/90 km en recherche, couplé à la centrale de navigation Nadir Mk2. Les informations sont présentées sur une console de visualisation de situation tactique (Titus) et peuvent être transmises aux navires ou aéronefs amis. Il peut emporter

cinq personnes assises ou être équipé de deux civières. Il peut soulever 900 kg à l'élingue lors de transfert de matériel entre deux bâtiments ou avec la terre et dispose d'un treuil de 272 kg permettant d'assurer le sauvetage en mer en cas de besoin.

Son armement comprend une mitrailleuse en sabord (AN-F1) ou une mitrailleuse de 12,7 mm. Son système de navigation lui permet d'opérer de jour comme de nuit. Mais les Panther Marine n'ont jamais été équipés de missiles, la destruction des navires étant dévolue aux armements de la frégate.

Afin de suivre l'évolution technologique et mieux répondre à l'évolution des missions (lutte contre le narcotrafic, transport de commandos) et des menaces, un contrat a été notifié en 2007 par la DGA pour rénover l'avionique et les équipements de mission pour les mettre au Standard 2. Le premier appareil a été livré par Eurocopter à la Marine le 31 mai 2011. Le calendrier de livraison prévoit la livraison du 16^{ème} appareil en 2016. À partir du troisième, les chantiers seront réalisés au SIAé (Cuers).

La modernisation porte sur :

- l'avionique avec des écrans multifonction (EFIS⁷¹) et un système de gestion de vol permettant le vol sous JVN, d'un IFF mode S (compatibilité OACI), d'un GPS et de nouvelles radios sécurisées ;
- l'intégration d'une boule electro-optique Euroflir (voies IR et TV et télémètre) avec capacité de tracking et d'enregistrement vidéo ;
- un système de gestion de situation tactique amélioré avec liaison 11 (protégée) avec radio à évaison de fréquence. Identification automatique des navires de commerce ;
- des contre-mesures (détecteur d'alerte radar et détecteur d'alerte laser et lance leurres).

Cette nouvelle version était indispensable pour maintenir l'interopérabilité avec les partenaires de l'Otan.

////////////////////////////////////
71 Electronic Flight instrument System

La question se pose de l'intégration du nouveau missile antinavire léger (ANL) souhaité par la Marine car sa mitrailleuse seule ne semble pas répondre aux menaces actuelles.

Les Dauphin de la Sécurité civile

Six appareils SA 365 C sont acquis par la Sécurité civile pour assurer les missions de sauvetage et d'évacuation sanitaire pour compléter la flotte



Figure 173 - Dauphin SA 365 C1 n° 5040 (photo CEV)

d'Alouette III et d'Ecureuil. Ils sont équipés de deux moteurs ArielI de 690 ch, de trains à patins et d'un treuil. L'arrivée du premier Dauphin SA365C intervient en janvier 1985 sur la base de Lorient. Malheureusement, deux accidents sont à déplorer en 90 au Mont-Saint-Michel et un an plus tard à Quimper. Les Dauphin qui ont pour indicatif DRAGON sont mis en œuvre sur les bases de Lorient, Quimper, le Havre et Nîmes.

Le dernier Dauphin sera retiré du service en avril 2004 suite à l'arrivée des 32 EC145.

Les expérimentations militaires sur la version bimoteur

Quelques Dauphin bimoteurs ont été utilisés comme appareils de servitude. On peut ainsi citer :

- deux Dauphin 365N qui ont été utilisés pour le développement du programme AC3G/TRIGAT. Le premier tir du TRIGAT LR sur Panther a été réalisé en décembre 2000 à Captieux. Le premier (n° 6403), livré en 1992, sera transformé à l'issue des essais en Panther Marine ;

- deux Dauphin 365N (n° 6111 et 6116) sont acquis par l'EPNER pour la formation des futurs pilotes d'essais ;
- deux Dauphin 365N au CEV le n° 6010 et le n° 6075 qui sera utilisé par l'Onera pour des recherches sur les pales et l'empreinte sonore ;
- il est à noter également qu'un Dauphin dérivé du 365 M a été utilisé par Turbomeca comme banc volant pour la mise au point du moteur MTR 390 destiné au Tigre.

III. LE FENNEC

(Jean-Pierre Dantart)

Les applications militaires et parapubliques françaises du programme Ecureuil/Fennec reposent avant tout sur un appareil de nouvelle génération, principalement destiné au marché civil, très innovant par rapport à la génération précédente et dont le succès industriel et commercial ne s'est jamais démenti. Bénéficiant d'une ligne aérodynamique fluide, la machine a été conçue pour tirer tous les bénéfices des matériaux composites et être produite à des cadences élevées à un moindre coût. L'autre caractéristique très surprenante à l'époque de sa conception est d'avoir envisagé dès le départ de développer deux types de motorisations, à savoir mono et bimoteur.

Au tout début du programme, tous les appareils s'appelaient Ecureuil 1 ou 2 selon qu'ils étaient mono ou bimoteurs. Puis est intervenue la nécessité de distinguer les appareils destinés au marché civil, appelés à évoluer dans le cadre des règles internationales de l'aviation civile et qui ont continué à s'appeler Ecureuil (350/355), de ceux destinés aux États (militaires ou parapublic), évoluant selon des règles propres à chaque État et qui se sont alors appelés Fennec (550/555). Cette distinction a alors conduit à pratiquement doubler le nombre de variantes différentes puisqu'il existe quasiment autant de variantes différentes de Fennec que d'Ecureuil, qu'ils soient mono ou bimoteurs.

1. Les monomoteurs

La Sécurité civile

Les premiers Ecureuil AS 350 B1 ont intégré la Sécurité civile en 1986 et ont donné lieu aux premières expérimentations comme HBE (hélicoptère bombardier d'eau). Pour cela les appareils étaient équipés d'un kit comprenant un réservoir rigide situé entre les patins, avec portes de largage rapide et une pompe à grand débit suspendue sous un tuyau flexible, permettant de remplir le réservoir en quelques minutes, appareil en stationnaire, à partir de n'importe quelle réserve d'eau. En 1990, la flotte a été complétée par des AS 350 B2, toujours dans le cadre de la mission HBE. En 1999 une expérimentation est menée sur Ecureuil pour l'emploi des JVN (jumelles de vision nocturne) et les premiers équipages seront formés à partir de 2000. Compte tenu de sa polyvalence et de ses coûts d'opération limités, l'Ecureuil assure des missions très variées comme la formation des équipages, le secours aux personnes, le guidage des avions bombardiers d'eau, le PC volant ou encore le dépannage d'autres appareils. Actuellement la flotte se compose de trois B2 et d'un B.

La Gendarmerie

La Gendarmerie est l'opérateur étatique qui a disposé de la flotte la plus importante d'Ecureuil monomoteurs. Passée par un maximum de trente-et-une machines (B, BA, B1) et bien qu'en déflation, la flotte comprend encore aujourd'hui vingt-six appareils. Là encore, la polyvalence de la machine permet de l'employer dans un cadre de missions extrêmement variées. Ces missions peuvent être aussi bien de police administrative, judiciaire, aide au maintien de l'ordre, secours aux personnes, liaisons, formation... Un grand nombre d'appareils sont équipés pour le vol sous JVN et peuvent aussi être équipés d'un phare de recherche ou d'une caméra thermique. D'autres équipements plus classiques, comme le treuil ou la flottabilité de secours, peuvent être installés sur chacune des machines.

Le Centre d'essais en vol

Le CEV a dans sa flotte trois Fennec AS 550 U2 qui assurent des missions variées dans le cadre d'essais en vol ou comme appareils de formation et d'entraînement pour les pilotes et ingénieurs navigants d'essais. À noter que pendant une certaine période l'un de ces appareils a été prêté et exploité par la Gendarmerie puis rendu au CEV.

2. Les bimoteurs

L'armée de l'air

L'armée de l'air a été le premier opérateur militaire à mettre en service la version bimoteur de l'Ecureuil.

Les six premiers appareils commandés et livrés étaient des Ecureuil AS 355 F1 équipés de deux moteurs Allison 250 C 20. Tous les suivants (Fennec AS 555 AN) ont été équipés du tout nouveau moteur Arrius (ex TM319) de Turboméca de plus de 500 ch, la flotte devant compter jusqu'à une cinquantaine d'appareils. Les principaux avantages de ce moteur moderne, outre qu'il est produit en France, sont sa puissance d'urgence en monomoteur nettement supérieure, permettant d'accroître notablement la masse décollable, son régulateur électronique numérique pleine autorité, son économie en carburant et sa simplicité d'entretien.

Les missions initialement dévolues à ces appareils étaient : la formation de pilotes en vue de leur qualification bimoteur et vol aux instruments (IFR), le secours et le sauvetage (treuil, civière, flottabilité de secours, radios spécifiques...), les liaisons (éventuellement en IFR) et la protection des sites sensibles. Pour cela un certain nombre d'appareils ont été équipés d'un canon Giat de 20 mm M621 monté en sabord (côté droit de l'appareil), associé à un viseur T100 air-sol. La mise au point de ce montage a d'ailleurs été délicate et a donné lieu à quelques campagnes de tirs de mise au point au



Figure 174 - Écureuil AS 555 AN de l'armée de l'air

CEV à Cazaux pour éviter que les déchets de tirs (douilles, maillons) ne viennent impacter le rotor de queue après leur éjection. Le concept d'emploi de ces appareils a progressivement évolué pour aller vers la mission MASA (Mesure active de sûreté aérienne) qui consiste à interdire la pénétration d'une zone à tout mobile aérien basse vitesse de type avion léger ou ULM. Pour cela, les viseurs T100 ont été remplacés par des T150

permettant également le tir air-air, tandis que d'autres appareils embarquent des panneaux lumineux d'affichage des ordres d'interception aux contrevenants et un tireur d'élite. Ces appareils ont récemment fait l'objet d'une rénovation pour mettre leur avionique aux derniers standards et également installer une caméra gyrostabilisée. À noter qu'ils sont bien sûr capables du vol de nuit sous JVN.

L'armée de terre

L'armée de terre dispose de dix-huit Fennec AS 555 UN très similaires à ceux de l'armée de l'air, achetés plus récemment et ne disposant pas de l'équipement canon. Les deux missions principales de ces appareils sont, comme pour l'armée de l'air, la formation de pilotes sur appareils bimoteurs et au vol aux instruments, pour ensuite piloter des appareils lourds, et les liaisons en accompagnement des déplacements des régiments. Là encore, ces appareils disposent d'une planche de bord de type IFR mono- et bipilote, sont capables du vol sous JVN et sont également équipés du poste radio tactique PR4G pour communiquer avec les troupes au sol.

Les douanes

Les douanes disposent de deux Ecureuil bimoteur (outre les 5 EC 135)

3. Conclusion

Bien qu'apparaissant comme faible au regard de la quantité totale d'appareils déjà produits (près de 6 000 appareils), la flotte de l'État français n'en constitue pas moins une flotte de référence car elle a très largement contribué à la maturation opérationnelle des principales versions (mono- et bimoteur) et permis de diffuser très largement ses concepts d'emploi. C'est ainsi que la Sécurité civile et tout particulièrement la Gendarmerie, en raison de l'importance de sa flotte, ont fait partie des tous premiers opérateurs de l'Ecureuil monomoteur et ont apporté un retour d'expérience inégalé. Sur la base de ce retour de terrain, la machine a rapidement gagné en fiabilité, allègement et réduction de ses coûts de maintenance, tout en élargissant un peu plus chaque jour les conditions d'emploi. Ce même retour d'expérience s'est opéré avec l'armée de l'air pour le bimoteur et tout particulièrement au moment de l'installation du moteur Arrius.

Cette vitrine opérationnelle française a très certainement contribué au succès initial de la machine, ses qualités propres faisant le reste. Aujourd'hui, Airbus Helicopters occupe la première place mondiale sur le marché des appareils civils et dispose d'une position de premier plan sur le marché militaire. Certes, les appareils les plus récents disposent d'une fiabilité initiale nettement supérieure à celle de leurs prédécesseurs, mais dans un contexte de concurrence européenne et internationale renforcée, l'industrie doit rester à l'écoute de ses clients et tenir compte rapidement de leurs expériences. Souhaitons que, pour les programmes futurs de l'État comme pour le programme Ecureuil/Fennec, la dynamique de fertilisation croisée et d'échanges constructifs entre le concepteur et l'opérateur puisse se poursuivre.

IV. LE PROGRAMME *HORIZON*

(Monique Legrand-Larroche)

1. Les origines : le programme *ORCHIDEE*

Le besoin opérationnel

Dans les années 1970, une des menaces principales pour les Forces françaises et de l'Otan était une invasion massive de l'Europe de l'Ouest par les troupes du Pacte de Varsovie. Pour l'armée de terre, la surveillance du champ de bataille était une préoccupation majeure. La détection tout temps, l'identification et le suivi en temps réel des mouvements ennemis jusqu'à une distance de 150 km était l'objectif du programme *ORCHIDEE*⁷².

Les études préparatoires



À partir des années 1970, les études préparatoires ont été conduites par la SEFT (Section d'études et fabrication des télécommunications) pour les aspects radar, transmission de données et station-sol d'exploitation, puis conjointement avec le STPA (Service technique des programmes aéronautiques) pour l'intégration sur hélicoptère. Après de nombreux essais au sol, un radar expérimental a été intégré en 1983 sous hélicop-

Figure 175 - Un précurseur : le radar expérimental *ORPHEE* sur le Super Frelon N° 05 (photo CEV)

72 *ORCHIDEE* : Observatoire radar cohérent hélicoptéré d'investigation des éléments ennemis

tère Super Frelon et les essais ont donné d'excellents résultats, mais avec portée limitée. Par ailleurs, la mise au point de la transmission de données et des logiciels d'exploitation de la station-sol se poursuivaient en étroite collaboration avec l'armée de terre.

Le démonstrateur ORCHIDEE

Après les premiers essais prometteurs du radar et de la transmission de données, la DGA a entrepris d'intégrer sur hélicoptère Puma un radar prototype, muni d'une antenne de 3 m d'envergure qui était déployée en vol puis rabattue sous la queue de l'appareil pour l'atterrissage, et d'un poste embarqué d'exploitation des informations du radar. À partir de 1986, ce démonstrateur ORCHIDEE allait effectuer plusieurs campagnes d'essais sur terrains divers pour valider l'ensemble du concept. La détection des cibles mobiles était possible jusqu'à une distance de 70 km, à la fois sur du trafic de type civil sur route et sur des matériels militaires à roues ou chenilles en tout terrain. L'exploitation des renseignements acquis par le radar, puis transmis vers les postes de la station-sol, était validée.

Le lancement du programme

En 1987, le développement du programme a été lancé. Pour assurer la portée requise de 150 km, le radar était doté d'une antenne à balayage mécanique de 5 m d'envergure, intégré sur hélicoptère Super Puma ; la transmission de données, positionnée dans l'antenne, assurait les liaisons protégées avec les stations-sol dotées chacune de



Figure 176 - Démonstrateur ORCHIDEE (photo CEV)

trois postes d'exploitation du renseignement, les principales informations étant ensuite transmises au commandement via le système RITA. Pour assurer la sécurité des hélicoptères, ceux-ci effectuaient leur mission en arrière des troupes alliées, en montée à grande vitesse jusqu'à une altitude suffisante pouvant aller jusqu'à 4 000 m, observation radar puis descente rapide. L'observation suivante était réalisée par un autre appareil à partir d'une position différente. La cible globale envisagée du programme était de vingt hélicoptères équipés et de six stations-sol.

L'interopérabilité avec les autres programmes de surveillance

Les autres principaux pays de l'Otan avaient des besoins de surveillance analogues : les États-Unis développaient le prototype JSTARS sur avion Boeing 707, le Royaume-Uni l'ASTOR⁷³ sur avion Bombardier Global express et l'Italie un prototype sur hélicoptère. L'interopérabilité de ces systèmes a été rapidement mise en œuvre, essentiellement au niveau de l'échange des informations et de l'intégration des données des différents systèmes dans les stations d'exploitation au sol. Des essais d'interopérabilité du démonstrateur ORCHIDEE et de l'avion JSTARS ont été conduits avec succès en 1988 dans le sud-est de la France, là encore sur trafic routier civil et sur convois militaires roues et chenilles en tout terrain.

L'évolution de la menace et la fin du programme

En 1989 et 1990, avec la chute du mur de Berlin et la disparition de l'Union soviétique, la menace d'une invasion massive de l'Europe de l'Ouest s'étant dissipée, et sous les contraintes budgétaires de plus en plus fortes, le programme ORCHIDEE a été arrêté le 1^{er} août 1990. Le 2 août 1990, les Forces irakiennes envahissaient le Koweït.

73 JSTARS : Joint Surveillance and Target Acquisition Radar.

Système ASTOR : Airborne Surveillance and Target Observation Radar

2. L'utilisation du démonstrateur *ORCHIDEE* lors de la guerre du Golfe (1990)

L'entraînement des Forces, la mise en œuvre et le soutien des matériels

Même si elles étaient loin de représenter une menace comparable à celle du Pacte de Varsovie, les Forces irakiennes étaient supposées importantes et bien entraînées (en partie par la France). Le besoin de surveillance et de suivi de ces Forces était donc évident pour la Coalition. Les prototypes Super Puma ne pouvaient pas être rapidement mis au point et utilisés par les Forces : il a été demandé à la DGA de modifier le démonstrateur pour l'équiper d'un poste d'exploitation à bord pour traiter en temps réel et *in situ* les informations du radar. En quelques semaines, et avec la participation des principaux industriels du programme, les équipes de la STAT⁷⁴ qui devaient intervenir au Koweït ont été formées et entraînées, et un soutien minimal de l'hélicoptère Puma et du radar expérimental mis en place.



Figure 177 - Démonstrateur Puma *ORCHIDEE* - vue latérale (photo CEV)



Figure 178 - Démonstrateur Puma *ORCHIDEE* - vue de dessous (photo CEV)

74 STAT : Section technique de l'armée de terre.

La participation aux opérations des Forces françaises

Lors de l'entrée en Irak, la France, au sein de la Coalition, avait en charge une certaine longueur de la ligne de front. Malgré sa portée réduite de 50 km, le démonstrateur a été utilisé en retrait des Forces françaises pour détecter les mouvements de véhicules adverses. Le démonstrateur a réalisé vingt-huit missions, dont dix de nuit. Il a permis de montrer qu'il y avait peu de mouvements, donc que peu de Forces ennemies se trouvaient en face des Forces françaises. Il a donc facilité une percée très rapide qui les a menées aux portes de Bagdad.

3. Le programme hélicoptères *HORIZON*

Le besoin opérationnel

À la suite de l'utilisation très réussie du démonstrateur *ORCHIDEE* durant la guerre du Golfe, l'état-major de l'armée de terre a réorienté son besoin vers un système de temps de crise pour la surveillance des mouvements des véhicules et des hélicoptères. L'objectif était de faire un système d'armes *a minima*, avec un programme à coût très maîtrisé, reprenant les acquis d'*ORCHIDEE*. Le programme *HORIZON*⁷⁵ a été lancé en mars 1993.

L'armée de terre demandait à avoir en permanence la possibilité de se faire mettre à disposition un hélicoptère sous préavis de quinze jours, ce qui a été très contraignant pour le déroulement du programme.

////////////////////////////////////
75 *HORIZON* : Hélicoptère d'observation radar et d'investigation sur zone.

La description du programme

Le programme *HORIZON* était constitué de deux systèmes *HORIZON*, chaque système comportant lui-même deux hélicoptères Cougar et une station sol. Chaque hélicoptère reprenait le système radar avec l'antenne repliable et la transmission de données développée pour *ORCHIDEE*. Le radar avait une portée de 150 km et la transmission de données une portée de 100 km, le concept opérationnel était toujours d'utiliser l'hélicoptère en retrait de la ligne des contacts, pour diminuer sa vulnérabilité.

La principale nouveauté résidait dans un poste opérateur à bord qui permettait d'élaborer le renseignement directement transmis au sol et dans les deux postes de travail au sol (identiques au poste opérateur à bord) installés dans la station sol de traitement des informations émises par le système.

Le déroulement du programme

Le programme a fait l'objet de deux contrats, un contrat préliminaire en mai 1993 pour acquérir deux radars et deux transmissions de données et le contrat principal d'août 1993 commandant tout le reste des systèmes. Dans un souci d'économie, le programme utilise deux Cougar déjà acquis par l'armée de terre, dont un qui avait servi de prototype pour être transformé en Cougar MkII (en vue d'*ORCHIDEE*) et qu'il a donc fallu retransformer en Cougar Mk I (comme tous les Cougar de l'*ALAT*).

Les contrats ont été passés en cotraitance à Eurocopter, LCTAR et Dassault Électronique. Eurocopter a sous-traité la réalisation des postes de travail (à bord et au sol) à Matra Cap Systèmes. Durant le déroulement du programme, Matra Cap Systèmes est devenu Matra Systèmes d'Informations, LCTAR est devenu TCAR, absorbé par Thomson RCM fin 1997, et Dassault Électronique a fusionné avec Thomson en 1999.

Des essais de la chaîne d'acquisition (radar-poste opérateur à bord-transmission de données-poste de travail au sol) sont effectués au sommet du

mont Ventoux au second trimestre 1995 avec des plastrons véhicules à roues, à chenilles et hélicoptères.

En 1995, il est décidé d'intégrer deux postes radios PR4G par hélicoptère. Ce sera la seule évolution du programme.

Le 24 juin 1996, le premier hélicoptère et la première station sol sont livrés officiellement au cours d'Eurosatory. Le second hélicoptère sera livré en février 1997, le second système en mars 1998.



Figure 179 - Le système HORIZON (photo CEV)



Figure 180 - Hélicoptère HORIZON antenne déployée (photo CEV)

L'utilisation opérationnelle d'HORIZON

Lors des événements au Kosovo en 1999, l'armée de terre décide d'envoyer HORIZON ; deux hélicoptères et deux stations sol participeront à l'opération Trident durant trois mois en étant basés en Macédoine. En urgence, un système de contre-mesures sera intégré aux hélicoptères, la fin de l'intégration étant effectuée en Grèce avec un renfort de personnels DGA sur place pour assurer la surveillance des travaux. HORIZON effectuera plusieurs missions opérationnelles et donnera toute satisfaction. Par la suite, HORIZON participera à plusieurs exercices Otan et sera adopté par l'armée de terre le 7 août 2000.

Les difficultés d'HORIZON

Le choix fait lors du lancement du programme de minimiser les coûts (afin de marquer une véritable rupture avec *ORCHIDEE* et ne pas apparaître comme une remise en cause de la décision d'arrêt du programme prise par le ministre) a conduit à ne pas industrialiser le système, et tout particulièrement le radar, alors qu'un problème de fiabilité était clairement identifié. En 1994, un projet de modernisation du radar (à partir d'éléments développés pour Mirage 2000 et pour Rafale) ne fut pas retenu car il entraînait une augmentation de coût du programme.

Il faut considérer que les hélicoptères étaient quatre prototypes et étaient différents (surtout celui qui avait été transformé en MkII avant d'être retransformé en MkI). Il a été également décidé de n'acquérir qu'un soutien minimum pour le système et très peu pour les hélicoptères (en considérant qu'ils seraient soutenus par le stock commun de l'ALAT). L'ensemble de ces choix a conduit à de grandes difficultés sur la fiabilité du système, qui a connu de nombreuses pannes avec des temps de réparation longs, en raison de l'absence de rechanges.

Par ailleurs, toujours dans le souci de diminuer les coûts, le choix a été fait de ne pas retenir de maître d'œuvre, mais simplement un architecte industriel (Eurocopter), alors même que les relations entre Eurocopter et LCTAR-Dassault Électronique étaient très mauvaises. C'est donc la DGA qui a dû jouer le rôle d'interface entre les industriels. Ce rôle a été tout particulièrement important pour les logiciels du poste opérateur à bord, logiciels découpés entre les trois industriels : il a fallu une très forte implication du Centre d'essais en vol ainsi que du CEAT de Toulouse pour que le système fonctionne.

Malgré ces difficultés, le système a obtenu de très bonnes performances, reconnues par l'armée de terre comme par les Américains (qui les ont constatées lors de manœuvres communes, dont une réalisée au CEV à Brétigny avec l'avion JSTARS américain et des plastrons véhicules).

La dernière difficulté a été opérationnelle. En effet, HORIZON était mis en œuvre par l'ALAT, au sein du régiment de Phalsbourg (régiment qui mettait en œuvre les vingt-quatre autres Cougar de l'ALAT), mais travaillait au profit de la brigade de renseignement et non de l'ALAT. La conséquence de cette organisation est qu'*HORIZON* n'était pas considéré comme important par l'ALAT (que ce soit pour les rechanges ou les ressources en mécaniciens) et était méconnu de la brigade de renseignement.

Dans le début des années 2000, chaque fois que l'état-major des armées a voulu envoyer HORIZON soit en exercice international, soit dans des opérations de gestion de crises, l'état-major de l'armée de terre n'a pas réussi à avoir un système disponible. Un nouveau projet de modernisation du système a alors été envisagé mais devant les contraintes budgétaires, l'armée de terre a renoncé en 2008 à cette modernisation et au système lui-même. Un hélicoptère a été mis au musée de l'ALAT à Dax et les autres ont été stockés pour être démantelés.

HORIZON : un précurseur !

L'aventure *ORCHIDEE*, puis *HORIZON*, a montré d'une part la validité d'un concept et la capacité à faire évoluer les programmes d'armement en cas de modification importante du paysage stratégique (la chute du mur de Berlin et la fin de la menace du pacte de Varsovie). Elle a montré d'autre part la capacité à réaliser un système performant et reconnu par les Américains, avec des moyens financiers extrêmement faibles par rapport aux USA. Le concept d'*HORIZON* est toujours utile et ce système aurait été largement trouvé sa place dans la gestion des crises actuelles. Ce concept est aujourd'hui en voie de réincarnation dans les drones, à voilure fixe ou ultérieurement à voilure tournante.

