

# PRENDRE L'AIR



Dassault-Bréguet Mirage F-1E / M53 (Copyright Dassault Aviation)



*La revue de l'Association  
des Amis du Musée Safran*

N°4

Juin

2020

## Contact

Rond Point René Ravaud 77550 Réau  
Tél : 01 60 59 72 58 Mail : [aams@museesafran.com](mailto:aams@museesafran.com)

## Sommaire

<i>Editorial</i>	3
Jacques Daniel	
<i>Le mot du Président</i>	4
Jean Claude Dufloux	
<i>Le Musée de l'Aéronautique Navale de Rochefort-sur-Mer</i>	5
Jacques Daniel	
<i>Les Musées Aéronautiques français</i>	18
Jacques Daniel	
<i>Le Dassault Mirage F-1 E : banc d'essais volant du moteur M53</i>	20
Jacques Daniel	
<i>Le moteur de développement M53-5 n°229</i>	34
Jacques Daniel	
<i>Le moteur Gnome &amp; Rhône 14 N : La restauration du 14 N-49 - Le remontage (2<sup>me</sup> partie)</i>	35
Régis Ligonnet	
<i>Le Sud-Aviation SA-610 " Ludion "</i>	38
Régis Ligonnet	
<i>Ariane - 40<sup>ème</sup> anniversaire : L'acquisition progressive des technologies critiques - La propulsion cryotechnique</i>	45
Jean-Pierre Livi et Jean Claude Corai	
<i>La réglementation aéronautique - L'accident aérien (1<sup>ère</sup> partie)</i>	49
Alain Lafille	
<i>Pourquoi un " Open rotor " ?</i>	53
Pierre Mouton	
<i>B782, la mère de toutes les turbines (1<sup>ère</sup> partie)</i>	55
Association des Amis du Patrimoine Historique de Turbomeca (AAPHT)	
<i>Notes de lecture</i>	62
Jacques Daniel	

### Crédits



Photographies : Régis Ligonnet, Jacques Daniel

Les articles et illustrations publiées dans cette revue ne peuvent être reproduits sans autorisation écrite préalable.

## Editorial

Pour ce quatrième numéro, nous vous proposons plusieurs articles sur des sujets très variés.

Les vacances sont le moment idéal pour découvrir les trésors des musées aéronautiques de France aussi nous vous proposons de visiter le seul d'entre-eux dédié aux matériels de l'Aéronautique navale et l'un des huit musées de ce type dans le monde. Implanté sur le site historique de la Marine à Rochefort-sur-Mer, il abrite une trentaine d'aéronefs d'origine française, américaine et anglaise frappés de la cocarde de l'Aéronautique Navale, dite " cocarde à hameçon ". Aisément accessible au public avec un cheminement fluide et balisé, la collection est riche et comporte quelques pièces uniques dont le premier appareil embarqué à réaction, le SE-203 " Aquilon ", et un authentique et rare Dewoitine D.520, le meilleur chasseur aligné par la France en mai 1940. Forte de 450 adhérents, la dynamique association nationale des amis du musée de l'aéronautique navale (A.N.A.M.A.N.) en est la cheville ouvrière.

A votre intention et dans la continuité de cette présentation, nous avons établi la liste exhaustive de tous les musées aéronautiques de l'hexagone qui méritent le détour sur la route de vos vacances.

S'il est un appareil qui est peu abordé dans les journaux et ouvrages aéronautiques c'est le Dassault-Bréguet Mirage F-1 E / M53 banc d'essais volant rapide, c'est-à-dire supersonique, du moteur M53 destiné au Mirage 2000. Et pourtant, il a connu une belle carrière au sein de la division des essais en vol de la Snecma, à Istres, entre fin 1976 et mi 1984 en réalisant près d'un quart des heures de vol consacrées à la mise au point de deux des trois versions de la famille du M53. Reconstituer la chronologie des essais en vol du prototype, plus de trente-cinq ans après son épopée est devenu une véritable gageure surtout avec les rares archives conservées par l'avionneur. Heureusement, la mémoire encore présente de certains acteurs est venue au secours des archives défaillantes, en apportant les récits et témoignages qui ont enrichi les résultats de nos recherches. Vous trouverez dans ces lignes une monographie qui comble une lacune sur cette période faste des essais en vol.

Pour rester sur l'histoire de ce propulseur représentant la deuxième génération de moteurs militaires de la Snecma, voici une courte présentation du M53-5 de développement n° 229 exposé dans notre musée depuis le mois de mars 1995. Testé sur bancs sol et bancs volants (SE-210 Caravelle III n° 193, cinq des sept prototypes du Mirage 2000 et l'unique biréacteur Mirage 4000) il est présenté " dans son jus " de l'époque avec toute son instrumentation d'essais.

L'histoire de l'aviation est fertile en engins bizarres dont bon nombre ont effectivement décollé, volé et atterri sans encombre : c'est le cas du Sud-Aviation SA-610 " Ludion ", un véhicule à décollage et atterrissage vertical (ADAV) conçu et réalisé en France dans les années 1960. Sustentateur individuel étudié sur la base du brevet " Statodyne " de Georges Caillette, il était équipé de deux moteurs fusée SEPR S. 178. Cette " chaise volante " devait permettre aux fantassins de franchir des obstacles, le développement de l'hélicoptère SA-330 " Puma " mis fin aux recherches. Au total, les deux seuls exemplaires construits cumuleront environ 80 vols au moment de son abandon au début de l'année 1971. Le Ludion 001 est exposé au Musée de l'Air et de l'Espace, au Bourget, et le Ludion 002 au Musée Aéronautique et spatial SAFRAN.

Au niveau spatial, l'année 2019 a été marquée par le quarantième anniversaire du premier tir du lanceur européen Ariane 1. A cette occasion, ce numéro met en lumière le moteur cryotechnique HM-7 de la classe des 7 000 daN de poussée, conçu par la Société Européenne de Propulsion (SEP) grâce à l'expérience acquise sur un premier moteur cryotechnique le HM-4 d'une poussée de 4000 daN, étudié et essayé entre 1962 et 1969. Le développement du HM-7 a débuté en 1973, et a conduit, en 1979, à la qualification de la version destinée à la propulsion du troisième étage du lanceur européen Ariane 1 dont le premier vol eut lieu le 24 décembre 1979.

Chacun sait que le cycle de vie d'un moteur commercial s'étale sur plus de 60 ans. Après une phase d'avant-projet et de conception détaillée, les organismes de certification européenne (EASA) et américaine (FAA) suivent les essais au banc et en vol et lorsque le moteur respecte les exigences réglementaires, le motoriste reçoit la certification qui représente l'autorisation de mise en service. L'obtention du fameux sésame nécessite environ trois ans. Dans deux articles distincts, Alain nous explique les mécanismes complexes de certification des moteurs militaires et civils.

Dans les années 1980, les grands motoristes occidentaux ont mené des recherches sur un concept de turbosoufflante à hélices rapides ou Open rotor reposant sur le principe d'une ou deux soufflantes fixées directement sur la turbine de puissance et situées en dehors de la nacelle. Le but principal était la réduction de la consommation en carburant de l'ordre de 25%. Près de l'alignement des turboréacteurs CFM 56, le musée expose discrètement la maquette de la soufflante non carénée du GE-36 développé conjointement par la NASA, General Electric et Snecma.

Jusqu'à présent, nous n'avions pas abordé le monde des turbines conçues et fabriquées par Turboméca (Safran Helicopter Engines depuis 2016). C'est chose faite dans ce numéro avec cet historique de la B782, première turbine Turbomeca qui effectue ses premiers essais en 1948. Deux ans plus tard, elle sera baptisée Orédon, du nom d'un lac des Pyrénées, et homologuée à 130 ch. Cette machine constitue alors un véritable tremplin et le point de départ de toute une famille de turbomachines, depuis les turbines industrielles jusqu'aux turboréacteurs en passant par les turbomoteurs et les turbopropulseurs.

C'est avec l'aimable autorisation de l'Association des Amis du Patrimoine Historique Turboméca (AAPHT) que nous reproduisons un article paru, en deux parties, dans les numéros 23 et 24 des mois de novembre et décembre 2017 de leur revue interne. A l'instar de leur journal bimestriel, " Le Diffuseur ", nous publions la première partie dans ce présent numéro et sa suite dans celui du mois de décembre prochain.

Enfin, pour clore ce numéro éclectique, la partie notes de lecture vous propose une sélection de trois ouvrages récemment parus.

Je vous souhaite une bonne lecture !

L'équipe de rédaction de *Prendre l'air*

## *Le mot du Président*

Un concentré de surprises pour le n°4 de notre revue.

C'est dense, riche et varié.

De bons moments de lecture en perspective pour l'été qui s'annonce.

Le Président  
Jean Claude DUFLOUX

## Le Musée de l'Aéronautique Navale de Rochefort-sur-Mer

" Les avions sont faits pour voler. Et une fois l'âge de la retraite atteint, devenant inutilisables, beaucoup d'appareils prennent la direction de la casse. Mais l'aéronautique, qui se tourne le plus souvent vers le futur, se découvre depuis une trentaine d'années un passé. Pour cultiver une mémoire de l'air, des avions ont été entreposés dans des musées. Parfois suspendus comme des tableaux. Toujours dans des lieux vivants, avec des mises en scènes interactives. "

Inauguré en 1988, le Musée de l'Aéronautique Navale de Rochefort-sur-Mer est le seul musée français uniquement dédié à l'Aéronautique navale et l'un des huit musées de ce type dans le monde. Implanté sur le site historique de la Marine à Rochefort-sur-Mer, il abrite sur une surface de près de 5000 m<sup>2</sup> trente-cinq aéronefs frappés de la cocarde de l'Aéronautique Navale, dite " cocarde à hameçon", du Dewoitine D.520 au Super Frelon et au Vought F-8E (FN) " Crusader", environ 1200 maquettes exceptionnelles, 200 pièces muséographiques et une bibliothèque riche d'un millier de volumes.



Depuis plus de trois décennies, une centaine de bénévoles sur 450 adhérents de l'Association Nationale du Musée de l'Aéronautique Navale (A.N.A.M.A.N.), une association de type " loi 1901 ", entretiennent et restaurent les avions et les hélicoptères de la collection.

### La genèse du musée

C'est à l'occasion du 75<sup>ème</sup> anniversaire de l'aéronautique navale, que l'État-major de la marine décide, en 1985, de créer le musée des traditions de l'aéronautique navale à Rochefort, sur le site du Centre Ecole de l'Aéronautique Navale (C.E.A.N.). Conçu pour abriter les premiers ballons dirigeables, c'est le hangar " Astra " (mesurant 155 m de long, 24 m de large et 16 m 75 de haut soit 3720 m<sup>2</sup>) érigé en 1919 qui est choisi pour abriter la collection en 1986. L'association nationale des amis du musée de l'aéronautique navale (A.N.A.M.A.N.) est créée en novembre 1990.

Au début de l'année 2000, en raison de la tempête " Lothar " du 26 décembre 1999 qui détruit une partie du hangar " Astra ", le bâtiment est inondé, les aéronefs ont les pieds dans l'eau et de nombreuses pièces sont perdues, le Conseil général de la Charente Maritime acquiert dix ans plus tard une partie des infrastructures du CEAN dont le hangar Saint Trojan et la collection est installés aussitôt dans le hangar Dodin (1929). C'est ce hangar qui accueille les expositions sur 3 500 m<sup>2</sup>, le hangar Saint-Trojan (1 500 m<sup>2</sup>) quant à lui reçoit les indispensables chantiers de restauration et d'entretien des machines.

### Le site

C'est en 1910 que le site de Soubise voit s'envoler un biplan Voisin et, la même année, la Marine qui acquiert son premier aéroplane, un biplan Henri Farman. Au cours de la Première guerre mondiale est créée la base de l'Aviation maritime de Rochefort : les hangars qui y sont érigés abritent des ballons dirigeables. Après le conflit, en 1923, le Centre école d'aérostation maritime devient le Centre Ecole d'Aviation Maritime et dix ans plus tard c'est l'armée de l'air qui implante son école de mécaniciens. Elle quittera le site en 1978, pour s'implanter sur le site de Saint-Agnant situé sur la rive gauche de la Charente.



Suite à la décision de la Marine de regrouper ses écoles de formation, le Centre Ecole de l'Aéronautique Navale (C.E.A.N.) quitte le site qui est repris par la Gendarmerie Nationale et migre, en 2002, sur la base aérienne 721 de Rochefort Saint-Agnant.

### Des ballons

Arme aérienne la plus ancienne, bien que renaissante au cours de la première guerre mondiale, la Marine utilise des ballons souples type Caquot de forme allongée (d'où leurs noms communs de " saucisses ") dont le cubage varie entre 2800 et 7600 m<sup>3</sup>. Ces ballons libres et captifs, ont pour fonction de surveiller les côtes et d'accompagner les convois militaires. A la fin du conflit, la France reçoit en compensation des dommages

de guerre, deux Zeppelin allemands : le " Dixmude " et le " Méditerranée ". Très imposant par ses dimensions - 130 mètres de long -, ce dernier se pose à Rochefort-sur-Mer en 1922 aura du mal à se loger dans le hangar " Astra ", qui abritera le musée jusqu'en 1999.

Seul et dernier centre d'aérostation à fonctionner après 1931, les ballons disparaîtront définitivement du ciel charentais en 1937.



Vue du hall d'exposition - Hangar Dodin (Copyright ANAMAN)

## Les hangars

Situé dans une boucle de la Charente, l'Espace Musée recouvre une surface de 11 hectares comportant deux hangars.

**Le Dodin.** Construit en 1929, le hangar Dodin (du nom du constructeur), un bâtiment inscrit à l'inventaire, renferme l'essentiel de la collection. Aéronefs, armements, moteurs, équipements, tenues de vol ainsi qu'une maquette d'une mini soufflerie y sont présentés. Ce hangar est construit en béton armé et comporte notamment une voûte en voile mince, raidie par des segments verticaux en extradados, reposant sur des poteaux.

**Le Saint-Trojan.** Construit en 1983, pour répondre à des besoins spécifiques d'instruction de la Marine nationale, le hangar Saint-Trojan présente une surface au sol de 1500 m<sup>2</sup>. Son nom vient de Saint Trojan les Bains, petite station balnéaire de l'île d'Oléron, qui pendant la première guerre mondiale, accueillera sur son littoral un important Centre d'Aviation Maritime (CAM), dépendant de celui de Rochefort-sur-Mer.



Le hangar est actuellement utilisé pour effectuer dans les meilleures conditions, la restauration des aéronefs de la collection, grâce à ses ateliers annexes (résine, entoilage, équipements, mécanique générale) mais aussi une salle sablage et un futur atelier 3D avec imprimante. Des aéronefs ayant été utilisés pour la formation des mécaniciens de l'aéronautique navale y sont également entreposés.

## Les collections

Les aéronefs exposés sont, pour la plupart, d'anciennes cellules d'instruction de l'école des mécaniciens. La majorité des pièces appartiennent en propre à la Marine mais elles sont confiées à l'ANAMAN. Depuis environ quinze ans la Marine affecte systématiquement au musée un type d'aéronef retiré, excepté le Bréguet Atlantic et des appareils de la génération d'après-guerre (Vought " Corsair ", Grumman " Hellcat ", Shorts " Sunderland ", etc.).

Les collections sont constituées d'aéronefs (avions, hélicoptères et planeurs), de moteurs, de sièges éjectables, de tenues de vol, de trains d'atterrissage, d'un simulateur de pilotage sans visibilité (PSV), d'équipements avioniques et de maquettes. Hormis trois appareils exposés en extérieur - Nord N262 A " Frégate " n° 59, Bréguet Br 1050 " Alizé " n° 15, prototype 02 du Dassault Super Etendard, - tous les autres appareils sont exposés dans le hangar Dodin.

Parmi la trentaine d'aéronefs présentés trois d'entre-eux méritent le détour car c'est le seul endroit, en France, où on peut les observer : un monoplace subsonique de chasse de nuit avec radar Sud-Est SE-203 " Aquilon ", un intercepteur supersonique Vought F-8 P (P pour prolongé) " Crusader " et l'unique prototype du monoplace biréacteur Sepecat Jaguar M.

**Sud-Est SE-203 " Aquilon " n° 53.** Dérivé français du De Havilland " Sea Venom " britannique, le SE-203 " Aquilon " n° 53 est une version construite sous licence, à 40 exemplaires, par la SNCASE à Marignane,

de 1952 à 1958. La version française diffère par l'installation d'un siège éjectable SNCASO E-92 et sa verrière coulissante, pouvant rester ouverte lors des appontages et catapultages. Ce monoréacteur bipoutre de chasse tout-temps est le premier chasseur embarqué à réaction mis en service dans la marine française, en 1955, ainsi que le premier avion à réaction à apponter sur un porte-avions français, le Clémenceau, en mars 1960. Pour l'anecdote, les porte-avions français de l'époque ne permettaient pas la mise en œuvre des Aquilon : appontage et catapultage théoriquement possibles sur l'Arromanches, mais avec des conditions de vent supérieures à la moyenne.

Avion à l'aérodynamique rondouillarde, doté d'ailes repliables et d'une verrière coulissante, l'Aquilon était subsonique et ne dépassait pas Mach 0.75 en palier. Sa carrière d'avion de combat se terminera en 1964 et il finira comme avion de servitudes en 1967. Comme il était de tradition, dans les années 1950, de baptiser les appareils de la Marine de nom de vents (" Alizé ", " Zéphyr "), il reçut la dénomination d'" Aquilon " (Aquila en latin), un nom de la mythologie romaine, dieu des vents septentrionaux, froids et violents.

Envisagé à l'origine avec un radar britannique mis en œuvre par un radariste installé à côté du pilote, il fut finalement doté d'un radar américain Westinghouse APQ 65. Cette installation prééminente conduisit à une refonte complète de l'habitacle et la suppression du poste prévu pour le radariste d'où sa configuration monoplace.



Sud-Est SE-203 " Aquilon " n° 53 Flottille 16F (Copyright ANAMAN). De construction mixte (bois et métal), il est doté d'un siège éjectable SNCASO E-92, d'une verrière coulissante bilobée et d'ailes repliables.

Ayant accompli son premier vol le 5 avril 1956, le SE-203 " Aquilon " n° 53 est réceptionné par l'Aéronavale le 12 mai de la même année. Sa carrière opérationnelle se partage entre les Flottilles 11F " Hippocampe " (1956 - 1961) et 16F " Héron noir " (mai 1961 - juin 1963) puis au sein de l'escadrille 59S Ecole de chasse embarquée ; l'année suivante, il est versé à la Section Aquilon de Cuers (SAC) où il est réformé le 24 août 1964.

Deux ans plus tard, en 1966, il est présenté en exposition statique sur la base aéronavale de Lann-Bihoué. Il est récupéré en 1977 par l'association " les Ailes Anciennes " du Bourget où il subit un début de restauration puis est donné officiellement au Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget. Finalement, en 1991, " l'Aquilon " n° 53 est transféré, sous le régime d'un prêt à longue durée, à Rochefort-sur-Mer où se trouve rassemblée une collection de matériels destinés à constituer un futur musée de l'aviation maritime.

Durant un long chantier de sept années à raison d'une journée par semaine, soit, environ 10 000 heures de travail il a été entièrement rénové du radar au réacteur (un De Havilland Ghost Mk-48-1). En juin 2018, le SE-203 " Aquilon " n° 53 est de nouveau présenté sous une livrée " midnight blue ". Ce travail de restauration a été récompensé la même année par le Grand Prix du Patrimoine aérien (Coupe Sécamic) organisé par l'Aéro-Club de France. Faisant partie des cinq aéronaves ayant concouru pour la finale, l'Aquilon a obtenu la cinquième place devant des restaurations d'avions pouvant voler.

Il est le seul avion de ce type à être préservé en France, tous les autres appareils ayant achevé leur carrière dans les parcs à ferraille.

**Vought F8 P " Crusader " n° 11.** Familièrement appelé " Crouze " par les marins français, puissant mais rustique, le monoréacteur F-8E (FN) (french Navy) " Crusader " a été spécialement adapté aux besoins de l'Aéronautique navale française. Intercepteur supersonique embarqué sur Porte-Avions, conçu au milieu des

années 1950, il joua un rôle important durant la guerre du Vietnam, au sein de l'US Navy et des Marines, au cours de laquelle les F-8 abattirent pas moins de 14 Mig 17 et 4 Mig 21 à l'aide de leurs missiles Sidewinder.