Le système *HORIZON* a démontré toutes ses capacités et son apport opérationnel, alors même que les choix initiaux d'organisation pour respecter les contraintes budgétaires risquaient de conduire à des résultats décevants. Le succès est dû à l'engagement et la compétence des acteurs de la DGA,

qu'ils soient du SPAÉ ou des centres d'essais (tout particulièrement CEV et CEAT), qui ont assuré la maîtrise d'œuvre des industriels et ont eux-mêmes contribué à faire corriger tous les dysfonctionnements rencontrés. Il faut se demander si la DGA d'aujourd'hui aurait encore les ressources humaines pour réaliser un tel tour de force !

DES INITIATIVES ORIGINALES

L'histoire des hélicoptères ne serait pas complète sans la mention des initiatives audacieuses de petites équipes qui, sans le soutien de l'État, ont tenté de développer des machines originales à voilure tournante. On peut affirmer que toutes les formules, à base de voilure tournante, que l'on peut imaginer aujourd'hui, ont déjà fait l'objet d'études et d'expérimentations : les autogires, les hélicoptères de toutes formes (mono- et birotors, avec ou sans rotors arrière, propulsés par toutes sortes de moteurs, des combinés (avion-hélicoptère), des convertibles, et autres objets volants non identifiés.

Ces projets n'ont, pour la plupart, pas abouti, mais certains peuvent être qualifiés de « développements industriels », avec une perspective commerciale assez bien définie. Quelques-uns sont arrivés à un stade de « maturité » suffisant pour permettre des débuts d'essais en vol, et susciter un réel intérêt des services de l'État. Ainsi, on relate dans ce chapitre trois exemples significatifs de ces projets.

Le premier, invention de Charles Déchaux, exploitait la simplicité de la formule Djinn : l'entraînement du rotor principal par l'éjection en bout de pale du gaz produit par un générateur de gaz (type Palouste). Ce principe permettait de s'affranchir du rotor arrière. Par ailleurs, il introduisait des éléments de cellule dérivés de l'automobile. Ce projet est resté à un stade de développement trop préliminaire et la formule « Djinn » ne s'est finalement pas révélée intéressante.

Le deuxième, réalisé par une équipe de véritables spécialistes d'hélicoptères soutenue par Citroën, est allé assez loin dans le développement. Il devait exploiter le moteur rotatif de la firme automobile. Il n'a finalement pas abouti, la formule du moteur rotatif n'ayant pas tenu ses promesses et le principe du moyeu rotor (avec des lames métalliques soumises au *fretting*) n'étant sans doute pas viable.

Le troisième, le Guimbal, a fait l'objet d'un réel débouché commercial.

I. DES PROJETS... SANS SUITE

1. Hélicoptère Déchaux Hélicop Jet

(Étienne Maurice avec la contribution de Jean Richard (ingénieur d'essais))

Les premiers projets

Les premières études de l'Hélicop Jet datent de 1968. Charles Déchaux, qui avait été séduit par la simplicité et la rusticité du SO 1221 Djinn, voulait réaliser un hélicoptère économique quadriplace de ce type. Il venait de l'industrie automobile et avait produit, dans les années 50, un prototype de véhicule à traction avant à moteur transversal dont le brevet a été repris sur l'Austin Cooper mini. Plus tard, il a racheté l'outillage de fabrication des pavillons de toit (en tôle d'aluminium) des voitures Panhard 24 et utilisé deux de ces éléments pour constituer la structure de la cabine de l'Hélicop Jet. Pour la propulsion, il avait envisagé d'utiliser un générateur d'air dérivé des groupes de démarrage prototypes Turbomeca Autan ou Tramontane, mais ces moteurs n'ont pas été construits en série et il a opté pour un Turbomeca Palouste IV récupéré sur un Djinn en attendant un éventuel dérivé de l'As-tazou. Il a présenté la maquette de l'Hélicop Jet dès le salon aéronautique du Bourget de 1969.

Lors des premiers essais effectués le 19 décembre 1976, au plein gaz, plein petit pas il n'a pas été possible d'atteindre le régime rotor nécessaire au décollage et le prototype 001 (issu de la maquette) ne pouvait effectuer que de brefs soulèvements en perte de régime rotor.

Après l'échec d'un turbogénérateur d'air à base d'Astazou II, Charles Déchaux a disposé du prêt d'un Astazou IIIA provenant d'une Gazelle accidentée et de l'aide du Service technique de l'aéronautique et de Turbomeca. Il a modifié ce turbomoteur pour entraîner en prise directe un compresseur axial d'Astazou III. Dans la première version, le compresseur était monté en porte à faux avec un seul palier. Sur les conseils du Centre d'essais des propulseurs de Saclay (CEPR), une deuxième version comportant deux paliers a été présentée pour l'essai de vingt-cinq heures « bon de vol ». C'est le moteur qui équipe l'Hélicop Jet n° 002.

Les études de Jean Richard

Parallèlement à ces travaux, Charles Déchaux prospectait les sponsors. Une société franco-canadienne, la société Hélicop Jet Project Management Incorporated (HPMI), domiciliée à Montréal fut intéressée, mais demanda que le projet fût supervisé par un ingénieur de haut niveau : Jean Richard, ingénieur navigant d'essais, retraité du CEV. Celui-ci rédigea un document appelé « Modélisation de l'hélicoptère à réaction » où étaient étudiés, en se fondant sur la mécanique des fluides et la thermodynamique, les différents paramètres sur lesquels on peut agir pour améliorer le rendement, qui est le point faible de cette formule.

Faisant suite à cette étude, la société HPMI lui a demandé une étude de faisabilité pour connaître l'ampleur du travail à effectuer et chiffrer les investissements nécessaires pour essayer, mettre au point, certifier et industrialiser l'Hélicop Jet. Cette nouvelle étude mettait en évidence qu'une refonte complète du projet était nécessaire pour respecter les normes et règles de l'art aéronautiques et signalait les performances modestes attendues du prototype 002. Elle montrait aussi l'intérêt d'un Hélicop Jet optimisé autour du

futur moteur Turbomeca TM 319. Cet appareil de cinq à six places, pouvait être certifié à 1 450 kg avec une charge utile de 900 kg pour une vitesse de 180 km/h avec une consommation moyenne de 80 à 90 kg/h. Produit en série, il pouvait être commercialisé à environ 210 000 US dollars, mais son étude détaillée, sa mise au point et son industrialisation exigeraient des investissements importants.

Cette dernière étude a satisfait la Société HPMI qui a demandé à Jean Richard de déterminer le travail nécessaire pour mettre le prototype en vol, de rédiger le programme des essais au sol et en vol, de définir et réaliser l'installation d'essai, d'obtenir les autorisations nécessaires, de réunir l'équipage d'essais et de conduire et exploiter ces essais. Ces travaux furent terminés en novembre 1984. Il fut donc décidé d'achever le prototype n° 002 et d'effectuer une courte campagne d'essais en vol pour démontrer la viabilité de la formule et pour vérifier les performances calculées.

Le déroulement des essais

Les premiers essais furent ceux du groupe turbogénérateur d'air qui équipait l'Hélicop Jet n° 002 constitué du turbomoteur Turbomeca Astazou IIIA qui avait subi une révision générale chez Turbomeca. Ce groupe était essayé au CEPR de juillet 1982 à juin 1984 et, après de nombreuses pannes et fuites diverses, il a réalisé près de six heures de fonctionnement où la mesure de ses caractéristiques a été effectuée ; il est alors décidé, faute de disponibilité du banc, de poursuivre l'endurance directement sur l'hélicoptère ; sept heures de fonctionnement sont réalisées sur l'appareil, à Issy-les-Moulineaux, fin octobre 1984. À l'issue de ces essais et de l'examen officiel sur table de l'état du moteur, le STPA/moteurs signait le « bon de vol » du moteur pour dix heures.

Le 26 novembre 1984 la DGAC signait un laissez-passer pour essais pour dix heures de vol à effectuer autour de l'aérodrome de La Ferté-Allais. Philippe Fourquaux, pilote d'essais, ancien du CEV, était le pilote désigné de ce

prototype. Le premier vol a lieu le 12 décembre 1984 à La Ferté-Alais et les essais en vol se poursuivirent jusqu'au 18 décembre selon le programme établi par Jean Richard.

Malgré des conditions météo difficiles, la mauvaise réalisation des commandes de vol, la masse à vide trop élevée, le centrage trop arrière et certains travaux non achevés, onze vols totalisant 3 h 07 ont été accomplis en sept jours.

Ces essais ont permis d'acquérir les résultats suivants :

- confirmation de la possibilité d'utiliser un turbomoteur à roues solidaires pour entraîner le compresseur de charge et de piloter la puissance de 0 à plein gaz par vannage du débit à l'entrée d'air du compresseur de charge ;
- exécution de vols stationnaires dans et hors effet de sol ;
- exécution d'évolutions à basses vitesses ;
- exécution de tours de piste à 200 m avec virages à droite et à gauche jusqu'à 45° d'inclinaison ;
- vols à une masse supérieure à 1 000 kg, comprenant la mesure d'une vitesse indiquée de 153 km/h.
- montée à 450 m et descente en autorotation complète ;
- détermination des performances principales (conformes aux prévisions) et aperçu sur les qualités de vol ;
- constatation d'un excellent niveau vibratoire.

Ces essais ont permis d'accomplir toutes les évolutions usuelles d'un hélicoptère. La fiabilité de l'hélicoptère et de son générateur d'air ont été bonnes, aucune panne n'est venue retarder l'accomplissement du programme d'essais.

Un rapport d'essai, fort complet, a été rédigé. En conclusion de ce rapport, l'équipage d'essais écrivait que l'Hélicop Jet prototype avait bien rempli la fonction de démonstrateur que l'on attendait de lui, mais que des pro-

grès importants étaient encore nécessaires pour atteindre un stade de performances à la hauteur de celles des hélicoptères mécaniques alors commercialisés.

Les développements ultérieurs et la fin de l'aventure !

À l'issue de la campagne d'essais de l'Hélicop Jet 002, la Société HPMI décidait de poursuivre l'aventure en misant sur un appareil optimisé. Plusieurs variantes propulsées par des Astazou IIA, IIC, XIV sont étudiées par

Jean Richard, mais rapidement le projet motorisé par le TM319 en préparation chez Turbomeca prend le dessus.



Figure 181 - L'hélicop jet prototype N° 02

Pour obtenir une aide du Bureau hélicoptère du ministère de l'expansion industrielle du Canada, la Société HPMI préfère présenter une version plus étoffée qui devenait possible avec l'amélioration de la puissance disponible du TM319. La nouvelle cabine pouvait recevoir un siège pilote et quatre ou cinq passagers ; la masse à vide s'élevait à 540 kg et la charge utile à 910 kg.

Finalement, le ministère n'a pas accordé son aide et malgré des présentations à divers clients, la société HPMI n'a pas trouvé de nouveaux investisseurs.

Un dernier projet, l'Hélicop Jet 2000, motorisé par le TM 319 2C, concernait un appareil de six à huit places, mais la vitesse, à la puissance de décollage, restait proche de 100 kt et était jugée insuffisante par les exploitants

canadiens. Pour améliorer ces caractéristiques, diverses modifications furent évoquées dont le remplacement du TM 319 par un TM333 !

Au début des années 2000, la Société HPMI ne donna plus signe de vie et avec elle se terminait l'aventure de l'Hélicop Jet. Le prototype 002 resta très longtemps dans un hangar à la Ferté-Alais et doit maintenant se trouver sur l'aérodrome de Lyon-Corbas (EALC).

2. Hélicoptère Citroën RE-210C n°001

(Étienne Maurice avec la contribution de Jean Richard (ingénieur d'essais))

La genèse du projet

En 1973 la direction de Citroën a pensé qu'il existait un marché notable pour un moteur aéronautique moderne bénéficiant d'un prix abaissé par sa construction en grande série à partir d'une chaîne de production automobile.

Dans les années 70, Citroën s'était intéressé au moteur rotatif de l'ingénieur Félix Wankel dont la firme allemande NSU avait construit des exemplaires à la fin des années 60⁷⁶. Citroën en avait acheté la licence et s'était associé à NSU en créant deux entreprises communes : Comobil, pour les études au Luxembourg et Comotor, dans la Sarre, pour la fabrication en série des moteurs des futures voitures des deux constructeurs.

À partir de 1973, Citroën avait équipé une petite série de sa voiture GS du moteur Comotor 624. Ce moteur, développant une puissance de 113 KW (150 ch.), procurait un fonctionnement doux et relativement silencieux avec des montées en régime rapides et un niveau vibratoire faible. Les défauts

////////////////////////////////////
76 Felix Wankel a développé son moteur à partir de 1924 jusqu'à la fin des années 30, plusieurs applications avaient été développées au moment de l'entrée en guerre. Après guerre, en 1951, Felix Wankel s'associe à l'entreprise NSU.

étaient une consommation élevée, 12,3 l/100 km, un démarrage parfois difficile et surtout une fiabilité et une endurance médiocres.

Cette consommation, importante pour un moteur automobile, paraissait alors acceptable pour un moteur aéronautique, et sous réserve de quelques adaptations et à condition qu'il soit certifié aviation, le moteur Comotor 624 semblait répondre à l'objectif initial de développer un moteur aéronautique. Pour ouvrir le marché, la direction de Citroën demanda à son Service de recherche, dirigé par l'Ingénieur Nougrou, de lancer trois projets aéronautiques utilisant ce moteur : RE-1, un autogire biplace, RE-2, un hélicoptère biplace et RE-3 un avion tri- ou quadriplace bipoutre à moteur propulsif.

De ces trois projets, seul le RE-210C, l'hélicoptère, sera réalisé et verra le jour.

L'étude du projet et sa mise au point

L'étude de ces projets montrait l'intérêt de prévoir une puissance légèrement accrue, 135 kW, qui pouvait être facilement obtenue en modifiant le moteur Comotor 624. Citroën a alors développé le moteur RMR 07, fonctionnant à l'essence aviation (100/130 d'octane) tout en gardant le refroidissement par liquide (eau et glycol à 50 %). La version RMR 07-V a équipé l'hélicoptère Citroën prototype devenu le RE-210C n°001 ; en effet, les caractéristiques de fonctionnement de ce type de moteur (bon rapport masse/puissance, aptitude à bien fonctionner à puissance élevée) et l'évolution du couple en fonction du régime convenaient bien à la propulsion d'un hélicoptère léger.

Après sa mise au point, le moteur Citroën RMR 07 n°30 a été essayé au Centre d'essais des propulseurs à Saclay (CEPr). Les rapports d'essais signalent que deux tentatives de bon fonctionnement avaient été interrompues à moins de cinquante heures de fonctionnement pour la même cause : détérioration des joints toriques des segments circulaires des pistons rotatifs. Donc, dans cette définition, ce moteur, ne satisfaisait pas aux conditions de certification, en vigueur à cette date.

Pendant que ce moteur se mettait au point, la définition du porteur se précisait. Citroën avait demandé à Charles Marchetti, qui avait dirigé l'équipe des concepteurs de l'Alouette II, de piloter le projet autour d'un équipe du bureau d'études de Citroën à laquelle s'étaient joints des fidèles de Marchetti : Théodor Laufer, un pionnier de l'équipe von Doblhoff, qui avait réalisé en Autriche, en 1944, le WNF 342, puis, entré à la SNCASO, dans l'équipe de Paul Morain avait été un des concepteurs du Djinn, et Yves Normand, spécialiste des calculs de résistance et de fatigue. Charles Marchetti se chargea du dimensionnement général et de l'étude des rotors tandis que l'étude et la réalisation des parties mécaniques revenaient aux ingénieurs de Citroën.

La cellule fut construite par Hurel-Dubois et fin 1975 le prototype F-WZAB était terminé. Le rotor principal était composé de trois pales articulées sur un moyeu souple semi-rigide sans amortisseurs de traînée. La masse à vide équipée était de 632 kg et la masse maxi au décollage 840 kg.

Les essais en vol

Le premier vol eut lieu le 24 décembre 1975 aux mains de Dominique Gilles qui mena les essais méthodiquement et sérieusement, aidé d'un ingénieur de Citroën, chargé des mesures. L'ouverture du domaine de vol a été effectuée sans réel problème, en utilisant un poste de télémétrie et en dépouillant systématiquement les résultats avant chaque nouveau vol. Environ deux cent vols totalisant une centaine d'heures de vol ont été effectués. D. Gilles a été le seul pilote, le Centre d'essais en vol (CEV) n'a pas été, officiellement, impliqué dans ces essais. Les résultats des essais montraient un pilotage à travers des commandes agréables et douces, la possibilité de voler sans servocommandes, l'atterrissage possible en autorotation, de bonnes performances (170 km/h en palier) et un niveau vibratoire plutôt bon. La conduite du moteur était jugée excellente, mais le principal défaut était la consommation importante.

Ces résultats étaient satisfaisants et il est possible qu'au prix d'un travail de mise au point important cet appareil aurait pu être certifié et aurait eu sa place à côté des Hughes 300, Robinson R22, Enström 28. Une question de fond se posait néanmoins : la capacité du moyeu rotor principal, composé de lames métalliques superposées (pour obtenir la flexion nécessaire) à résister au phénomène de *fretting*/corrosion, c'est-à-dire à la fatigue. Ce concept n'était sans doute pas viable.

Épilogue

Les chocs pétroliers de 1973 puis de 1978 ont à la fois renchéri le prix des carburants et asséché la trésorerie des constructeurs automobile. En avril 1979,

Michelin a vendu Citroën à Peugeot SA pour former le groupe PSA et, pour limiter les dépenses, la direction de Peugeot a décidé d'arrêter immédiatement tout travail sur le moteur rotatif. Ainsi le RE-210 fit son dernier vol le 3 mai 1979.

Le prototype RE-210C n°001 est resté en excellent état ; il est visible à Aulnay-sous-Bois au Conservatoire Citroën.



Figure 182 - Hélicoptère Citroën RE-210C - 1er vol à la Ferté-Vidame
24-12-1975 (Pilote : Dominique Gilles)

II. UN SUCCÈS : L'HÉLICOPTÈRE **GUIMBAL CABRI**

G2

Ingénieur Arts et Métiers/ESTA, Bruno Guimbal, né en 1959, est passionné par l'aéronautique ; il construit et fait voler un avion de formule non conventionnelle Rutan VariEze ; mais il ne s'arrête pas là ! Employé au bureau d'études d'Eurocopter, il conçoit, construit et fait voler en avril 1992 (avec l'aide d'Eurocopter pour les premiers vols) un démonstrateur technologique d'hélicoptère léger appelé Cabri G1. Devant le succès de cette démarche, il fonde fin 2000 sa propre société « Hélicoptères Guimbal », installée sur l'aérodrome d'Aix-les-Milles, et dont l'objet est de développer, certifier, produire et, enfin, commercialiser l'hélicoptère Cabri G2.

Il s'agit d'un hélicoptère biplace, équipé d'un moteur à pistons Lycoming O360 d'une puissance maximale continue de 108 kW, d'un rotor principal à trois pales en composite, d'un rotor arrière de type fenestron, d'une masse maximale de 700 kg.

Les étapes les plus marquantes de cette aventure sont les suivantes :

- 31 mai 2005 1^{er} vol du 1^{er} appareil de série ;
- 08 décembre 2007 obtention de l'agrément de conception (DOA) ;
- 15 décembre 2007 certification européenne EASA conformément au règlement CS-27 ;
- 25 mai 2008 obtention de l'agrément de production (POA) ;
- 19 septembre 2008 1^{ère} livraison ;
- le G2, avec Olivier Gensse aux commandes, a par ailleurs battu avec 6 658 m le record du monde d'altitude dans sa catégorie ;
- En 2013, un total de cinquante machines avaient été vendues dans dix-huit pays et totalisaient 35 000 heures de vol.



Figure 183 - Hélicoptère Guimbal Cabri G2

Chapitre XI

LES MOTEURS DES HÉLICOPTÈRES FRANÇAIS

(Michel Lasserre — L'histoire complète des moteurs aéronautiques fait l'objet d'un tome spécifique, déjà publié, des ouvrages du COMAERO)

Les hélicoptères conçus en France (en tout ou en partie) ont utilisé des moteurs de divers industriels internationaux, mais pour une très large part, ceux de la société française Turbomeca.

Turbomeca a été créé en France en 1938 par André Planiol et Joseph Szydlowski ; ce dernier, Polonais, naturalisé français en 1939, avait déposé de nombreux brevets sur les compresseurs et les moteurs Diesel. La société visait à développer des moteurs à huile lourde. Elle n'a pas eu de résultat probant dans cette voie, mais a mis au point des compresseurs de suralimentation pour moteurs à pistons (en particulier pour le moteur Hispano Suiza 12 Y du chasseur Dewoitine D 520).

Après 1944, Joseph Szydlowski, qui sera rapidement seul propriétaire, recrute une équipe d'ingénieurs et techniciens allemands pour développer une compétence en matière de turbomachines. De grands projets – gros turbo-réacteurs pour avions civils – sont envisagés ; les services officiels français arrêtent vite ces travaux et les compétitions entre les motoristes français, SNECMA étant seul retenu pour le développement des moteurs d'avion de combat (famille ATAR aux caractéristiques innovantes). Turbomeca se consacrera normalement à des petites turbomachines dans les diverses applications : générateur d'air, moteur, propulseur, réacteur... Une structure très simple est retenue pour ces machines : compresseur centrifuge,

chambre de combustion à retour, injection centrifuge du carburant, régulation à vitesse constante...

Dans le domaine des hélicoptères ou assimilés, Turbomeca intervient dans le programme expérimental Ariel (1, puis 2) comportant un rotor mû par éjection de gaz en bout de pale fourni par un moteur à pistons Mathis entraînant un compresseur. J.Szydlowski propose après 1946 un turbomoteur entraînant un compresseur puis, en 1951 pour le projet Arriel 3, un turbogénérateur d'air (Artouste II de 200 kW). Sur le même principe, en 1953, le turbogénérateur Palouste équipe l'hélicoptère léger SNCASO Djinn produit en série (le premier hélicoptère à turbine au monde).

Turbomeca se prépare à remplacer le moteur à pistons directement par un turbomoteur. Il développe le moteur à turbine liée (un seul arbre) Artouste I de 200 kW.

Cette version est proposée à l'hélicoptériste américain Sikorsky pour remplacer le moteur à pistons du S-59 : des records sont battus, mais des problèmes sont rencontrés (pompages). Sikorsky, qui avait des idées *a priori* sur les turbines liées, abandonne prématurément. En France, l'Artouste est retenu par la SNCASE pour l'Alouette dans une version (II de 270 kW) plus puissante que celle commandée par les services officiels français pour ses besoins propres, développée par le motoriste sur ses propres fonds. Le succès est au rendez-vous et la turbine devient indispensable sur les hélicoptères autres que de très faible puissance. Le motoriste suit ou précède les besoins de l'hélicoptériste : augmentation de la puissance de l'Artouste (550 kW) ou autres moteurs (Astazou dérivé du turbopropulseur de même nom) jusqu'à l'Alouette III et le Lama.

En parallèle, Turbomeca lance le Turmo (à turbine libre de puissance) pour équiper les hélicoptères multimoteurs. Ce moteur a équipé le Super Frelon (3 Turmo III de 950 kW) et le Puma (2 Turmo III de 1 150 kW puis 2 Turmo IV de 1 200 kW).

Ce dernier appareil appartient à la « coopération franco-britannique » sur les hélicoptères : Puma, Gazelle, Lynx. Il s'agit plutôt d'un « partage » des programmes, les deux premiers étant sous responsabilité française de même que les moteurs (Turmo et Astazou) qui sont réalisés par Turbomeca, le troisième est sous responsabilité britannique et son moteur (GEM BS 360, moteur à trois corps relativement très complexe) est conçu et réalisé par Rolls Royce.

À partir de 1972, le Dauphin a été équipé de diverses versions de l'Astazou (XVI, XVIII, XX), ce dernier de 750 kW à comparer aux 370 kW de l'Astazou II.

Dans les années 1970, Turbomeca est devenu le leader du moteur d'hélicoptère en Europe (bien avant Rolls-Royce en Grande-Bretagne), à un niveau voisin des grands motoristes américains qui sont sur le créneau. Il a aussi pris pied dans le domaine des turboréacteurs (Adour aux côtés de Rolls-Royce, Larzac aux côtés de SNECMA et KHD) ce qui lui assure une charge de travail importante.

Joseph Szydowski appelle aux commandes de la société Gérard Pertica, homme à la forte personnalité et d'une grande énergie, qui avait été à la tête de la division hélicoptères de l'Aérospatiale. Il entreprend de renouveler la gamme vieillissante des moteurs de Turbomeca, profitant de la bonne santé financière de la société.

L'Arriel en 1974, d'une puissance initiale de 500 kW, possédait la structure classique en faveur dans la société. La sortie de puissance vers l'avant demandée par les hélicoptéristes aurait nécessité deux arbres (générateur et puissance) concentriques et par conséquent de trous les disques, ce qui était le cas des moteurs concurrents de mêmes performances tels le Lycoming LTS 101. Joseph Szydowski, conservateur en ce domaine, s'y opposa et un arbre extérieur fut retenu, solution *a priori* assez lourde. Le bureau d'études fit des prodiges et la pénalité de masse fut réduite. Aérospatiale maintint sa pression en faveur du Lycoming, arguant aussi de son prix. La situation s'améliora assez vite en faveur de l'Arriel, celui-ci prouvant ses

qualités et son potentiel : il a remplacé le LTS 101 sur certains appareils et en particulier, compte tenu de la puissance insuffisante de ce dernier, sur les Dauphin achetés par les garde-côtes américains.

Le Makila en 1976 – 1 250 kW porté ensuite à plus de 1 400 kW – était un moteur très classique demandant un faible effort de mise au point et des courts délais de production ; il était conçu comme une solution intérimaire dans l'attente du RTM 322 plus performant et plus moderne pour une version très améliorée du Puma. Ce moteur s'est révélé performant et fiable, et très judicieux, le lancement du RTM 322 ayant pris du retard. Le Makila a largement participé au succès du Super Puma.

Le TM 333 en 1970 (750 kW) initialement destiné à l'hélicoptère indien ALH a eu un démarrage très lent. Il a équipé l'hélicoptère Panther SA 365 M, qui n'a pas eu de débouché.

Le TM 319 Arrius en 1983 (330 kW) permettait d'utiliser deux moteurs sur les hélicoptères moyens et d'améliorer la sécurité. Sa structure était moderne et il a été développé sans problème.

Deux programmes en coopération ont été menés à partir du milieu des années 1970, portant sur les cellules et les moteurs, ils sont évoqués dans les alinéas qui suivent.

1° programme : NH 90 et moteur RTM 322 (de 1500 à 2000 kW)

À partir de 1973, les services officiels français et britanniques avaient envisagé la réalisation en commun d'un *développement exploratoire* appelé Delta 2 d'un corps haute pression de turbomoteur pour hélicoptère moyen à lourd (cf. politique d'études amont préparant les programmes). Les sociétés Turbomeca et Rolls-Royce étaient retenues. Le lancement de l'opération a été difficile par suite du manque de crédits budgétaires ; elle a été réalisée par étape, les industriels assurant une partie du financement et a été très réussie sur le plan technique. Utilisant les acquis de ce développement

exploratoire, les deux industriels ont lancé le programme RTM 322 qui était interchangeable avec le moteur T 700 de General Electric (qui rencontrait un grand succès aux États-Unis). Voulant promouvoir une coopération européenne, Gérard Pertica persuada ses collègues britanniques d'y associer à des conditions financières très intéressantes un motoriste italien (Fiat déclina, se liant à General Electric pour le T 700, Piaggio le remplaça) et un motoriste allemand (MTU participa un certain temps puis se retira brutalement, se rapprochant lui aussi de General Electric).

Proposé pour des applications militaires aux États-Unis, le RTM 322 devait montrer qu'il satisfaisait à des normes très sévères (environnement, fonctionnement extrême, sécurité...) : le plus important programme d'essais en Europe conduit sur un moteur d'hélicoptère fut réalisé, garantissant une très haute qualité au produit.

Le RTM 322 ne fut pas retenu par les Américains mais il équipe une partie de la flotte de gros porteurs EH 101 (coopération entre Grande-Bretagne et Italie) et une large partie des hélicoptères NH 90 (pour la France, l'Allemagne, les Pays-Bas et les autres pays acheteurs), ainsi que les Apache britanniques.

2° programme : Tigre et moteur MTM/MTR 390 (960kW) en coopération franco- allemande

Le développement du moteur a débuté en 1989, conduit par Turbomeca et MTU sur crédits gouvernementaux ; Rolls-Royce a réalisé une partie du développement en assurant le financement correspondant. Le programme s'est déroulé, comme celui de l'hélicoptère, sur un rythme très lent, facilitant la solution de quelques rares problèmes de développement.

Nota 1 : Turbomeca est longtemps resté la propriété de la famille de Joseph Szydowski (qui a résisté au rachat par des motoristes nationaux ou internationaux). En 1987, la société a été intégrée dans le groupe Labinal. En 2000, le groupe SNECMA – devenu depuis Safran – a pris le contrôle de la société.

Nota 2 : en 2013, la société Rolls-Royce, souhaitant se concentrer sur les gros réacteurs civils, a souhaité transférer sa part de responsabilité sur le turbomoteur RTM 322 à Turbomeca (groupe Safran). Un accord a facilement été trouvé – sur les plans technique et financier – entre les partenaires. Le motoriste français est ainsi devenu seul responsable du programme.

LES RECHERCHES SUR LES HÉLICOPTÈRES

I. INTRODUCTION

(Gérard Bretécher)

Les recherches menées depuis des décennies sur la technologie des hélicoptères ne sont évidemment pas étrangères au succès rencontré par les programmes développés et produits par la lignée SNIAS – Aérospatiale – Eurocopter – Airbus helicopters.

Après la présente introduction, présentant les financements et les spécificités de la recherche sur les hélicoptères, on présente successivement, dans des sous-chapitres distincts, les recherches menées par l'Onera en collaboration avec l'industrie (Eurocopter), puis les recherches spécifiques menées par cet industriel.

1. Le financement de la recherche et des études générales

Le soutien de l'État

La préparation des programmes d'hélicoptères a fait l'objet d'un soutien important de l'État sous diverses formes :

- les crédits de recherche proprement dits, gérés par la DRME à partir de 1961, la DRET à partir de 1977, la DSP (avec le SREA et le STTC) à partir de 1997. Ces crédits étaient inscrits sur une ligne budgétaire « section commune ». Ils faisaient l'objet d'un « plan pluriannuel de recherches et études » (PPRE). Ce plan présentait l'ensemble des recherches par domaine et était préparé tous les quatre ans en concertation avec les directions (techniques) de la DGA et les états-majors ;
- les crédits « développements exploratoires », en petit nombre, mais d'ampleur financière significative. Ils faisaient l'objet d'un plan pluriannuel de « développements exploratoires » (PPDE). Les développements exploratoires sur les hélicoptères étaient conduits par la DCAé⁷⁷ ;
- les crédits « études préparatoires » (chapitres « études ») délégués par les états-majors, Air, Terre et Marine, à la DCAé. Ces études peuvent être considérées comme des recherches appliquées. Elles étaient conduites par la DCAé. La frontière avec les recherches gérées par la DRET était un peu arbitraire, mais une coordination entre le département hélicoptères de la DCAé et le groupe 6 de la DRET assurait une bonne complémentarité ;
- les crédits « recherche » et « développements technologiques » de la DGAC pour les applications civiles, gérées également par la même équipe de la DCAé. Là aussi, une coordination fonctionnait pour assurer la complémentarité et éviter les doublons. Cette coordination s'est concrétisée dans les années 1990 par un plan « roulant » à cinq ans incluant les études de la DRET, de la DCAé et de la DGAC pour répartir les soutiens sur les sujets duaux.

Les « études libres » des industriels : une autre forme de soutien de l'État

Ces études étaient mises en place par les industriels pour leurs besoins propres. Elles étaient financées, au moins en partie, par prélèvement d'un pourcentage du prix sur l'ensemble des contrats passés par l'État. En effet,

77 Par la cellule « études générales » au sein du département « voilures tournantes » puis « hélicoptères » du SPAé

les contrats étatiques, en particulier les acquisitions d'hélicoptères, étaient négociés en utilisant les « éléments généraux de prix » (EGP), c'est-à-dire les taux horaires fixés par l'État (après négociation avec chaque industriel), et ces EGP prenaient en compte un pourcentage du prix des prestations qui devait être consacré au financement d'études amont.

Les sources de crédits étaient donc diverses, mais les contrats correspondants étaient finalement préparés soit par la cellule hélicoptère de la DRET pour les études le plus amont (recherches théoriques essentiellement), soit par la cellule études générales hélicoptères de la DCAé (au SPAé) pour l'ensemble des autres recherches et études⁷⁸, plus ou moins appliquées. À côté de ce soutien financier, il ne faut pas oublier tout le soutien qu'apportait le CEV (et aussi d'autres centres d'essais) par sa participation active à de nombreuses opérations d'études amont.

2. Spécificités des recherches et études sur les hélicoptères

L'hélicoptère : une machine réputée complexe

Ce qui différencie essentiellement un hélicoptère d'un avion, c'est la complexité de ce qu'on appelle ses ensembles dynamiques : le rotor principal avec son moyeu articulé, les transmissions et accessoirement le rotor arrière. C'est une machine dotée de nombreuses pièces mobiles, agitées à la fréquence de rotation du (des) rotor(s) (et de toutes ses harmoniques), donc soumise à des vibrations importantes et fortement sujette au phénomène de fatigue.

Ce constat avait deux conséquences sur les recherches. D'une part, les modélisations théoriques (aérodynamique, aéroélasticité, vibrations, calcul

78 Ceci englobait les développements exploratoires de la défense, les recherches et développements technologiques de la DGAC, et les recherches et études diverses des Etats-majors

des efforts, calcul de résistance...) étant moins maîtrisées que pour les avions, on privilégiait surtout les recherches pragmatiques (fondées sur les essais) plutôt que de savantes modélisations. D'autre part, la nature des problèmes à résoudre était différente de celle des avions, même si la finalité restait la même (la masse, la performance, le coût) : il s'agissait de maîtriser les vibrations, la fatigue des matériaux et autres problèmes d'interactions aérodynamiques et d'aéroélasticité. Cette spécificité a conduit à porter beaucoup d'efforts sur les ensembles dynamiques et sur les matériaux.

Le pragmatisme des recherches de l'Aérospatiale division hélicoptères

La division hélicoptères de l'Aérospatiale, seul constructeur en France, avait évidemment un rôle déterminant dans l'élaboration des programmes de recherche. Ses propositions étaient marquées par un grand pragmatisme et une remarquable inventivité. L'évolution des moyeux rotors, élément emblématique des hélicoptères, illustre cette politique qu'elle menait avec beaucoup de dynamisme. Le moyeu est l'élément où se concentrent toutes les sollicitations. Il doit être le plus léger possible mais résister aux efforts statiques et dynamiques. Il doit permettre les trois mouvements de rotation de chacune des pales (pas, battement, traînée). Il doit aussi empêcher un certain nombre de phénomènes vibratoires (résonances intempestives, flottements) et conférer à l'hélicoptère une maniabilité et une stabilité donnée. Il a donc toujours fait l'objet de recherches intensives. Les années 70 ont vu naître des concepts de moyeux de plus en plus simples et performants, grâce à l'apport des matériaux composites. Le remplacement des articulations par des souplesses au niveau des pieds de pale, et l'introduction de matériaux élastomères en lieu et place des amortisseurs hydrauliques ont ainsi permis des progrès considérables. Cette période a été marquée par une inventivité et un foisonnement d'idées extrêmement riches, toutes confrontées à l'expérience. On ne peut pas dénombrer le nombre d'éprouvettes, de bras de moyeux, de moyeux complets qui étaient constamment testés en statique, et surtout en fatigue, pour justifier toutes les avancées.

C'est ainsi qu'est née la lignée des moyeux « Starflex » puis « Spheriflex » qui équipent, par exemple, l'Écureuil et le NH 90.

AS/DH à la pointe des progrès sur les matériaux composites

Le monde des hélicoptères a donc été particulièrement actif dans la recherche sur les matériaux composites, grâce à ses besoins spécifiques concernant les ensembles dynamiques. Les nouveaux matériaux avaient un avantage certain vis-à-vis du phénomène de fatigue. Les pales elles-mêmes sont rapidement passées en matériaux composites. Il faut se souvenir que les pales métalliques du Puma ont dû être remplacées par nécessité par des pales « plastiques » parce que les longerons finissaient par criquer au bout d'un certain temps. En ce qui concerne la cellule, l'introduction des matériaux composites s'est faite non seulement pour minimiser la masse, mais aussi pour tenir compte de caractéristiques de vulnérabilité et de résistance au crash spécifiques à l'hélicoptère militaire. À ce titre, la recherche a été notablement alimentée par les crédits études préparatoires à l'HAC et par les crédits d'études générales financées par les états-majors. La cellule du Tigre a ainsi hérité de ces recherches. Une validation de ses caractéristiques anticrash a même été réalisée involontairement lors de sa présentation en Australie. Celle du NH 90 en est un autre exemple.

La fusion de l'inventivité pragmatique et de l'apport des disciplines scientifiques

La partie théorique des recherches hélicoptères, moins visible, a aussi été très fructueuse. C'est le travail en commun avec l'Onera. Les phénomènes aérodynamiques et aéroélastiques qui concernent l'hélicoptère ont de quoi faire le bonheur de nombreuses générations de théoriciens. À tout instant en effet, il se passe des phénomènes transsoniques (extrémité de la pale avançante), des décrochages (pied de la pale reculante), des phénomènes instationnaires (tout le rotor), des interactions diverses, et des phénomènes

aéroélastiques. Ces recherches ont permis de définir des profils de pale et des extrémités de pale adaptés et, en définitive, de concevoir des rotors améliorés sur plusieurs aspects : les performances, les qualités de vol, l'accroissement du domaine de vol, mais aussi le comportement vibratoire, le bruit. Ces recherches sont décrites ci-après.

Les systèmes

Alors que les avions avaient été élevés au rang de systèmes d'armes avec le Mirage 2000, les hélicoptères restaient encore de simples véhicules, certes complexes. L'Aérospatiale DH a d'ailleurs longtemps eu la réputation d'un spécialiste d'hélicoptère au sens du véhicule, mais pas de systémier. Pourtant, un soutien important de l'État a été consacré au développement d'une compétence système, grâce notamment aux crédits préparatoires à l'HAC, et à des développements exploratoires spécifiques (« TAAH » : tir air-air hélicoptères). Cette compétence a aussi été développée par l'Aérospatiale, avec le soutien de la DGAC, pour les applications civiles, avec le développement d'avioniques intégrées. Un domaine particulier : les commandes de vol électriques, qui volent aujourd'hui sur les NH 90, sont le produit d'études amont puis d'un développement exploratoire spécifique.

Les formules nouvelles (combiné-convertible)

Après une débauche d'expérimentations de formules diverses à voilure tournante dans la première moitié du xx^e siècle, l'activité sur les formules dites nouvelles a été relativement modeste dans la deuxième moitié. Quelques expérimentations ont eu lieu sur la formule combiné (Hélicoptère avec aile/propulseur), notamment avec la Gazelle expérimentale SA 349. Cette formule a fait l'objet récemment d'un nouveau démonstrateur, conçu par Eurocopter, le X3, qui repousse au-delà de 470 km/h la vitesse maximale. La formule convertible (hélicoptère/avion à rotors basculants) a longtemps fait l'objet de démarches dans le but de réaliser un développement exploratoire, mais les arbitrages financiers n'ont pas permis de franchir le pas. On peut dire que les compétences et la technologie étaient disponibles, mais ce

projet était d'une ampleur financière hors de portée de l'État français ou de l'industrie. Il faut signaler que ce concept a été exploité par les Américains (V-22) et continue à être étudié dans le cadre de contrats européens.

Le passage d'une recherche duale (civil-militaire) à des recherches de plus en plus spécialisées

Dans les années 1960, les hélicoptères militaires étaient adaptés à partir de véhicules non spécifiques. La recherche était donc duale. Progressivement, les spécificités militaires ont été mises en avant. Non seulement la configuration (forme, capacité), mais aussi les caractéristiques détaillées sont devenues spécifiques. Le civil mettait l'accent sur les caractéristiques économiques, les aspects confort et le domaine de la sécurité des vols. Le militaire mettait l'accent sur l'adéquation aux missions (les systèmes, la détectabilité, la vulnérabilité, l'anticrash). On notera le rôle d'entraînement des études spécifiques à l'HAC pour les recherches militaires.

Les sujets de recherche sont ainsi devenus de plus en plus nombreux. Une histoire exhaustive des recherches devrait mentionner un nombre considérable d'études qui touchent toutes les parties de l'hélicoptère. En particulier, on devrait citer les études sur le « fenestron » (rotor arrière caréné), les BTP (boîtes de transmission principales) et leurs lubrifiants, le bruit interne (les BTPs), le bruit externe (les pales), le givrage des rotors, la foudre, la protection des pales contre la pluie, le sable, les filtres antisable, les suspensions actives ou passives, les pilotes automatiques, le pilotage multicyclique, le pilotage de nuit...

Les progrès fondamentaux des turbomachines en France

Les progrès réalisés sur les hélicoptères sont étroitement liés à ceux réalisés sur les turbomachines, avec Turbomeca. Le succès des hélicoptères actuels aurait été impossible sans ces avancées déterminantes. Leur histoire est explicitée dans une partie spécifique.

Le rôle de quelques leaders de génie

Dans le succès de nos hélicoptères, et au-delà de ces démarches de préparation systématique de l'avenir, il faut aussi voir l'intervention de quelques personnalités hors du commun, sûrement des inventeurs de génie – citons René Mouille, mais il y en a sûrement d'autres – qui ont donné leur impulsion à un processus qui a fait d'Eurocopter le leader mondial dans le domaine. Il ne faut pas oublier non plus les « petits » inventeurs qui ont fait avancer les choses en émettant et développant des idées nouvelles, même si leurs travaux, souvent artisanaux, n'ont pas abouti.

Les coopérations en matière de recherche

La recherche a toujours fait l'objet de coopérations, avec les États-Unis (1971) et avec les principaux États européens : Grande-Bretagne, Allemagne, Italie, Suède, Espagne. La DCAé avait, là encore, le rôle central de coordinateur. L'utilité de ces coopérations est difficile à évaluer. Elles étaient au moins très utiles pour les échanges d'informations, les confrontations des méthodes et, surtout, pour la motivation des équipes.

- MOU (Fr-US) sur l'aéroélasticité des voilures tournantes : essentiellement entre l'Onera et les laboratoires de recherche de l'US Army (au Ames Research Center). Il a abouti à la mise en place de modèles de comportement dynamiques de rotors. Les échanges d'ingénieurs ou scientifiques ont été particulièrement formateurs. La confrontation des modèles a été très constructive.
- AFARP (Anglo French Aeronautic Research Program) : cette coopération sur l'ensemble des domaines aéronautiques comportait un volet hélicoptères assez actif, qui s'est arrêté dans les années 1980.
- GARTEUR : coopération entre les principaux pays européens sur des domaines théoriques et aussi appliqués. L'Onera s'est activement impliqué dans cette coopération, toujours très vivante.
- Coopération bilatérale (F-RFA) : d'une part entre les composantes du futur Eurocopter et d'autre part entre les centres de recherche, l'Onera

et le DLR. Une mise en commun des recherches, en 1998, a été réalisée au sein d'Eurocopter.

3. Les thèmes de recherche

Une communication datant de 1979, diffusée par la revue *L'Aéronautique et l'Astronautique* définissait les grands axes de progrès nécessaires pour que l'hélicoptère voie son développement se poursuivre :

Accroissement des performances (vitesse, domaine de vol, consommation kilométrique)

- amélioration de l'aérodynamique des rotors ;
- affinement du fuselage ;
- diminution de la consommation spécifique des moteurs ;
- optimisation des entrées d'air.

Augmentation de la rentabilité

- augmentation de la charge utile par diminution de la masse à vide et par amélioration de la qualité sustentatrice du rotor ;
- réduction des coûts de production (simplification des organes, composants économiques, industrialisation des procédés de fabrication) ;
- réduction du coût de la maintenance (nouveaux concepts, révisions selon état).

Extension des possibilités opérationnelles

- amélioration des qualités de vol ;
- vol tout temps ;
- vol tactique au ras du sol, de jour et de nuit ;
- diminution des détectabilités sonore, radar, infra-rouge et de la vulnérabilité pour les appareils militaires.

Amélioration de la sécurité

- bimotorisation ;
- concepts *fail-safe* ou donnant un caractère *fail-safe* (matériaux nouveaux) ;
- meilleure tenue au crash.

Amélioration du confort

- diminution du niveau vibratoire ;
- diminution du bruit interne provenant des mécaniques ;
- réduction de la charge de travail de l'équipage et amélioration du poste de pilotage.

Diminution des nuisances

- diminution du bruit externe (moteurs, rotors).

II. LES RECHERCHES MENÉES PAR L'ONERA

(Jean-Jacques Philippe)

Ce chapitre rassemble l'essentiel des éléments déjà publiés dans le tome « Recherches » des ouvrages du COMAERO. On trouvera dans ce dernier la liste complète des acteurs – non reprise dans le présent volume – qui ont participé à ces travaux.

Dans le cadre d'une collaboration étroite menée depuis plus de 40 ans avec Sud-Aviation, puis avec la division hélicoptères de l'Aérospatiale, et enfin avec Eurocopter créé en 1992, l'Onera a participé aux études théoriques et expérimentales pour l'amélioration des performances des hélicoptères, notamment en ce qui concerne :

- l'optimisation du comportement aérodynamique, dynamique et aéroélastique de l'appareil ;
- l'optimisation aéroacoustique, soit la réduction du bruit en vol à grande ou basse vitesse assurant les meilleurs compromis au niveau des performances et des vibrations ;
- l'amélioration des qualités de vol, de pilotage et de sécurité en vol des hélicoptères ;
- le contrôle actif généralisé, incluant le pilotage multicyclique (commande de la variation de pas des pales en fonction de l'azimut), les rotors à gouvernes actives ou à vrillage actif en vue de la réduction des vibrations de l'hélicoptère, du bruit émis ou de l'accroissement de ses performances.

Aérodynamique des rotors

Les premières recherches à l'Onera ont été menées à partir de 1965 à l'initiative de Philippe Poisson-Quinton pour améliorer les performances des profils de pale d'hélicoptère, notamment dans le secteur de la pale reculante avec des capacités de forte portance et de finesse maximales à faible Mach et dans le secteur de la pale avançante avec des capacités de faible traînée à Mach élevé. Les premiers essais ont eu lieu dans la soufflerie de Cannes en incompressible et en transsonique à la soufflerie S3 Chalais. De premiers progrès ont été obtenus en ajoutant des bords d'attaque cambrés au profil de base NACA 0012. Mais, en fait, il a fallu concevoir une nouvelle génération de profils (du type OA, Onera-Aérospatiale) et de nouvelles extrémités de pale de forme parabolique, pour réduire la puissance à fournir aux rotors et conduire à des gains appréciables en vitesse et masse décollable. Différentes familles de profils furent conçues en liaison avec l'Aérospatiale. La première famille concerne les profils OA2 d'épaisseur relative de 13 à 6% qui furent conçus à partir du début des années 1970. Essayés d'abord en courant plan dans la soufflerie S3 Modane, ils ont ensuite été essayés sur quatre rotors différents avec des répartitions différentes en envergure dans la soufflerie S1 de Modane sur un banc d'essais de rotors d'hélicoptères ou de convertibles, mis en service à S1 Modane dès 1964.

En 1977, des essais en vol ont été effectués sur un Dauphin 360, puis sur un Dauphin 365N en 1980. Pour avoir des performances plus grandes de portance maximale, les profils OA3 de 9 % et de 12 % ont été conçus en 1984, puis les profils OA4 en 1991 pour augmenter leurs performances à Mach élevé.



Figure 184 - Dauphin 365 N testant les extrémités paraboliques en flèche



Figure 185 - Pale parabolique et avec dièdre sur Puma

Dès 1974, des études sur les extrémités de pales ont commencé à l'Onera et ont conduit à la conception d'extrémités paraboliques en flèche essayées d'abord sur le banc rotor de la soufflerie S2 Chalais, puis en vol sur le Dauphin 365N en 1983 (figure 184) conduisant à des gains de puissance de l'ordre de 5 % aux grandes vitesses de vol d'avancement.

Pour diminuer les efforts de commande du pas des pales, des extrémités de pales paraboliques avec bord de fuite rectiligne et une mise en dièdre ont été conçues et essayées en vol sur le Super Puma Mk2 en 1989 (figure 185). Ces extrémités ont permis par exemple de gagner 450 kg en masse décollable et 9 kt à 2 000 mètres à iso-puissance dépensée.

L'utilisation de profils OA et d'extrémités de pales paraboliques ont permis au Dauphin grande

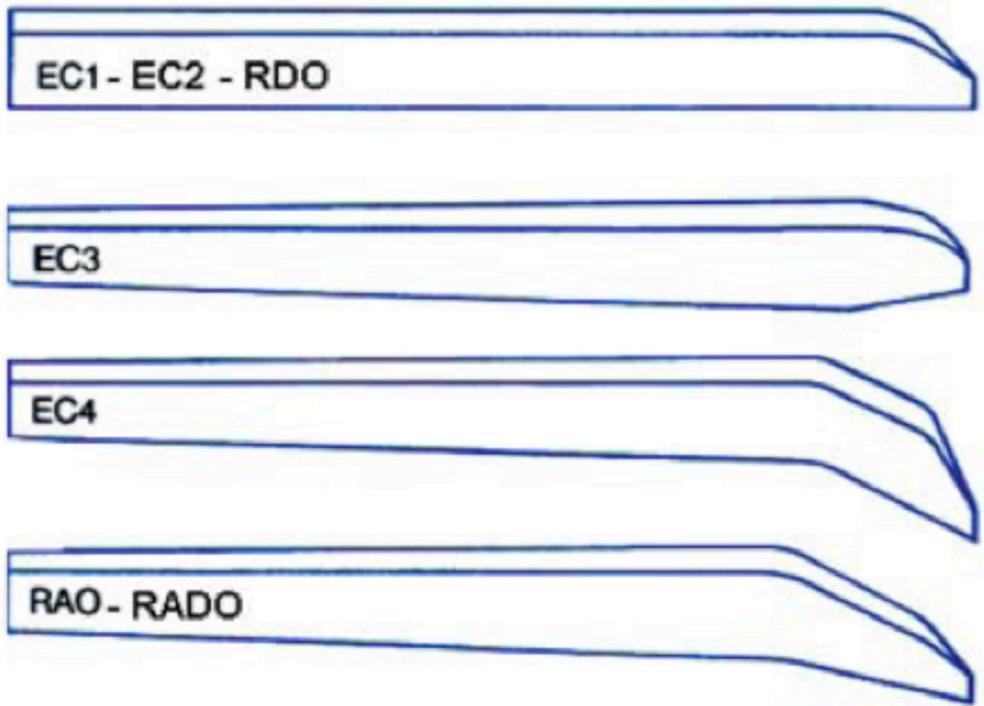


Figure 186 - Formes de pales du projet ORPHEE (EC/Fr, EC/RFA, Onera)

vitesse DGV 200, équipé de deux moteurs Arriel, d'un rotor cinq pales et d'un moyeu Sphériflex réduisant de 30 % sa traînée par rapport à celle d'un Dauphin à moyeu Starflex, de battre en 1991 le record du monde de vitesse sur base de 3 km, à la vitesse de 372 km/h (200 kt).