Sa particularité la plus notable est son aile à incidence variable qui permet d'augmenter l'angle d'attaque de la voilure ( $5^\circ$ ) sans que le fuselage prenne une assiette trop cabrée. Bien que ce dispositif ait donné d'excellents résultats, il ne figure sur aucun autre type d'avion réalisé en série.

Il présentait une configuration assez conventionnelle hormis son aile à incidence variable, adoptée pour offrir au pilote une bonne visibilité vers l'avant lors des manœuvres d'appontage. Cette solution offrait un autre avantage, car elle permettait d'utiliser un train d'atterrissage de petites dimensions pouvant prendre place dans le fuselage, à l'intérieur de logements peu volumineux.

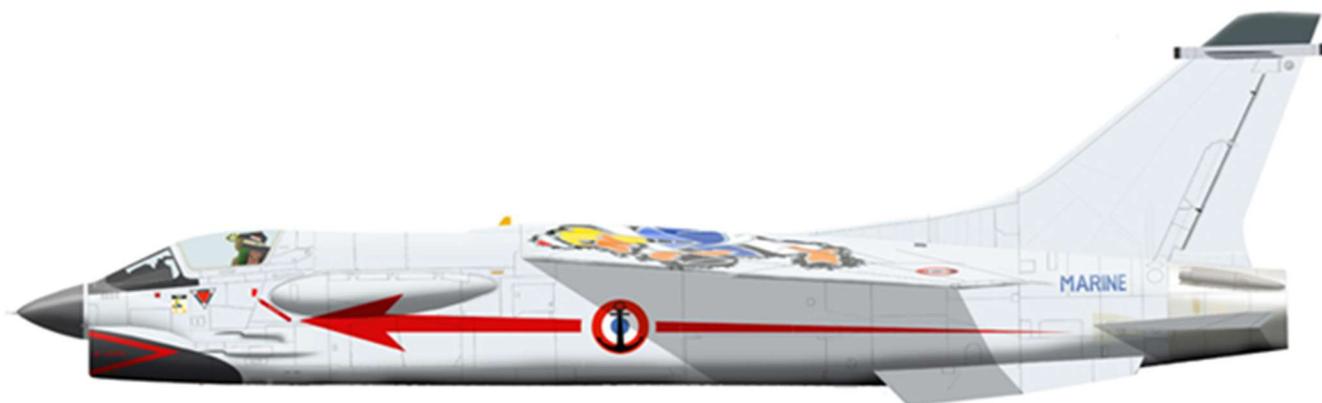
Pour la première fois au monde, le bord d'attaque de la voilure d'un avion présentait une discontinuité en dents de scie, génératrice d'un tourbillon qui, aux hautes altitudes et en évolutions serrées, empêche le décrochage des extrémités de voilure. Cette disposition devait être, par la suite, adoptée pour bien d'autres appareils.

Sur la moitié de sa longueur, le fuselage était occupé par l'énorme réacteur double corps - simple flux Pratt & Whitney J57-P-20A de 8165 kgp avec postcombustion, alimenté par une entrée d'air située sous le nez.

Plus bas que l'aile, le plan horizontal était du type monobloc. En cas de panne du moteur, une génératrice entraînée par un moulinet escamotable fournissait l'énergie nécessaire au fonctionnement des commandes de vol. Quatre pylônes montés sur les flancs du fuselage recevaient des missiles air-air à guidage infrarouge.

Les ponts des porte-avions Clémenceau et Foch ayant des dimensions très inférieures aux bâtiments américains, l'hypersustentation de la version française F-8 E (FN) fut particulièrement soignée. L'angle de braquage des bords de fuite et des volets était quasiment doublé. Ces surfaces étaient soufflées par un dispositif de contrôle de la couche limite, appelé BLC (Boundary Layer Control), alimenté en air prélevé à la sortie du compresseur du P&W J57. Les Crusader français ayant une vitesse minimale inférieure de 28 km/h à celle des autres versions, il a fallu les doter d'un empennage horizontal agrandi, afin de conserver une bonne maniabilité à l'appontage.

Commandés à 42 exemplaires, les appareils français subirent plusieurs améliorations pendant leur service. Les 17 derniers ont été portés au standard F-8 P (P comme Prolongé) afin de les prolonger jusqu'à l'arrivée du Rafale Marine. Les Crusader de la Marine nationale seront les derniers à voler dans le monde.



Vought F-8 E (FN) " Crusader " n° 11 - Flottille 12F (1999) (Copyright J. Davy). Décoration spéciale derniers vols.  
Aux Etats-Unis, l'appareil était surnommé les " 1000 miles " car il dépassait les mille miles à l'heure.

Le Vought F-8 E (FN) " Crusader " n° 11 BuAer 151742 embarque à bord de l'Arromanches qui le ramène stocké sous cocon en France, en novembre 1964. Modernisé en juin 1994 en devenant un F-8 P, il fait partie des appareils ayant totalisé le plus grand nombre d'heures de vol, 5700, et d'appontages 900. Son ultime mission opérationnelle fut l'opération " Trident " au-dessus de l'ex-Yougoslavie, en mars 1999. Dernier représentant des " Century Fighters " il a été retiré du service le 15 décembre 1999 sur la base de Landivisiau.

Dans l'histoire des 42 appareils ayant armé les flottilles de chasse embarquées 12F " Canard au tromblon " (entre octobre 1964 et décembre 1999) et 14F " Corsaire borgne " (de mars 1965 à mai 1979), le n° 11 est

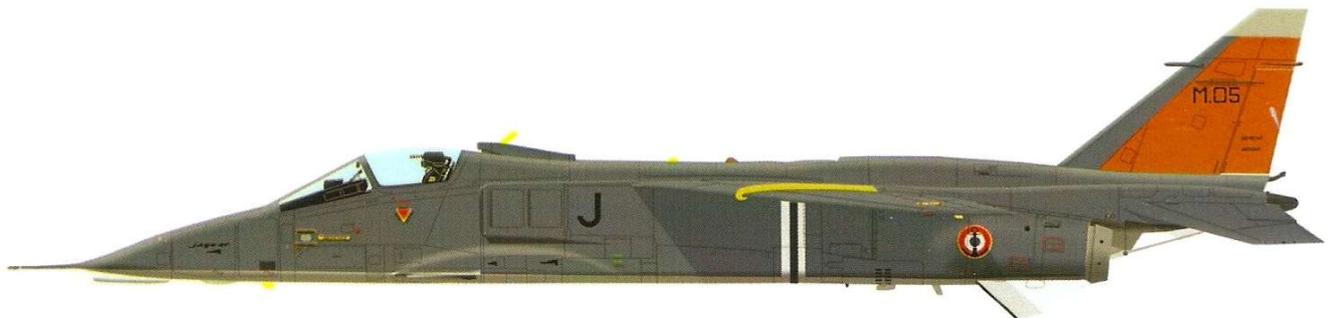
celui qui réalisa le dernier catapultage le 28 octobre 1999, avec le Capitaine de Frégate (CF) Guillot aux commandes. A cette occasion, l'ordre de catapultage fut donné au sabre et non avec l'habituel petit drapeau vert.

Stocké depuis son retrait du service, en décembre 1999, sur la base de Landivisiau, le Crusader n° 11 a été récupéré par le musée de Rochefort-sur-Mer, en novembre 2010. Présenté avec ses ailes repliées, sa perche de ravitaillement déployée et les capots de soute canons ouverts, il a conservé sa décoration spéciale appliquée lors de ses derniers vols. C'est pour rendre un dernier hommage à un avion de légende que le service technique de la flottille 12 F a redonné au " Crouze " ses couleurs d'origine : couleur métallisée, portant une flèche rouge de part et d'autre du fuselage, une entrée d'air et des montants de glaces frontales noirs, auxquelles ont été ajoutés la cocarde de l'aéronautique navale et le gigantesque canard au tromblon, apposé sur l'extrados de la voilure, insigne de la flottille et les dates 1964 - 1999.

**Sepecat Jaguar M05.** Avion monoplace biréacteur, le prototype du Jaguar M (pour Marine) a été étudié pour succéder au Dassault Etendard IV. Compact et de dimensions assez peu importantes, haut sur " pattes ", il se caractérise par son assiette cambrée (8°), son aile haute non repliable dépourvue de bords mobiles de bord d'attaque et d'ailerons remplacés par des spoilers et son empennage horizontal monobloc. Du fait de sa navalisation, l'appareil se distingue de la version terrestre par : des dispositifs hypersustentateurs modifiés (angle de braquage des volets accentué), un fuselage doté de crocs pour les élingues de catapultage et d'une crosse d'arrêt pour les appontages, un siège éjectable Mk 9 de capacité " zéro/zéro " (vitesse-altitude), un train d'atterrissage principal renforcé, un train avant allongé et des feux d'appontage tricolore et enfin des réacteurs Adour Mk 102 orientés de 6 à 7° vers le bas du fait du rehaussement du train avant. Ce qui représente une masse à vide de 500 kg supérieure au monoplace terrestre.

Après son vol inaugural, le 14 novembre 1969 à Melun-Villaroche aux mains de Jacques Jesberger, surnommé " Surcouf ", mais en raison de problèmes vibratoires le prototype rentre en chantier pour installer deux quilles anti-lacets et des cloisons verticales ou fences sur l'intrados de la voilure.

De décembre 1969 à fin 1971, le prototype suit un programme d'essais comportant trois campagnes en France (Istres, Nîmes) et Grande-Bretagne (Bedford) et deux campagnes sur porte-avions (Clémenceau) : appontages simulés sur piste (ASSP), essais de catapultages et d'appontages réels (33), puis essais avec charges externes sous voilure, essais de navigation, essais de tir, mise au point de la postcombustion modulée spécialement installée.



Sepecat Jaguar M05, immatriculé F-ZWRJ, dans sa livrée essais de vrilles (Copyright J Davy)

Abandon du programme. Les essais font apparaître les limites opérationnelles du Jaguar comme avion embarqué : sous-motorisation à l'appontage sur un seul de ses deux réacteurs, et catapultage avec postcombustion allumée (surconsommation de carburant), autonomie insuffisante pour des missions en mer. Compte tenu des modifications nécessaires tant sur l'avion (nouvelle voilure) que sur les porte-avions (renforcement catapulte, protection du pont), l'arrêt du programme est décidé en janvier 1973.

A l'été 1973, le prototype M05 est récupéré pour des essais de vrilles au profit des autres versions du Jaguar. Son dernier vol est effectué le 12 décembre 1975 par Jacques Jesberger. Le biréacteur a totalisé au cours de sa carrière plus de 350 vols d'essais entre novembre 1969 et décembre 1975. Il rejoint la base aérienne 721 de Rochefort-sur-Mer implantée sur le site de Saint-Agnant, en novembre 1978, puis est remis au Centre Ecole de l'Aéronautique Navale (CEAN) en 1986.

Les couleurs sous lesquelles il est visible à Rochefort sont celles qui ont été adoptées pour les essais de vrilles. L'extrados de l'aile gauche jaune vif, la dérive orange anticollision et les bandes noir/blanc facilitent

la restitution et l'analyse des films réalisés pendant ces essais. Sa crose d'appontage est sortie et ses capots sont ouverts pour permettre de montrer l'accessibilité aux moteurs double corps - double flux Rolls-Royce Turboméca Adour Mk-102.

**Liste des aéronefs exposés dans le hangar Dodin :**

Sepecat Jaguar M	n° 05	Dassault Super Etendard	n° 8	SE-313 Alouette II	n° 1054
MH 1521 Broussard	n° 286	Stampe & Vertongen SV-4C	n° 7	Bell 47 G1	n° 056
Nord 262 A Frégate	n° 43	Vought F8 E (FN) Crusader	n° 11	MS-760 Paris I	n° 33
Lockheed P2V-7 Neptune	n° 688	Breguet Br 1050 Alizé	n° 4	Dassault Etendard IV M	n° 7
Piper PA-31 Navajo	n° 925	Douglas C-47D Dakota	n° 716	SA-321 G Super Frelon	n° 160
Beechcraft SNB-5	n° 709	Fouga CM 175 Zéphyr	n° 16	Sud-Est SE-203 Aquilon	n° 53
Piasecki Vertol H 21 C	n° 63	Westland WG 13 Lynx	n° 03		

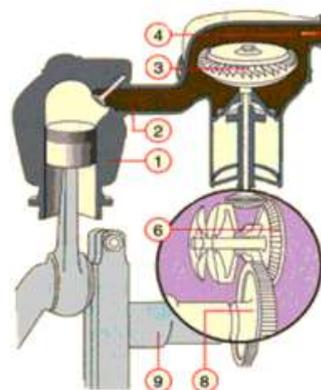
Les moteurs. En plus des avions et hélicoptères, le musée propose la découverte d'autres équipements, comme une panoplie d'une trentaine de moteurs et réacteurs présentés au pied des aéronefs. Moteurs à pistons, turboréacteurs, turbopropulseurs, turbomoteurs, tous les principaux types de propulseurs sont exposés individuellement. Une douzaine d'entre-eux ayant servi de supports pédagogiques, sont présentés sous forme d'écorchés voire animés, permettant ainsi d'en connaître le principe de fonctionnement et d'en apprécier la complexité mécanique.

C'est le cas notamment de celui propulsant le Lockheed P2-V7 " Neptune ", en coupe et animé et qui attire l'attention. Ce bimoteur de patrouille maritime a été équipé de deux moteurs à pistons Wright R-3350-32W de 3 751 ch en étoiles de 18 cylindres (9 cylindres par étoile) et de deux réacteurs d'appoint au décollage. Le " Neptune " reste le dernier bimoteur à pistons (les réacteurs ne sont que d'appoint et fonctionnent à l'essence 115/145 comme les moteurs) en usage dans l'Aéronautique Navale.

Le moteur compound utilise le même principe que le moteur turbocompressé : la récupération des gaz d'échappement. Mais la turbine, au lieu d'entraîner un compresseur, restitue directement de la puissance sur l'arbre moteur. Il est doté de trois turbines supplémentaires (PRT, Power Recovery Turbine), disposées derrière le carter moteur et réparties à 120° les unes des autres. Chacune d'elle entraîne un embrayage hydraulique afin de stabiliser les variations de vitesse de l'entraînement et fournit 300 HP de plus. Un compresseur centrifuge, suralimente le carburateur ce qui permet de conserver les performances du propulseur en altitude.



Moteur à pistons Wright R-3350-32W (Copyright - ANAMAN)



Coupe du turbo compound

(1) Cylindre, (2) Collecteur d'échappement, (3) Turbine de récupération, (4) Sortie des gaz d'échappement, (5) Arbre turbine-engrenages, (6) Engrenages réducteurs et Embrayage hydraulique, (8) Pignon sur le vilebrequin, (9) Vilebrequin

Grâce à un moteur électrique d'entraînement, ce moteur de démonstration tourne et à l'aide de l'écorché le visiteur aperçoit le mouvement des pistons ainsi que les différents éléments comme le carburateur et la veine d'air qui guide le mélange vers le compresseur centrifuge afin de suralimenter les cylindres pour qu'ils puissent délivrer 2 200 ch.

Sur la coupe du premier plan, un des trois turbo compound qui récupèrent la puissance qui est perdue dans les gaz d'échappement, 400 ch chacun, qui est ensuite retransmise mécaniquement au moteur, soit 1 200 ch de plus, ce qui donne 3 400 ch.

Et pour la phase de décollage, un dispositif d'injection d'eau méthanol est utilisé pour refroidir le mélange gazeux air essence afin d'augmenter la masse volumique lors de l'admission dans chaque cylindre. Avec un gain de 300 ch, ce qui engendre une puissance maximale de 3 750 ch au décollage.

**Simulateur LMT type 141.** Depuis 2012, une cabine de simulateur au PSV, des années 1950, complète la collection. D'origine américaine, il s'agit d'un simulateur de vol LMT 141 construit sous licence pour les besoins des Armées françaises. Il se compose de trois parties : un cockpit d'avion monomoteur avec manche, tableau de bord doté d'équipements de radionavigation, un pupitre instructeur et une table traçante retranscrivant le parcours simulé de l'avion.

**L'armement.** Le musée fait étalage d'une vaste gamme d'armements et munitions aéroportés rarement exposés dans des musées français : de la roquette à la bombe nucléaire tactique. Au titre des matériels figurent notamment : une maquette de manutention de la bombe nucléaire AN-52, un assortiment de bombes lisses conventionnelles, réservoirs pendulaires, roquettes de tous calibres, une torpille d'exercice conçue pour être réutilisée, d'où sa taille, des missiles air-air et air-sol comme un missile anti-radar AS-37 " Martel ", des châssis canon air-air de tous calibres, des roquettes non guidées.

Montée sur les Super-Étendard, l'AN-52 est une arme nucléaire française tactique aéroportée d'une puissance maximale de 25 kiloTonnes. Mesurant 4,20 m de long pour une masse d'environ 450 kg. La Marine a disposé d'un stock de 24 munitions. Trop volumineuse pour prendre place sous le fuselage, elle était montée sous l'aile droite et contrebalancée, à gauche, par un réservoir de 1000 litres. Cette préférence s'expliquait par le fait que l'évacuation de l'avion au sol se fait par le côté gauche.



Arme nucléaire AN-52



Missile Air-sol AS-37 " Martel "

Sur Super-Étendard, deux procédures de largage étaient prévues : soit en vol horizontal, soit en cabré à 35° et sur trajectoire balistique. L'arme a été retiré du service par la Marine en 1991 et remplacée par le missile de croisière Air Sol Moyenne Portée (ASMP).

Parmi cet arsenal devenu inoffensif se trouve une maquette du missile AS-37 " Martel " (acronyme pour Missile AntiRadar TELEvision) ; cet engin pesant 550 kg (dont 150 kg de charge explosive) pour 4,2 mètres de long, avait une portée allant de 50 à 150 km. Il a été développé au cours des années 1960 pour équiper les Dassault Mirage III E et les Breguet Br 1150 Atlantic (ATL 1), à raison de deux missiles sous voilure. L'Atlantic est resté en service en France jusqu'en 1996, date de son retrait officiel.

Ce missile n'a été utilisé au combat qu'une seule fois par des Jaguar A de l'armée de l'Air, le 6 janvier 1987 dans le cadre du conflit tchado-libyen, à Ouadi-Doum.

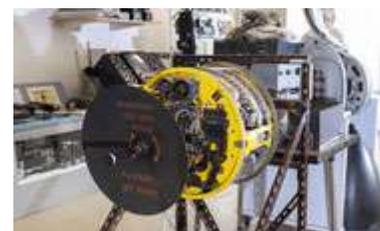
**Salle avionique.** Une salle dédiée aux tableaux de bord et équipements avioniques (radio-communication, radio-navigation, radars de bord) est intégrée dans le circuit de visite. Parfaitement remis en état, on peut notamment y découvrir : différents tableaux de bord, un radar Anémone de Super Etendard, un radar DRAA-2B embarqué sur Breguet 1150 Atlantic et une évolution de la miniaturisation dans le domaine électronique avec ces radios, de la plus récente à la plus ancienne.



Emetteurs récepteurs radios



Planches de bord



Radar de bord

Initialement installé sur Breguet 1150 Atlantic, l'ensemble radar DRAA-2B rétractable placé sous le fuselage et capable de repérer un écho de sous-marin à plus de 75 km constitue une animation particulière avec son antenne qui pivote et son écran animé à l'aide d'une vidéo de vrai radar tournant en boucle.

**Les maquettes.** Occupant la plus grande partie de l'aile ouest du Dodin et réparties dans trois salles, la collection de maquettes constitue l'un des points forts du musée. Rassemblant l'une des plus importantes collections d'Europe de maquettes (avions, hélicoptères, navires depuis La Foudre, le Bapaume, le Cdt Teste, le Dixmude, dirigeables, etc.), avec près de 1200 exemplaires dont 250, uniquement dédiées à l'Aéronavale. Pour la plupart à l'échelle 1/72<sup>ème</sup>, les maquettes comportent des modèles uniques et introuvables sur le marché. Bien mises en valeur dans plusieurs vitrines, les collections sont continuellement enrichies. Parmi les projets d'amélioration figure un petit aéroport pédagogique pour apprendre à reconnaître le matériel d'aérodrome.

Retraçant toute l'histoire de l'aéronautique depuis Clément Ader et les frères Wright jusqu'aux derniers prototypes d'aéronefs actuels, trois thèmes sont proposés :

- l'aéronautique navale,
- la deuxième guerre mondiale,
- l'aviation générale.

Dans la rubrique navires et fleurons de la force d'action navale, les maquettes de tous les porte-avions de la Marine nationale depuis 1928 sont présentées, qu'ils soient à pont droit ou à pont oblique, comme ici le Béarn (183 mètres de long), la coque d'un cuirassé type Normandie sur laquelle a été monté un pont, l'Arromanches (210 m), le La Fayette (186 m), le Clémenceau et le Foch (265 m) ainsi que le Charles de Gaulle (262 m) réalisé à l'échelle 1/700<sup>ème</sup>. Pour ceux dotés d'une piste oblique, une maquette placée dans le hall d'entrée du musée, explique le fonctionnement du bâtiment.



Porte-avions R98 Clémenceau (1959 - 1997)

Au début des années 1950, plusieurs innovations importantes ont vu le jour en Grande-Bretagne : la catapulte à vapeur conçue pour permettre de lancer des avions à réaction à des vitesses supérieures à celles des catapultes hydrauliques, un pont d'envol non plus droit mais oblique. Orienté d'un angle de 8° vers bâbord, cet " angle-deck " présentait l'avantage de faire poser les avions sur une piste entièrement dégagée vers l'avant, de supprimer les barrières destinées à protéger les appareils déjà ramassés et d'autoriser ainsi la remise des des d'un avion ayant manqué l'accrochage des brins d'arrêt.

Désormais la mise en œuvre des aéronefs à bord du bâtiment ne se limite plus aux seuls lancements et ramassages mais à l'exploitation du pont d'envol et du hangar.

**Salle Aérostation.** C'est en 1916, qu'a été créé à Rochefort, un centre d'aérostation maritime (CAM) chargé à la fois de surveiller le littoral et de contribuer à la formation des personnels de l'aéronautique navale. Pour conserver l'histoire de cette base et mettre en valeur ce patrimoine au travers du Musée, une salle inaugurée en début d'année 2016, est dédiée entièrement à l'aérostation.



Dirigeable l'Escorteur E-8 conçu par Zodiac  
(maquette en bois de près de 50 kg, réalisée dans les années 80)



Treuil hippomobile à vapeur (1878)

Plusieurs objets et équipements souvent remarquables sont présents dans cette salle : maquettes de dirigeables comme le " Dixmude ", un ancien Zeppelin disparu tragiquement en décembre 1923, et l'Escorteur E-8 de type semi-rigide construit par la firme Zodiac en 1931 (volume de 10 170 m<sup>3</sup> d'hydrogène propulsé par deux moteurs Hispano-Suiza de 350 Ch). Mais deux pièces maîtresses trônent dans la salle consacrée à l'aérostation : un treuil hippomobile confié par le Musée de l'Air et de l'Espace et une partie de la nacelle canon ZD4 datant de 1917 (ayant nécessité environ 10 années de travaux de menuiserie) qui équipait le dirigeable Vedette Zodiac V 10 (V pour vedette) ainsi que de nombreuses documentations et photos.

Considéré comme une pièce unique, le treuil hippomobile à vapeur, a été inventé vers 1878 et utilisé pour les manœuvres des ballons captifs.

**La bibliothèque.** La bibliothèque est riche de quelques milliers de documents qui vont de la notice technique des avions, régulièrement consultée par les mécaniciens en charge de la maintenance des appareils, des collections de revues, des livres se rapportant à l'Histoire de la Marine et de sa composante aéronavale, des manuels de cours théoriques. Elle propose également des documents concernant autant des marines étrangères que des livres sur l'Histoire des conflits.

### *Le hangar Saint-Trojan*

A quelques centaines de mètres du hall d'exposition et baptisé l'atelier des " miracles ", le hangar Saint-Trojan a été érigé au début des années 1980 pour l'instruction de stagiaires étrangers : indiens, pakistanais, iraniens, irakiens, saoudiens, émiratis, libyens et thaïlandais grâce à une structure adaptée au sein de la DGA.

Au cours de la décennie suivante, les restrictions budgétaires contraignent la Marine à fermer de nombreux établissements. Le hangar Saint-Trojan accueille ainsi, en mars 1985, l'Ecole d'Initiation au Pilotage (EIP) et l'escadrille 51S volant sur Cap 10 B et MS-880 " Rallye " en provenance de Fréjus jusqu'en 2002. La Marine ferme son Centre Ecole (CEAN) de Rochefort et l'EIP/51S s'envole vers le ciel de Bretagne, à Lanvéoc Poulmic.

Depuis cette date, les avions ayant été utilisés pour la formation des mécaniciens de l'aéronautique navale y sont entreposés jusqu'à un simulateur de cabine d'entraînement de Breguet 1150 Atlantic. Les dix aéronefs sont soit stockés, soit en restauration.

North-American Harvard II	n° 3820	Sikorsky HSS-1	n° 150	Breguet Br 1050 Alizé	n° 1
Dewoitine D-520	n° 650	Westland WG 13 Lynx	n° 04	Beechcraft JRB-4	n° 25
Fouga CM 175 Zéphyr	n° 1	Dassault MD 312 Flamant	n° 294	MS Rallye 100 S	n°2470
Dassault Etendard IV M	n° 05	Caudron C-800 Epervier	n° 205		

**Etendard IV P n° 115.** Pièce rare et unique, la partie arrière ou rostre criblé d'éclats d'un Etendard IV P (P comme photo) n° 115 ayant appartenu à la Flottille 16F est entreposé. Lors d'une mission de reconnaissance au-dessus de la Bosnie Bosnie-Herzégovine le 15 avril 1994, l'appareil s'est retrouvé aux prises avec un missile sol-air SA-14 à guidage infrarouge. Privé d'une partie de son empennage de profondeur (côté droit), dérive criblée d'impacts, le pilote, le Capitaine de Corvette Clary, parvient à rejoindre son porte-avions Clemenceau non sans difficulté, après un appontage à une vitesse supérieure à la normale, 300 km/h alors que la vitesse maximale est de 256 km/h. De retour en France, l'appareil est réparé. Symboliquement, le n° 115, est le dernier Etendard IV à effectuer une mission au-dessus du Kosovo, le 27 juin 2000.



**Dewoitine D-520.** Autre pièce surprenante et unique, un authentique Dewoitine D-520 est en fin de restauration après vingt ans de travaux et plus de 20 000 heures de travail. C'est l'un des rares exemplaires à encore exister (905 appareils au total ont été construits) avec ceux du Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget, les n° 603 et n° 862. Une quatrième machine, le n° 408, fut remis en état de vol en 1980 mais elle disparut tragiquement avec son pilote dans un crash lors d'une manifestation aérienne, à Vannes, en juillet 1986. Considéré comme le meilleur avion de chasse aligné par la France en mai-juin 1940, le " racer au long nez " a été utilisé aussi bien par l'Armée de l'air que par l'Aéronautique navale mais aussi par la Luftwaffe et les forces aériennes italienne et bulgare.

Portant le numéro de série 650, c'est un modèle monoplace sorti de la chaîne d'assemblage finale de l'usine Dewoitine de Toulouse-Saint-Martin du Touch, le 22 juillet 1942.



Dewoitine D.520 aux couleurs de la Luftwaffe (1943) (Copyright - J F Kauffmann)

Cet exemplaire a d'abord été livré, au mois de septembre, au dépôt de stockage de Pau puis vole, suite à l'invasion de la zone libre en novembre, sous les couleurs de la Jagdgeschwader JG-107 basée à Nancy-Essey pour la formation des pilotes de chasse de la Luftwaffe. Opérant avec une flotte mixte d'appareils d'origine allemande, italienne, française et même américaine, la JG-107 a été active entre janvier 1943 et fin mai 1944.

Récupéré à Toulouse en septembre 1944, l'appareil est utilisé par le 1<sup>er</sup> groupe de chasse, ou groupe Doret, des Forces Françaises de l'Intérieur (FFI) lors de la bataille des poches de l'Atlantique. Combinant camouflage allemand et cocardes FFI, les appareils étaient identifiables grâce à leurs bandes blanches et noires sur le fuselage et les ailes, obligatoires pour le survol du territoire métropolitain, jusqu'en fin d'année 1944, mais aussi pour la renumérotation séquentielle par rapport à leur sortie d'usine, d'où le code apposé sur leur dérive.

En décembre de la même année, cette unité donne naissance au Groupe de Chasse GC 2/18 " Saintonge ", où l'appareil, codé " 13 ", dépourvu de ses bandes dites d'invasion, participe à des missions d'observation et d'espionnage, photographie aérienne. En janvier 1945, l'appareil est accidenté en plein vol au cours d'une séance d'entraînement avec un autre Dewoitine. Réparé il est ensuite transféré, en fin février, à la 2<sup>ème</sup> escadrille du Groupe de Chasse Bombardement GCB 1/18 " Vendée " basée à Cognac où il est renuméroté " 26 ". Au sein de cette unité, il effectue plusieurs missions de reconnaissance à l'aide d'une caméra sur la Pointe de Grave et la région de Royan. Ce groupe est dissous en octobre 1945.



Dewoitine D.520 n° 650 avec son numéro individuel d'identification 13 - Groupe de chasse Doret (Octobre 1944)

Dans l'immédiat après-guerre, en mai 1946, il fait partie du lot de 14 exemplaires de D.520 que l'Atelier Aéronautique de Colombes (AAC) fut chargé de transformer en biplace d'école de pilotage à deux sièges en tandem dit à Double Commande (DC). Affecté à l'Ecole des Moniteurs de Tours (BE 704) avec une livrée entièrement métal naturel, à l'exception du dessus du capot moteur, pour la formation des instructeurs, il y demeure jusqu'à la dissolution de l'unité le 31 août 1947. Sous sa nouvelle identité, le D.520 n°650 DC est livré, en fin juin 1948, à l'Escadrille de Présentation de l'Armée de l'Air EPAA 58 qui devient en 1948 la " Patrouille d'Etampes ", prélude à la future " Patrouille de France ". Faisant partie d'une section " Chasse ", il est utilisé pour conserver la qualification des pilotes. Au cours d'un vol d'entraînement, en mars 1953, victime d'une panne moteur il se pose en pleine campagne, train rentré.



Dewoitine D.520 DC n° 650 Etampes EPAA 58 (1950) (Copyright - Georges Olivereau).

L'absence de peinture, hormis le dessus du capot moteur, permettait de gagner quelques kilos et un peu de traînée. Les antennes radio supérieure (réception) et ventrale escamotable (émission) ont été supprimées.

Lors de la dissolution de la " Patouille d'Etampes ", en septembre 1953, il est racheté aux Domaines par le personnel de la base aérienne désireux de conserver un des D.520 ayant appartenu à l'EPAA n°58. Il stationne durant 20 ans sur le terrain d'Etampes-Montdésir. Malgré son mauvais état (absence du carénage du radiateur, des karmans de raccordement aile-fuselage, des carénages de jambes de train, ainsi que le remplacement des jambes de train elles-mêmes par des morceaux de tubes), le 650 est récupéré, en 1974, par l'association " l'Escadrille du Souvenir " créée par Jean Salis sur le l'aérodrome de Cerny (Ferté Alais) qui fait voler des avions anciens. Il y est entièrement démonté mais non restauré. Dans les années 1980, il est visible à Toussus-le-Noble. Appartenant au Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget, il est mis en prêt longue durée au Musée de l'Aéronautique Navale de Rochefort-sur-Mer à la fin des années 1980.



Dewoitine D.520 n°650 DC de l'Escadrille de Présentation de l'Armée de l'Air EPAA 58. Photographie prise le 13 mars 1953 peu après son poser en pleine campagne beauceronne, train rentré (Copyright - Eric Moreau).

Le Dewoitine D.520 n° 650 sera exposé à l'automne 2020 aux couleurs de l'Escadrille 2AC " Canard au tromblon " (automne 1940) appartenant à la Flottille 1F de l'Aéronautique navale.

#### Insignes des unités ayant utilisé le Dewoitine D520 entre 1942 et 1953



Jagdgeschwader JG-107



Groupe de Chasse GC 2/18  
" Saintonge "



Groupe de Chasse Bombardement  
GCB 1/18 " Vendée "



Escadrille de Présentation  
de l'Armée de l'Air EPAA 58

**Restauration du Dewoitine n°650.** Le D.520 ayant été transformé en biplace à double commande après la guerre, hormis les travaux classiques de remise en état, l'appareil - récupéré vide et sans moteur - a dû être reconverti en chasseur monoplace en redessinant la partie arrière du cockpit (suppression des glaces arrière) d'après les plans du constructeur.

Après la récupération de documents, plans constructeur et photos et des recherches menées sur l'installation d'un moteur d'origine de type Hispano-Suiza 12Y 45 couplé à une hélice tripale à pas variable Chauvière et des karmans de voilures, les grandes étapes de la restauration ont été : la fabrication de la casserole d'hélice, des antennes radio et des pipes d'échappement puis le ré-entoilage des gouvernes. Mais aussi la reconstruction à partir de plans des empennages, des trappes de trains d'atterrissage et des intrados de voilures, totalement broyés.



Dewoitine D.520 n° 650 codé 1 Escadrille 2AC - Lartigue-Tafaraoui 1940 (Copyright - J. Davy)

D'autres travaux ont porté sur le poste de pilotage et notamment sur la planche de bord, mêlant des équipements d'époque et d'autres reproduits à l'identique à partir de photos comme les boîtiers de contrôle du moteur voire spectaculaire comme le collimateur OPL RX 39 ou " temple grec " (dit aussi, " la lanterne ") refait pièce par pièce. Au total, la restauration de l'appareil qui représente plus de 20.000 heures de travail aura duré près de vingt ans.

Depuis sa création, en 1988, le Dewoitine D.520 est le huitième aéronef restauré.



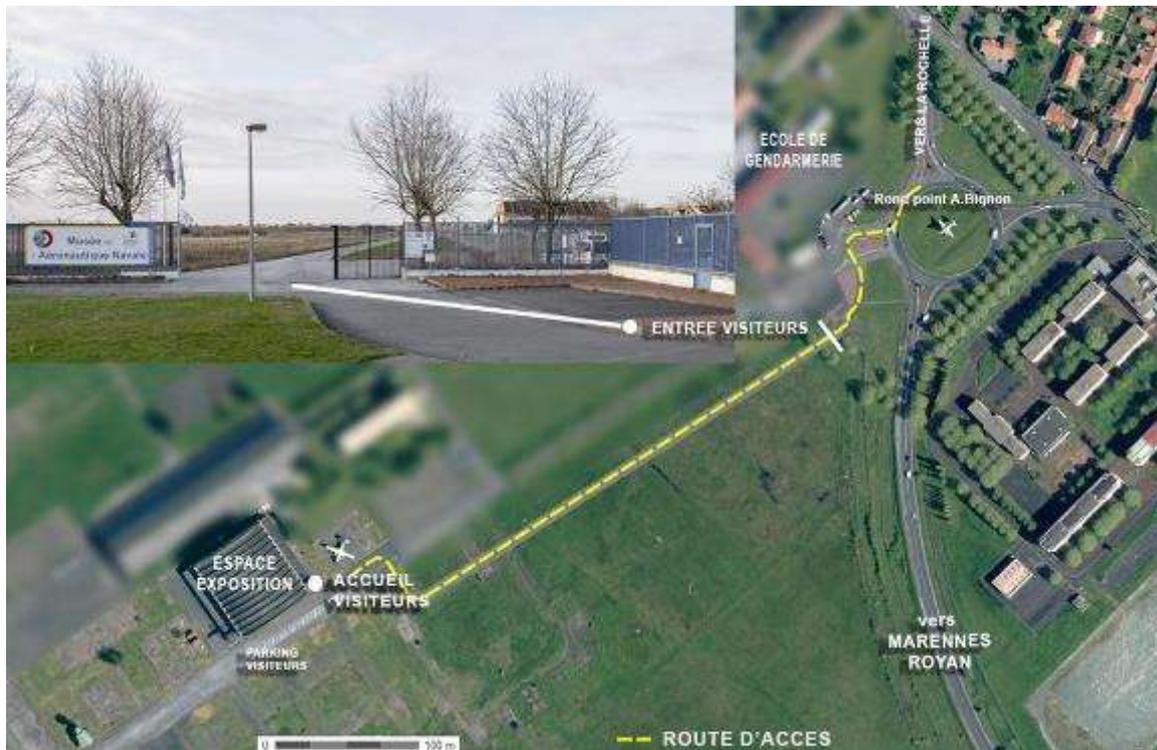
Prototype 02 du Dassault Super Etendard exposé en " pot de fleur " aéronautique devant le musée. L'appareil qui effectua son vol inaugural le 28 mars 1975, n'était autre que l'Etendard IV M n° 18. Après ses essais en vol et deux campagnes en mer à bord du Clémenceau, en mars et juin 1976, l'appareil fut envoyé sur la BAN de Rochefort pour servir de cellule d'instruction au sein de l'Ecole des Mécaniciens et termina sa carrière au musée.

Abritée dans un lieu riche dans l'épopée de l'aviation maritime, le musée de l'aéronautique navale de Rochefort-sur-Mer présente une collection unique en France par sa taille, sa qualité et sa diversité. Pour le puriste il ne manque que la présentation d'un ou deux aéronefs en situation, par exemple : appontage, avion cabré sur le train principal, crosse d'appontage baissée et accrochant un brin d'arrêt etc. et le Rafale Marine.

Enfin, il faut mentionner un accueil fort sympathique des bénévoles et des visites guidées et commentées par des guides experts en aéronautique, très intéressants et passionnés. Au final deux heures trente de visite et d'exploration ... qui passent bien trop vite.

N'hésitez pas à vous y rendre pour le découvrir, ainsi que tous les autres trésors qui y sont préservés.

En 2019, le musée a reçu 7 000 visiteurs.



**Remerciements.** Mes remerciements vont au vice-président de l'association nationale du musée de l'aéronautique navale (A.N.A.M.A.N.), Mr Lafrette, et j'adresse un merci particulier à Jean Philippe Joyeux, mon guide au cours de ma visite au musée de Rochefort-sur-Mer ainsi qu'à Mr Eric Moreau.

Merci aux membres de l'ANAMAN ayant participé à la rédaction (J. Camecasse, C. Cabanel, J. Kermonnach, Jacques Labrousse, J. Davy, J.M. Bonafous))

**Bibliographie & références.** Revue " Aéro Journal " Hors-Série n° 8 Décembre 2004 - Les avions français au combat Le Dewoitine D.520. Le Dewoitine D.520 de J. Cuny et R. Danel - Collection Docavia Volume 4 - Edition Larivière (Janvier 1980). Copyright [http://aviatechno.net/constellation/turbo\\_compound.php](http://aviatechno.net/constellation/turbo_compound.php).

## *Les musées aéronautiques français*

Une trentaine de musées aéronautiques français de tailles diverses méritent le détour. N'hésitez pas à faire une (longue) halte, tout curieux peut y trouver intérêt.

Les musées consacrés à l'aviation sont nombreux et se trouvent dans toutes les régions de France voire en Guyane, à Kourou. Ils valent largement un petit crochet sur la route des vacances.