Les profils OA et les extrémités de pales paraboliques ont fait l'objet de brevets communs entre l'Onera et l'Aérospatiale (puis ensuite Eurocopter) et sont maintenant utilisés sur la plupart des rotors principaux des hélicoptères Eurocopter. L'Onera a défini des profils spécifiques pour les rotors arrière de type Fenestron, ou pour le rotor arrière classique du NH 90.

L'Onera a également acquis une expertise certaine pour optimiser aérodynamiquement et dynamiquement les pales d'hélicoptères, démontrée

dans l'opération franco-allemande ORPHEE (optimisation du rotor principal d'hélicoptère par l'étude et l'expérimentation) lancée en 1992 avec Eurocopter et Eurocopter Deutschland. Sept nouveaux rotors ont été définis (voir figure 186). Tous ces rotors ont été essayés à la soufflerie S1 Modane en 1995 jusqu'à des vitesses de vent de l'ordre de 360 km/h.

Depuis la fin des années 60, l'Onera s'est beaucoup investi dans la compréhension et la prévision des phénomènes de décrochage dynamique spécifiques aux rotors d'hélicoptères qui apparaissent dès que le rotor opère à haute portance ou à grande vitesse et qui peuvent conduire aux phénomènes particulièrement dangereux d'instabilité aéroélastique des pales. Des études de simulation bidimensionnelle ont d'abord été menées dans la soufflerie S10 du CEAT sur profils oscillants en tangage, puis dans la soufflerie subsonique de l'IMF de Marseille avec lequel il a aussi été essayé des profils en oscillations de tamis (permettant de simuler la vitesse d'attaque sinusoïdale d'un profil de pale en vol d'avancement), mais aussi avec l'US Army à Ames en Californie, dans le cadre d'une coopération franco-américaine impliquant l'Onera et l'IMF de Marseille. Le responsable Onera de ces études était J.-J. Philippe et le responsable US Army W.J Mc Croskey, qui ont largement coopéré dans ce domaine de décrochage dynamique en coordonnant les études en France et aux États-Unis.

Des essais ont aussi été menés sur un rotor quadripale avec des pales à profil NACA0012 qui ont été équipées de capteurs de pression instationnaires et de films chauds, détecteurs de décollements de couche limite. Cela a permis d'avoir des données sur l'étendue des zones d'écoulements décollés, suivant les conditions de portance et de vitesse d'avancement de l'hélicoptère, et d'établir une base de données pour valider les méthodes de prévision de décrochage dynamique du rotor.

Des essais stationnaires et instationnaires ont aussi été menés sur pratiquement tous les profils OA jusqu'aux nombres de Mach transsoniques dans la soufflerie S3 de Modane. L'aspect tridimensionnel et d'effet de flèche a été abordé avec des essais de demi-ailes oscillantes en tangage à la souf-

rie S2 Chalais, puis à la soufflerie S2 de Modane. Les données ont permis d'établir des modèles aérodynamiques non-linéaires instationnaires qui sont utilisés dans les modèles de ligne portante de prévisions aérodynamiques et dynamiques de rotor d'hélicoptère de l'Onera et d'Eurocopter. Ce sont les méthodes de couplage fort fluide parfait/fluide visqueux développées à partir de 1992 qui ont permis d'approcher la réalité du fonctionnement des profils dans de telles configurations. Les études se poursuivent actuellement avec des méthodes Navier-Stokes de plus en plus sophistiquées.

Pour éviter le décrochage sur la pale reculante d'un rotor d'hélicoptère, on peut aussi envisager de réduire les incidences locales en diminuant le pas des pales dans ce secteur azimutal critique. Des recherches sur un pilotage multicyclique ou sur des commandes individuelles des pales ont d'abord été menées par M. Kretz de la société des Giravions Dorand avec une première expérimentation dans la soufflerie S2 Chalais en 1975. En utilisant les informations fournies par des capteurs de pression installés dans les pales, un système de commande de pas en boucle fermée a pu être essayé et a permis de réduire les incidences en pale reculante de sorte d'éliminer tout risque de décrochage dans cette phase. Le concept de rotor semi-rigide en battement a aussi montré en 1993 la possibilité de réduire le décrochage en pale reculante et d'accroître la finesse maximale des rotors de façon significative. Cependant, aucune application au niveau industriel n'a encore vu le jour. Une commande multicyclique de pas est un autre moyen de retarder l'apparition du décrochage en pale reculante en utilisant, par exemple, une loi de commande de pas en 2ω . L'Aérospatiale - division hélicoptères l'a évaluée dans la soufflerie S2 de Chalais dès 1988 en boucle ouverte. Les essais ont pu démontrer des diminutions de puissance nécessaire de l'ordre de 20 % à fort coefficient de portance du rotor et à paramètre d'avancement élevé ($\mu=V/\omega R=0,4$), mais là encore aucune suite industrielle n'a vu le jour pour l'instant. Vu l'énergie nécessaire au fonctionnement de tels systèmes et la pénalité masse que cela entraîne, le futur semble destiné aux rotors actifs localement, soit par gouvernes actives, soit par vrillage actif en visant d'abord l'amélioration des performances acoustiques et vibratoires.

Aérodynamique des fuselages

La traînée des fuselages est un élément prédominant des performances en vitesse d'un hélicoptère. La division hélicoptères de l'Aérospatiale a par-



Figure 187 - SA 365C - 1975 - $CxS = 1,4 \text{ m}^2$

ticulièrement travaillé dans ce domaine. Les figures 187-188-189 montrent l'évolution des coefficients de traînée de trois appareils Dauphin entre 1975 et 1989 (la traînée diminuant de $1,4 \text{ m}^2$ pour le SA 365C à $1,05 \text{ m}^2$ pour le SA 365N et à $0,85 \text{ m}^2$ pour le prototype X380). Le X380 est devenu le DGV 200 qui a battu un record du monde de vitesse à 372 km/h sur 3 km en 1991.



Figure 188 - SA 365N - 1979 - $CxS = 1,05 \text{ m}^2$

Pour les études théoriques sur l'aérodynamique des fuselages, l'Onera a d'abord couplé en 1985 un code de singularités avec un code de couche limite tridimensionnelle développé au CERT et a pu cerner le domaine de validité d'une telle approche grâce à l'exploitation de mesures détaillées sur le fuselage générique AS F2 défini par la division hélicoptères de l'Aérospatiale effectuées dans

la soufflerie F2 du Fauga. À partir de 1993, pour mieux approcher la réalité complexe des décollements et des écoulements 3D tourbillonnaires générés par les formes spécifiques des fuselages d'hélicoptères, ce sont des calculs Euler couplés avec des calculs de couche limite, puis des calculs

Navier-Stokes que l'Onera a ensuite effectués. Ces outils ont été évalués grâce à des essais d'une maquette modulaire du fuselage du Dauphin DGV 200 réalisés dans la soufflerie pressurisée F1 du Fauga (figure 190) qui permet de simuler les nombres de Reynolds réels du vol.



Figure 189 - DGV 200 – 1989 – $CxS = 0,85 \text{ m}^2$

Aérodynamique de l'hélicoptère complet

En ce qui concerne l'aérodynamique complexe d'un hélicoptère complet, de nombreux essais ont eu lieu depuis 1984 sur une maquette complète d'un Dauphin 365 N à l'échelle 1/7.7 (cependant sans son rotor arrière fenestron) – voir figure 191. Ces essais ont d'abord été exécutés à la soufflerie S2 de Chalais-Meudon puis à la soufflerie F1 du Fauga à la suite de la fermeture de S2 Chalais-Meudon en 1998.

Les mesures des forces aérodynamiques globales s'exerçant sur l'appareil complet, sur le fuselage et générées par le rotor principal, des pressions stationnaires et instationnaires pariétales, des champs de vitesses autour du rotor et dans son sillage, mais aussi



Figure 190 - Maquette DGV 200 dans la soufflerie pressurisée F1 du Fauga

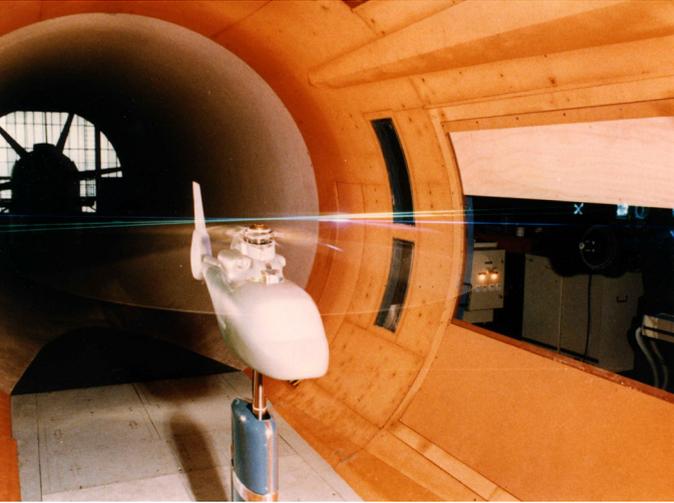


Figure 191 - Maquette du Dauphin 365 N dans la soufflerie de Chalais

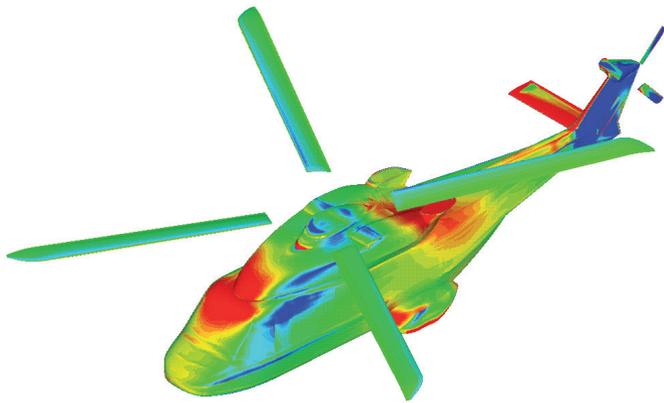


Figure 192 - Contours iso-pression instantanée

au voisinage des empennages et de la dérive par vélocimétrie laser ont permis de bien cerner dès 1994 le domaine de validité du code de singularités et de ligne portante PEIRF (programme d'étude de l'interaction rotor-fuselage).

Depuis 1975, l'Onera s'est beaucoup investi aussi dans le développement et la validation de codes de calcul CFD pour rotor d'hélicoptères en coopération avec l'US Army dans le cadre d'un Memorandum of Understanding entre la France et les États-Unis. Le code de potentiel complet des vitesses a également été couplé avec le code aéroélastique R85 d'Eurocopter puis avec un code de couche limite tridimensionnelle instationnaire développé au CERT. Ce n'est qu'à partir de 1995 qu'ont été développés des codes Euler puis des codes Navier-Stokes pour hélicoptère complet dans le cadre d'un programme fran-

co-allemand (Onera, DLR, EC, ECD) appelé CHANCE. Ces codes ont été intégrés dans un ensemble logiciel de simulation Aérodynamique (elsA). Un exemple de calcul Navier-Stokes 3D instationnaire pour un Dauphin 365N réalisé pour la première fois en 2004 est montré figure 192.

Aéroacoustique des hélicoptères

L'Onera a aussi beaucoup travaillé sur le bruit des hélicoptères, au niveau des rotors, mais également du bruit des turbomoteurs avec l'Aérospatiale – division hélicoptères et ensuite Eurocopter, et avec Turbomeca. C'est en 1971 que les premières mesures acoustiques ont été effectuées par l'Aérospatiale avec l'aide de l'Onera pour plusieurs types d'hélicoptères dans différentes conditions de vol, mettant bien en évidence les principales sources de bruit pénalisantes au niveau de la certification acoustique. Pour la phase de décollage, c'est surtout le bruit des turbomoteurs qui est dominant. Turbomeca et l'Onera se sont associés à partir de 1977 pour des recherches communes en se basant sur des essais effectués sur le banc statique de Pau-Uzein, pour localiser les sources de bruit des turbomoteurs et pour élaborer des méthodes de prévision semi-empirique du bruit de raie engendré par les étages du compresseur. Au début des années 1980, l'Onera et l'US Army ont coopéré sur les bruits des rotors en vol d'avancement et en vol de descente avec des essais en vol d'un hélicoptère Bell et des essais dans la soufflerie anéchoïque CEpra 19 (la seule au monde à cette époque) de son rotor principal. Les mesures ont permis de valider les codes de prévision de bruit de raies de rotors développés à l'US Army et à l'Onera. À partir de 1985, l'Onera s'est attaché à la validation d'une chaîne de codes de calcul aérodynamiques et acoustiques permettant de prévoir le bruit des rotors principaux d'hélicoptères, particulièrement adaptée au bruit en vol de descente pour lequel le bruit d'interaction pale-tourbillon est particulièrement pénalisant. Cette chaîne de calculs a été validée grâce à des essais dans la soufflerie anéchoïque du DNW menés dans le cadre d'une coopération américaine (US Army – NASA), allemande (DLR), française (Onera) et hollandaise (DNW). Cette chaîne de calcul a été ensuite utilisée à partir de 1996 (en coopération Onera/DLR) pour la définition du rotor silencieux ERATO, breveté en 1997 et qui a prouvé en soufflerie des réductions de bruit à grande vitesse de 9 à 10 dBA, et de 3,5 à 7 dBA en vol de descente (figure 193). L'Onera avec le DLR ont aussi travaillé sur la définition, la fabrication et les essais dans la soufflerie S1 Modane en décembre 2005 d'un rotor à gouvernes actives. À noter aussi que l'Onera et l'ISL ont

coopéré sur le bruit des hélicoptères entre 1985 et 1990, en particulier sur le bruit d'interaction pale/tourbillon. Toutes ces études de bruit ont été coordonnées avec celles menées par Eurocopter sur le démonstrateur d'hélicoptère silencieux DTV4 (construit sur la base de l'EC 155), mais ayant la capacité d'un régime de rotation variable, un rotor principal à vrillage non linéaire et à cordes réduites en bout de pale, un rotor arrière fenestron à modulation de phase et d'entrées d'air anéchoïques définies avec la participation de l'Onera et de Turbomeca (figure 194)

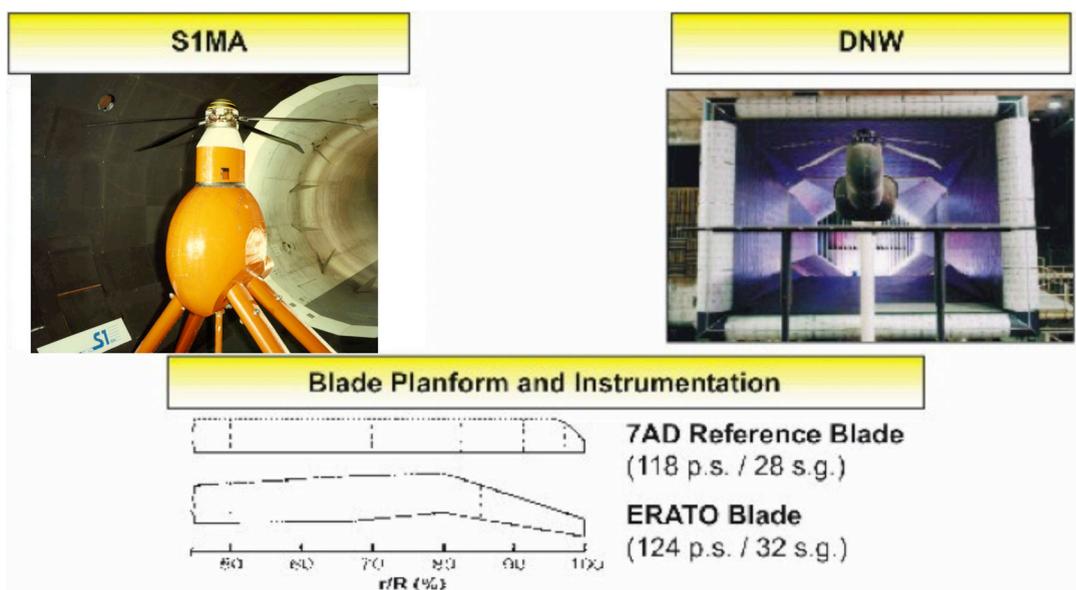


Figure 193 - Essais des rotors 7AD et ERATO en soufflerie avec pales instrumentées

Il a été vérifié que ce démonstrateur pouvait être certifié selon les normes OACI à un niveau inférieur de 9 EPNdB à celui fixé pour la certification acoustique d'un appareil de ce type. De tels niveaux de bruit feraient de cette machine, qui possède des performances tout à fait comparables à celles de la version série EC155, la machine la plus silencieuse dans sa catégorie.

D'autre part, Eurocopter a aussi montré que les empreintes sonores à iso gêne pouvaient être réduites au tiers de leur surface par rapport à l'appareil

de série, ceci par l'adoption des conceptions technologiques à moindre bruit précitées et par l'utilisation de procédures de vol à moindre bruit.



Figure 194 - Démonstrateur Eurocopter DTV4 d'hélicoptère silencieux

Aéroélasticité des rotors et vibrations des hélicoptères

Les problèmes liés aux contraintes mécaniques des pales, de leurs déformations et des phénomènes de flottement éventuel ont aussi été étudiés à l'Onera à partir du début des années 1970. Les études ont d'abord été menées sur les réponses forcées périodiques des pales incluant les forces aérodynamiques fournies par un code « potentiel d'accélération » développé par R. Dat et J.J. Coste et des forces mécaniques agissantes sur une poutre en rotation. Le code ROTOR basé sur la résolution des équations de Lagrange a été ensuite développé en imposant des polaires bidimensionnelles stationnaires et instationnaires incluant la prise en compte des phénomènes de décrochage dynamique. Ce code a permis l'étude des instabilités aéroélastiques des rotors, en particulier celles correspondantes à l'utilisation de rotors HMR (Hingeless Main Rotor) ou BMR (Bearingless Main Rotor). Pour être encore plus précis dans la détermination des forces et moments aérodynamiques générés par un rotor, les codes de potentiel complet des vitesses (TCV), Euler et Navier-Stokes de l'Onera ont été couplés avec le code aéroélastique de ligne portante HOST d'Eurocopter, utilisé aussi par l'Onera.

En vol d'avancement, les rotors génèrent des forces et moments instationnaires en $n\omega$ qui sont les sources premières des vibrations d'un hélicoptère. Pour minimiser les forces et moments instationnaires générés par le rotor, on peut ajouter un pilotage multicyclique, en 3ω par exemple, comme prouvé en vol sur une Gazelle 349, ou utiliser des pales à gouvernes actives comme



Figure 195 - Essai vibratoire au sol de l'EC 155

démontré dans l'opération de recherche commune Onera/DLR ABC (Active Blade Concept) pour les pales ATB (Advanced Technology Blade) d'Eurocopter Deutschland essayées en vol avec succès en 2005 sur un hélicoptère EC 145.

Les amplitudes des vibrations ressenties au niveau du fuselage dépendent fortement de la proximité des fréquences de ces forces excitatrices et de celles des modes propres du fuselage. La prévision des vibrations à bord d'un hélicoptère

nécessite donc la connaissance des modes propres de déformation du fuselage. Des modèles d'éléments finis et des techniques de recalage ont été développés à la suite d'un essai de vibrations au sol de l'hélicoptère EC 155 (figure 195) d'Eurocopter. Les études dans ce domaine se poursuivent actuellement dans un groupe d'action GARTEUR et dans une recherche financée par la Communauté européenne dans le projet Friendcopter.

Qualités de vol et pilotage des hélicoptères

Les problèmes de mécanique du vol, de qualités de vols et d'aide au pilotage d'un hélicoptère ont aussi fait l'objet de nombreuses recherches à l'Onera. Des modèles de champs des vitesses induites par le rotor principal, des

modèles de sillage tourbillonnaire et de leurs distorsions, spécialement adaptés aux vols à basse vitesse, ont ainsi été développés et introduits dans les codes R85 puis HOST fournis par Eurocopter à l'Onera. Ils permettent, par exemple, de prévoir correctement les mouvements d'évolution en tangage des hélicoptères au début de leur vol d'avancement et d'améliorer significativement les modèles paramétriques non-linéaires d'identification de mécanique du vol. De nombreux essais en vol ont été effectués depuis 1993 avec le Dauphin 6075 du CEV à Istres qui a été affecté par le ministère de la défense aux essais en vol nécessités par les recherches de l'Onera. Plus récemment, (voir figure 196) cet hélicoptère a été utilisé en 2002 pour l'étude des conditions d'apparition de l'état d'anneaux tourbillonnaires en vol de descente à forte pente, qui peut s'avérer dangereux pour l'hélicoptère (VRS - Vortex Ring States)). Les mesures de vitesse effectuées avec des tubes de Pitot installés sur une barre transversale ont permis à l'Onera d'établir des modèles de vitesses induites adaptées pour mieux connaître le domaine de vol à éviter.



Figure 196 - Dauphin 6075 du CEV

L'Onera et Eurocopter ont aussi été des partenaires actifs dans le développement d'un code de mécanique de vol européen (code EUROPA). Il est utilisé en particulier par l'Onera pour étudier des procédures sécurisées de vol de descente à forte pente permettant de réduire le bruit des hélicoptères en approche.

L'Onera dispose aussi à Salon-de-Provence d'un environnement de simulation piloté appelé LIPS (laboratoire d'interactions pilote - système) - figure 197. Cette installation permet, d'une part, de mettre au point, dans un environnement temps réel, des systèmes d'assistance au pilote (pilote-automatique,

lois de pilotage, protection de l'enveloppe de vol, etc.) et, d'autre part, d'étudier les interactions des différents systèmes de bord avec l'opérateur humain (sur le plan facteurs humains). À ce titre, ce simulateur a été utilisé, par exemple, pour la mise au point de diverses lois de pilotage évoluées pour hélicoptère (RCAH – Rate Command Attitude Hold, ACAH – Attitude Command Attitude Hold, TRC – Translational Rate Command).

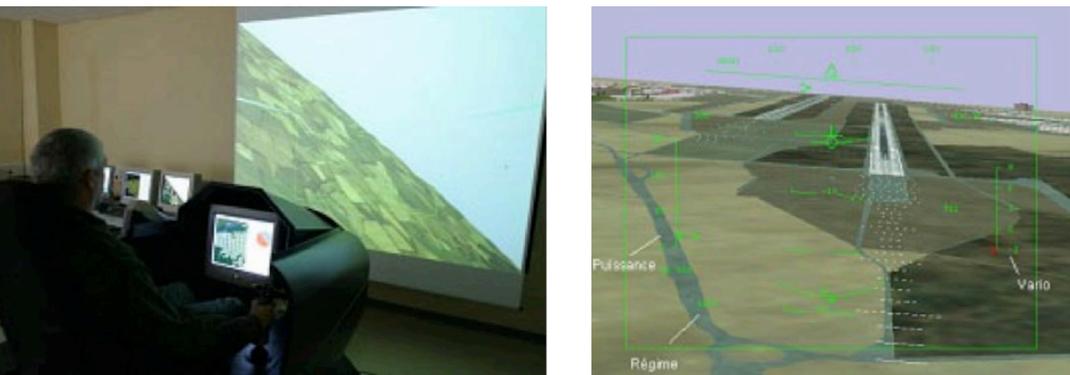


Figure 197 - Laboratoire d'Interactions Pilote – Système du DCSD

Pour sécuriser les vols à basse vitesse, l'Onera et Thales Avionics ont travaillé ensemble depuis 2001 pour développer un vélocimètre laser doppler basse vitesse compact (projet DALHEC), qui a été essayé avec succès sur le Dauphin 6075 du CEV en fin 2003.

Problèmes électromagnétiques

L'Onera s'est intéressé aux problèmes d'électrification posés aux hélicoptères dès 1978 en concevant d'abord un système de suppression de charges électriques, utilisé pour des essais en vol sur une Alouette III du CEV à Brétigny en 1981 et pour des essais statiques sur un Super Puma en 1983. De 1975 à 1985, les essais classiques d'électrification sur hélicoptères étaient conduits au CEAT pour caractériser les installations de « déperditeur de potentiel » classiques. L'Onera a conduit plusieurs études sur l'hélicoptère Tigre pour

optimiser le véhicule (structures et câblages), vis-à-vis des rayonnements électromagnétiques engendrés par un foudroiement. Les simulations numériques ont été effectuées avec le code logiciel 3D ALICE développé à l'Onera. L'étude des problèmes de foudroiement d'hélicoptères a été abordée plus récemment par les programmes européens FULMEN (1996-1999) et EM-HAZ (2000-2004). Grâce à des essais sur une grande maquette instrumentée d'un hélicoptère Super Puma AS 332, on a pu caractériser et identifier les sites d'amorçage des décharges de foudre sur les différentes zones du fuselage et du rotor. Les résultats de ces études expérimentales ont servi à valider des simulations numériques utilisant des maillages détaillés de l'hélicoptère.

Tenue au crash des hélicoptères

La tenue au crash des hélicoptères, notamment, de leurs structures en composites, a fait aussi l'objet de nombreuses études à l'Onera depuis 1985, plus particulièrement dans le groupe de recherches de l'IMF Lille qui a développé et validé de nombreux modèles d'endommagement et de délamination de ces matériaux composites ou de structures types en composite. Depuis 1998, l'Onera et le DLR ont établi un programme commun de recherches dans ce domaine avec l'utilisation en commun des moyens d'essais développés. Des activités sur le crash des hélicoptères sur l'eau sont effectuées depuis début 2005 dans un groupe d'action GARTEUR européen.