### **Ile-de-France**

- Musée de l'aviation Jacques Maillard, Warluis (Oise)
- Musée de l'Air et de l'Espace, Le Bourget (Seine-Saint-Denis)
- Musée des Arts et métiers, Paris
- Musée de la Ballonnière et du Jamboree de 1947, Moisson (Yvelines)
- Musée Delta, Athis-Mons (Essonne)
- Amicale Jean-Baptiste Salis, La Ferté-Alais (Essonne)
- Musée de l'aviation de Melun-Villaroche (Seine-et-Marne)
- Musée aéronautique et spatial Safran à Melun (Seine-et-Marne)

### **Hauts-de-France**

- La Coupole, Saint-Omer (Pas-de-Calais)
- Musée des Frères Caudron, Rue (Somme)
- Musée de l'Épopée et de l'Industrie Aéronautique, Albert (Somme)



Musée Aeroscopia, Blagnac

### **Normandie**

- Musée de la batterie de Merville, Merville-Franceville-Plage (Calvados)
- Musée des Ballons, Château de Balleroy (Calvados)
- Musée Airborne, Sainte-Mère-Église (Manche)
- Musée du débarquement Utah Beach, Sainte-Marie-du-Mont (Manche)

### **Centre Val de Loire**

- Musée régional de l'air d'Angers-Marcé (Maine et Loire)
- Conservatoire d'Aéronefs Non Opérationnels Préservés et Exposés (CANOPEE), Châteaudun (Eure-et-Loir)
- Musée Aéronautique du Berry, Touchay (Cher)

### **Pays de la Loire**

- Musée aéronautique Presqu'Île Côte d'Amour, La Baule-Escoublac (Loire-Atlantique)
- L'Aéroscope Nantes Atlantique, Bouguenais (Loire-Atlantique)
- Les Aéroplanes à Château-Bougon (Loire-Atlantique)

### **Bretagne**

- Musée Aéronautique de Cornouaille, Plobannalec-Lesconil (Finistère)

### **Grand-Est**

- Le Musée de l'aéronautique locale de Bétheny (Marne)

Musée du terrain d'aviation militaire de Condé-Vraux (Marne)  
Musée des débuts de l'aviation, Sedan-Douzy (Ardennes)  
Musée de la base aérienne 133 de Nancy-Ochey (Meurthe-et-Moselle)

### **Bourgogne Franche-Comté**

Musée du Château de Savigny-lès-Beaune, Savigny-lès-Beaune (Côte d'Or)

### **Auvergne Rhône-Alpes**

Musée de l'Aviation Clément Ader à Lyon-Corbas (Rhône)  
Centre d'études et de loisirs aérospatiaux de Grenoble (CELAG), le Versoud (Isère)  
Le Musée des Papeteries Canson et Montgolfier, Annonay (Ardèche)  
Association AéroRetro, Saint Rambert-d'Albon (Drôme)  
Musée européen de l'aviation de chasse, Montélimar (Drôme)

### **Provence Alpes Côte d'Azur**

Musée de la base aérienne 115 d'Orange-Caritat (Vaucluse)  
Musée aéronautique d'Orange (Vaucluse)  
Musée de l'Aviation, Saint-Victoret (Bouches du Rhône)



Musée de l'Aviation légère de l'Armée de terre (Alat) et de l'Hélicoptère, Dax

### **Occitanie**

Aeroscopia, Blagnac (Haute Garonne)  
Ailes Anciennes Toulouse, Blagnac (Haute Garonne)  
Musée d'aviation légère de la Montagne noire, Revel (Haute Garonne)  
Musée Aéronautique Léon Elissalde, Bagnères-de-Luchon (Haute Garonne)

### **Nouvelle Aquitaine**

Musée de l'aéronautique navale, Rochefort-sur-Mer (Charente Maritime)  
Musée aéronautique de la Base aérienne 709 de Cognac-Châteaubernard (Charente)  
Conservatoire de l'air et de l'espace d'Aquitaine, Bordeaux-Mérignac (Gironde)  
Musée historique de l'hydraviation, Biscarrosse (Landes)  
Musée de l'Aviation légère de l'Armée de terre (Alat) et de l'Hélicoptère, Dax (Landes)  
Musée des parachutistes de Pau (Pyrénées-Atlantiques)



Musée de l'aéronautique navale, Rochefort-sur-Mer

## *Le Dassault-Bréguet Mirage F-1 E01 : banc d'essais volant du M53*

" Sur un prototype, à chaque fois que vous décollez, vous pouvez faire quelque chose de nouveau, du moins lors des cinquante premiers vols.

Au début la progression est lente, méthodique... Certaines choses surprennent un peu tout le monde, au niveau des détails, ou non. "

Guy Mitaux-Maurouard

### *Genèse*

A la fin des années 1960, la Snecma lance (juillet 1967) le programme d'un moteur double flux simple corps - une configuration atypique - destiné à une bimotorisation d'avions rapides (Mach 2,5 et plus) désigné originellement Super Atar puis M53. Cette désignation M53, indiquant qu'il s'agit du 53<sup>ème</sup> avant-projet du motoriste depuis 1945. Cinq critères président à son développement : diamètre semblable à celui de l'Atar 9K50, performances supérieures dans tous les domaines à ce dernier type d'Atar, capacité de dépasser Mach 2,5 à 11 000 m d'altitude, une consommation spécifique améliorée en vol subsonique et, enfin, un gain de poids.

Réalisant sa première rotation au banc en février 1970, à Melun-Villaroche, le nouveau propulseur délivre 5 500 kg de poussée en sec et 8 500 kg avec rechauffe comparativement à l'Atar 9K50 fournissant 5 000 kgp en sec et 7 200 kgp avec rechauffe. Surtout, le M53 est plus léger (14 %), plus court (18,5 %) et moins gourmand en carburant (13 %) que l'Atar 9K50.

Après les succès du moteur aux essais d'endurance, en 1971, Dassault élabore trois projets de remotorisation du Mirage F-1 C équipé d'un Atar 9K50 alors commandé en série pour l'armée de l'Air française.

Le premier projet qui présente un devis de masse supérieur de plus de 150 kg par rapport au Mirage F-1 C offre une consommation spécifique inférieure de 13% pour des missions d'attaque au sol en subsonique et une poussée supérieure de 18% pour les missions d'interception.

Etudiée au début de l'année 1971, le second projet est une version navalisée dénommée Mirage F-1 M (M pour Marine) équipé d'un moteur M53-2 sans postcombustion de 5 500 kgp assurant des missions d'interception, d'assaut maritime et nucléaire. Malgré ses performances globalement identiques à celles du premier projet, la version embarquée est finalement abandonnée au profit du Super Etendard propulsé par un Atar 8K50. Le projet de navalisation n'aboutira pas en raison de sa vitesse d'approche trop élevée (265 km/h au lieu de 230 km/h) et du surcroît de masse (400 kg).



L'unique prototype du Mirage F-1 E01 - M53-02 avec son revêtement métallisé (décembre 1974 - Mai 1975).  
Pour ce premier vol, l'appareil a dépassé Mach 1,3. (Copyright Dassault Aviation)

Présentant un devis de masse supérieur de plus de 800 kg par rapport au Mirage F-1 C, le troisième projet dénommé Mirage F-1 E, E comme Europe, est celui d'une version proposée dans le cadre du " Marché du siècle " du mois d'avril 1974 concernant l'achat de 348 avions de combat par quatre forces aériennes : Pays-Bas, Danemark, Norvège et Belgique. Cinq concurrents sont en lice : Sepecat " Jaguar ", Saab J37 E " Viggen ", Northrop YF-17 " Cobra " et General Dynamics YF-16 " Fighting Falcon ". Finaliste de la compétition avec le YF-16, l'avion français est écarté du fait de la supériorité du monomoteur américain dans les domaines de l'agilité, supérieure grâce à ses commandes de vol électriques, de son minimanche latéral permettant

d'incliner le siège éjectable d'un angle d'environ 30° et ainsi de supporter des facteurs de charge supérieurs et surtout un rapport poids sur poussée de 1 alors que le Dassault Mirage F-1 E n'affiche que 0.85. Une version biplace, dénommée F-1 D, dotée des mêmes fonctionnalités que le monoplace avait été envisagée.

Par la suite l'avion fut reconverti en banc d'essais volant du M53-2 au profit du programme du biréacteur ACF (Avion de Combat Futur) dont l'armée de l'Air a exprimé le besoin pour les années 1980. Il est finalement abandonné pour des raisons financières, en décembre 1975, au profit du programme du Mirage 2000, à ailes delta et commandes de vol électriques.

## *Description du Mirage F-1 E*

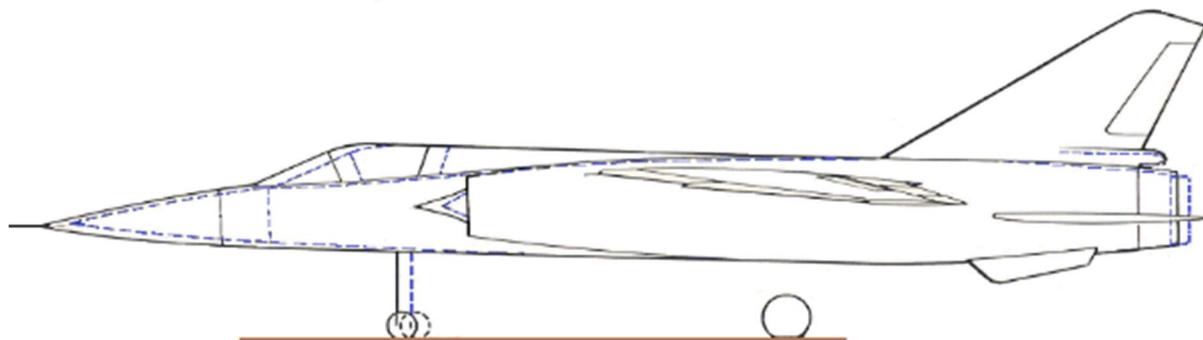


Lancé en mars 1973 et réalisé en vingt et un mois, le Mirage F-1 E 01 effectue son vol inaugural le 22 décembre 1974 à Istres, aux mains de Guy Mitaux-Maurouard. Dès ses premiers vols, l'avion devient supersonique (Mach 1,35) puis bisonique.

Sur le plan technique, voilure, empennages, quilles de lacet et toutes les parties mobiles du fuselage (trappes de train d'atterrissage et portes de visite, aérofreins, etc.) sont rigoureusement identiques et interchangeables avec les éléments du Mirage F-1 C 9K50.

Hormis ces éléments, le Mirage F-1 E 01 présente plusieurs différences par rapport à celui-ci du fait de la mise en place du nouveau propulseur - de longueur moindre et plus léger que le 9K50 - qui nécessite de revoir la structure (principalement à l'arrière), d'agrandir les entrées d'air et les souris à section variable, de renforcer le train d'atterrissage principal et d'avancer le train avant. L'appareil dispose d'un système de démarrage basé sur une turbine libre fixée sur la face avant du support d'accessoires du M53 avec une tuyère débouchant sur le flanc droit du fuselage, au droit du bord de fuite de l'aile. Le démarrage n'est pas autonome car la modification pour ajouter un turbodémarrreur sur l'avion est trop importante : le lancement du M53 s'effectue avec un groupe de démarrage à air comprimé de type " Palouste ".

Entre les deux quilles antilacets, une place est allouée à l'installation d'une crosse d'arrêt escamotable.



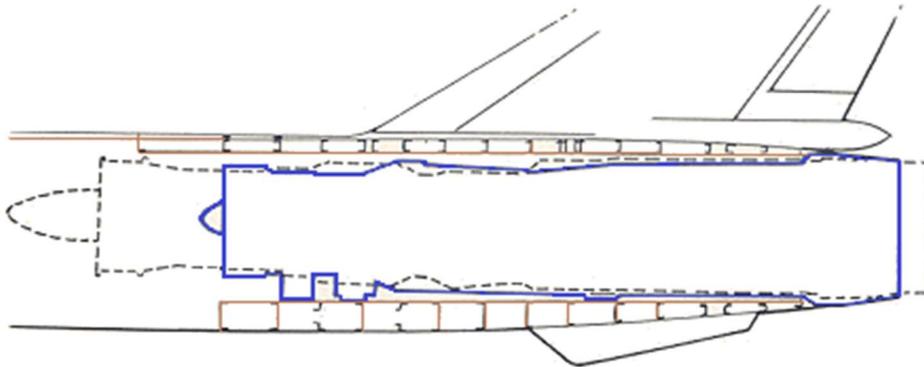
Sur ces deux dessins de profil superposés, le Mirage F-1 E / M53-02 figure en traits pleins et le Mirage F-1 9K50 en pointillés

Le cône arrière ou croupion est raccourci pour loger le M53-02 plus léger et plus court : 4 m 83 contre 5 m 94 pour l'Atar 9K50. Peu après ses premiers vols, le carénage abritant le parachute de freinage est relocalisé plus haut sur la dérive de même que le pied de dérive a été légèrement rallongé vers l'avant. Pour assurer une meilleure ventilation du tunnel réacteur, une écope placée sur le flanc gauche du fuselage sert à by-passer une partie de l'air arrivant dans la manche d'alimentation du moteur dans certains régimes de fonctionnement.

Les entrées d'air et les manches d'alimentation qui leur font suite voient leur section augmentée (13 %) de façon à absorber le débit d'air plus important du nouveau réacteur. Elles sont dotées de souris biconiques en lieu et place des traditionnelles souris " droites ". La pointe avant de la souris



offre un angle de 30° inférieur à celui de la partie arrière, afin d'augmenter le rendement des entrées d'air en diminuant la recompression de l'air dans la manche, en aval de la souris. Cette définition assure une meilleure accélération de l'avion de Mach 0.9 à Mach 2 et réduit les perturbations du moteur lors de tirs, canons et missiles, en altitude.



Ces deux dessins superposés montrent l'installation du moteur M53-02 en traits gras et l'Atar 9K50 en pointillés

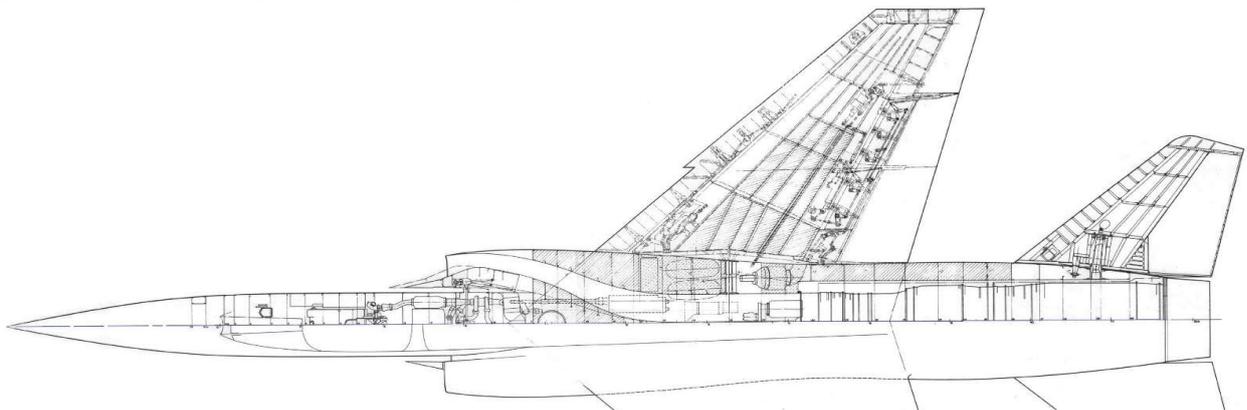
Afin de rétablir le centrage de l'avion, le fuselage est rallongé d'environ 20 cm entre le plan d'entrée d'air et le poste de pilotage. Cela offre un volume supérieur pour les équipements et une soute avionique allongée. Enfin, une pointe avant inclinée à 24°, plus volumineuse de 15% et plus courte, a été mise en place pour rattraper la longueur hors-tout du Mirage F-1 C, intégrer une perche de ravitaillement rétractable et de loger à terme un radar frontal multi-missions plus performant.

**Installation d'essais (IE).** Du fait de sa vocation comme banc d'essais volant, ses deux spécificités - indispensables sur un monoréacteur - sont l'ajout d'une RAT (Ram Air Turbine) une turbine à air dynamique ou éolienne et sortie sur commande pilote. Seuls trois prototypes d'avions de combat monomoteurs de chez Dassault ont été équipés d'une RAT au cours des années 1960 : le Mirage III F2 01 (1966 - 1969), le Mirage III VO2 (1966) et le Mirage G (1967 - 1971). Située sous le fuselage près du train d'atterrissage gauche, son hélice exposée au vent relatif alimente une pompe pour les servitudes hydrauliques et les commandes de vol. De même, le circuit hydraulique est renforcé avec une seconde électropompe à courant continu et d'une bête de capacité supérieure au modèle standard. Sur le circuit électrique, une seconde batterie alimente la seule installation d'essais. Ces équipements de secours démontreront par la suite tout leur intérêt.

Représentant une masse totale de 569 kg, l'installation d'essais comporte principalement : un enregistreur à bande magnétique Schlumberger, deux boîtiers d'acquisition SAMUEL de 60 paramètres maximum chacun, deux enregistreurs de paramètres Hussenot-Beaudoin (HB) ou Hussenographes capables d'enregistrer chacun une vingtaine de paramètres, plus le temps en secondes, sur une bande de papier photographique, et une télémesure qui envoie au sol instantanément tous les paramètres de l'avion.

Le système de mesures permet d'acquérir, d'enregistrer et de transmettre des informations tant des conditions de vol de l'avion que du moteur M53 en essai (pressions, températures, positions, efforts, vibrations, etc.) au moyen d'un ensemble de capteurs installés. Il prend en compte aussi les paramètres issus des équipements de l'avionique et du calculateur moteur.

A l'époque, cette installation était un exemple de transition technologique intégrant des enregistreurs photographiques, des enregistreurs à bande magnétique et des équipements électroniques analogiques.



Mirage F-1 E / M53 - Ensemble aménagé (Copyright Mr Michel Liébert)

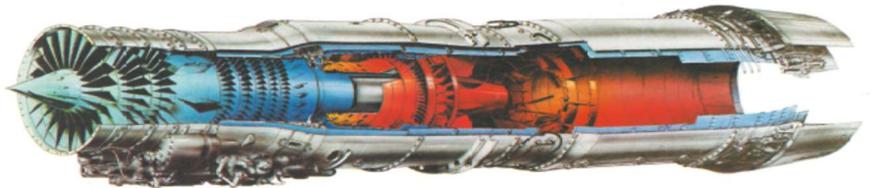
## *Les travaux de développement du moteur*

L'épreuve de qualification du M53-02 pour le vol sur Mirage F-1 E a été réalisée avec succès en juin 1974. Elle comportait 40 cycles d'une durée totale de 50 heures dont près de la moitié à la température maximale devant turbine. Un essai complémentaire d'endurance d'une durée de 100 heures qui s'est terminé en décembre comportait, lui aussi, près de la moitié du temps de fonctionnement à température maximale devant turbine.

Des essais simulant le fonctionnement à grande vitesse ont été réalisés sur les installations du Centre d'Essais des Propulseurs de Saclay.

Au 15 décembre 1974, plus de 2 900 heures de fonctionnement avaient été réalisées. Le nombre de moteurs fabriqués était au nombre de 16 exemplaires dont 3 expérimentaux (n° 201, 202 et 203), 10 dédiés aux essais au banc et en vol et 3 pour les essais supersoniques sur Mirage F-1 E.

Les activités de développement se sont poursuivies en 1975 avec l'obtention à la fin de l'année de l'épreuve officielle d'endurance de 150 heures (épreuve T) dont 36 heures en altitude et en vitesse simulées.



Ecorché du M53-2

De son lancement à son homologation, le M53-02 a été développé en sept ans (1970 - 1976) : 2 années de démonstration plus 5 de développement. Lancé à la fin de l'année 1975 et homologué en 1983, le M53-5 se caractérise par un système de régulation plus complexe du fait de l'ajout de dispositifs de secours, un élargissement du domaine de vol vers les basses vitesses et un accroissement de la poussée.

## *Les essais en vol avionneur (1974 - 1975)*

Initialement, l'avion se voit confier un programme de deux ans d'essais-moteur pour le programme du biracteur ACF (Avion de Combat Futur) dont l'armée de l'Air a exprimé le besoin pour les années 1980, mais finalement abandonné en décembre 1975. L'expérimentation sur avion rapide reste irremplaçable notamment pour tout ce qui concerne le fonctionnement du moteur en conditions non stabilisées, par exemple au cours des évolutions de l'avion tant en subsonique qu'en supersonique et en régimes transitoires.

Entre les mois de novembre et début décembre 1974, une série de points fixes avion et moteur est réalisée par les techniciens de Dassault et Snecma avant que le pilote d'essais, Guy Mitaux-Maurouard, le prenne en main pour faire un point fixe complet et enchaîner quelques essais de rouleur. Dernière étape avant le premier vol, ces essais permettent de découvrir le comportement du prototype au taxiage et sur piste, au roulage, jusqu'à la vitesse de décollage, tout en testant les freins. Un dernier rouleur conduit jusqu'au lever de roulette du train avant après réduction du régime du moteur afin de ne pas risquer de décoller.

Après son premier décollage le 22 décembre 1974, le Mirage F-1 E 01 atteint Mach 2,05 dès la cinquième sortie, c'est-à-dire en moins de 5 heures de vol. Cette performance, peu commune pour un avion équipé d'un nouveau moteur, met en évidence la maturité de la mise au point du M53-02, acquise à la suite des nombreux essais effectués sur les composants du moteur ainsi que sur des moteurs complets, aussi bien au sol que sur le banc volant Caravelle.



Mirage F-1 E01 / M53 aux couleurs européennes  
(Copyright Jacques Guillem)

Si le rayon d'action n'est que légèrement augmenté, les caractéristiques d'interception et de combat sont nettement supérieures à celles de son prédécesseur : montée à Mach 1,8 à 40 000 ft (12 190 mètres) en 5 mn 20 s au lieu de 8 mn.

Deux périodes caractérisent le déroulement des essais en vol de l'appareil : la première qui se déroule entre décembre 1974 et juillet 1975 au cours de laquelle l'appareil vole essentiellement aux mains des pilotes de l'avionneur, la seconde période dédiée exclusivement à la mise au point du moteur M53-02 puis M53-5.

Pendant environ les six premiers mois de sa carrière, au cours desquels la mise au point s'est poursuivie à un rythme accéléré, les vols furent émaillés par le phénomène de buffeting en transsonique au niveau du croupion, des accélérations médiocres et une poussée résiduelle trop forte au roulage.

Divers réglages des volets froids furent menés, sans succès, pour essayer d'éradiquer le buffeting en transsonique. Puis une amélioration de la ventilation du tunnel du réacteur ainsi que l'étanchéité de la zone arrière du fuselage permit de faire disparaître le phénomène. De même des problèmes de dérapage de l'avion dus à la souplesse des volets froids de tuyère sont résolus par leur rigidification.

Comme tout prototype, un premier chantier de modifications d'une durée d'un mois - l'avionneur " a tapé sur la tôle " - eu lieu au début de l'année 1975 portant, entre autres, sur le parachute frein, les karmans de dérive, l'étanchéité du croupion et la fiabilité du démarreur. Peu après, au mois d'avril 1975, René Farsy réalisa les cinq premiers vols du motoriste puis au mois de juin l'appareil fut présenté au salon du Bourget.

Au cours de cette période avion et moteur eurent une fiabilité exemplaire mais à l'issue de son 64<sup>ème</sup> vol, le 17 juillet 1975, le Mirage F-1 E 01 est stocké à Istres.



Mirage F-1 E 01. La partie avant comporte de nombreuses sondes de mesures aérodynamiques (Copyright Dassault Aviation)

Seuls trois pilotes de chez Dassault Aviation ont volé à bord de l'avion : Guy Mitaux-Maurouard, Jean Coureau et Jean-Marie Saget. La majeure partie des vols durait un peu moins d'une heure, sauf les présentations aériennes quotidiennes au salon du Bourget de juin 1975 assurée uniquement par Guy Mitaux-Maurouard. Durant environ 10 minutes et avec un plein de carburant partiel, chaque présentation qui consistait à démontrer les capacités d'accélération et de manœuvre de l'appareil dans tous les plans horizontaux et verticaux se déroulait de la manière suivante.

L'appareil quittait le sol en moins de 350 mètres, basculait vers la gauche et amorçait une montée puis exécutait un passage lent à quelques 130 nœuds, l'avion basculant d'un bord à l'autre et montrant qu'il restait parfaitement contrôlable. Puis c'était un passage rapide à très basse altitude suivi de tonneaux lents et rapides, chandelle vertigineuse puis d'un passage sur le dos et d'un reversement ; et, pour finir, une série de virages serrés sous 4 à 5 g dans un volume restreint, suivi d'une prise de terrain et d'un atterrissage ultra-court (toujours en moins de 350 mètres).

### *Les essais en vol motoriste (1976 – 1984)*

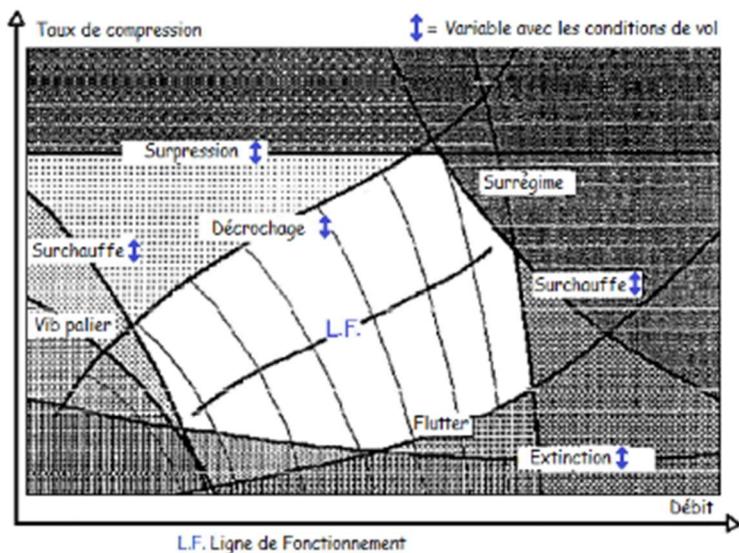
Après une période de stockage d'environ un an, l'appareil fut transformé au mois d'octobre 1976 en banc d'essais volant au profit de la version M53-2 puis de celle du M53-5, à partir du mois de novembre 1978. Construit sur fonds propres de l'avionneur et de l'industrie, l'Etat rachetât l'avion aux deux tiers de sa valeur pour les essais du M53. Le prototype était mis en œuvre par la Snecma avec une assistance technique Dassault.

Dans le cadre du programme Mirage 2000, lancé en décembre 1975, le Mirage F-1E 01 était utilisé " en amont " pour préparer les solutions d'améliorations du propulseur et jouait un rôle très important dans son développement notamment pour la mise au point des systèmes de secours et les réglages " de série " dans le domaine de vol, avec la définition du domaine de rallumage, la validation des performances et de consommation carburant, etc....

#### **Campagne de mise au point des moteurs.**

Une des tâches importantes de ces campagnes pour obtenir le " Bon de vol " était de démontrer que le vieillissement et toutes les dispersions de fabrication qui pourraient être rencontrées dans la population des moteurs de série seraient couverts par les démonstrations effectuées sur des moteurs spécialement préparés.

Il fallait d'abord identifier la dispersion de la population de moteurs, neufs ou pas, en termes de lignes de fonctionnement (LF) et de butée d'accélération (anti-pompage) et butée de décélération (anti-extinction), grâce à une analyse soignée des tolérances de fabrication et de réglage, et des essais au banc à Melun-Villaroche des divers moteurs disponibles. Si ligne de fonctionnement et butée sont trop hautes en termes de rapport de pression et débit carburant il y a pompage. Si la ligne de fonctionnement est trop haute et la butée trop basse il y a blocage : le moteur ne peut accélérer. A l'inverse si la ligne de fonctionnement est trop basse et la butée de décélération trop haute il peut y avoir aussi problème pour monter le régime.



Champ de régulation

Après des essais au banc pour savoir de quel côté ils étaient en écart par rapport à la médiane, deux moteurs étaient sélectionnés pour les essais en vol, à Istres : l'un était affecté au cas " décrochage " et l'autre au cas " blocage ". On cherchait pour chacun d'eux un distributeur de turbine plus fermé ou plus ouvert que celui dont ils étaient équipés, et on le montait pour accentuer leur écart. Parallèlement on choisissait aussi des réglages de régulation de butée.

Concrètement un moteur " blocage " était plus poussif et avait du mal à enrayer en limite de domaine, tandis qu'un moteur " décrochage " était plus nerveux et avait le plus tendance, dans le domaine de vol, à présenter des risques de pompage.

Pour le pilote, il s'agissait d'identifier le comportement du propulseur dans l'ensemble du domaine de vol (mach, altitude, vitesse et incidence). Mais, parce que c'était un cas critique pour tous les moteurs, lors de " transitoires ", le pilote trimait le moteur en vol, c'est-à-dire déréglait certains éléments de la régulation à l'aide d'un boîtier en cabine, pour rendre son fonctionnement plus critique et d'identifier ainsi les marges dont on disposait ou pas. Par la suite les ingénieurs intégraient dans le calculateur de régulation ces réglages optimisés.

Ces vols, qui comportaient souvent une accélération supersonique permettaient d'optimiser la loi de fonctionnement des souris et d'évaluer les dispositifs montés sur les entrées d'air, trappes, destinées à améliorer l'alimentation en air du moteur.

#### Essais du M53-02.

Tout au long de l'année 1977, le monoréacteur vole de manière soutenue pour la mise au point du M53-2 avec une moyenne d'environ dix missions par mois. En décembre, René Farsy effectue même un vol record à une altitude de 66 000 ft (19 800 mètres). Durant ces deux années d'essais, avion et moteur, ne furent l'objet d'aucun incident important.



Mirage F-1 E01 / M53 au roulage en décembre 1974  
(Copyright Espace Patrimoine Safran).

**Essais du M53-5.** Interchangeable avec le M53-02, le premier avionnage de la version M53-5 pose quelques soucis du fait l'excroissance du bloc de régulation secours carburant mais le problème est rapidement réglé grâce à l'ingéniosité des techniciens de la Snecma.

Vers la fin de la décennie 1970, le développement de la version M53-5 est plutôt difficile. Sa configuration monomoteur, d'une part, avec la présence d'un bloc de régulation volumineux et très complexe entraîne l'ajout d'un dispositif dit de " secours carburant ". D'autre part, en raison des changements rapides de régime et de l'élargissement du domaine de vol vers les basses vitesses et les fortes incidences sur le Mirage 2000, extension permise par les commandes de vol électriques, gènèrent des difficultés de mise au point du moteur.

Dans ces conditions où l'incidence dépasse 25° (et la mise d'incidence est très rapide), l'alimentation en air s'effectue dans de mauvaises conditions et nécessite une amélioration de la marge de pompage du moteur. Des modifications sont entreprises sur le renforcement structural des aubages du compresseur, le système de régulation et le distributeur de turbine. C'est à cette époque que le seul gros chantier porte sur les entrées d'air. Ces dernières à bords d'attaque à lèvres fines ont été remplacées par des bords à lèvres légèrement plus épaisses. Dites supercritiques, elles étaient conçues pour améliorer la vitesse de l'écoulement de l'air aux grands angles d'incidence, mais finalement le gain en performance s'est révélé marginal.



Mirage F-1 E01 / M53 avec le blason du moteur apposé sur la dérive. Extérieurement, l'appareil présente une assez grande parenté de forme avec le Mirage F1 C (Copyright Espace Patrimoine Safran)

Au cours de l'année 1978, des essais comparatifs de performances, dits de " double pesée ", c'est-à-dire à une double course Mach 1 - Mach 2 furent menés entre le Mirage F-1 E01 et le premier prototype du Mirage 2000, en permutant les moteurs entre les appareils. Dans les deux cas, le Mirage F-1 E01 laissa sur place le Mirage 2000 à partir de Mach 1,8. C'est à la suite de cette confrontation que le Mirage 2000-01 rentra pour un grand chantier de modification d'environ six mois (octobre 1978 et avril 1979) et en ressortit avec une pointe avant, un cockpit (hormis le pare-brise) et des entrées d'air " à la Mirage F-1 E ", c'est-à-dire peu écartées de l'axe du fuselage.

Durant la période de mise au point du M53-5, mis à part un choc aviaire avec des mouettes au décollage, un emballement thermique de la batterie d'essais et quelques extinctions occasionnelles au régime de ralenti, toujours durant le roulage, il n'y eu que deux incidents majeurs : une panne électrique totale et une extinction en vol.

Le premier est survenu à René Farsy avec la perte de la génération électrique (les deux vario-alternateurs) qui l'obligera à se poser sur la batterie d'essais. Pour mémoire, celle-ci assure environ une quinzaine de minutes de vol. La seconde panne, beaucoup plus critique, a eu lieu au cours d'une mission de l'avion en décembre 1979 (vol n° 305) ayant pour thème le réallumage en vol : le pilote d'essais Alain Rabion subit une extinction moteur avec impossibilité de rallumage, malgré deux tentatives. L'activation de l'aéro-pompe hydraulique de secours (RAT), entraînée par une hélice, permet de conserver la pilotabilité de l'appareil et d'atterrir sans dommage.

Le pilote ne pouvant plus rallumer son moteur, il effectue un ACTC ou ACONTUCOU, un atterrissage en configuration turbine coupée...ou parfois appelé dans le jargon des pilotes un " canard ". C'est une manœuvre délicate à exécuter, même sur un avion à aile en flèche, comme le Mirage F-1 dont la finesse est de 7. En clair, depuis une altitude de 1 000 m, l'avion plane sur 7 km de distance.

L'avion étant proche du terrain d'Istres, le pilote réussit à se poser avec une vitesse d'approche de 230 kt et de 135 kt au toucher des roues. Sur les quatre kilomètres de piste disponible, Alain Rabion n'en utilisa que la moitié et pu même dégager à mi-piste, par la bretelle en face de la tour de contrôle, avant d'immobiliser l'avion.



Avionnage du moteur M53-02 n°221 sur le Mirage F-1 E01 (Copyright Espace Patrimoine Safran)

Au début des années 1980, des améliorations aérodynamiques sont expérimentées. Suite à un problème d'étanchéité sur le croupion une retouche a été apportée sur la " marguerite " au niveau de la longueur et largeur des lamelles métalliques. De même, pour éliminer une perturbation de l'écoulement d'air en régime supersonique au niveau du pied de dérive, deux écopés disposées de part et d'autre du bord d'attaque ont été implantées pour évacuer l'air vers l'arrière. Non efficaces, elles ont par la suite été enlevées.

Pendant près de neuf ans, hormis quelques vols d'évaluation officiels réalisés par des pilotes du Centre d'Essais en Vol (CEV), trois pilotes d'essais de la Snecma œuvrèrent activement à la mise au point du propulseur : René Farsy (avec 139 vols dont 33 avec le M53-5), Michel Jarriges et Alain Rabion. Si René Farsy a réalisé le premier vol du motoriste, en avril 1975, c'est Michel Jarriges qui réalisera le dernier vol de l'appareil, le 20 juillet 1984 marqué par le déploiement du parachute frein aux couleurs de l'Europe (bleu avec des étoiles). Avec le salon du Bourget, en juin 1975, et l'atterrissage en vol plané d'Alain Rabion au mois de décembre 1979, ce dispositif de freinage n'aura été employé que trois fois.



Mirage F-1 E01 / M53 lors de son premier vol en décembre 1974 (Copyright Espace Patrimoine Safran)

Entre avril 1975 et juillet 1984, le Mirage F-1 E 01 a totalisé, aux mains des trois pilotes, 438 vols d'essais représentant 483 heures de vol. Sept moteurs de développement de type M53-2 (n° 219, 220, 221, 224, 225, 226 et 227) ont été testés entre 1974 et 1978 et quatre autres de type M53-5 (n° 514, 519, 520, 521) ont également été avionnés entre novembre 1978 et juillet 1984. Parmi ces moteurs également avionnés sur les prototypes du Mirage 2000, l'un d'eux était prisé par l'équipe d'essais : le n° 514 car sa " marge au pompage était du bon côté de la dispersion ". Qualifié d'unique, sa notoriété était telle que Marcel Dassault, réputé pour ses fréquents reproches envers le motoriste, déclara : " Mais demandez à la Snecma d'en faire une copie chinoise ! "

A l'issue de son dernier vol, l'unique prototype du Mirage F-1 E01 / M53 a été entreposé à Istres dans un hangar du Centre d'Essais en Vol puis a été cédé, en mars 1988, à l'Aérocampus d'Aquitaine, à Latresne. Dépourvu de son réacteur, il sert depuis plus de 30 ans à la formation des apprentis mécaniciens.

Sur un total de plus de 2 000 vols d'essais dédiés à la mise au point du moteur, près d'un tiers sera réalisé avec le seul Mirage F-1 E01 au cours de 590 heures de vol. Comme l'a déclaré l'un des acteurs de l'époque : " La mise au point du Mirage 2000 a dû beaucoup, beaucoup, beaucoup, aux essais en vol du Mirage F-1 E01 ".

## *Suivi des essais de mise au point du moteur*

A Istres, la Snecma disposait d'une salle d'écoute assurant le suivi des essais en vol. Lors de chaque mission, une équipe de spécialistes était mise en place : l'ingénieur d'essais au pupitre, l'ingénieur d'exploitation, un informaticien, le chef avion de l'avionneur et le chef avion du motoriste. Directement relié au pilote en phonie (la " voix g ", une transmission de l'ambiance sonore en cabine), l'ingénieur d'essais recevait, en temps réel via un système de télémessure, 24 paramètres analogiques en continu dont 8 à la demande que les spécialistes traçaient en temps réel sur un traceur. Il recevait également une dizaine d'autres paramètres sur un message numérique. De nombreux écrans et indicateurs circulaires présentaient les paramètres importants comme la vitesse, le Mach, l'altitude, la puissance du moteur, etc...

A bord de l'avion, les signaux générés par le système SAMUEL étaient aiguillés à la fois vers la télémessure (une centaine d'informations) ainsi que vers l'enregistreur magnétique mais nécessitaient un traitement informatique en temps réel via une baie dénommée Marina ou en temps différé pour pouvoir restituer les informations concernées. Les enregistreurs photographiques HB acquéraient une vingtaine de paramètres parallèlement au système SAMUEL et d'autres directement.

Ces enregistrements sur HB permettaient une lecture postvol sur la bande photographique (après développement) après le vol, ce qui était, à cette époque, plus rapide et plus simple que le traitement informatique. Les deux Hussenographes assuraient ainsi une redondance pour la mesure de certaines données. Deux heures après le vol, l'équipe au sol recevait des rouleaux photographiques " HB ".

Le traitement des données enregistrées sur support magnétique (à bord et au sol par la télémessure) quant à lui, permettait de restituer davantage de données avec une précision supérieure à celle des " HB ", et avec une meilleure souplesse d'exploitation.



Mirage F-1 E01 / M53 avec entrées d'air à bord épais (1980) (Copyright Espace Patrimoine Safran)

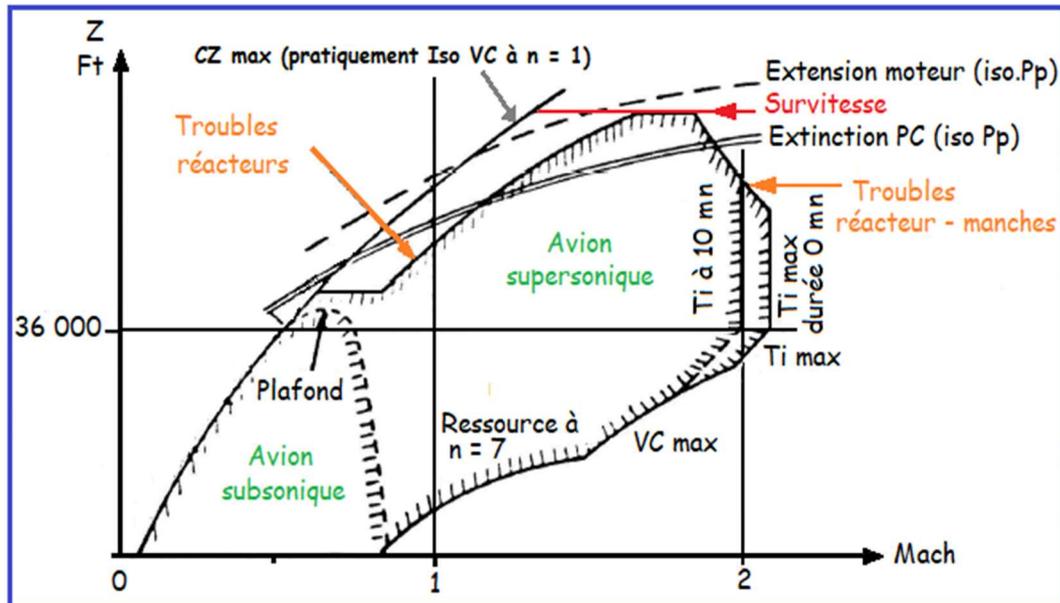
En complément, le pilote emportait une plaquette de genou (roll-notes) pour noter le programme d'essais, quelques informations (fréquences radio...) et relever d'éventuels problèmes au cours du vol.

### **Exploitation et dépouillement.**

A l'issue de chaque vol, les trois enregistreurs étaient déposés de l'avion pour être lus sur une station sol. Pour l'enregistreur à bande magnétique, les données étaient transférées sur un support d'exploitation (étalonnage des paramètres, calculs, éditions de listings et tracés de courbes).

Selon l'un des acteurs de l'époque, dépouiller un point sur un HB consistait à trouver le point adéquat grâce à la base de temps sur la bande et aux tops, puis de tracer une " belle ligne verticale " grâce à une équerre. Les points de croisement de cette verticale avec les traits noirs des paramètres donnaient les valeurs brutes. La hauteur entre la référence supérieure de l'HB et le point d'intersection était reportée par pointe sèche (ou par double-décimètre) sur un graphique d'étalonnage du paramètre, ce qui permettait d'en déduire la valeur physique.