Givrage

Des études de givrage sur hélicoptères ont été menées à partir des années 1980. Des essais ont d'abord été réalisés sur un rotor à échelle réduite dans la soufflerie S1 de Modane et ont permis d'accéder aux formes de givre en bord d'attaque des pales et de mesurer les pertes de performances d'un rotor volant dans des conditions de givrage. Entre 1984 et 1995, des coopérations ont été menées avec la NASA ainsi que dans le cadre d'activités GARTEUR pour des comparaisons des codes de calcul des formes de dépôt de glace sur profils et de systèmes de dégivreurs électriques de

pales d'hélicoptères. Le code de givrage ACCRET développé par l'Onera s'est avéré particulièrement performant et a été largement diffusé à travers le monde. En fin des années 1990, des études de givrage d'entrées d'air ont aussi été menées dans la soufflerie givrante du CEPr, en s'intéressant aussi aux grilles de protection de ces entrées d'air (projet PROSEAM). Le code CFD VIS5 d'interaction forte fluide parfait – fluide visqueux a aussi été couplé avec le code ACCRET et a démontré des possibilités intéressantes de prévoir le comportement des profils en conditions givrantes. L'emploi du code Navier-Stokes elsA est aussi prévu dans le cadre du nouveau projet ECCLIPS lancé par la DPAC sur le comportement des avions et hélicoptères en conditions givrantes.

Furtivité des hélicoptères

Dans le domaine de la furtivité, l'Onera a travaillé à partir de 1984 en coopération avec l'industriel Aérospatiale, puis Eurocopter, à l'étude de pales à signature radar réduite et, à partir de 1991, à l'étude de pales dégivrées discrètes. Des études ont aussi été menées depuis 2000 sur les phénomènes de couplage pales-cellule avec des données expérimentales obtenues dans l'installation anéchoïque CAMERA 2 de Palaiseau. Depuis les années 1990, l'Onera a aussi travaillé pour permettre de réduire la signature infrarouge des hélicoptères à basses vitesses en effectuant des calculs Navier-Stokes d'interaction entre le sillage du rotor principal et la poutre de queue. Ces calculs ont été validés par des essais effectués à la soufflerie S2 Chalais et au DNW sur des maquettes du NH 90. Plus récemment, des calculs Navier-Stokes ont été effectués pour s'assurer du bon fonctionnement d'un nouveau déviateur-dilueur de jet (DDJ) mis au point par Eurocopter pour le Tigre.

Nouvelles formules d'appareils à voilures tournantes

Parmi les nouvelles formules de voilures tournantes, l'une des plus prometteuses est le convertible à rotors basculants. Dès 1968, l'Onera et la NASA ont coopéré pour réaliser des essais en soufflerie de rotors de convertible, conçus par Boeing-Vertol, en particulier dans la soufflerie 40x80-ft d'Ames

à basses vitesses et dans la soufflerie S1 de Modane à grandes vitesses. Cette formule a fait d'abord l'objet de réalisations aux États-Unis : la NASA et l'US Army ont lancé en 1971 l'appareil Bell XV-15, qui a fait son 1^{er} vol en 1977. Les besoins du Marine Corps pour le transport de troupes ont conduit à faire réaliser par Bell et Boeing le convertible V 22 Osprey, qui a volé pour la 1^{ère} fois en 1989, et qui, malgré un grave accident en 1992 et deux autres crashes en 2000, est construit en série depuis 2005. Ces réalisations ont suscité une émulation en Europe, et dès 1987, dans le cadre d'Eureka (Union européenne), le programme Eurofar (European Future Advanced Rotorcraft), proposé par l'Aérospatiale et la DASA a été lancé : le projet a fait l'objet d'études de faisabilité technique et a été marqué par la conception par l'Onera d'un rotor de convertible performant essayé dans la soufflerie S1 de Modane en 1991 (figure 198). Des essais sur les problèmes d'interaction rotor/ailes de convertible ont aussi été menés au Laboratoire LABM de l'université de Marseille. Depuis 2002, l'Onera et Eurocopter ont travaillé dans cinq CTPs (Critical Technology Projects) européens sur les convertibles à rotors et demi-ailes pivotants (concept lancé par Agusta). Ces travaux se poursuivent par l'IP (Integrated Project) NICE-TRIP, dont l'Onera est un des partenaires actifs.



Figure 198 - Rotor de convertible RC4 dans la soufflerie S1 de Modane

Remarques finales

Toutes les recherches sur les hélicoptères ont été menées sur ressources générales de l'Onera, mais aussi grâce à des contrats passés par les services techniques du Ministère de la défense, la direction des programmes aéronautiques civils et par l'Aérospatiale et Eurocopter. Les résultats ont été largement utilisés par l'Aérospatiale et Eurocopter pour faire progresser leurs hélicoptères.

III. LES RECHERCHES MENÉES PAR L'ÂÉROSPATIALE/ DH PUIS PAR EUROCOPTER

(Gilbert Béziac et Manuel Torrès)

1. Le développement de la recherche à l'Âérospatiale/DH

Avant les années 70

Les activités de recherche étaient peu structurées. Certaines technologies venaient directement de licences, notamment américaines (ex : boîtes de transmission), ce qui n'a pas empêché Sud-Aviation d'innover à l'occasion de développements de nouveaux appareils comme les Alouette (moteur à turbine, structure en treillis, moyeux avec câbles de tierçage...) ou le Super Frelon (moyeux repliables, surveillance des criques sur les pales en aluminium, équipements Marine...).

C'est à l'époque du développement du Puma et de la Gazelle que les activités de recherche ont connu leur expansion. Un groupe « Recherches » a été

créé au sein du bureau d'études, qui a compté jusqu'à 150 personnes dans les années 70, dont quatre-vingt environ au département recherches et le reste dans les Services spécialisés d'autres départements. Chaque année, le département recherches préparait le programme des activités, à partir des propositions des différents services internes, du budget escompté de la part des services officiels (STAé, DRET, DGAC) et de l'autofinancement.

C'est de cette période que datent de grandes innovations comme les pales en composite, le fenestron, le fuselage « aérodynamique ». C'est aussi à cette époque que des outils de base ont été mis en place, comme les essais en soufflerie sur les fuselages et le développement des méthodes de calcul aérodynamique, de résistance des matériaux, etc.

À partir des années 70

De façon concomitante avec le développement de l'Ecureuil, les activités de recherche se sont complètement structurées selon des axes bien définis : recherches de base, avant-projets, études technologiques.

Recherches de base (en liaison avec l'Onera essentiellement)

- développement des modélisations théoriques du comportement aérodynamique et aéroélastique des rotors ;
- recherche de formes optimisées de pales, notamment aux extrémités ;
- essais en soufflerie de plus en plus sophistiqués sur les rotors et des maquettes motorisées ;
- modèles de qualités de vol ;
- modélisation et mesures du bruit émis par un hélicoptère, ainsi que du bruit à l'intérieur de la cabine ;
- modélisation du comportement des structures par éléments finis.

Avant-projets (étude de formules nouvelles)

- le convertible : études théoriques, études en soufflerie, études économiques et opérationnelles ;
- le combiné : exploration en vol de la formule avec le SA 349, Gazelle équipée d'une aile.

Études technologiques

Sous-tendues par une activité de base menée par le laboratoire des matériaux, elles ont principalement consisté en l'étude de l'application possible des matériaux nouveaux, ainsi que les nouveaux concepts technologiques :

- application des matériaux composites (verre, carbone, kevlar), tant pour les structures de fuselage que pour des composants mécaniques travaillant en fatigue : pales, moyeux, arbres de transmission, leviers de commande... ces recherches s'accompagnaient obligatoirement d'une évaluation des méthodes de fabrication associées (drapage, bobinage, tressage, injection) ;
- nouveaux concepts de moyeux à base de matériaux composites, avec une recherche de la simplicité, de l'allègement, du coût réduit et d'une plus grande durée de vie (Starflex, Triflex) ;
- amélioration des articulations et paliers divers : butées sphériques à base de laminés métal/caoutchouc, paliers secs en téflon sans lubrification...
- amélioration de la fiabilité des boîtes de transmission : recherches sur les traitements de surface comme l'acier nitruré ou cémenté.

Dans les années 80

Toutes ces activités ont pris de l'ampleur, sous-tendues par les développements nouveaux comme le Dauphin et le Super Puma.

Ce fut l'époque des « développements techniques probatoires », dont on peut citer :

- le fuselage en composite pour un appareil de la classe 8/9 tonnes, avec en arrière-plan le développement futur du NH 90 ;
- le X 380, Dauphin équipé d'un mât-moyeu intégré et caréné, précurseur du Dauphin à grande vitesse DGV ;
- le Dauphin CDVE (commandes de vol électriques), lui aussi destiné à préparer le développement du futur NH 90.

Dans les années 90

Le progrès technologique a été très stimulé par les développements des deux hélicoptères militaires, le Tigre et le NH 90 :

- systèmes de pilotage et de mission (navale ou terrestre) ;
- fuselages entièrement en matériaux composites ;
- discrétion radar et visuelle ;
- vulnérabilité réduite (matériaux tolérants, blindages...) ;
- commandes de vol électriques.

2. Quelques projets de recherche

Certains thèmes et certaines opérations particulières ayant constitué une part importante des recherches menées par Aérospatiale/Hélicoptères puis Eurocopter sont développés dans les paragraphes suivants.

Matériaux

La recherche sur les matériaux nouveaux (essentiellement les matériaux composites) a été une activité très importante du département recherches :

- liaisons avec les fabricants de fibres et de tissus à base de fibres de verre, de carbone et d'aramide (kevlar) ;
- caractérisation des matériaux au laboratoire des matériaux du département ;
- recherche des domaines d'application, réalisations et essais : pales et moyeux du rotor principal et du rotor anticouple, structures secondaires

telles que capots, portes, cockpit, puis structures primaires telles que poutre de queue, empennages et dérive et, enfin, des pièces vitales telles que le levier de pas en carbone pour le Dauphin SA 366 G.

Entre 1973 et 1977, de nouvelles têtes rotor dénommées « Biflex », « Triflex » et « Starflex » seront testées. Le premier vol du Starflex a été réalisé le 14 février 1974 sur le SA 349 001. Il sera aussi expérimenté sur Dauphin 361 et sur Puma 05. Il débouchera ultérieurement sur le Sphéreflex qui équipera les dernières versions du Dauphin et du Super Puma, le NH90, etc.

En octobre 1982, le département recherches présentait à un symposium organisé par Dupont de Nemours un exposé sur *Les applications des matériaux composites dans la construction des hélicoptères*, exposé diffusé en 1983 par la revue *L'Aéronautique et l'Astronautique*. Ce document faisait la synthèse de toutes les recherches effectuées par l'Aérospatiale et concluait que, par les gains de masse, de maintenance, de sécurité et, souvent, de coût, les composites à base de résine epoxy et de fibres de verre, de carbone et de kevlar avaient permis de faire progresser les hélicoptères et d'élargir leurs marchés, civil et militaire. Les matériaux composites ont trouvé leur pleine application sur des hélicoptères comme le Tigre ou le NH 90.

Quant aux pales, le passage des pales métalliques aux pales en composites a constitué un progrès énorme en durée de vie, sécurité et vulnérabilité aux impacts.

Adjonction d'une aile à l'hélicoptère

Le SA 349 Z 001 F-ZWRF, dérivé d'une Gazelle, a été adapté pour la mise en place d'une aile (figures xx et xx). Les essais en vol effectués en 1974 ont montré :

- que le facteur de charge maximal (effort maximal sur les servocommandes) restait constant sur toute la gamme de vitesses ;
- qu'à une altitude supérieure à 3 000 mètres, le gain en vitesse pouvait atteindre 25 km/h, mais que, par contre, la présence de l'aile faisait

perdre environ 10 km/h à basse altitude.

Ces résultats ont amené à penser que l'adjonction d'une aile pouvait être intéressante pour un hélicoptère d'attaque car elle augmente sa manœuvrabilité et peut également servir de support d'armes.

Un autre appareil de servitude est utilisé, à partir du 20 janvier 1977, pour des essais complémentaires, avec une aile munie d'ailerons et d'aérofreins : le n° 1201 349Z-02 F-ZWRN



Figure 199 - SA 349 Z 002



Figure 200 - SA 349 Z 001

Dans les années 95, le Service des programmes aéronautiques (SPAé) décide d'envoyer la Gazelle SA349 Z au musée de l'ALAT à Dax.

Essais en vol d'une commande multicyclique de pas des pales

Toujours sur le SA 349 Z, des vérins multicycliques permettant une commande de pas en 3 Omega ont permis de retarder l'apparition du décrochage en pale reculante et de diminuer le niveau vibratoire en 3 Omega de façon spectaculaire dans la cabine.

Ces essais ouvrent la porte à la recherche d'un contrôle optimal du rotor grâce à des commandes multicycliques permettant un contrôle individuel des pales, sans plateau cyclique grâce à une alimentation des servocommandes au travers d'un collecteur tournant.

Le convertible à rotors basculants (tilt rotor)

L'Aérospatiale a effectué à partir de 1972 un certain nombre d'études et essais sur le thème d'un appareil expérimental de 2,5 t baptisé X910, capable de transporter sept personnes à 520 km/h.

Ce projet a été mené jusqu'à l'essai en soufflerie du rotor réel de 5 m de diamètre. Il s'agit d'un rotor à moyeu rigide avec des pales en stratifié à revêtement de carbone à commandes électro-hydraulique de pas. Les essais à la grande soufflerie de Modane, terminés en juin 1976, ont donné des résultats très satisfaisants dans les diverses configurations de vol.

Une première mondiale a été réussie par la réalisation de conversions aller-retour en soufflerie, les paramètres angle de basculement, pas général, pas cyclique, étant asservis à la vitesse variable du vent. On espérait mener le projet jusqu'aux essais en vol, mais, malgré les bonnes performances du rotor, les financements se sont arrêtés.

À la même époque, Bell a fait voler son prototype XV-15 après avoir effectué des essais à l'échelle 1 dans la soufflerie d'Ames. L'appareil, de masse totale 5,9 t a dépassé 550 km/h en juin 1980 et a bien démontré la faisabi-

CARACTERISTIQUES et PERFORMANCES du X 910

Fig. 92. **CARACTERISTIQUES PRINCIPALES:**

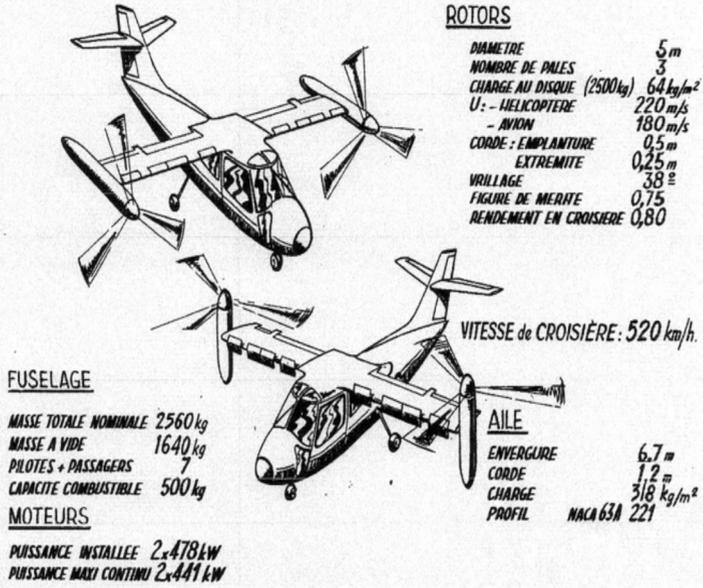


Fig. 91 - Avant-projet Aérospatiale X910 (maquette).

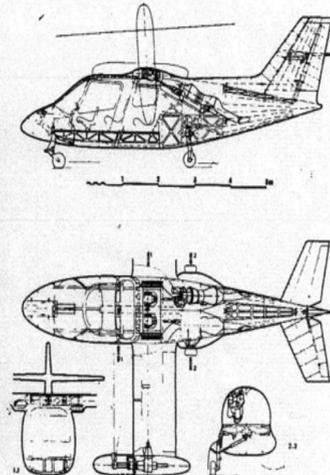


Figure 201 - Convertible X 910

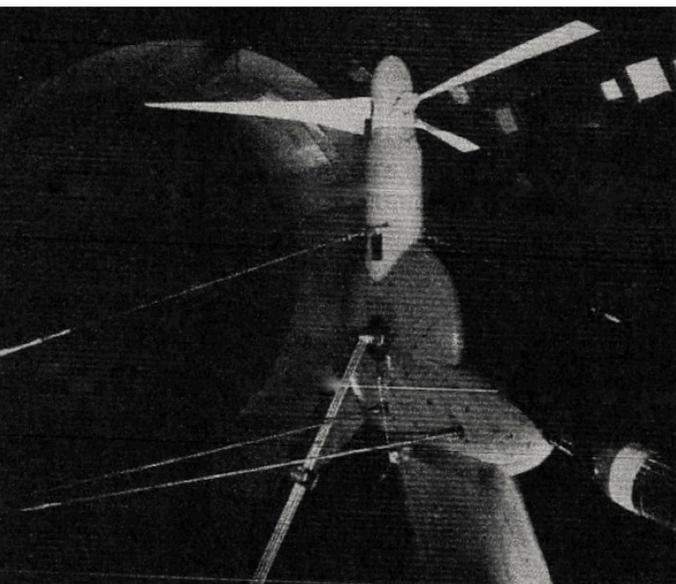


Figure 202 - Essais du rotor du X910 à la grande soufflerie de Modane

lité de la formule convertible à rotors basculants. Les besoins des Forces armées américaines conduisirent à faire réaliser par Bell et Boeing le convertible V 22 Osprey, actuellement en service.

En Europe, les travaux sur le X910 ont été suivis d'un projet en coopération européenne (programme **Eurofar**) qui a donné lieu à diverses études et essais sans parvenir au lancement d'un prototype. Il s'agissait d'un appareil de transport de trente passagers, de masse totale d'environ 14 t, pouvant voler en croisière à haute altitude à plus de 500 km/h.

Actuellement, la firme Agusta fait voler un prototype de *tilt rotor* (BA 609 devenu AW 609) qui rencontre des difficultés de certification. Quant à Eurocopter, il teste en vol un combiné d'hélicoptère hybride dit X3. Il s'agit d'une machine développée à partir d'une cellule de Dauphin équipée d'une aile avec une hélice à pas variable à chaque extrémité, ne nécessitant pas de rotor anticouple. Une vitesse en palier de 472 km/h a été atteinte, au prix d'une forte motorisation.

Les commandes de vol électriques (FBW)

Le haut niveau de performances ainsi que l'augmentation des capacités opérationnelles requises par les clients du NH 90 ont conduit l'Industrie à utiliser la technologie FBW (Fly By Wire), pour répondre aux «*NATO Staff Requirements*».

L'industrie des hélicoptères pouvait profiter de l'expérience acquise par les avionneurs (Airbus A320 et TORNADO). Elle avait aussi acquis une bonne expérience durant la décennie 80 sur des simulateurs, finalisée par des essais en vol sur un hélicoptère SA 365 à l'Aérospatiale et par le DFVLR et MBB sur un Bö 105.

Ces recherches avaient permis de conclure qu'un système de contrôle FBW quadruplex pouvait être retenu sur le NH 90 et qu'il se prêtait bien à l'utilisation de minimanches adaptés au pilotage de l'hélicoptère ainsi qu'à une éventuelle installation de pilotage multicyclique.

Le tableau suivant résume les avantages du système de contrôle FBW quadruplex par rapport à un système conventionnel mécanique avec un double AFCS (bibliographie «*The FBW concept and its application to the NH 90 helicopter*»)

CRITÈRE	Système mécanique avec double AFCS	Système FBW Quadruplex
Qualités de vol	Amélioration limitée par l'autorité de l'AFCS	Amélioration maxi avec un FBW à 100 % d'autorité
Charge de travail du pilote	Lourde dans certains cas de vol	Réduite avec le découplage d'axes
Ergonomie du cockpit	Confort de pilotage réduit par les manches de pas mécaniques	Améliorée par les mini-manches
Disponibilité opérationnelle	L'AFCS reste opérationnel en cas de simple panne	Le système reste opérationnel en cas de double panne
Sécurité	Perte mécanique très improbable	Perte du FBW très improbable
Vulnérabilité	Le système mécanique est vulnérable dans sa totalité	Vulnérabilité limitée aux servo commandes de pas
Masse		Réduite

L'amélioration des qualités de vol du NH 90 par rapport à des appareils équipés de commandes de vol mécaniques a été particulièrement soulignée par les équipages.

Études et projets divers

La division hélicoptères n'a accepté que très peu d'études ou de projets pour le compte d'autres sociétés. Les circonstances l'ont cependant amenée à réaliser quelques travaux sortant du cadre habituel de ses activités.

Parmi ceux-ci, citons :

- l'essai sur cellule d'hélicoptère fixée au sol du moteur rotatif Wankel d'origine Citroën. La légèreté de ce moteur n'a pas suffi à compenser sa consommation et le poids de tout le système de refroidissement qu'il nécessitait ;
- l'étude pour la Formule 1 de la Régie Renault d'une coque en carbone. Par suite du refus de la division hélicoptères de se lancer dans le monde de la course automobile, l'étude de détail et la réalisation des coques ont été confiées à la société Hurel-Dubois.
- le projet de véhicule à faible consommation que le ministère de l'industrie avait demandé à l'Aérospatiale, Bertin, et Matra, en 1981. Le ministère pensait qu'il ne fallait pas se limiter aux seuls constructeurs automobiles pour favoriser l'introduction d'innovations dans l'automobile, l'objectif étant de réaliser une étude de faisabilité d'un véhicule consommant moins de 3 litres aux 100 km. L'étude a été réalisée de mai 1981 à mai 1982 par le département recherche de la division hélicoptères à qui l'Aérospatiale avait confié le projet. L'Aérospatiale a recherché et obtenu la coopération de diverses sociétés du secteur automobile : Le Moteur Moderne, SERA-CD, VALEO, SEV et a abouti à un projet de véhicule de la taille de la Citroën GS, caractérisé par une faible masse (environ 500 kg à vide), une faible trainée aérodynamique ($C_x = 0,17$ en ordre de marche), un moteur bicylindre flat-twin de 30 kW, un système de gestion centralisé de l'ensemble des sous-systèmes permettant l'optimisation à chaque instant du point de fonctionnement, vitesse maxi : 160 km/h.

Les calculs de consommation aux 100 km suivant norme UTAC aboutissaient à une valeur de 2,77 litres d'essence aux 100 km (sans hybridation avec moteur électrique, sans récupération de l'énergie de freinage, sans dispositif « stop-and-start »...!).

ASPECTS INDUSTRIELS ET COMMERCIAUX



Figure 203 - Le Bernard 191 dit « Oiseau Canari » qui effectua la première traversée européenne de l'Atlantique Nord, en équipage à trois, deux ans après la traversée inaugurale de Charles Lindbergh

ASPECTS INDUSTRIELS ET COMMERCIAUX

(Jean-Pierre Dubreuil, avec la participation de Bernard Fouques)

I. LES STRUCTURES INDUSTRIELLES JUSQU'ÀUX ANNÉES

60

1. À la veille des nationalisations de 1937 et jusqu'à 1939

Certains des futurs sites de l'industrie française d'hélicoptères avaient initialement une vocation aéronautique.

Ce fut le cas de La Courneuve qui abrita de 1917 à 1935 la Société des Avions Bernard, créatrice de nombreux prototypes, d'avions et hydravions au palmarès brillant, notamment les nombreux prototypes d'hydravions tels que les HV 41 (1929), HV 120, jusqu'à l'HV 220 qui, en 1931, devait être un des plus rapides du monde.

Marignane, au contraire, fut créé de toutes pièces en 1939 après les nationalisations de 1937. L'entité locale de la SNCASE fut créée par regroupement des



Figure 204 - L'hydravion de course Bernard HV 40, vu par Paul Lengellé

machines-outils et personnels de Lioré Olivier (Argenteuil, Antibes) avec diverses sociétés privées implantées dans la région de Marseille : Potez à Berre, CAMS à Vitrolles, Romano à Cannes, SPCA à Marseille. Lioré et Olivier représente 73 % des effectifs et 90 % des contrats de fabrication.

À partir de cette date, Berre et Marseille assemblèrent notamment des hydravions bimoteurs LeO HY 43 destinés à la marine nationale et Vitrolles le quadri-moteur HY 246 23 passagers, 1

500 km d'autonomie destiné à Air France... prévu pour la desserte de l'Afrique du Nord, depuis l'étang de Berre.



Figure 205 - LeO HY 246 prototype

Le regroupement des activités marseillaises de fabrication et de montage des hydravions est décidé sur une ancienne propriété dénommée « Le Grand Cellier », actuel site de l'usine de Marignane, qui commence ses activités en février 1939.

En mars 1939, l'État lance un programme d'hydravions transatlantiques et contracte Potez, CAMS, Latécoère et SNCASE qui propose le SE 200, grand et bel hydravion à 2 ponts.

L'étude faite à Argenteuil, sera poursuivie, après l'armistice, par le bureau d'étude de Marignane sous la direction de Monsieur Poutou, assisté de Monsieur Chanet qu'on retrouvera plus tard sur hélicoptère.



Figure 206 - LeO HY 43, monomoteur à ailes repliables destiné à la Marine nationale...

Le SE 200 est un hexamoteur de 6x1 500 ch, de construction entièrement métallique, de 52,2 m d'envergure, d'une masse maximum de 72 t, pour 48 pax sur 6 000 km à 350 km/h.

La construction du SE 200 n°01 sera stoppée à la déclaration de guerre, (pour laisser la place à la fabrication des LeO 45) ; elle fut reprise après l'armistice et l'appareil terminé en juillet 1942. Les essais en vol, conduits par le chef pilote Jacques Lecarme, s'achevèrent début 44.

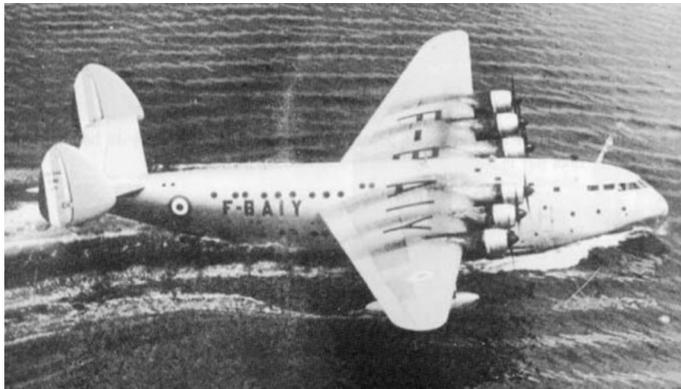


Figure 207 - SE 200 hexamoteurs

Les autorités d'occupation « confisquèrent » l'appareil et le convoyèrent à Friedrichshafen le 17 janvier 1944, sur le lac de Constance, où les appareils concurrents avaient subi le même sort. Tous seront détruits plus tard, par un bombardement de la RAF.

Les appareils 02 et 03 seront, eux aussi, détruits plus tard, à Marignane, également par la RAF, lors du bombardement de l'usine du 10 mars 1944.

LE SE-200 n°03 sera reconstruit après la libération et remis à l'eau en mai 1946, après remotorisation par la SNECMA, puis remis au CEV en juin 1947

où il servira de... banc d'essais moteurs (ce à quoi son hexamotorisation le prédestinait !)



Figure 208 - LeO C.30

La Société Lioré et Olivier avait acquis une certaine expérience des voilures tournantes, avant la guerre, notamment en construisant, avec La Cierva, des autogires LeO C30 qui équipèrent l'armée de l'air et l'Aéronavale en 1939.

C'est sous l'occupation que furent construits les deux prototypes, sans suite, de l'autogire futuriste SE 700, dont le n°01 fit son premier vol le 25 mai 1945 aux mains de M. Stackenburg.

2. De la déclaration de guerre à l'armistice

L'usine de Marignane fut désignée comme coopérante pour la fabrication des Leo 45 et dès mai 1940, ces appareils y furent produits à la cadence de un par jour ! destinés au convoyage vers l'Algérie, où les appareils « en repli » les rejoignaient.

3. De l'armistice à la Libération

L'usine de Marignane, alors en zone « libre », poursuit des travaux de caractère prototype autorisés par l'occupant, notamment le SE 200 et l'autogire SE 700, jusqu'à novembre 1942 où, à la suite du débarquement allié en AFN, la zone sud fut elle-même occupée. Les autorités allemandes exigèrent

qu'une version « transport de troupes » du LeO 45 fut lancée et réalisée. L'usine fut finalement bombardée par les alliés dans la nuit du 9 au 10 mars 1944.

4. Les activités post-libération

Elles concernèrent, naturellement, les SE 200 et SE 700 et divers travaux de réparation et maintenance des aéronefs des forces armées, compatibles des surfaces couvertes restantes.



Figure 209 - Premier point fixe du SE 700 n°01

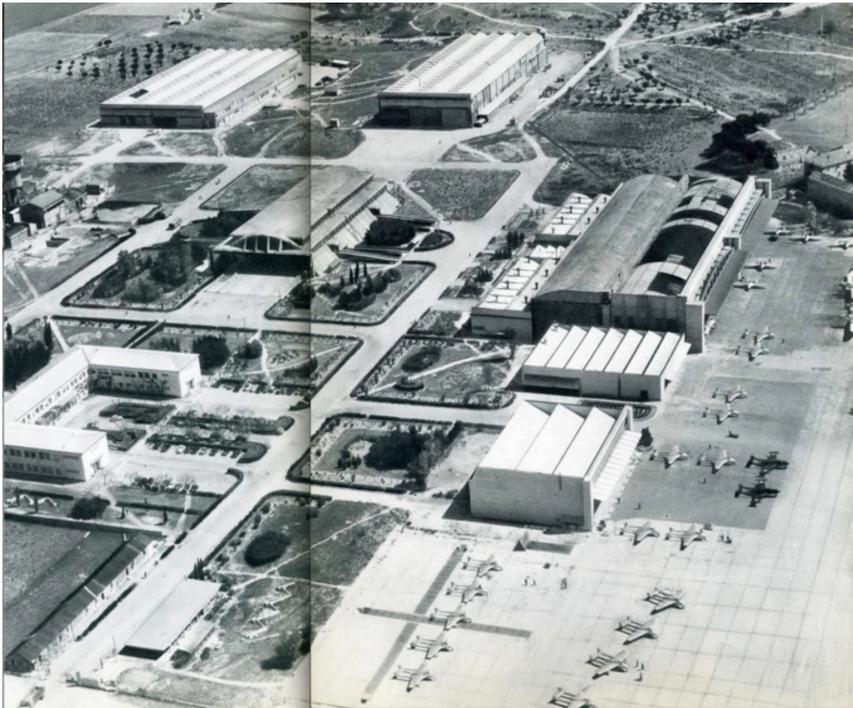


Figure 210 - Usine de Marignane en 1953 -Vampire et Aquilon

Des fabrications de petite série purent commencer :

- Sous-traitance par Toulouse de caissons de voilure du SE 2010 « Armagnac »
- Éléments du SE 2410 « Grognard » et du Morane 500 (150 jeux de voilure)...

C'est en 1948 que sous l'impulsion de Messieurs Hérel et Giusta démarra la fabrication sous licence de l'appareil De Havilland « Vampire », commandé par l'armée de l'air et devenu « Mistral ». Les fabrications commencèrent en juillet 1949 et pas moins de 438 appareils furent construits à la cadence de



Figure 211 - SE 235 Mistral

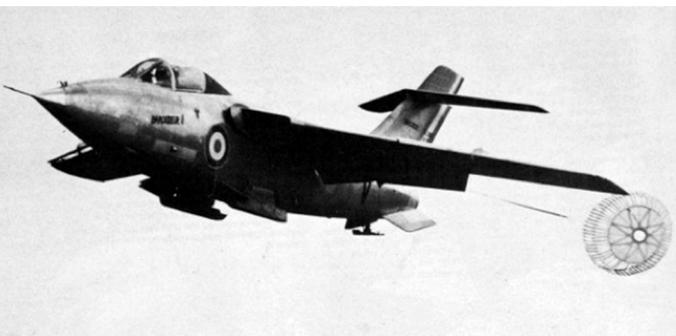


Figure 212 - Le Baroudeur à l'atterrissage

quinze par mois. Ils seront suivis d'une centaine d'Aquilon, version navale... L'ère industrielle de Marignane s'affirmait. L'effectif atteint 2 500 personnes.

L'activité prototype se poursuit :

À partir de 1952, sur le SE 5000 « Baroudeur » dont le 01 fit son 1er vol aux mains de Pierre « Tito » Maulandi le 1er août 1953 à Istres.

De nouvelles séries sont lancées :

- fabrication de parties de Republic F-84 F pour le compte de l'USAF en Europe ;
- fabrication de 280 parties avant de SE 210 « Caravelle » et 228 fuselages de Fouga-Magister.

C'est en 1957, année de la création de Sud-Aviation, que sera lancée la première série d'hélicoptères : 185 S 58 / H-34, pour l'armée de l'air, à la cadence de 6 par mois. Cette série inaugurale sera suivie par l'Alouette II, transférée de La Courneuve en 1961 à partir du n° 540.

L'effectif est alors voisin de 4 500 personnes.

Ces activités sur les voilures tournantes cohabitèrent par ailleurs avec certaines fabrications « avion » comme les tronçons 12 et 14 de Concorde.

II. DE 1970 À 1988 :

L'ÂÉROSPATIALE DIVISION HÉLICOPTÈRES

Le marché civil mondial joue un rôle stratégique.

La planche ci-après, issue d'Eurocopter, est datée de 1991. On y lit :

- que le marché civil mondial, hors URSS, qui était de l'ordre de 500 appareils par an en 1970, est passé à 1 400 appareils par an en 1980 ;
- que pendant cette même période, le marché intérieur américain a triplé, alors qu'il a juste doublé en Europe.

Ce fut pratiquement la décennie de découverte de l'hélicoptère par le monde civil, alors que des milliers d'hélicoptères militaires avaient déjà été utilisés au Vietnam.

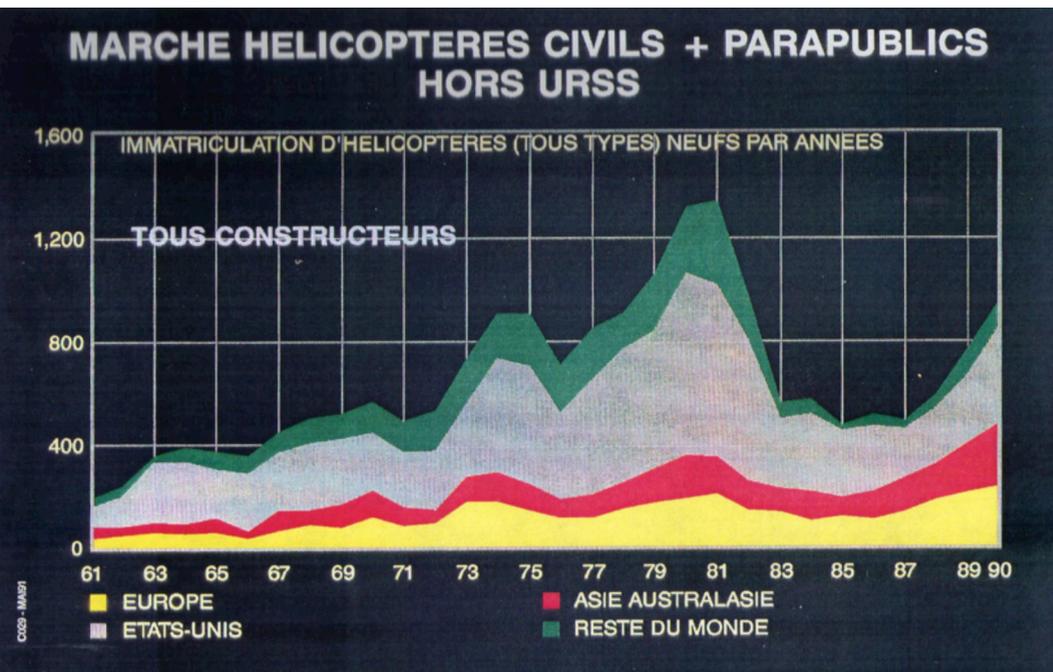


Figure 213 - Le marché mondial des hélicoptères 1960-1990

La sensibilité de ce marché y apparaît également : le choc pétrolier de 73 et plus encore celui de 81 ont surpris tous les constructeurs occidentaux, et tous les opérateurs...

La gamme dite de 2ème génération, conçue initialement pour les Forces franco-britanniques permet de pénétrer largement les marchés militaires export.

L'émergence rapide du marché civil conduisit François Legrand, directeur de la division hélicoptères d'Aérospatiale, créée en 70, à compléter cette gamme et à lancer, cette fois sur fonds propres, la 3ème génération dite « nouvelle gamme » : Les Dauphin, Ecureuil, Super Puma, d'abord civils, puis militarisés plus tard en Panther, Fennec et Cougar.

À la fin de la décennie, les ventes civiles montrent une bonne adéquation à l'évolution du marché : La DH, devenue premier hélicoptériste européen, devient deuxième exportateur mondial... avant la crise de 1981. En 1982, l'écroulement du marché civil au niveau de 1970, conduit à une réduction de moitié du volume des ventes, puis à un bilan déficitaire en 1983. Critiqué pour les investissements sollicités pour le lancement de la 3ème génération et le fonctionnement de la filiale américaine AHC, François Legrand quitte la Division en 1984, Michel Thomas lui succède.

Cette gamme de 3ème génération et sa militarisation ultérieure, allaient cependant permettre à la société de traverser la crise des années 80 et générer, pendant le reste du siècle, une part importante de sa charge de travail.

Après le lancement des programmes Tigre (87) et NH 90 (90), Aérospatiale/DH réalise 33 % du marché mondial des appareils à turbines, hors URSS et militaires US, exporte 73 % de son chiffre d'affaires dans 121 pays, devenant ainsi 1er exportateur mondial.

Dès décembre 1988, Henri Martre, président d'Aérospatiale, déclarait, lors du séminaire de Marbella, devenu historique :

« L'issue européenne passe par la voie de la coopération et, petit à petit, de l'intégration. »

Le processus de création d'Eurocopter était lancé... Un accord de principe est signé par les présidents d'Aérospatiale Henri Martre et de MBB Dr Schäffler le 2 avril 1990, indiquant le niveau de participation de chacune des sociétés : 60 % pour Aérospatiale, 40 % pour MBB, suivi d'un MOU paraphé par les directeurs des divisions Jean-François Bigay et Hans Plücker.

III. DE 1988 À 1992 : GENÈSE D'EUROCOPTER

Contexte militaire

La détente Est-ouest s'amorce et conduit à une remise en cause des doctrines de défense et à un accroissement des risques de conflits régionaux : l'hélicoptère jouera un rôle majeur dans les nouvelles méthodes de défense exigeant rapidité et souplesse d'intervention.

La plupart des forces armées d'Europe occidentale devront remplacer à moyen terme leurs flottes vieillissantes. La concurrence américaine sera d'autant plus agressive que le marché intérieur des États-Unis est lui-même en décroissance.

Contexte civil

La réduction de la croissance économique va freiner l'essor de l'hélicoptère civil, mais la croissance « exponentielle » du prix du baril de pétrole va inciter les compagnies pétrolières à accentuer les prospections tant on-shore qu'off-shore.

La concurrence

La planche suivante montre la répartition par constructeur du marché mondial des appareils à turbine sur la période 76-90

Sikorsky est le premier hélicoptériste du monde occidental avec 28 % du marché en valeur, essentiellement constitué d'appareils militaires de gros tonnage, commandés par le Pentagone. En 1990 ses effectifs sont de 11 200 personnes et son chiffre d'affaire de 1 936 M\$, en croissance de près de 10 %.

L'association **Boeing-Sikorsky** a remporté en 91 le contrat de développement d'une valeur de 2,7 G\$ du LHX, futur hélicoptère de combat américain

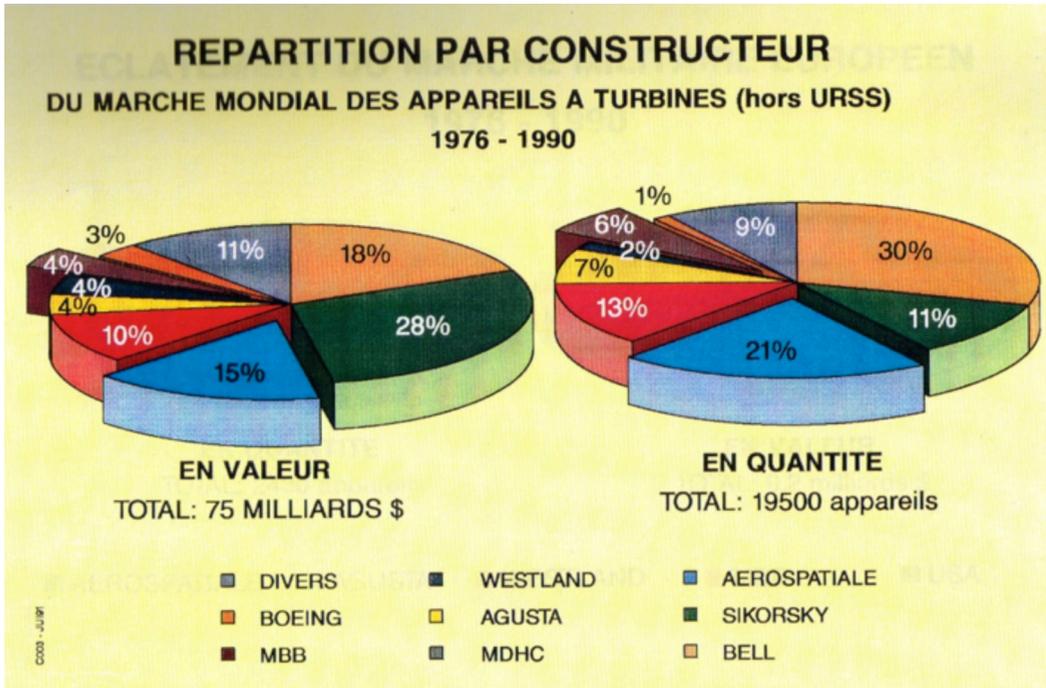


Figure 214 - Ventilation du marché des hélicoptères

(programme annulé en 2004), prévoyant la production de près de 1 200 appareils pour un montant de 34 G\$.

Bell a connu quelques difficultés : avec un effectif de 8 100 personnes et un chiffre d'affaires de 1 050M\$ en diminution de 16 % en deux ans, Bell détient 18 % du marché et redouble d'agressivité en vue de profiter d'une certaine expansion du marché civil et accroître ses débouchés à l'export.

Mc Donnell Helicopter Corporation : 9 % du marché

Avec un effectif réduit à 6 700 personnes et un chiffre d'affaires de 900 M\$, principalement dû à un creux d'activité militaire en 89, l'avenir de MDHC repose sur le projet LHX d'hélicoptère de combat.

Westland helicopters : 4 % du marché sur la période

Situation préoccupante : chiffre d'affaires en diminution de 297 M\$ en 89 et 220M\$ en 90. Effectif en diminution s'établissant à 4 850 personnes en 90, carnet de commande également en diminution.

Agusta est en très mauvaise posture : avec un chiffre d'affaire en réduction de 630M\$ pour un effectif de 5 100 personnes en 90. Membre du team NH 90, Agusta a d'étroits accords de licence avec Bell et Sikorsky.

Sur la période, les constructeurs américains ont réalisé 21 % du marché militaire européen, alors qu'Aérospatiale DH réalisait 25 % de ce marché et MBB 9 %.

ECLATEMENT DU MARCHÉ MILITAIRE EUROPEEN 1976 - 1990

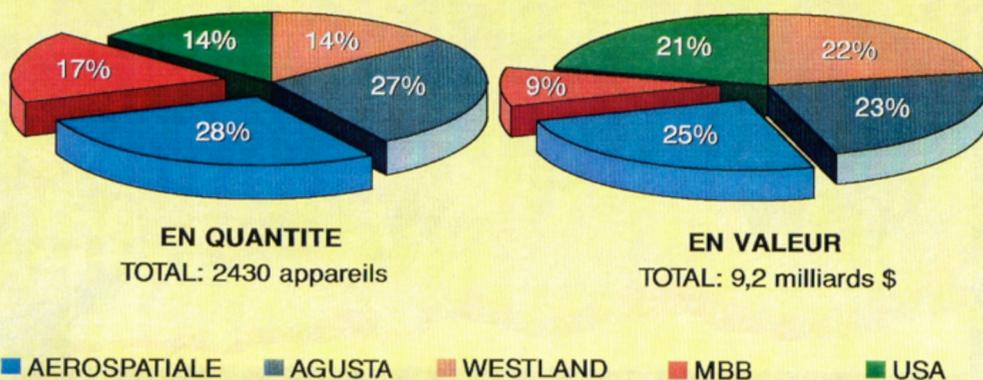


Figure 215 - Éclatement du marché militaire européen des hélicoptères

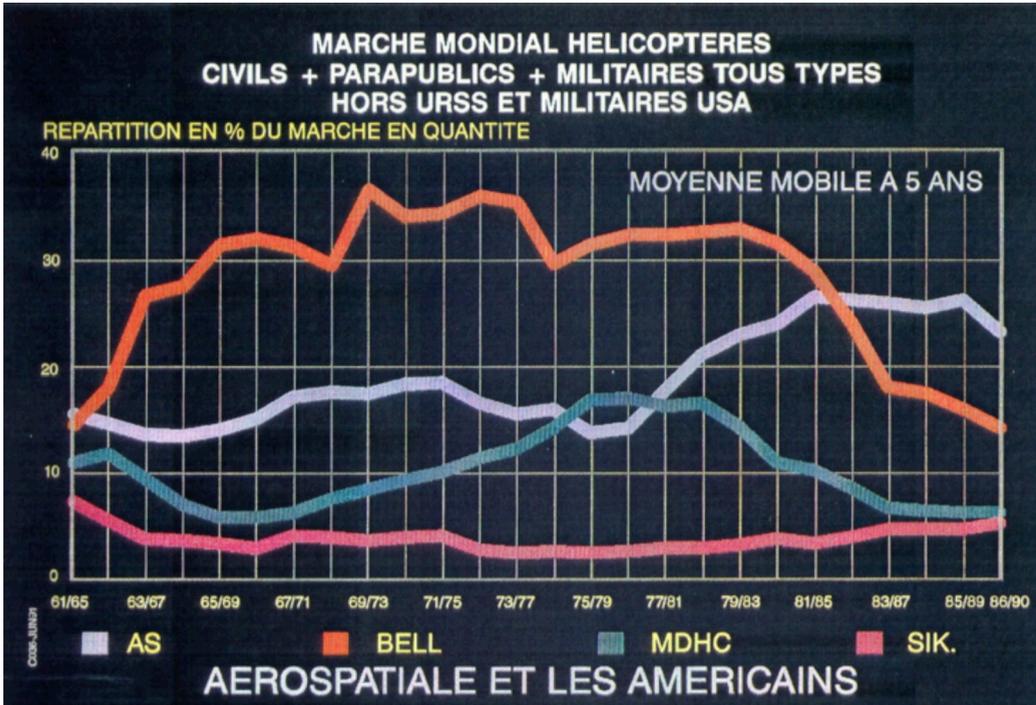


Figure 216 - Qualité d'exportateur des constructeurs US, comparée à AS/DH devenue 1er exportateur en fin de période (en nombre d'appareils)

En 1990, la division hélicoptères de l'Aérospatiale, c'est :

- 7 550 personnes ;
- 7 808 MF de chiffre d'affaires, dont 74 % à l'export (121 pays) ;
- la gamme la plus large de 2 à 10 tonnes (Gazelle, Ecureuil, Dauphin, Super Puma) ;
- 33 % du marché mondial des appareils à turbine, hors URSS et militaires US ;
- une production annuelle d'environ 300 machines, total vendu : 8 500 appareils ;
- des programmes en coopération :
 - ▶ Tigre avec l'Allemagne,
 - ▶ NH90 avec Allemagne, Italie, Pays-Bas,
 - ▶ EC120 avec Chine et Singapour,

- une pénétration du marché civil et parapublic de 39 %, dont 54 % en Europe et 28 % aux États-Unis.
- Capable de coopérer, sans dépendre des États-Unis, Aérospatiale DH est bien placée pour fédérer l'industrie hélicoptère européenne.

Le partenaire potentiel, la division hélicoptère de MBB, c'est :

- 3 950 personnes dont 2.440 dédiées hélicoptère ;
- 730 MF de chiffre d'affaires, dont 1 620 MF pour l'activité hélicoptère (la division réalise notamment des portes d'Airbus) ;
- 1 400 appareils construits à fin 90, dont Bö105 et BK 117 (coopération avec Kawasaki).

1990	AEROSPATIALE	MBB*
EFFECTIFS	7540	2440
CHIFFRE D'AFFAIRES	7808 MF	1620 MF
PRISES DE COMMANDES en qté	290	50
PENETRATION MONDIALE 1986 - 1990 EN VALEUR (HORS PAYS DE L'EST ET MARCHE MILITAIRE USA)	28 %	5 %
AUTOFINANCEMENT DE L'INNOVATION	460 MF	80 MF
PRINCIPALES FILIALES A L'ETRANGER	<ul style="list-style-type: none"> - AEROSPATIALE HELICOPTER CORPORATION (USA) - HELICOPTEROS DO BRASIL SA - SAMAERO COMPANY LTD (SINGAPOUR) - AEROSPATIALE HELICOPTERS AUSTRALIA LTD - AS MEXICO SA 	<ul style="list-style-type: none"> MBB - HELICOPTER CANADA LTD MBB - HELICOPTER CORPORATION (USA)

(*) ACTIVITE HELICOPTERES UNIQUEMENT

Figure 217 - Aérospatiale SH et MBB en 1990

MBB participe aux programmes Tigre et NH 90. MBB possède une technologie de pointe en matière de rotor « rigide » et structures composites. Un accord

avec Boeing-Sikorsky : MBB prend en charge la technologie du moyeu rotor du projet LHX américain.

La création d'Eurocopter permet de pérenniser les coopérations sur les programmes Tigre et NH90 et d'en exploiter toutes les retombées à long terme.

En 1990 les chiffres d'affaires des deux partenaires AS-DH et MBB-UH étaient respectivement de 1,46Md\$ et 0,30Md\$, soit au total 1,76M\$. Eurocopter sera donc le premier producteur mondial, à égalité avec Sikorsky dont le chiffre d'affaires était de 1,8Md\$.