Tout ce processus avait une précision " relative " : effet du facteur de charge ou de la température sur les " HB ", petits formats utilisés, attention aux photocopies d'étalonnage modifiant légèrement les échelles...



Domaine de vol moteur supersonique (Copyright Dassault Aviation)

Le domaine de vol d'un avion correspond aux limitations en vitesse et en Mach en fonction de l'altitude. Les limites sont d'ordre aérodynamique pour les basses vitesses, de fonctionnement moteur pour le plafond, d'ordre thermique (échauffement) pour le Mach maxi, enfin, d'équilibre poussée-trainée pour la vitesse maximum.

Le système de transmission des informations était limité par la distance avion/station qui est de l'ordre de la portée optique, soit environ 200 nautiques (environ 350 km).

L'addition de la télémessure et du traitement en temps réel permettait d'économiser plus de 30% des vols d'essais.

## Marquages et décorations

Le prototype du Mirage F-1 E01 - M53 a connu trois périodes de marquages et de décorations.

Entre son vol inaugural en décembre 1974 et mai 1975, l'appareil vole avec le revêtement métallisé d'usine. De chaque côté de la pointe avant du fuselage, l'avion est identifié par l'inscription calligraphiée " **Mirage F1E-01** ". Sous le poste de pilotage, côté gauche, figure l'insigne de la SPA 93 " Canard ", escadrille à laquelle avait appartenu le pilote d'essais du constructeur, Guy Mitaux-Maurouard. A l'arrière du fuselage est apposé un marquage du motoriste " **SNECMA M53** ". Les cocardes, situées sur la partie arrière du fuselage, en intrados et extrados de la voilure, sont bordées d'un liseré jaune. La gouverne de direction est agrémentée du drapeau tricolore avec les marques du constructeur " **AVIONS M. DASSAULT BRÉGUET AVIATION MIRAGE F1 E** " et le numéro de série " **N°01** ".



Mirage F-1 E01 / M53 Salon du Bourget, juin 1975 (Copyright Le Moniteur de l'Aéronautique)

Au salon international de l'aéronautique et de l'espace du Bourget, en juin 1975, et en l'espace de deux jours, les responsables de Dassault-Bréguet décidèrent de le peindre entièrement aux couleurs européennes : bleu sur l'extrados des ailes, les empennages horizontaux et la dérive (à l'exception du saumon laissé gris) ornée du sigle européen (un cercle de 12 étoiles dorées), rouge sur l'intrados des ailes, blanc brillant sur le fuselage sauf la pointe avant, avec des flammes de couleur bleue sur les entrées d'air, et enfin gris métallique sur la partie inférieure du fuselage.

Ce schéma de peinture qui a subsisté jusqu'en 1984 avait tendance à s'écailler avec l'échauffement provoqué par le frottement de l'air.



Mirage F-1 E01 / M53 (novembre 1976 - juillet 1984)

A partir de novembre 1976 et pendant toute la durée des essais du motoriste, le cercle d'étoiles dorées cède la place au logo du motoriste " **M53 SNECMA** " (en lettres rouge sur fond blanc) et, à l'arrière du fuselage le marquage du motoriste " **SNECMA M53** " est conservé. Il est à noter que suite au changement des entrées d'air, à la fin des années 1970, celles-ci sont dépourvues de peinture (revêtement métallisé).

Depuis son transfert, en mars 1988, à l'Aérocampus d'Aquitaine, l'avion a été revêtu d'une livrée bleu supériorité aérienne, sur les surfaces supérieures, et gris moyen satiné, pour les surfaces inférieures, un schéma de camouflage identique à celui du Mirage F-1 C. Sur son empennage vertical il porte comme seules identifications les marques du constructeur " **AMD-BA** " et le code " **E01** ".

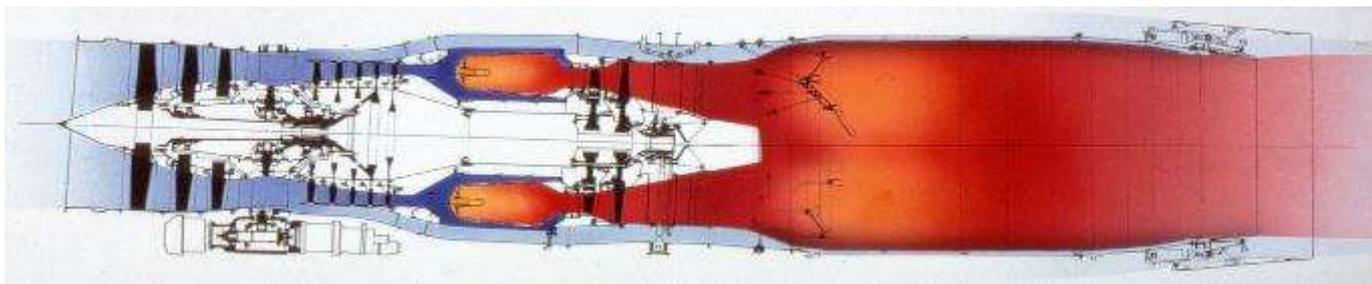


Mirage F-1 E01 / M53 à Latresne (Copyright Aérocampus d'Aquitaine). Près du train principal gauche se trouve l'éolienne de secours. Grâce au vent relatif du déplacement de l'avion, cette éolienne fournit une énergie minimale permettant d'alimenter les équipements essentiels de l'appareil (les commandes de vol entre autres) et ce, pour une durée illimitée.



Mirage F-1 E01 / M53 à Latresne en mai 2019 (Copyright Aérocampus d'Aquitaine)

## Caractéristiques des deux versions du M53

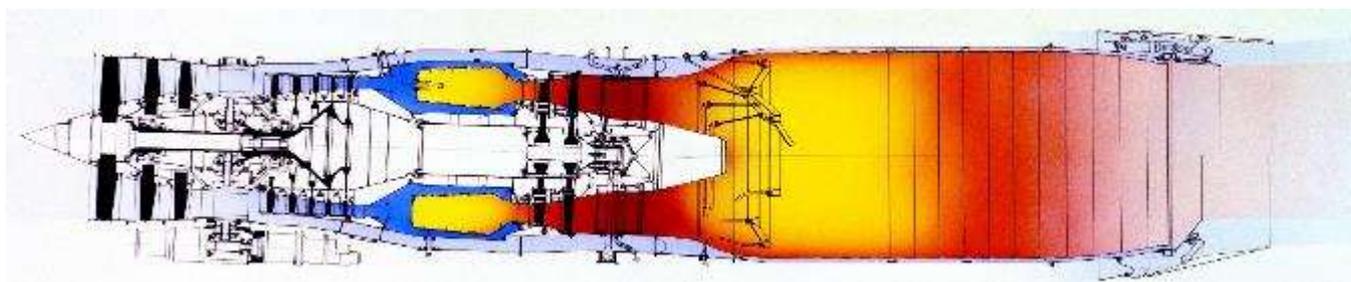


M53-02 - Coupe longitudinale.

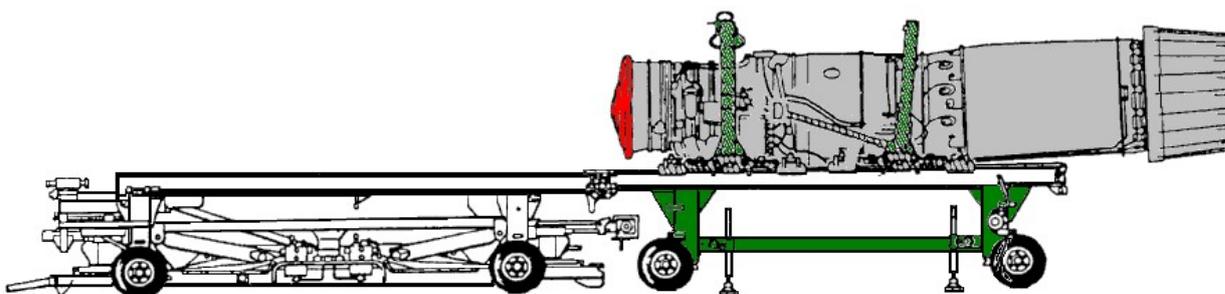
Première vue en coupe complète du M 53 avec son compresseur axial à huit étages dont trois de basse pression, sa chambre de combustion annulaire à pré-vaporisation, sa turbine à deux étages (le premier est refroidi), son canal de post-combustion avec rechauffe des deux flux et sa tuyère d'éjection à section variable, dotée de volets froids. Le canal et la tuyère sont refroidis grâce au flux froid, aucun problème de calorifugeage de l'avion ne se pose donc.

Très tôt à la demande de l'avionneur le moteur M53 a été allongé au niveau du canal de rechauffe pour une question de centrage, ce qui a été apprécié pour le rendement de la rechauffe.

Caractéristiques techniques	M53-02	M53-5
Taux de dilution	0,4	0,35
Taux de compression	8,5	9,5
Débit d'air	84 kg/s	85 kg/s
Poussée maximale au point fixe avec PC	8 500 kgp	9 000 kgp
Poussée maximale à Mach 2,2 à 36 000 pieds		> 10 000 kgp
Poussée maximale à Mach 1,2 au niveau de la mer		> 11 700 kgp
Poussée intermédiaire sans PC	5 500 kgp	5 500 kgp
Consommation spécifique avec PC	2,09 kg/kgp/h	2,09 kg/kgp/h
Consommation spécifique sans PC	0,89 kg/ kgp/ h	0,89 kg/ kgp/ h
TET (Température Entrée Turbine)	1 508 °K (1 235°C)	1 535 °K (1 262°C)
Longueur avec tuyère	4 853 mm	5 070 mm
Diamètre gabarit hors-tout	1 040 mm	1 055 mm
Temps d'autorotation turbine		> 20 secondes
Masse totale	1 420 kg	1 511 kg



M53-5 - Coupe longitudinale



Chariots de transport et avionnage

## Caractéristiques du Mirage F-1 E01

### Caractéristiques générales :

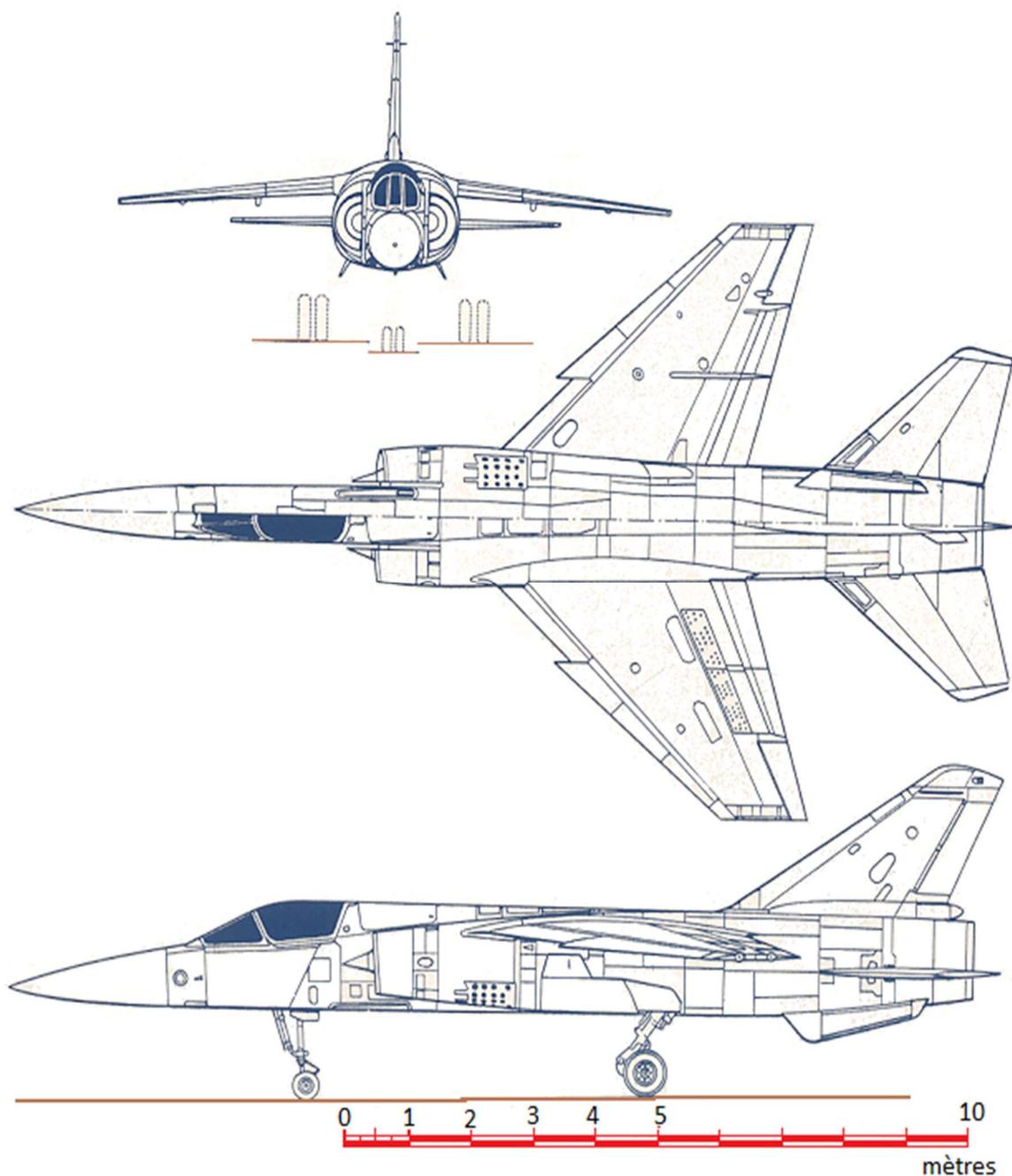
- Envergure : 8,40 m
- Longueur : 15,50 m
- Hauteur : 4,50 m
- Surface alaire : 25 m<sup>2</sup>

### Masses :

- A vide : 8 000 kg
- Carburant : 3 440 kg
- Maximale : 15 200 kg

### Performances :

- Vitesse maximale : 2 335 km/h Mach 2.20
- Plafond : 18 000 m
- Vitesse ascensionnelle : 300 m/sec
- Rayon d'action : 1 200 km
- Facteur de charge : + 8,6 g en subsonique et + 7,15 g en supersonique

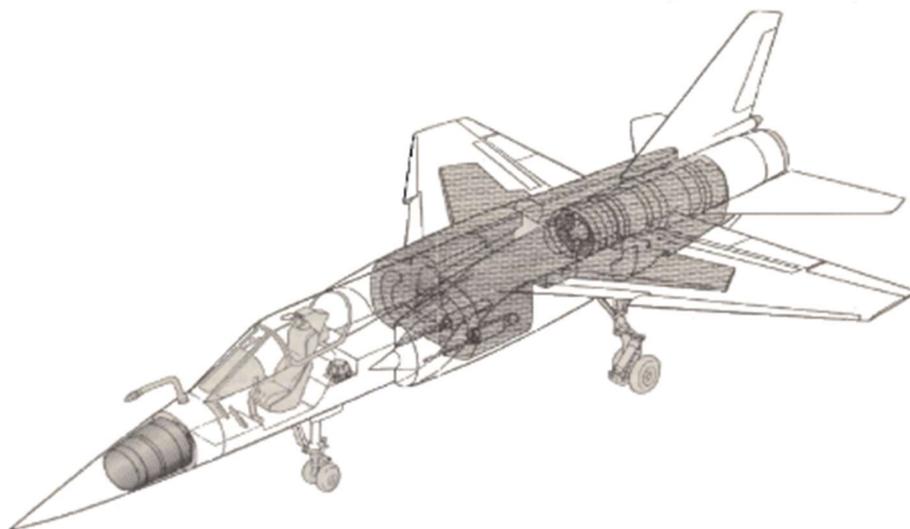


Mirage F-1 E / M53 - Plan trois vues.

Conformément à l'application de la loi des aires, le fuselage est à section évolutive comme ses prédécesseurs de la famille des Mirage. Les entrées d'air sont équipées de cônes mobiles ou souris biconiques à section variable, adaptées automatiquement en fonction du nombre de Mach. Conçu comme un successeur de l'Atar, le M53 occupe un volume inférieur à celui de ce dernier (il a le même diamètre, mais est plus court d'un mètre) et est plus léger.

## *Etapes clefs*

- 1967 Décembre - Lancement du programme M53
- 1969 Octobre - Lancement du projet de remotorisation du Mirage F-1
- 1972 Juin - L'état-major de l'armée de l'Air diffuse la fiche programme de l'ACF (Avion de Combat Futur), un biréacteur M53
- 1973 Mars - Lancement du prototype Mirage F-1 E01 / M53
- 1973 Septembre - Lancement du prototype de l'Avion de Combat Futur dit ACF (bi-M53) ou Mirage G8A
- 1973 Décembre - Commande d'un prototype monoplace de l'ACF
- 1974 Juin - Epreuve de qualification du moteur M53 pour vol sur Mirage F-1 E01/ M53
- 1974 Novembre - Réalisation du premier point fixe avion
- 1974 Décembre - Premier vol du prototype Mirage F-1 E01 / M53, le 22 décembre à Istres entre les mains de Guy Mitaux-Maurouard, et franchit Mach 1,35. Quelques jours plus tard, lors de son cinquième vol il dépasse Mach 2 à une altitude de 40 000 ft (12 000 mètres)
- 1975 Mars - Le Mirage F-1 E 01/ M53 atteint Mach 2,1 à 53 000 ft (15 900 mètres)
- 1975 Juin - Suspension des travaux sur le Mirage F-1 E 01/ M53
- 1975 Juillet - Mise en stockage de l'avion à Istres à l'issue de son 64<sup>e</sup> vol
- 1975 Décembre - Abandon du programme de l'Avion de Combat Futur. Lancement du programme M53-5.
- 1976 Avril - Homologation au banc d'essais du M53-02
- 1976 Mai - Le gouvernement met fin au programme et rachète le prototype, qui reprend ses fonctions de banc d'essais volant pour le futur Mirage 2000
- 1976 Octobre - Déstockage de l'avion à Istres et reprise des vols d'essais
- 1977 Décembre - René Farsy effectue un vol record à une altitude de 66 000 ft (19 800 mètres)
- 1978 Novembre - Premier vol du Mirage F-1 E 01 remotorisé avec un M53-5 (n° 514) aux mains de René Farsy
- 1979 Mars - Homologation du moteur M53-5
- 1982 Juin - Livraison du premier moteur de série M53-5
- 1984 Juillet - Dernier vol du Mirage F-1 E01 / M53. Aux mains de trois pilotes de la Snecma un total 438 vols a été effectué représentant 483 heures de vol. Mise en stockage de l'avion à Istres.
- 1988 Mars - Cession de l'avion à l'école technique de Latresne, l'Aérocampus Aquitaine, près de Bordeaux



Ecorché du Mirage F-1 E01 M53 (1974)

**Remerciements** : la rédaction de cet article doit beaucoup aux informations communiquées par l'Amicale des Essais en Vol Snecma (AEVS) et plus particulièrement son président, Mr Daniel François.

Je tiens également à remercier Mr Clément Livon pour son témoignage, Mr Michel Liébert, Alain Habrard et Mr Dominique Prot de l'Espace Patrimoine du groupe Safran.

## *Le moteur de développement M53-5 n° 229*

Doté d'une instrumentation d'essais, le M53-5 de développement n° M53 00100 NO 229 est exposé dans le musée aéronautique et spatial du groupe Safran depuis mars 1995.

### **Sa carrière est la suivante :**

Sorti des chaînes de montage en fin novembre 1977, le moteur M53-5 n° 229 a été exploité jusqu'au 24 mai 1989. Il a été le plus souvent utilisé sur la base d'essais d'Istres où il a fonctionné sur le banc volant SE-210 Caravelle III n° 193, sur cinq des sept prototypes du Mirage 2000 (C 01, C 02, C 03, C 04 et B 01) et l'unique biréacteur Mirage 4000. Au total, le propulseur a été avionné à 40 reprises sur ces avions bancs d'essais : une fois sur la Caravelle III (9 heures de vol en février et mars 1978) sept fois sur Mirage 4000 (pour un total de 44 h 25) et 32 fois sur les cinq prototypes du Mirage 2000. Le Mirage 2000-03 détient le record du nombre d'avionnages (14) et celui de la durée d'emploi : plus de 41 heures.