Après évaluation des sociétés et afin de respecter le ratio de 60/40 décidé par le MOU d'avril 90, il fut décidé que MBB verserait une soulte à Aérospatiale. Le montage suivant fut adopté : MBB possède 40 % d'une holding « de tête » appelée Eurocopter Holding : ECH, qui détient elle même 75 % d'une holding opérationnelle chargée d'assurer la gestion du groupe,

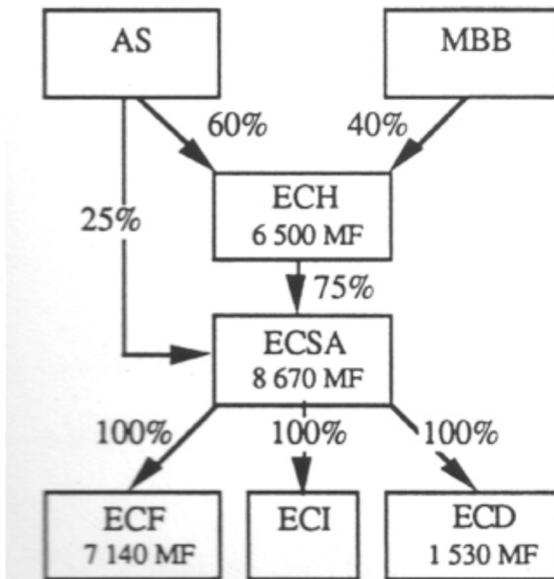


Figure 218 - Le schéma du rapprochement Aérospatiale DH – MBB

baptisée Eurocopter SA dont 25 % sont détenus par Aérospatiale Eurocopter International (ECI) qui est la structure de commercialisation commune des produits Eurocopter.

ECF et ECD résultent de la filialisation des divisions hélicoptère de Aérospatiale et de MBB et sont en charge de la recherche et la production.

Le directoire du groupe est constitué d'un président (président ECF) et un co-président (président ECD).

Grâce à une bonne confiance mutuelle, ce montage permettra, malgré le ratio de 60/40, des décisions du Directoire prises à l'unanimité.

En 2014, Eurocopter devient « Airbus Helicopters ».

Les planches suivantes présentent un bilan de la production de ce fleuron de l'industrie française et européenne.

End 2015 Fleet Distribution

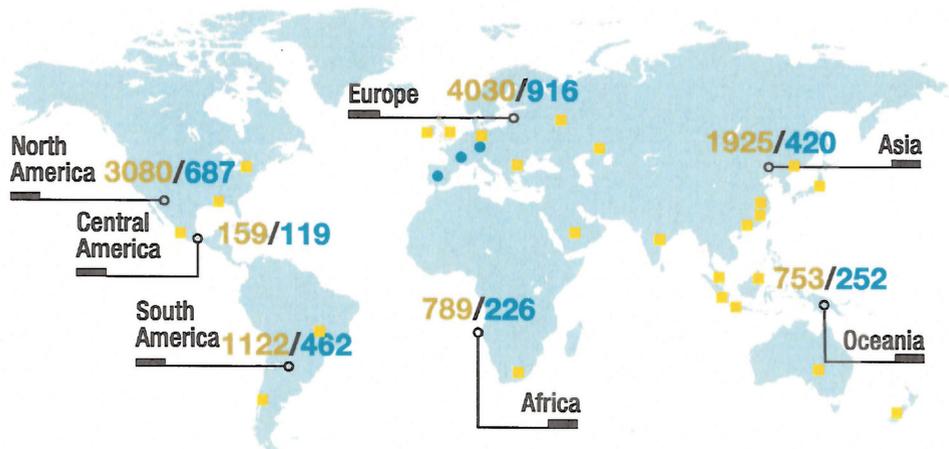
Total number of:

Operating countries	154
Operators	3009
Built helicopters	18 345
In-service helicopters	11 858
Flight hours in 2015	3 190 000
Overall flight hours	89 958 000

Helicopter with the most flight hours
 Oldest in-service helicopter

AS332 L & AS350 BA with 34 000 FH
 a SA313 delivered in 1956

Airbus Helicopters' In-Service Fleet Worldwide



Number of in-service helicopters
 Number of Operators

- Main sites
- Customer centers distributing Airbus Helicopters Products & Services

The NH90 program is a NH Industries partnership that includes Airbus Helicopters, AgustaWestland and Fokker.

L'HISTOIRE DES HÉLIPTÈRES EN FRANCE DEPUIS 1945

Type of helicopter	Built	In-service	Flight hours in 2015	Flight hours End 2015
ALOUETTE® (II, III, LAMA®)	3 245	621	115 000	19 885 000
GAZELLE®	1 269	516	74 000	7 106 000
BO105®	1 407	511	93 000	7 990 000
PUMA®	705	289	46 000	4 035 000
COLIBRI®	690	619	146 000	1 720 000
ECUREUIL®	6 006	5 001	1 518 000	29 056 000
H125® / H125M®	563	546	147 000	351 000
H130®	182	182	61 000	98 000
EC130®	454	427	162 000	1 487 000
AS350® / AS550®	4 016	3 247	1 028 000	22 918 000
AS355® / AS555®	791	599	119 000	4 202 000
H135 / H135M / EC135 / EC635	1 204	1 159	392 000	3 715 000
H135® / H135M®	19	24	4 000	4 000
EC135® / EC635®	1 185	1 135	388 000	3 710 000
H145 / H145M / EC145 / BK117	1 250	1 097	301 000	4 342 000
H145® / H145M®	54	54	12 000	14 000
EC145®	752	740	206 000	1 339 000
BK117®	444	303	82 000	2 988 000
DAUPHIN TWIN®	1 066	860	236 000	6 207 000
H155®	136	131	36 000	348 000
EC155®	43	40	8 000	173 000
AS365® / AS565®	781	592	140 000	4 247 000
AS366®	106	97	52 000	1 438 000
H175®	7	7	2 000	2 000
SUPER-PUMA®	953	798	227 000	5 261 000
H215® / H215M®	15	13	1 000	3 000
H225® / H225M®	268	259	112 000	546 000
AS332® / AS532® MK1	580	449	96 000	3 982 000
AS332 / AS532 MK2	90	77	18 000	730 000
TIGER®	135	120	13 000	79 000
NH90® 	267	260	27 000	104 000

Les appellations des hélicoptères d'Airbus Helicopters à fin 2015

PREVIOUS TRADE NAMES	NEW TRADE NAMES	
Civil/Military	Civil	Military
EC120 B	H120	
AS350 B2	AS350 B2	
AS350 B3e	H125	
AS550 C3e		H125M
EC130 T2	H130	
EC135 T3/P3	H135	
EC635 T2e/P2e		H135M
EC145e	EC145	
EC145 T2	H145	
EC645 T2		H145M
AS365 N3+	AS365 N3+	
AS565 MBe		AS565 MBe
EC155 B1	H155	
X4	H160	
EC175	H175	
AS332 C1e	AS332 C1e	
AS332 L1e	AS332 L1e	
AS532 ALe		AS532 ALe
EC225e	H225	
EC725		H225M
NH90		NH90
Tigre (EC665)		Tiger

IV. COOPÉRATIONS INDUSTRIELLES DIVERSES

(Bernard Fouques)

Les grands contrats sont généralement associés à des activités de compensation, pouvant aller de la production de pièces détachées jusqu'à la mise en place de chaînes d'assemblage complètes, voire des coopérations. Ce fut le cas notamment avec les USA, le Brésil, la Chine, l'Inde...

On développe ci-après tout d'abord le cas particulier de la Chine, puis celui des diverses chaînes d'assemblage.

1. La coopération avec la Chine

La coopération de la division hélicoptères d'Aérospatiale puis d'Eurocopter avec la République populaire de Chine est un exemple intéressant de développement progressif de liens avec un pays nouvel entrant dans l'ordre économique mondial.

Ce développement s'est effectué en différentes étapes étalées sur plusieurs dizaines d'années.

1ère étape : commercialisation pure : vente d'appareils de la famille Alouette au début des années 60 puis de douze Super Frelon SA 321 en 1967 puis de douze Gazelle dans les années 80.

Les Super Frelon donneront lieu ultérieurement à des versions locales Z-8 puis AC 313 et feront l'objet de modifications souvent profondes (motorisation, nouvelle conception des pales...).

2ème étape : à partir de 1979, assemblage puis production sous licence de soixante-dix Dauphin SA 365 N puis N1, sous l'appellation Z-9, donnant lieu ultérieurement à une/des version(s) locale(s) « Z9 » (H410, H425...).

3^{ème} étape : participation en simple source au développement (essentiellement fuselage complet équipé de carburant et commandes de vol) et à la production (à hauteur de 24 %) d'un appareil léger : programme P120 lancé en 1989 et modifié pour devenir en 1992 le programme EC 120, dont trente-quatre appareils (sur environ 700) seront assemblés en Chine (et commercialisés) sous le nom HC120.

4^{ème} étape : partenariat lancé en 2005 à 50/50 pour le développement (y compris d'ensembles mécaniques, du rotor principal et d'équipements importants), la production, l'assemblage (une chaînes EC 175 en France et une chaîne Z-15 en Chine) du programme d'hélicoptère moyen EC 175/Z-15, dont la commercialisation (et le support) font l'objet d'un partage géographique. La certification EASA de l'EC 175 a été obtenue le 30 janvier 2014, suivie par la certification FAA. La certification chinoise (CAAC) du Z-15 interviendra ultérieurement.

La localisation géographique des activités industrielles chinoises sur ces différents programmes se situe pour l'essentiel à Harbin (Mandchourie) et à Jingdezhen (S-O de Shanghai) et devrait à terme se concentrer à Tianjin (près de Pékin, ou est déjà implanté Airbus).

2. Chaînes d'assemblage

	Alouette II	Alouette III	Lama	Super Frelon	Puma	Gazelle	Lynx	Super Puma	Dauphin	Ecureuil	EC 120	Tigre	NH 90
EUROPE													
France	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Allemagne										x		x	x
Espagne												x	x
Finlande													x
Italie													x
Roumanie		x			x								
Royaume Uni					x	x	x						
Suisse		x						x					
Yougoslavie						x							
Suède	x												
AFRIQUE													
Afrique du Sud					x								
Égypte						x							
AMÉRIQUES													
Brésil								x		x			
États-Unis										x			
ASIE OCÉANIE													
Australie												x	x
Chine									x		x		
Inde		x	x										
Indonésie					x			x					

ANNEXES GÉNÉRALES

NOTICES BIOGRAPHIQUES

Émile Blanc†, ingénieur général de l'armement

Entré en service en 1959 au CEAT comme rattaché à la direction, est nommé chef du groupe physique puis sous-directeur et est en parallèle directeur des études de l'ENSICA ;

1973-1981 : affecté au STAé en 1973 en qualité de Chef de la section STAé /Eq puis STTE ;

1981-1983 : conseiller technique armement-industrie auprès du ministre de la défense ;

1983-1986 : délégué général pour l'armement

1986-1989 : directeur délégué : (filiales - participations, affaires internationales) à la SNECMA ;

1989-1994 : président-directeur général de la SNPE, président du GICAT et président du CIDEF ;

1994-2014 : IGA1 (2s) ; puis président France-Conversia, président du GAEO, président de EuroDéfense-France, enfin animateur du COMAERO.

Décédé le 17 novembre 2014

Georges Bousquet, ingénieur général de l'armement

Affecté au CEV (1950-1958), service des méthodes et moyens d'essais, puis section essais armements.

Affecté au STAé (1958-1975) chef de la section équipements, chef de la section avions, puis sous-directeur. Nommé directeur du STTA (1975-1976), puis directeur technique des constructions aéronautiques (1976-1984).

Inspecteur général de l'armement (1984-1986). Président de la SOGÉPA(- Société de gestion de participations aéronautiques) (1986-1989).

Co-président du Comité directeur des hélicoptères franco-britanniques (1970-1975) et du Comité directeur hélicoptères quadripartite européen.

Gérard Bretécher, ingénieur général de l'armement

X 68 – Sup'Aéro 73

1973-1974 : formation aux techniques de l'hélicoptère au bureau d'études de la division hélicoptères de l'AEROSPATIALE.

1974-1988 : divers postes liés à la préparation de l'avenir pour les hélicoptères, dont responsable « études et recherches hélicoptères » au SPAé (DGA/DCAé/SPAé), puis chargé des questions techniques du programme de l'hélicoptère franco-allemand Tigre.

1988 –1996 : directeur de programme TIGRE à la DGA.

1996-2001 : directeur de division puis directeur adjoint du SPAé.

Alain Crémieux, ingénieur général de l'armement

1960-1965 : ingénieur au service technique des télécommunications de l'air de la DGA ;

1965-1968 : adjoint technique de l'attaché de l'air à Londres ;

1968-1971 : adjoint du chef du département industriel du service central des télécommunications et de l'informatique de la DGA

1971-1976 : responsable du bureau d'études économiques et du bureau des affaires financières à la direction des programmes et affaires industrielles de la DGA

1976-1982 : détaché au ministère de l'industrie comme directeur adjoint pour l'électronique et l'espace à la direction des industries électroniques et informatiques-DIELI.

1982-1983 : secrétaire général de la commission des équipements sidérurgiques

1983-1987 : attaché d'armement à Washington

1987-1990 : directeur adjoint de la direction des recherches et études techniques (DRET) de la DGA

1990-1994 : directeur du centre des hautes études de l'armement

1994-1998 : conseiller armement du représentant permanent de la France à l'Otan

1998-2001 : chef du département d'histoire de la DGA

Jean-Pierre Dubreuil

X 60 – Sup' Aéro 65

Corps des Ingénieurs de l'air

Pilotage : Armée de l'air, « Chasse » en 1963, Armée de terre, « Hélicoptère » en 1966

CHEAR 22ème session 1985

Affectations étatiques

1965-1968 : CEV Brétigny : ingénieur navigant d'essais hélicos

1968-1974 : CEV Brétigny, chef de la section d'essai « voilures tournantes »

1974-1979 : CEV Cazaux, sous-directeur technique de la base d'essais

Carrière industrielle

1979 : Aérospatiale, division Hélicoptères

1979-1982 : adjoint technique au directeur des études

1982-1985 : directeur du programme Dauphin

1985-1990 : directeur des programmes dits commercialisés

1990-1992 : directeur de la stratégie commerciale

1992-1998 : directeur du cabinet du directoire du groupe Eurocopter

1998-2000 : vice-président en charges des relations extérieures du groupe Eurocopter

2000-2001 : directeur général chargé de l'action commerciale

Expertise

2004 à 2012 : expert de Justice, spécialité « aéronautique »

1999- à ce jour : membre de l'Académie de l'air et de l'espace

Bernard Fouques

X 63 - Sup'Aéro 68

Pilote avions de l'armée de l'air (66), hélicoptères de l'Aviation légère de l'armée de terre (69)

Ingénieur navigant d'essais de l'Empire Test Pilot School, UK (83).

3 500 h de vol :

1968-1974 : ministère de la défense/délégation générale pour l'armement (DGA)/centre d'essais en vol (CEV) à Brétigny-sur-Orge ; ingénieur de marque Gazelle

1974-1978 : DGA/CEV à Brétigny ; chef de la section essais voilures tournantes

1979-1982 : DGA/CEV à Istres ; sous-directeur technique délégué

31 décembre 1982 : départ du Ministère de la défense avec le grade d'ingénieur en chef de l'armement pour la Société Aérospatiale/division hélicoptères à Marignane

1er janvier 1986 : directeur des essais en vol d'hélicoptères d'Aérospatiale (puis Eurocopter France puis Eurocopter

1988-1995 : directeur-adjoint du développement d'Eurocopter France

1994-2001 : inspecteur du personnel navigant du groupe Aérospatiale

2001-2005 : directeur des essais en vol d'Eurocopter et d'Eurocopter-Deutschland

1986-ce jour : membre du conseil de perfectionnement de l'École du personnel navigant d'essais et de réception (EPNER)

1990-1992 : membre du Test and Evaluation Committee de l'American Helicopter Society (AHS)

1991-2007 : membre du Conseil du personnel navigant professionnel de l'aéronautique civile

1991 : co-recordman du monde de vitesse sur DAUPHIN (372 km/h)

1994-2007 : membre de la Commission du personnel navigant du groupement

des industries françaises aéronautiques et spatiales (GIFAS) (président 1997-2001)

2005 : dirige l'équipe d'Eurocopter qui pose un hélicoptère sur l'Everest

2005 : membre émérite de l'AAAF

2006-2013 : membre du Conseil d'administration et du bureau national de l'AAAF

2006 : correspondant de l'Académie de l'air et de l'espace (membre titulaire en 2009)

Yves Gleizes, ingénieur général de l'armement

X 63 - Sup'Aéro 68

Entré en service en 1968, comme ingénieur d'études à la section études radar du STTA au bureau contre-mesures, chargé des matériels de brouillage puis des matériels d'écoute, puis directeur du programme Sarigue d'avion de surveillance électronique.

Affecté en 1975 au SCTI, comme responsable détection au bureau technique, puis adjoint au chef du bureau technique.

Affecté en 1982 au STPA, comme directeur du programme d'hélicoptère armé HAP/HAC (Tigre), puis, en 1988, chef du département Avions du STPA, puis, en 1990, sous-directeur technique du STPA.

Nommé chef du STTE en 1993, puis chef des STTE et STPA en 1996.

Lors de la réorganisation de la DGA en 1997, nommé chef du SPAé en 1997, puis directeur des Systèmes d'armes en 1999, puis adjoint au DGA et DSA en 2000.

Nommé délégué général pour l'armement en 2001.

Affecté à la Cour des comptes en 2004 comme conseiller maître en service extraordinaire jusqu'en 2009.

Jacques Humbertclaude, ingénieur général des études et techniques de l'armement.

Entré en 1968 à l'école de formation technique normale (DMA/CEV) à Villebon-sur-Yvette (91). Formation de technicien (TEFSTA) à l'IUT de Ville-d'Avray.

Affecté au département voilures tournantes à la DTCA en 1975, il passe le concours IETA en 1978 et sort de l'ENSICA (devenue ISAE) à Toulouse en 1982.

Affecté au groupe aérodynamique du CEAT de Toulouse, puis à nouveau au département Hélicoptères du STPA en 1990 pour devenir directeur du programme Capacités complémentaires Gazelle, puis, après une affectation d'un an et demi au département Avions, adjoint au chef du département hélicoptères. Avec la réorganisation SPAé 2000, il devient manager dans le segment Mobilité Terre Marine (+ Gendarmerie, Sécurité Civile, Douanes), en charge des commissions de modifications franco-britanniques sur les programmes en coopération F/UK. En janvier 2004, il devient sous directeur affaires au centre d'essais des propulseurs de Saclay (91).

Michel Lasserre, ingénieur général de l'armement

X 54 - Sup'Aéro 59

1956-1964 : Formation (dont pilote de chasse de l'armée de l'air) puis centre d'essais des propulseurs ;

1964-1976 : Service technique de l'aéronautique/section des moteurs, dont ceux d'hélicoptères (préparation de versions du TIGRE et du NH 90) ;

1976-1984 : Direction des constructions aéronautiques/service plans, programmes, industries ;

1984-1991 : Service technique aéronautique/sous-directeur puis directeur (dont co-président des comités directeurs du TIGRE et du NH 90) ;

1991-1996 : Adjoint au délégué général pour l'armement puis délégué aux programmes d'armement puis inspecteur général pour l'armement.

Monique Legrand-Larroche, Ingénieur général de l'armement

X 82 - ENSTA 1987 et DEA de mécanique théorique 1987

1987-1992 : Service des recherches de la DRET, en charge de la recherche en mécanique des fluides (aérodynamique, hydrodynamique, acoustique) ;

1993-2000 : STPA puis SPAé, directrice du programme HORIZON et du programme capacités complémentaires Gazelle, en charge aussi de l'acquisition d'hélicoptères pour la sécurité civile et la gendarmerie, puis chef du département hélicoptères ;

2003-2006 : SPNuM, responsable des finances, puis adjoint gestion du chef de service, responsable des finances, des contrats et du management ;

2007-2011 : directrice de l'unité de management hélicoptère, en charge de tous les programmes et opérations d'armement d'hélicoptères, représentante française à l'OCCAR pour le Tigre et à la NAHEMA pour le NH 90 ;

2012-2013 : chef du service du maintien en condition opérationnelle ;

mi 2013-mi 2014 : directrice adjointe des opérations de la DGA ;

depuis mi 2014 : directrice des opérations de la DGA.

Étienne Maurice

Entré à l'École navale en 1956, devient pilote d'hélicoptères et commande la première escadrille de Super Frelon affectée au Centre d'essais du Pacifique. À l'issue de ce commandement, suit les cours de l'École du personnel navigant d'essais et de réception (EPNER) et est affecté au Centre d'essais en vol (CEV) sur la base de Brétigny. Quitte la Marine en 1973, pour rester au CEV. Il y remplit les fonctions de chef pilote hélicoptère et conseiller personnel navigant du directeur du CEV. Il quitte le service actif en 1996 après 11 000 heures de vol sur plus de 50 types d'hélicoptères.

GLOSSAIRE

Acronyme	Définition
AATCP	Air-air très courte portée
AFCS	Auto Flight Control System
AHC	Aérospatiale Helicopter Corporation (devenu AEC American Helicopter Corporation)
AIA	Atelier industriel de l'aéronautique
ALAT	Aviation légère de l'armée de terre
ALOA	Aviation légère d'observation de l'Artillerie
ARH	Armed Reconnaissance Helicopter
ASF	Antisurface
ASM	Anti-sous-marin(e)
ASTOR	Airborne Surveillance and Target Observation Radar
ASW	Anti Submarine Warfare
ATB	Advanced Technology Blade
AVEX	Aviação do Exército (ALAT brésilienne)
BAN	Base aéronavale
BEAD	Bureau enquête accident défense
BET	Bureau d'étude techniques (aéronautique navale)
BIM	Blade Inspection Method
BMR	Bearingless Main Rotor
BNL	Bas niveau de lumière
BPC	Bâtiment de projection et de commandement
BTA	Boîte de transmission arrière
BTI	Boîte de transmission intermédiaire
BTP	Boîte de transmission principale
BWB	Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung
CAR	Civil Air Regulations (US, ont précédé les FAR)

CdN	Certificat de navigabilité
CDVE	Commandes de vol électriques
CEAM	Centre d'expériences aéronautiques militaires
CEAT	Centre d'essais aéronautique de Toulouse
CELAR	Centre d'électronique de l'armement
CEPA	Centre d'expérimentations pratiques et de réception de l'aéronautique navale
CEPr	Centre d'essais des propulseurs
CEV	Centre d'essais en vol
CFD	Computational Fluid Dynamics
CGTM	Compagnie générale des turbomachines
ch	Cheval vapeur
CHEAr	Centre des hautes études de l'armement
CIEEMG	Commission interministérielle pour l'étude des exportations de matériel de guerre
CLM/CIM	Commission locale de modifications / commission internationale de modifications
CNAD	Conférence des directeurs d'armement nationaux
COMAERO	Comité pour l'histoire de l'aéronautique
CVS	Coupleur de vol stationnaire
DASA	Deutsche Aerospace AG de mai 1989 à décembre 1994
DASA	Daimler-Benz Aerospace AG de janvier 1995 à novembre 1998
DASA	Daimler Chrysler Aerospace AG de décembre 1998 à juillet 2000
DAT	Direction des armements terrestres
DCAé	Direction des constructions aéronautiques
DCMAT	Direction centrale des matériels de l'armée de terre
DDJ	Déviateur-dilueur de jet
DFHB	Deutsch-Französisches Hubschrauber Büro (bureau de programme Tigre)
DFVLR	Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt

GLOSSAIRE

DGA	Délégation générale pour l'armement
DGAC	Direction générale de l'aviation civile
DLR	Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt
DMA	Délégation ministérielle à l'armement
DNA	Directeur national d'armement
DNW	German Dutch windtunnels
DPAC	Direction des programmes de l'aviation civile
DRET	Direction des recherches études et techniques
DRI	Direction des relations internationales
DRME	Direction des recherches et moyens d'essais
DSP	Direction de la stratégie et de la prospective
DTAT	Direction technique des armements terrestres
DTCA	Direction technique des constructions aéronautiques
DTIA	Direction technique et industrielle de l'aéronautique
EADS	European Aeronautic Defence and Space company
EASA	European Aviation Safety Agency
ECD	Eurocopter Deutschland
ECF	Eurocopter France
ECI	Eurocopter International
EFIS	Electronic Flight instrument System
EGP	Éléments généraux de prix
EHC	Enceinte à hygrométrie contrôlée
EMA	État-major des armées
EMAA	État-major de l'armée de l'air
EMAT	État-major de l'armée de terre
EMM	État-major de la marine
EMJ	Entretien majeur (maintenance)
EPNER	École du personnel navigant d'essais et de réception
EVASAN	Évacuation sanitaire (mission)
FAA	Federal Aviation Administration
FADEC	Full Authority Digital Engine Control
FAR	Force d'Action Rapide
FAR	Federal Aviation Regulations

FBW	Fly By Wire
FCM	Fiche de caractéristiques militaires
FINABEL	France Italie Nederland Allemagne Belgique Luxembourg
FLIR	Forward looking infrared (camera thermique)
FPDS	Feasibility and Predefinition Study (NH 90)
FREMM	Frégates européennes multimissions
GAEO	Groupe armement de l'Europe occidentale
GAM	Groupement aéromobile (de la STAT)
GAOA	Groupes d'aviation d'observation de l'artillerie
GARTEUR	Group for Aeronautical Research and Technology in Europe
GCA	Ground Control Approach
GEIP	Groupe européen indépendant de programmes
GHM	Groupe d'hélicoptères de manœuvre
GIAT	Groupement industriel des armements terrestres
HAC	Hélicoptère antichar
HAD	Hélicoptère d'appui-destruction
HAP	Hélicoptère d'appui-protection
HCL	Hélicoptère de combat léger
HMR	Hingless Main Rotor
HORIZON	Hélicoptère d'observation radar et d'investigation sur zone
HPMI	Hélicop Jet Project Management Incorporated
HUS	Hélicoptères pour unités spéciales
IAR	Industria Aeronautica Romana
IFDS	Integrated Flight Display System
IFR	Instrument Flight Rules
ILS	Integrated Logistic Support
IMC	Instrumental Meteorological Conditions
IMF	Institut de mécanique des fluides (Lille, Marseille)
IPG	Industrial Program Group (NH 90)
IRCCD	Infrared Charge-Coupled Device
ITP	Industria de turbopropulsores (Espagne)
JEC	Joint Executive Committee

GLOSSAIRE

JSTARS	Joint Surveillance and Target Acquisition Radar System
JVN	Jumelles de vision nocturne
KHD	Klöckner-Humboldt-Deutz (firme allemande)
KHS	Kampfhubschrauber
LABM	Laboratoire d'aérodynamique et de biomécanique du mouvement
LAMPS	Light Airborne Multi-Purpose System (Sikorsky)
LCD	Liquid Crystal Display
LCTAR	Le centre Thomson d'applications radar
LHCO	LHC Optronic
LHX	Light Helicopter experimental
LMT	Le Matériel Téléphonique (acquise par Thomson CSF)
LPM	Loi de programmation militaire
LTH	Light Transport Helicopter
LTS	Lycoming turboShaft
LTV	Light Tactical Vehicle
MBB	Messerschmitt Bölkow Blohm (Allemagne)
MBDA	Société fusion de Matra BAé Dynamics-Alenia Marconi System-Aérospatiale-LFK
MDHC	McDonnell Douglas Helicopter
MDM	Million de Deutsch Mark
MIR	Moyeu intégralement rigide
MoD	Ministry of Defence
MOU	Memorandum Of Understanding
MRH	Multi Role Helicopter
MRP	Moyeu rotor principal
MTM	MTU Turbomeca (société)
MTR	MTU Turbomeca Rolls-Royce (société)
MTRI	MTU Turbomeca Rolls-Royce ITP (société)
MTU	Motoren- und Turbinen-Union (Allemagne)
NAAG	Nato Army Advisory Group
NAHEMA	NATO Helicopter Management Agency
NAT	Non articulé en traînée (tête rotor)

NBC	Nucléaire Bactériologique et Chimique
NFH	NATO frigate helicopter
NHI	NH Industry (NH 90)
NIAG	NATO Industrial Advisory Group
NNAG	NATO Navy Advisory Group
NSR	Nato Staff Requirements
OACI	Organisation de l'aviation civile internationale
OCCAR	Organisation conjointe de coopération en matière d'armement
OGMA	Oficinas Gerais de Material Aeronáutico (Portugal)
OMERA	Optique Mécanique et Radio (société)
Onera	Office National d'études et de Recherches Aérospatiales
ONSR	Outline Nato Staff Requirements
ONST	Outline Nato Staff Targets
ORCHIDEE	Observatoire radar cohérent héliporté d'investigation des éléments ennemis
PAH	Panzer Abwehr Hubschrauber
PCO	Première capacité opérationnelle
PDP	Project Definition Phase I
PEIRF	Programme d'étude de l'interaction rotor-fuselage
PLS	Personal Locator System
PMC	Puissance maximale continue
PMD	Puissance maximale au décollage
PNVS	Pilot night vision system
PPDE	Plan Pluriannuel de Développements Exploratoires
PPRE	Plan Pluriannuel de Recherches et Etudes
PRAM	Paris - Rome - Amsterdam - Munich
RAF	Royal Air Force
RCM	Division radars et contre-mesures (Thomson CSF)
RDN	Radar doppler de navigation
RESCO	Recherche et sauvetage au combat
RHC	Régiment d'hélicoptères de combat
RITA	Réseau intégré de transmissions automatiques

GLOSSAIRE

RTM	Rolls-Royce Turbomeca (société)
RWTES	Rotary Wing Test and Evaluation Squadron
SAR	Search and Rescue
SAS	Stability Augmentation System
SATCP	Sol-air très courte portée
SECMAR	Sécurité maritime
SEFT	Section d'études et de fabrication des télécommunications
SERA-CD	Société d'études et de réalisation automobiles Charles Deutsch
SFOM	Société française d'optique et de mécanique
SIAé	Service industriel de l'aéronautique
SIAR	Surveillance industrielle de l'armement
SIMMAD	Structure intégrée du maintien en condition opérationnelle des matériels aéronautiques du ministère de la défense
SNCAC	Société nationale des construction aéronautiques du Centre
SNCAN	Société nationale des construction aéronautiques du Nord
SNCASE	Société nationale des construction aéronautiques du Sud- Est
SNCASO	Société Nationale des construction aéronautiques du Sud- Ouest
SNEB	Société nouvelle des établissements Edgar Brandt
SNLE	Sous-marin nucléaire lanceur d'engins
SOCAT	Sistem Optronic de Cercetare i Anti-Tanc (Puma Rouman)
SOCATA	Société pour la construction d'avions de tourisme et d'affaires
SPAé	Service des programmes aéronautiques
SPCA	Société provençale de constructions aéronautiques
SPH	Smooth Particle Hydrodynamics
SREA	Service de recherches et d'études amont
STAé	Service technique de l'aéronautique
STAT	Section technique de l'armée de terre
STPA	Service technique des programmes aéronautiques

STRIX	Système de télémétrie de reconnaissance et identification tout temps
STTA	Service technique des télécommunications de l'air
STTC	Service technique des technologies communes
STTE	Service technique des télécommunications et des équipements aéronautiques
TAAH	Tir air-air hélicoptères
TADS	Target Acquisition and Désignation System
TCD	Transport de chalands de débarquement
TOW	Tube-launched, Optically-tracked, Wire-guided (Missile BGM 71)
TRC	Translational Rate Command
TRT	Télécommunications radioélectriques et téléphoniques
TTH	Tactical Transport Helicopter
TTS	Thales Training & Simulation
UHF	Ultra High Frequency
UHT	Unterstützungshubschrauber Tiger (Tigre version allemande)
UKSLG	United Kingdom Service Liaison Group
UTAC	Union technique de l'automobile, du motocycle et du cycle
VEMD	Vehicle Engine Monitoring Display
VHF	Very High Frequency
VNE	Velocity Never Exceed
VOD	Voie optique directe
VOMM	Viseur optique monté sur mât
VRS	Vortex Ring States

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1 - Breguet-Dorand laboratoire</i>	39
<i>Figure 2 - Focke-Achgelis EA 223 Drache</i>	40
<i>Figure 3 - G 111 © Musée de l'air et de l'espace</i>	41
<i>Figure 4 - NC 2001 Abeille © Archives Jacques Moulin</i>	42
<i>Figure 5 - SE 3101 en vol juin 1948 © Photo DR/Airbus Helicopters</i>	45
<i>Figure 6 - SE 3110 © Photo DR/Airbus Helicopters</i>	45
<i>Figure 7 - SE 3120 Alouette © Photo DR/Airbus Helicopters</i>	46
<i>Figure 8 - L'usine de La Courneuve, en 1952, où l'activité hélicoptère se juxtapose à l'activité « avion » (Mistral, notamment) © Photo DR/Airbus Helicopters</i>	46
<i>Figure 9 - SO 1100 © Photo DR/Airbus Helicopters</i>	47
<i>Figure 10 - SO 1110 Ariel 2 © Pypertote</i>	47
<i>Figure 11 - SO 1120 Ariel III © Photo DR/Airbus Helicopters</i>	48
<i>Figure 12 - Farfadet © Photo DR/Airbus Helicopters</i>	48
<i>Figure 13 - DH 011 © aviastar.org</i>	49
<i>Figure 14 - N 1700 © Archives Jacques Moulin</i>	49
<i>Figure 15 - N 1710 © Archives Jacques Moulin</i>	49
<i>Figure 16 - N 1750 © Photo DR/Airbus Helicopters</i>	50
<i>Figure 17 - Convertible expérimental N 500 © Photo DR/Airbus Helicopters</i>	50
<i>Figure 18 - MC 100 © aviastar.org</i>	51
<i>Figure 19 - MC-101 © aviastar.org</i>	51
<i>Figure 20 - AC 12 © aviastar.org</i>	51
<i>Figure 21 - AC 14 © aviastar.org</i>	52
<i>Figure 22 - AC 15 Bamby © aviastar.org</i>	52
<i>Figure 23 - Djinn monoplacement SO 1220 n°01 © Photo DR/Airbus Helicopters</i>	53
<i>Figure 24- Djinn biplace, version civile</i>	54

Figure 25- Les Djinn à Rochefort...	54
Figure 26 - Djinn ALAT SO 1221 © Photo DR/Airbus Helicopters	56
Figure 27 - S-55 de la SABENA	58
Figure 28 - S-58 de la SABENA	58
Figure 29 - S 58	59
Figure 30 - Chaîne de montage S-58 à Marignane avec, à l'arrière plan, la chaîne Fouga © Photo DR/Airbus Helicopters	59
Figure 31 - Vol du record d'altitude de 8209 m par Jean Boulet © Photo DR/Airbus Helicopters	60
Figure 32 - La Courneuve. Chaîne BTP et moyeu Alouette II © Photo DR/Airbus Helicopters	61
Figure 33 - La Courneuve. 300 ^{ème} Alouette II en chaîne, en juin 1959 © Photo DR/Airbus Helicopters	61
Figure 34 - Alouette II Astazou SA 3180 n°02 équipée à titre expérimental d'un moyeu MIR de Bölkow © Photo DR/Airbus Helicopters	62
Figure 35 - Alouette II du CIEH (centre d'entraînement des équipages d'hélicoptères de l'armée de l'air) © Photo DR/Airbus Helicopters	64
Figure 36 - Alouette II Marine © Photo DR/Airbus Helicopters	64
Figure 37 - Gouverneur SE 3131 © Photo DR/Airbus Helicopters	65
Figure 38 - Alouette III 001 © Photo DR/Airbus Helicopters	66
Figure 39 - SE 3160 n° 02, toute première machine livrée à l'ALAT dès 1961, pour expérimentation, équipée ici d'une mitrailleuse en sabord.	69
Figure 40 - SA 316 B de l'ALAT, avec skis, au sommet du Mont Blanc	69
Figure 41 - SA 316 B équipée du « système » AS 12 (maquettage)	70
Figure 42 - SA 319 B Marine	71
Figure 43 - SA 316 Gendarmerie	71
Figure 44 - La SA 316B n°1115 lors de son dernier vol le 16 mai 2009, vers le musée de l'air, avec à son bord madame le général Valérie André, accompagnée de madame Alliot-Marie, ministre de l'intérieur (et Michel Drucker)	72
Figure 45 - Le SE 3200 Frelon 001 © Photo DR/Airbus Helicopters	74
Figure 46 - Le SE 3200 Frelon n°002 © Photo DR/Airbus Helicopters	75
Figure 47 - SA 3210 01 © Photo DR/Airbus Helicopters	77
Figure 48 - SA 3210 01 en configuration record © Photo CEV	77
Figure 49 - SA 3210 02	78

Figure 50 - Plan du repliage des pales SA 321	80
Figure 51 - Le moyeu repliable du SA 321 G © Photo DR/Airbus Helicopter	81
Figure 53 - SA 321 F © Photo DR/Airbus Helicopters	82
Figure 52 - SA 321 F © Photo DR/Airbus Helicopters	82
Figure 54 - Tir d'un missile AM 39 depuis un SA 321 G au CEV, à Cazaux © Photo CEV	83
Figure 55 - Deux produits de la coopération : le Tigre et le NH 90 © Photo DR/Airbus Helicopters	87
Figure 56 - Puma SA 330 B n°1052 en service dans l'armée de terre	96
Figure 57 - Puma SA 330 en service dans la Royal Air Force	96
Figure 58 - Gazelle-AH Mk1 Royal Marines en Irak (2002)	99
Figure 59 - Gazelle SA 341 F2 armée de terre pendant l'opération « bouclier du désert »	99
Figure 60 - Lynx Marine française © aviationsmilitaires.net	102
Figure 61 - Lynx Royal Navy n°335 sur l'HMS Cardiff (1982)	102
Figure 62 - HUP-2 n°130084 de la flottille 23S de l'aéronautique navale	108
Figure 63 - Le Sikorsky S-55/H-19	109
Figure 64 - H-21C (surnommé "banane") en Algérie (photo JP Meyer)	110
Figure 65 - H-21C n°24 en opération de dragage - voir crose (photo CEV)	111
Figure 66 - S-58/H-34 n°1 (photo CEV)	112
Figure 67 - Tourelle canon sur H-34 (photo CEV)	112
Figure 68 - Sud-Aviation Sikorsky H-34 A bi-Bastan n°76	115
Figure 69 - Puma SA 330 A n° 01 (photo CEV)	116
Figure 70 - Bulletin d'information Hispano de mai-juin 1972	117
Figure 71 - Puma SA 330 n°06 avec train Dop Precimo et pales repliées (photo CEV)	118
Figure 72 - Essai de givrage devant la grille du NRC à Ottawa (photo CEV)	119
Figure 73 - Super Puma HORIZON	125
Figure 74 - Puma Elint (photo CEV)	127
Figure 75 - Puma 04 HECTOR : appareil de servitude pour canon de 30 mm en tourelle, au profit du Tigre (photo CEV)	128
Figure 76 - Bell 47 en Algérie avec brancard (Photo internet « avions de la guerre d'Algérie » - article Jacques Moulin)	132
Figure 77 - Djinn avec flottabilité en essai au CEV (photo CEV)	133

Figure 78 - Alouette II SE 3130 n°01 - essais de parachutage au CEV (photo CEV)	134
Figure 79 - Alouette II équipée de SS 11 (photo Norbert Forget)	134
Figure 80 - SA 340-001 avec le rotor anticouple de l'Alouette © Photo DR/Airbus Helicopters	138
Figure 82 - SA 341 01 avec flottabilité de secours gonflée (photo CEV)	139
Figure 81- Gazelle avec empennage en T	139
Figure 83 - Appontage de la Gazelle SA 341 1002 sur l'Engadine (photo CEV)	141
Figure 85 - Gazelle SA 341 G n° 1230 pour essais IFR (photo CEV)	144
Figure 87 - Gazelle SA 342 L n°1185 avec panier lance-roquettes (essais CEV pour version export)(photo CEV)	147
Figure 86 - Gazelle SA 341 F n°1255 Aérospatiale avec panier lance-roquettes Matra (photo CEV)	147
Figure 88 - Tir d'un missile HOT de la Gazelle n°1458 (photo CEV)	148
Figure 89 - Gazelle SA 342 M © Photo Eric Gaba	149
Figure 90 - Viseur jour/nuit Viviane sur Gazelle SA 342 M1 (photo MBDA)	150
Figure 91 - Gazelle « Crash programme » CELTIC (guerre du golfe 1990) (photo MBDA)	151
Figure 92 - Gazelle SA 342 n°2049- Tir AATCP au CEV à Cazaux (photo CEV)	152
Figure 93 - Tir d'AS 12 du WG 13 05-04 (prototype pour la Marine française)	161
Figure 94 - Deux prototypes Marine et armée de terre anglaises en vol de groupe	162
Figure 95 - Les premiers essais à la mer	163
Figure 96 - Le 1 ^{er} Lynx français en service à bord d'une frégate de la Marine nationale.	164
Figure 97 - Lynx à l'appontage	166
Figure 98 - « The last country before hell ! »	167
Figure 99- Tigre - version HAP	169
Figure 100 - La Gazelle (ici en version HOT de nuit) —	
Figure 101 - L'Apache américain AH-64	176
Figure 102 - Un exemple des études préparatoires : l'opération APHRODITE, age.	185
Figure 103 - Les 2 versions, HAP et HAC/PAH2	195
Figure 104 - Signature du contrat global de développement avec Eurocopter, le 30 novembre 1989, par le président du BWB pour le compte des États, et par les cogérants d'Eurocopter-Tigre, Franck Dorn et Michel Darrieus	200

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 105 - Signature du contrat de développement Tigre — la photo de famille</i>	201
<i>La répartition initiale des équipements entre équipementiers français et allemands</i> 203	
<i>Figure 106 - Premier vol du Tigre le 27 avril 1991. Équipage : Étienne Herrenschmidt et Andrew Warner. © Photo DR/Airbus Helicopters</i>	204
<i>Figure 107 - Calendrier développement et production du Tigre</i>	205
<i>Figure 108 - Prototype n°1 destiné aux essais « véhicule »</i>	206
<i>Figure 109 - Prototype n°4 destiné (avec le n°2) aux essais de la version HAP</i>	206
<i>Figure 110 - Signature du MOU Tigre, en présence d'Alain Richard, ministre français de la défense et de Volker Rühle, ministre fédéral de la défense allemand.</i>	207
<i>Figure 111 - Prototype de la version allemande UHU (UHT)</i>	209
<i>Figure 112 - Part française du financement de Tigre</i>	210
<i>Figure 113 - Tigre version HAD © Photo Anthony Pecchi</i>	212
<i>Figure 114 - Devant l'HAP, Une délégation DGA entourant Yves Gleizes</i>	215
<i>Figure 115 - HAP à l'entraînement © Photo Éric Raz</i>	217
<i>Figure 116 - Premier vol du NH 90 PT1, à Marignane, le 18 décembre 1995 © Photo Jérôme Deulin</i>	248
<i>Figure 117 - Premier vol du PT1 (Équipage : Boutry-Dabadie-Trivier-Rabany) © Photo Jérôme Deulin</i>	249
<i>Figure 118 - Premier vol du PT4 en version TTH, le 31 mai 1999, à Ottobrun. Équipage : Graser-Warner-Hamel.</i>	251
<i>Figure 119 - Livraison du premier NFH à la Marine nationale, par Lutz Bertling CEO et Dominique Maudet aux CV Beaufort et CF Hede-Havy © Photo Éric Raz</i>	252
<i>Figure 120 - La version NFH marine nationale © Photo Anthony Pecchi</i>	253
<i>Figure 121 - La version TTH ALAT © Photo Anthony Pecchi</i>	254
<i>Figure 122 - Puma 05</i>	260
<i>Figure 123 - Le SA 331 au cours de son premier vol. © EC</i>	260
<i>Figure 124 - SA 332 F1 équipé de ses deux missiles subsoniques Excocet</i>	264
<i>Caractéristiques principales des versions AS 332 Mark I</i>	266
<i>Figure 125 - AS 532 UL. À l'exception des options rien ne le distingue de l'AS 332 M1 Figure 124</i>	267
<i>Figure 126 - EC 725 AP ravitaillé à partir de l'avion de transport Hercules KC 130 J</i>	269
<i>Figure 127 - Le 27 novembre 2000, premier vol du Cougar AS 532 Mk II+ © EC, G Deulin, P. Penna</i>	269
<i>Figure 128 - Premier vol SA 360 © Photo DR/Airbus Helicopters</i>	272

Figure 129 - SA 361 H 1012 © Photo DR/Airbus Helicopters	273
Figure 130 - SA 366 C 003 © Photo DR/Airbus Helicopters	275
Figure 131 - Premier vol du SA 365 N (appareil n°5100) Max Jot, René Stevens, Michel Sudre, 31 mars 1979 © Photo DR/Airbus Helicopters	277
Figure 132 - Le SA 366 n°6002, équipé du fenestron de 0,90 m © Photo DR/Airbus Helicopters	278
Figure 133 - SA 366 G1 de la US Coast Guard. DR/Airbus Helicopters	279
Figure 134 - SA 365 F © Photo DR/Airbus Helicopters	280
Figure 135 - SA 365M « Panther » n°6005 équipé du TM333 et du système antichar HOT © Photo DR/Airbus Helicopters	281
Figure 136 - EC 155 © Photo Anthony Pecchi	283
Figure 137 - Écorché du moteur Arriel 1B	285
Figure 138 - Coupe des pales Écureuil et Gazelle	286
Figure 139 - Moyeu Starflex	287
Figure 140 - Articulation flexible de pale de rotor arrière	288
Figure 141 - Boîte de transmission principale épicycloïdale	289
Figure 142 - Décomposition de la cellule de l'Écureuil	290
Figure 143 - Réservoir de carburant Écureuil	291
Figure 144 - Premier vol de l'Écureuil, les observateurs.	292
Figure 145 - Premier vol de l'Écureuil, la machine !	292
Figure 146 - l'Écureuil prototype N°002 en vol	293
Figure 147 - Le SA 355	296
Figure 148 - La BTP de l'Écureuil SA 355 bimoteur	296
Figure 150 - Écureuil 355N essais au froid sur le terrain de Gap	298
Figure 151 - L'Écureuil 355N	299
Figure 150 - compartiment moteur SA 355N	299
Figure 152 - Écureuil 350 Z en vol	300
Figure 153 - SA 350Z à l'usine de Marignane	300
Figure 154 - SA 350 L2 avec TOW	302
Figure 155 - Écureuil 355N version navale	303
Figure 156 - AS 350 B3	304
Figure 157 - Écureuil EC130 B4	305
Figure 158 - EC130-B4 Plateau cyclique	305

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 159 - En vol près de l'Everest</i>	306
<i>Figure 160 - Poser au sommet de l'Everest</i>	307
<i>Figure 161 - EC 120 Colibri © Photo DR/Airbus Helicopters</i>	309
<i>Figure 162 - EC 135 © Photo Anthony Pecch</i>	310
<i>Figure 164 - EC 145 Gendarmerie © Jean-Pierre Brassler</i>	311
<i>Figure 163 - BK 117 – EC 145 © Photo Anthony Pecchi</i>	311
<i>Figure 165 - EC 145 Sécurité civile © Photo Anthony Pecchi</i>	311
<i>Figure 166 - 1er vol EC 175 © Photo Patrick Penna</i>	312
<i>Figure 167 - Super Puma AS 332 du GLAM (photo CEV)</i>	317
<i>Figure 168 - Super Puma AS 532 UL équipé de lance-leurres (photo CEV)</i>	318
<i>Figure 169 - Réception du 1er Cougar Resco à Marignane le 9 septembre 1999</i>	321
<i>Figure 170 - EC 725 Caracal au Bourget en 2005</i>	322
<i>Figure 171 - Dauphin 1012 équipé du système VENUS, pour le tir du HOT de nuit</i>	325
<i>Figure 172 - SA 365 F 6318</i>	328
<i>Figure 173 - Dauphin SA 365 C1 n° 5040 (photo CEV)</i>	332
<i>Figure 174 - Écureuil AS 355F1 de l'armée de l'air</i>	336
<i>Figure 175 - Un précurseur : le radar expérimental ORPHEE sur le Super Frelon N° 05 (photo CEV)</i>	338
<i>Figure 176 - Démonstrateur ORCHIDEE (photo CEV)</i>	339
<i>Figure 177 - Démonstrateur Puma ORCHIDEE - vue latérale (photo CEV)</i>	342
<i>Figure 178 - Démonstrateur Puma ORCHIDEE - vue de dessous (photo CEV)</i>	342
<i>Figure 179 - Le système HORIZON (photo CEV)</i>	344
<i>Figure 180 - Hélicoptère HORIZON antenne déployée (photo CEV)</i>	345
<i>Figure 181 - L'hélicop jet prototype N° 02</i>	354
<i>Figure 182 - Hélicoptère Citroën RE-210C - 1er vol à la Ferté-Vidame 24-12-1975 (Pilote : Dominique Gilles)</i>	358
<i>Figure 183 - Hélicoptère Guimbal Cabri G2</i>	360
<i>Figure 184 - Dauphin 365 N testant les extrémités paraboliques en flèche</i>	378
<i>Figure 185 - Pale parabolique et avec dièdre sur Puma</i>	378
<i>Figure 186 - Formes de pales du projet ORPHEE (EC/Fr, EC/RFA, Onera)</i>	379
<i>Figure 187 - SA 365C – 1975 – CxS = 1,4 m²</i>	382
<i>Figure 188 - SA 365N – 1979 – CxS = 1,05 m²</i>	382
<i>Figure 189 - DGV 200 – 1989 – CxS = 0,85 m²</i>	383
<i>Figure 190 - Maquette DGV 200 dans la soufflerie pressurisée F1 du Fauga</i>	383

Figure 191 - Maquette du Dauphin 365 N dans la soufflerie de Chalais	384
Figure 192 - Contours iso-pression instantanée	384
Figure 193 - Essais des rotors 7AD et ERATO en soufflerie avec pales instrumentées	386
Figure 194 - Démonstrateur Eurocopter DTV4 d'hélicoptère silencieux	387
Figure 195 - Essai vibratoire au sol de l'EC 155	388
Figure 196 - Dauphin 6075 du CEV	389
Figure 197 - Laboratoire d'Interactions Pilote - Système du DCSD	390
Figure 198 - Rotor de convertible RC4 dans la soufflerie S1 de Modane	393
Figure 199 - SA 349 Z 002	399
Figure 200 - SA 349 Z 001	400
Figure 201 - Convertible X 910	401
Figure 202 - Essais du rotor du X910 à la grande soufflerie de Modane	402
Figure 203 - Le Bernard 191 dit « Oiseau Canari »	406
Figure 204 - L'hydravion de course Bernard HV 40, vu par Paul Lengellé	408
Figure 205 - LeO HY 246 prototype	408
Figure 206 - LeO HY 43, monomoteur à ailes repliables destiné à la Marine nationale...	409
Figure 207 - SE 200 hexamoteurs	409
Figure 208 - LeO C.30	410
Figure 210 - Usine de Marignane en 1953 -Vampire et Aquilon	411
Figure 209 - Premier point fixe du SE 700 n°01	411
Figure 211 - SE 235 Mistral	412
Figure 212 - Le Baroudeur à l'atterrissage	412
Figure 213 - Le marché mondial des hélicoptères 1960-1990	414
Figure 214 - Ventilation du marché des hélicoptères	417
Figure 215 - Éclatement du marché militaire européen des hélicoptères	418
Figure 216 - Qualité d'exportateur des constructeurs US, comparée à AS/DH devenue 1er exportateur en fin de période (en nombre d'appareils)	419
Figure 217 - Aérospatiale SH et MBB en 1990	420
Figure 218 - Le schéma du rapprochement Aérospatiale DH - MBB	421