La SE 210-308 Caravelle III n° 193 (immatriculée F-ZACF) avec un moteur M53-5

En fin d'année 1980 (en octobre et novembre) on retrouve le propulseur dans les bancs d'essais R5 - R4 (combustion et de réchauffement en vol simulé) du Centre d'Essais des Propulseurs de Saclay (CEPr). De même, ponctuellement entre 1978 et 1983, le moteur sera testé sur le banc mobile RM2, à Istres. Cette installation permettait de passer rapidement le moteur au banc en cas d'avionnage d'un moteur de vol, de changement d'équipement ou de modification du réglage du calculateur de régulation.

En 1982 et 1983, il a été plusieurs fois avionné sur Mirage 2000 à Cazaux. Entre septembre et novembre 1988, il a fait un ultime montage sur le prototype du Mirage 2000 B 01 alors en essais au Centre d'Essais en Vol (CEV) de Brétigny-sur-Orge.

Au cours de sa vie, les visites et interventions importantes ont été réalisées en atelier à Melun-Villaroche avec des passages aux bancs d'essais réacteurs 9H7, 10H7 et 12H7.

En onze ans et six mois d'activité, le moteur n° 229 a réalisé 582 heures de fonctionnement réparties en 411 heures 05 en vol et 170 h 55 sur bancs d'essais sol à Melun-Villaroche, Istres et à Saclay.

Depuis fin mars 1995, le moteur est exposé avec son instrumentation d'essais au musée aéronautique et spatial du groupe Safran, à Melun-Villaroche.



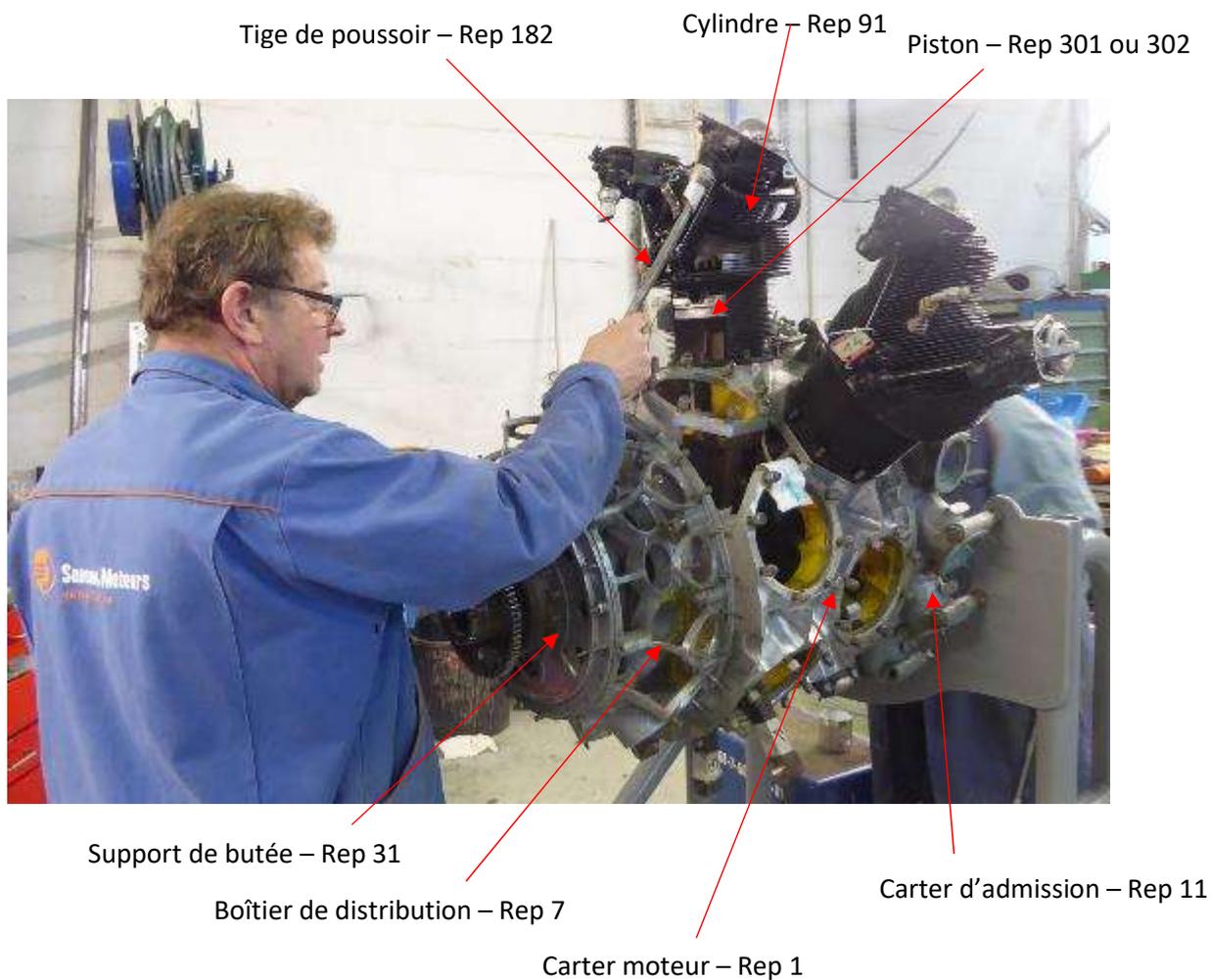
Le moteur de développement n° M53 00100 NO 229

## *Le moteur Gnome-Rhône 14 N :* *La restauration du 14 N-49 - Le remontage (2<sup>me</sup> partie)*

Dans notre bulletin n°1 paru en janvier 2019, nous vous avons présenté un moteur Gnome & Rhône de type 14 N-49 en cours de restauration, confié par la Base Aérienne 721 de Rochefort Saint-Agnant dans le but d'engager une restauration et une mise en valeur afin de servir à l'escadron de formation à la maintenance aéronautique. Le démontage de ce moteur " dans son jus " n'avait pas été chose simple, mais l'équipe de bénévoles avaient su venir à bout de cette opération sur ce moteur de deux fois 7 cylindres en étoile à refroidissement par air de 1080 cv sorti fin 1939.

Après les opérations de nettoyage, sablage et usinage des carters en duralumin, permettant une fois l'ensemble remonté de pouvoir visualiser le fonctionnement et la position des différents organes moteurs, pouvait démarrer la phase délicate de remontage.

L'ensemble des 3 carters aluminium assemblés, constitué par le boîtier de distribution, le carter moteur et le carter d'admission, est fixé sur le bâti moteur (fourni par la BA 721) en configuration axe moteur horizontal. La grande difficulté consiste alors à remettre en place chaque piston (préalablement repéré rééquipé de ses cinq segments) sur sa bielle puis de rapporter le cylindre en prenant soin de l'ajuster sur le piston, avant de le fixer sur le carter moteur. La notice de montage des cylindres préconisait à l'époque de commencer par le cylindre N°1 de la bielle maîtresse de l'étoile arrière tirée préalablement pour l'amener au point mort haut. Une fois l'ensemble cylindre-piston en place et fixé, il était nécessaire de remonter les deux tiges de poussoir par cylindre et leur tube de protection, avant d'entreprendre le remontage de l'étoile avant.



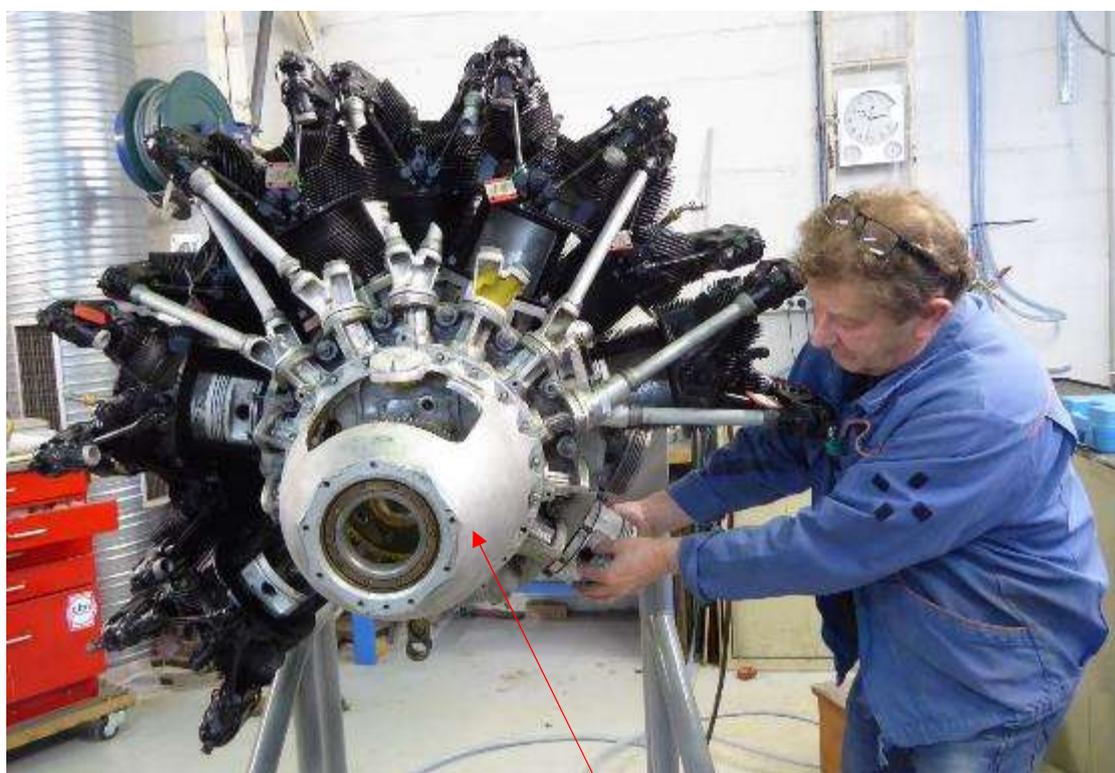
Pendant ce temps on s'affère également sur l'arrière du moteur avec le montage du carter compresseur dans lequel on distingue très bien les ouvertures permettant de voir la trajectoire de l'air, matérialisée par la couleur bleue, alimentant le carter d'admission.



Carter d'admission – Rep 11

Carter compresseur – Rep 841

Le carter de l'arbre porte-hélice du réducteur 2/3 a été mis en place (ci-dessous) à l'avant du moteur. On aperçoit l'ouverture effectuée dans sa partie supérieure servant à la visualisation de l'ensemble de la pignonnerie ainsi que celles réalisées sur les cylindres permettant de voir la position des pistons.



Carter du réducteur 2/3 – Rep 751

Mais le montage, relativement aisée sur la partie haute du carter moteur, est tout autre sur la partie inférieure car difficilement accessible. Emmanuel Gonzalez qui a rejoint l'équipe en 2019 se charge de cette lourde tâche...



Il reste encore de nombreux accessoires à monter pour finir d'équiper ce 14 N-49 et notamment le moyeu d'hélice visible sur la photo ci-dessous. Ce moteur a été livré le 19 novembre 2019, l'armée de l'air ayant assuré la livraison.



Un grand merci à toute l'équipe qui a œuvré pour mener à bien cette restauration, Jacky Michel, Alain Choiseau, Jacques Billard et Emmanuel Fernandez au démontage/montage, et Michel Beaulavon et Fabrice Perrin pour les opérations de fraisage, sans oublier les " petites mains " qui travaillent dans l'ombre tout aussi efficacement notamment pour la remise en état du bâti moteur. Merci à tous.

## *Le Sud-Aviation SA-610 "Ludion"*

Nous sommes sur la Place de la Concorde en ce 14 juillet 2019. Il est 10 h 40 lorsqu'apparaît au-dessus des tours de la Défense la Patrouille de France et ses Alphajet prête à ouvrir l'incontournable parade aérienne. Le défilé des troupes au sol vient de s'achever. C'est alors qu'un engin révolutionnaire arrivé de nulle part va retenir toute l'attention. Installé sur une plateforme turbopropulsée, un homme debout, à plusieurs dizaines de mètres du sol, va évoluer dans les airs avec une impressionnante aisance subjuguant les spectateurs et officiels présents. Cet engin révolutionnaire s'appelle le "Flyboard® Air", conçu par Franck Zapata son pilote, et qui intéresse au plus haut point l'armée, d'où sa présence très remarquée.



Franck Zapata  
© The book of man

*Le Flyboard® Air au défilé du 14 juillet 2019 à Paris - ©Paris Match*

Ce drôle d'engin a de quoi surprendre. Mais l'idée de pouvoir faire voler un homme équipé d'un appareillage individuel autre qu'un avion ne date pas d'hier. C'est en effet vers la fin des années 20 que l'idée "d'hommes volants" ou plutôt "hommes fusées" va naître dans l'imagination de dessinateurs de science-fiction américains, puis concrétisée au milieu des années 60 avec la sortie aux Etats-Unis de "la ceinture volante" ou "Bell Rocket Belt", premier appareil du genre, propulsé par un moteur de fusée, et rendu populaire en apparaissant dans le 4<sup>ème</sup> James Bond "Opération Tonnerre" en 1965. De nombreuses sociétés dans le monde se sont déjà lancées sur ce créneau. C'est entre autres, le cas de la société Sud-Aviation.

Première entreprise aéronautique d'Europe occidentale de l'époque, connue pour ses avions Caravelle, Concorde, et ses hélicoptères Alouette, Frelon et Puma, elle est choisie en 1964 par la DRME (Direction des Recherches et Moyens d'essais) pour étudier et réaliser deux engins probatoires rendant capable pour un fantassin le franchissement très rapide d'obstacles naturels. Ce souhait est émis par l'OTAN dans le cadre d'une éventuelle guerre en Europe centrale. Il faut rappeler que dans les années 60, les militaires craignant que leurs avions ne soient cloués au sol après le bombardement de pistes d'atterrissages, envisagent de plus en plus des engins et avions à décollage et atterrissage vertical, comme les hélicoptères. On les appelle les ADAV en français (ou VTOL en anglais pour Vertical Take-off and Landing).

Pour mener à bien cet avant-projet, Sud-Aviation confie le projet à l'ingénieur aéronautique Georges Edmond Caillette (1906-1985) recruté en 1961, et qui supervise de nombreux projets militaires secrets. Ancien chef des services études puis directeur du centre de Tarbes de la Sté Morane Saulnier, c'est à lui que l'on doit entre-autre l'étude clandestine du MS 470 dès 1941 et sa production en série après la guerre. Il est surtout l'auteur du révolutionnaire "Statodyne", brevet d'un Aérodyne perfectionné déposé le 24 juillet 1951 et publié le 20 octobre 1953, qui concerne la stabilité en vol vertical et stationnaire, mais également la compensation de l'effet gyrostatique et des combinaisons de voilure aux grandes vitesses :



Georges Caillette  
© PChene (source familiale)

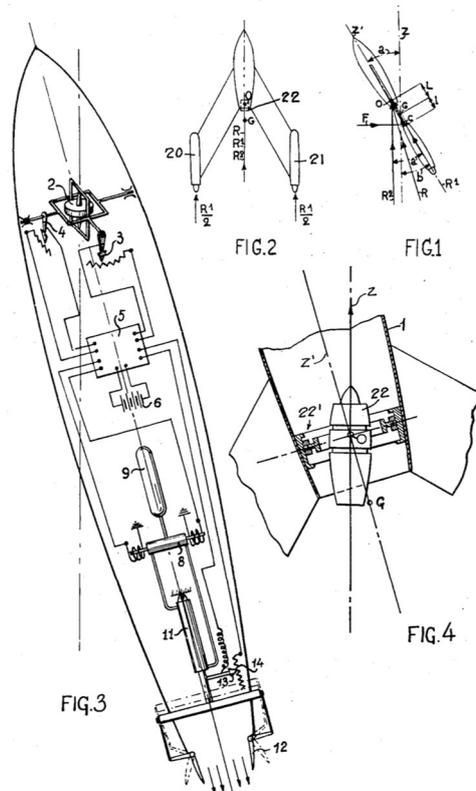
" La présente invention a pour objet un aérodyne perfectionné remarquable en ce qu'il peut notamment s'élever et descendre verticalement et rester immobile dans l'espace et ceci en équilibre stable, cet équilibre étant assuré par des moyens qui imposent une direction fixée dans l'espace à la résultante des forces de propulsion, en astreignant de plus sa ligne d'action à passer par un axe d'inertie prédéterminé du corps de l'aérodyne, en un point situé en avant du centre de gravité de l'aérodyne dans le sens de l'action de ladite résultante, lorsque cet axe n'est pas parallèle à ladite direction fixée dans l'espace, et à confondre ladite ligne d'action avec ledit axe lorsque celui-ci est parallèle à ladite direction fixée dans l'espace, cette direction pouvant en particulier être la verticale. "

Cette invention sera adoptée en 1963 par les américains et permettra au cosmonaute Edward White, lors du vol Gemini 4 autour de la Terre du 3 au 7 juin 1965, d'évoluer dans l'espace autour de la cabine, armé de son pistolet à jet d'oxygène, réalisant ainsi avec succès la première sortie américaine dans l'Espace.

Dec. 23, 1958

G. CAILLETTE  
JET PROPULSION SYSTEM FOR MAINTAINING  
AIRCRAFT IN A VERTICAL ATTITUDE  
Filed Jan. 23, 1956

2,865,579



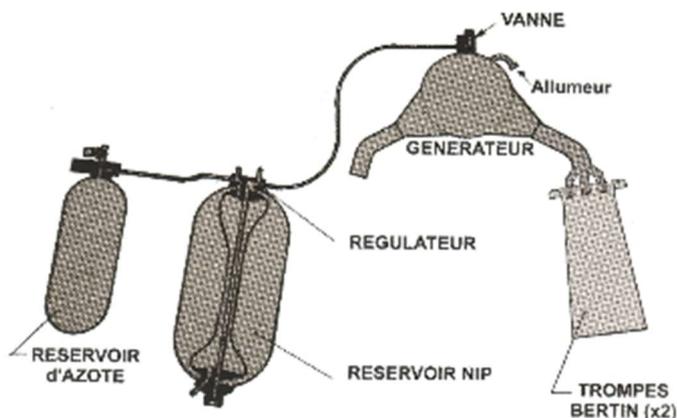
Inventor  
G. Caillette  
By *Glenn H. Downing* (attorney)  
ATTORNEY

Le projet s'appellera donc Sud-Aviation SA-610 Ludion. Ce nom de Ludion lui a été donné parce que cet engin devra se mouvoir en montée-descente, se stabilisant grâce à de simples commandes mécaniques mues par les mains ou les pieds. " C'est comme une bicyclette... " déclarait à l'époque Georges Caillette. En 1965, il réunit autour de lui une équipe d'ingénieurs concepteurs et motoristes. Les caractéristiques demandées par l'état-major de l'armée de terre sont les suivantes :

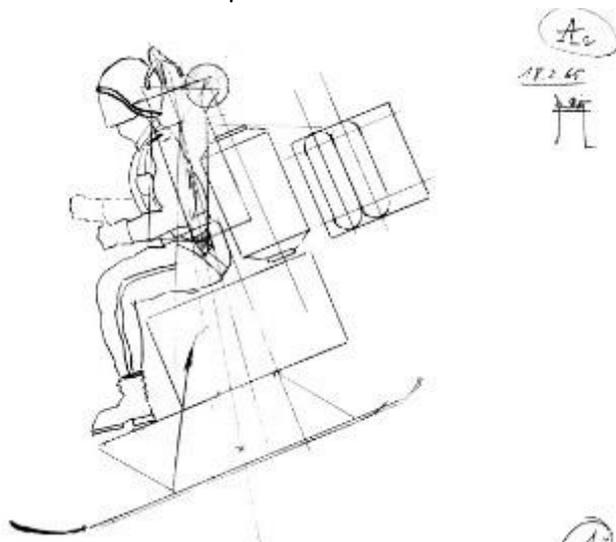
- permettre à un homme équipé (120 kg minimum) d'effectuer des bonds de plusieurs centaines de mètres au-dessus d'obstacles d'une cinquantaine de mètres d'altitude,
- avoir une vitesse contrôlable comprise entre 0 et 100 km/h,
- être manœuvrable et relativement discret.

Après des études préliminaires (homme debout ou homme assis), le choix se porte sur la position assise, la raison principale étant la nécessité d'emport d'une charge utile de l'ordre de 100 kg impossible à porter à dos d'homme.

Dans un premier temps, Caillette envisage d'équiper son prototype de deux petits réacteurs Turboméca Marboré II de 400 kg de poussée chacun, mais les projections auraient donné une machine trop puissante et donc dangereuse pour ses futurs utilisateurs. Or le cahier des charges de la DRME est très clair : le Ludion doit être apte à être piloté par absolument n'importe quel fantassin français et non des pilotes. Il faut donc qu'il soit aussi simple à piloter qu'une automobile, sa poussée devant être minimale. C'est la raison pour laquelle l'ingénieur en chef va leur préférer deux moteurs fusées froid SEPR S. 178 d'une poussée unitaire de 126 kg développés et mis au point sur le site SEPR des Hautes-Bruyères à Villejuif sous la direction de l'ingénieur d'essais Gilbert Albert <sup>1</sup>. Niveau carburant l'engin emporte un système d'alimentation articulé autour d'un réservoir de nitrate d'isopropyle (NIP) et d'une bouteille d'azote comprimé.



Afin de maîtriser certaines techniques liées à la compression des gaz, Georges Caillette fait appel la Sté Bertin dirigée par Jean Bertin, ancien ingénieur de la S.N.E.C.M.A., spécialiste du pilotage par déviation de jet, inventeur du Pulso-réacteur " Escopette ", et concepteur de l'Aérotrain, afin de mettre au point des trompes permettant d'augmenter d'environ 45% la poussée des moteurs-fusées.



Esquisse d'étude du 18 mars 1965  
© Collection familiale Chenebault

Le brevet d'invention N° 1.532.428 de l'Aérodyne individuel à propulsion et sustentation par réaction, invention de Georges Edmond Caillette et Jean Amable Vidal est demandé le 23 mai 1967 et délivré par arrêté du 4 juin 1968 (Bulletin officiel de la Propriété industrielle, n° 28 du 12 juillet 1968) - PV n° 107.382 - en nom de la société Sud-Aviation.

C'est finalement lors du 27<sup>ème</sup> salon international de l'aéronautique et de l'espace au Bourget du 26 mai au 4 juin 1967 que Sud-Aviation présente pour la première fois sur le stand de la DRME le Ludion surnommé par le journal Air & Cosmos n°206 du 1<sup>er</sup> juillet 1967 : " le futur scooter de l'air ".

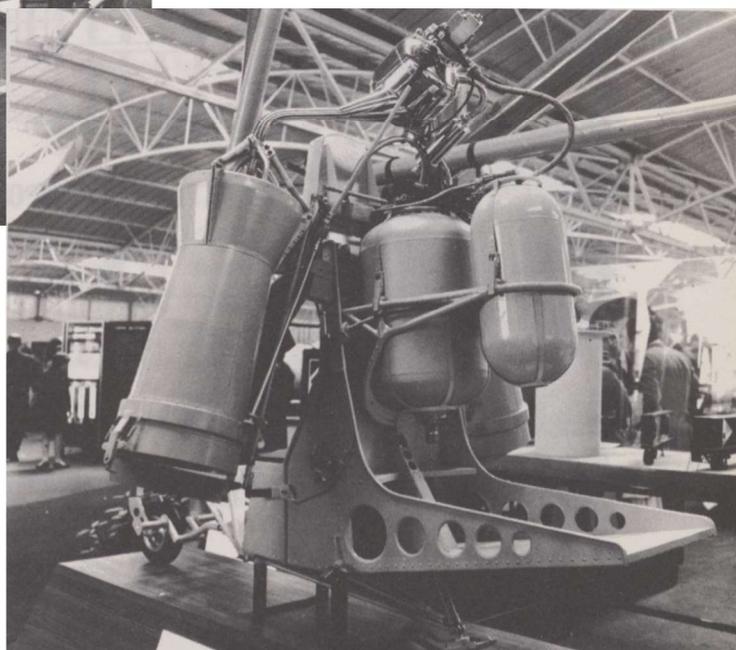
Extraits :



Ce sustentateur individuel sera piloté et doit permettre à l'homme et à sa charge de franchir ainsi des obstacles de dimensions importantes, tout en effectuant dans la limite de temps impartie (c'est-à-dire une trentaine de secondes) toutes les évolutions désirées. Ses applications militaires sont évidentes (lutte anti-char par exemple), mais de multiples usages civils sont déjà envisagés, tels la lutte contre les incendies de forêt, le sauvetage en mer, etc. Bien que le Ludion puisse être comparé au sustentateur américain de Bell Aerosystems, il en diffère cependant profondément, non seulement parce que l'appareil est réalisé autour d'une structure ultra légère supportant l'homme et sa charge (et le protégeant quelque peu à l'atterrissage), mais aussi parce qu'il utilise un moteur fusée comportant un générateur de gaz associé à deux trompes Bertin, ce qui améliore considérablement le rendement général, donc " l'enveloppe de vol ".



Vue de l'avant  
©Air & Cosmos



Vue de l'arrière  
©Air & Cosmos

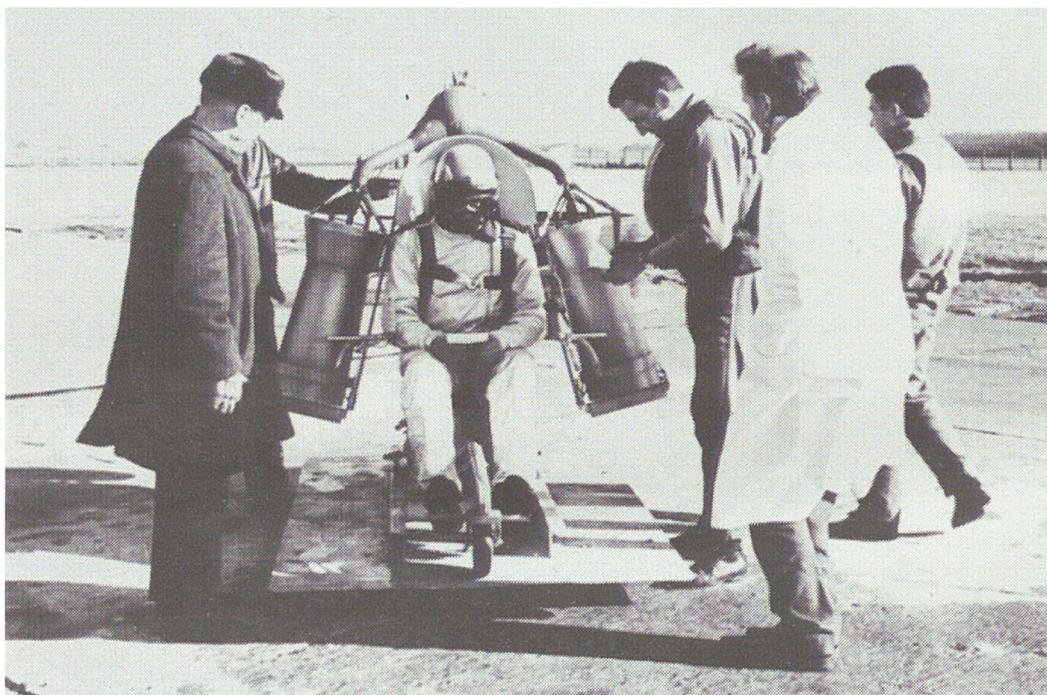
Le Ludion comporte une structure ultra légère en alliage léger, dotée à l'avant d'une petite roue, à l'arrière d'un patin avec amortisseur. Le moteur SEPR S. 178 comporte essentiellement deux ensembles aux fonctions bien distinctes :

- un ensemble d'alimentation en monergol constitué par un réservoir de nitrate d'isopropyle et par une bouteille d'air comprimé permettant de pressuriser ce réservoir ;
- un ensemble de poussée comprenant le générateur de gaz (chambre de décomposition) avec sa vanne de réglage et son dispositif d'allumage, deux tuyères d'éjection, et deux " trompes " ; cet ensemble est mobile sur deux axes et son orientation par le pilote permettra d'assurer le contrôle en tangage et en roulis. Quant au pilotage en lacet, il sera assuré par deux petits volets de déflexion placés à la sortie des trompes.

Ces trompes Bertin permettent d'améliorer la poussée, mais aussi d'abaisser le niveau sonore à 95 dB à 1 m ainsi que la température des gaz éjectés. Le système d'atterrissage, dont la course est de l'ordre de 25 cm, est composé non seulement de la roulette avant et du patin arrière, mais aussi de deux balancines constituées par des cannes en fibre de verre. Le train doit permettre de se poser à vitesse non nulle et pouvoir encaisser une chute de 3 m de hauteur.

En théorie, le Ludion aura une vitesse maximale de l'ordre de 100 km/h, son accélération maximale atteindra 2,2 m/s, la distance franchissable horizontale sera de l'ordre de 600 m. Le poids total prévu est de 200 kg, y compris 30 kg de charge utile : l'engin pèse donc à vide moins de 100 kg. Les essais en vol sont en théorie prévus pour la fin de l'année 1967. La mise au point d'un appareil de ce genre exige une étude préliminaire très complète, et de multiples essais au banc. Un simulateur a donc été construit au CEPR de Saclay pour étudier, en grandeur réelle, la cinématique du vol, avec utilisation d'air comprimé pour assurer la sustentation.

Quant aux problèmes techniques, ils sont finalement très ardues ; il a par exemple fallu réaliser une chambre de décomposition capable de résister à des pressions et des températures élevées (plus de 1000°C), et un détendeur très précis. La principale difficulté a été résolue par l'application d'un revêtement ablatif sur les parois de la chambre de combustion, solution qui évite la fusion de celle-ci. A noter que les principales sociétés concernées par le programme Ludion sous la maîtrise d'œuvre de Sud-Aviation sont la SEPR (appareil moteur), Bertin (trompes), Katz (amortisseurs) et EFA (parachute spécial à dégrafage instantané).



*Au centre Robert Cartier pilote d'essais à bord du Ludion, à gauche Edouard Vidal (avec chapeau) et à droite de dos, imperméable clair, Lucien Servanty*

Fin janvier 1968, le Ludion commence ses essais en vol sur le centre d'essais SEPR de Melun-Villaroche Nord. Il est piloté par le lieutenant Robert Cartier, premier français à avoir essayé un siège éjectable en 1947, qui a une longue carrière derrière lui. Entré au C.E.V. comme parachutiste d'essais en septembre 1945, il était chargé des problèmes de " sécurité-survie " et jouait un rôle déterminant au titre des sièges éjectables, analysant et comparant ceux des allemands et des britanniques et participant en Angleterre d'abord, puis en France, aux premières éjections à grande vitesse... jusqu'à 832 km/h. C'est en 1966 que Robert Cartier se voit confier avec les ingénieurs naviguant Edouard Vidal et Jacques Lecarme, la mise au point du Ludion.

La machine définitive pèse à vide 76 kg. Après avoir fait les pleins en NIP et en azote, elle atteignait 110 kg et avec le pilote et une petite charge utile de 24 kg, on obtenait une masse au décollage de 212 kg.

Les commandes de vol se font de la façon suivante :

- mouvement musculaire des poignées vers l'avant ou vers l'arrière pour le pilotage en tangage ;
- mouvement musculaire des poignées vers la gauche ou la droite pour le pilotage en roulis ;
- rotation manuelle de la poignée droite pour une manœuvre en lacet autour de l'axe vertical. Cette action commande, par un jeu de tringles, le mouvement contraire de 2 volets situés à la sortie des trompes du propulseur, de façon à engendrer la rotation de l'engin.
- enfin, rotation manuelle de la poignée gauche pour faire varier le régime moteur par l'intermédiaire aussi d'un jeu de tringles.

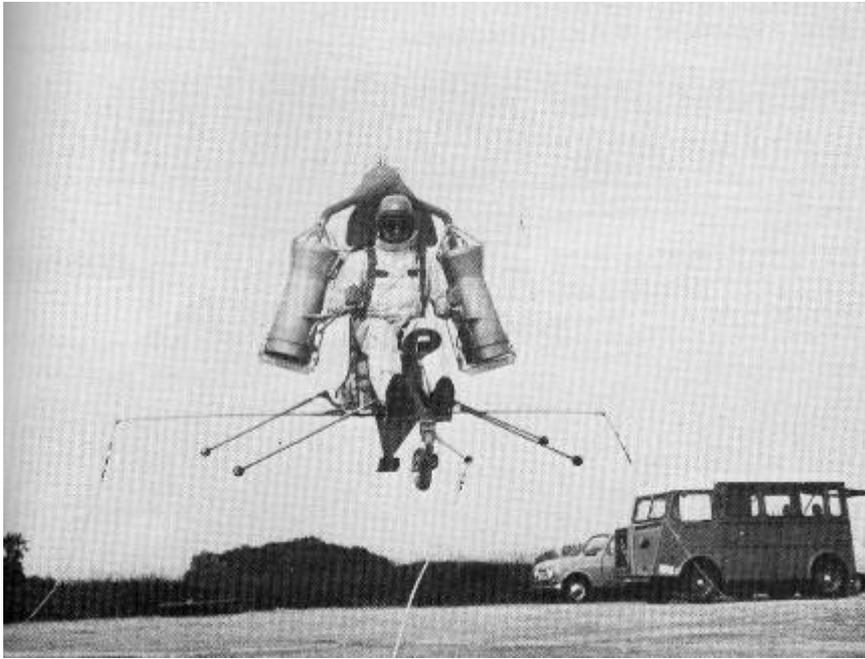


*Robert Cartier pilote d'essais aux commandes du Ludion - © Espace Patrimoine Safran*

Le système à la fin de la phase probatoire a démontré les possibilités suivantes :

- altitude maximale : 3 m,
- rayon d'action (par vent nul) 600 m environ,
- durée de vol : 32 secondes.

Les vols d'essais sont donc dans un premier temps " entravés " maintenu par des câbles de sécurité (1<sup>er</sup> trimestre 1968) sur des cercles de rayons croissants, puis accompagnés (2<sup>ème</sup> trimestre 1968) par du personnel tenant les filins et courant derrière l'appareil. Il faut attendre le 18 décembre 1968 et le cinquantième vol d'essais pour qu'enfin le Ludion 001 soit libre de ses mouvements (4<sup>ème</sup> trimestre 1968). Quarante-huit heures plus tard le Ludion 002 réalise lui son premier vol... entravé. Au total, 64 essais ont été effectués en 1968 dont 5 vols libres (sans aucune entrave) parcourant dans le meilleur des cas 190 mètres en 32 secondes, face à un vent de 2 nœuds, représentant par vent nul 520 mètres de distance à 59 km/h.



Décollage " entravé "  
© Espace Patrimoine Safran

Mais très rapidement, l'état-major français doit se résoudre à déchanter. Non seulement le Ludion n'est pas facile à manœuvrer mais de surcroît il s'avère particulièrement instable à l'atterrissage et ce malgré les quatre mini-roulettes installées aux extrémités de l'engin. Son train d'atterrissage monorace, à la manière du chasseur SO.4050 Vautour, tient plus du deux roues qu'autre chose. En outre son autonomie limitée à trente secondes le rend incapable de permettre le franchissement des obstacles aux soldats qui devraient en être dotés. Sans compter que l'engin est toujours très bruyant et donc pas aussi discret que l'auraient voulu les militaires.

Le programme du Sud-Aviation SA-610 Ludion est finalement stoppé par le constructeur et le ministère de la défense nationale au début de l'année 1971. Georges Caillette, dépité, décide de prendre sa retraite quelques semaines plus tard. Les trois prototypes de l'engin sont alors conservés et préservés. Machine volante mal connue le Sud-Aviation SA-610 Ludion est souvent considéré comme la réponse française au principe américain du jet-pack, même si dans la réalité il est plus proche du VZ-9 Avrocar canadien. Une machine volante là encore demeurée à l'état de prototype.

Le Ludion 001 est exposé au Musée de l'Air et de l'Espace, et le Ludion 002 au Musée Aéronautique et spatial SAFRAN en suspension au-dessus de la salle de réunion située en mezzanine (photo ci-contre - © AAMS).

#### Bibliographie :

Air & Cosmos, Aviation Magazine, Pionniers, SEP INTER, documentation USIAS (aujourd'hui GIFAS), L'histoire de Villaroche-Nord - 1<sup>ère</sup> partie - 1953-1980.

Remerciements à Dominique Prot - Espace Patrimoine SAFRAN

<sup>1</sup> A noter que Monsieur Gilbert Albert a rédigé un excellent article sur le sustentateur individuel " Ludion " dont il a assumé la responsabilité de la mise au point du moteur. Cet article momentanément suspendu par les Services officiels (DRME-DMA) n'a jamais reçu l'autorisation pour être inséré dans la revue SEP INTER à laquelle il était destiné.



## Ariane - 40<sup>ème</sup> anniversaire

### L'acquisition progressive des technologies critiques - La propulsion cryotechnique

Jusqu'au début des années 60 la propulsion par " moteur-fusée " en France utilisait soit des ergols liquides stockables en condition standard (1 bar, 15°C), soit des ergols solides alors que les USA développaient des propulseurs à ergols liquides cryotechniques hydrogène et oxygène liquides (respectivement - 253°C et - 183°C sous 1 bar) pour les lanceurs Atlas, Titan 3 puis Saturn 5 (programme Apollo).

Ces différents propergols se caractérisent par :

1. ergols solides (poudre) stockage et mise en œuvre aisés mais performance propulsive moindre (V éjection max à la sortie de la tuyère 2 800 m/s).
2. ergols liquides stockables, mise en œuvre plus complexe car hypergoliques et corrosifs mais performance supérieure (V éjection max 3 200 m/s).
3. ergols cryotechniques les plus performants (V éjection max 4 500 m/s) mais d'une mise en œuvre très complexe en raison des très basses températures à contrôler (isolation thermique), des problèmes de lubrification des parties tournantes, des gradients thermiques entre parties chaudes de la combustion et parties froides des systèmes d'alimentation en ergols.

Mais ces complexités permettent de réduire la masse d'ergols dans le rapport des vitesses d'éjection :

$F = m \times V_e$  (F = poussée, m = débit masse,  $V_e$  = vitesse d'éjection).

Ainsi en passant des ergols solides aux ergols cryotechniques la masse d'ergols pour une impulsion totale délivrée identique est réduite de 40% donc un lanceur plus léger, une poussée nécessaire plus faible pour les étages inférieurs.

Ce long préambule pour expliciter les raisons qui vont conduire à s'orienter vers cette technologie complexe dès qu'il s'agit de satellisation nécessitant des impulsions totales élevées pour satelliser une charge.

### Fin des années 50

**1957** premier satellite terrestre Sputnik.

**1958** Le général de Gaulle arrive au pouvoir. Très rapidement il engage les études pour permettre à la France de rentrer dans le club spatial après les russes et les américains.

**1960** Décision de lancer le programme Diamant. Les technologies disponibles alors se limitaient aux ergols stockables et aux ergols solides issus des programmes d'engins déjà engagés.

L'architecture retenue sera : 1<sup>er</sup> étage à ergols stockables, 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> étages à ergols solides moins performants mais disponibles. Elle permettra la première satellisation française le 26 novembre 1965, modeste (80 kg, altitude 200 km) mais réussie.

Cependant dès le début du programme les concepteurs, la Société d'Etude et de Réalisation d'Engins Balistiques (SEREB) soucieuse d'améliorer les performances promeuvent une version dans laquelle les 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> étages à poudre seront remplacés par des moteurs cryotechniques H<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> technologie naissante en France et hors USA.

### 1961

La SEPR (Société d'Étude de la Propulsion par Réaction) reçoit un contrat de la DTEn (Direction Technique des engins) de développement d'un moteur de 6 000 daN de poussée pour le 2<sup>ème</sup> étage et d'un moteur de 400 daN de poussée pour le 3<sup>ème</sup>.

Ce développement est arrêté en 1964 malgré une avancée positive, la France s'étant engagée avec la Grande-Bretagne dans un programme plus ambitieux Europa 1 qui ne prévoit pas de propulsion cryotechnique.

Compte tenu des résultats déjà obtenus la DTEn va engager la poursuite des travaux sur le moteur de 6 000 daN, HM6 pour évaluer notre capacité à maîtriser ce type de propulsion.



Ceci permettra la poursuite :

1. des travaux sur la lubrification des engrenages, des roulements, à basse température dans le carter de la turbopompe.
2. du développement de joints tournants à haute vitesse, 60 000 tr/mn et basse température.
3. de la mise au point de technologies d'étanchéité statiques (joints Naflex), d'étanchéité dynamiques sur les clapets-sièges des vannes à très basse température.
4. du développement de l'isolation thermique des circuits d'alimentation pour éviter toute vaporisation.
5. de la définition du refroidissement régénératif de la chambre de combustion.
6. des configurations d'injection (O<sub>2</sub> liquide + H<sub>2</sub> gazeux après refroidissement de la chambre) et d'allumage.

Tous ces domaines n'ayant jamais été expérimentés précédemment.

## 1967



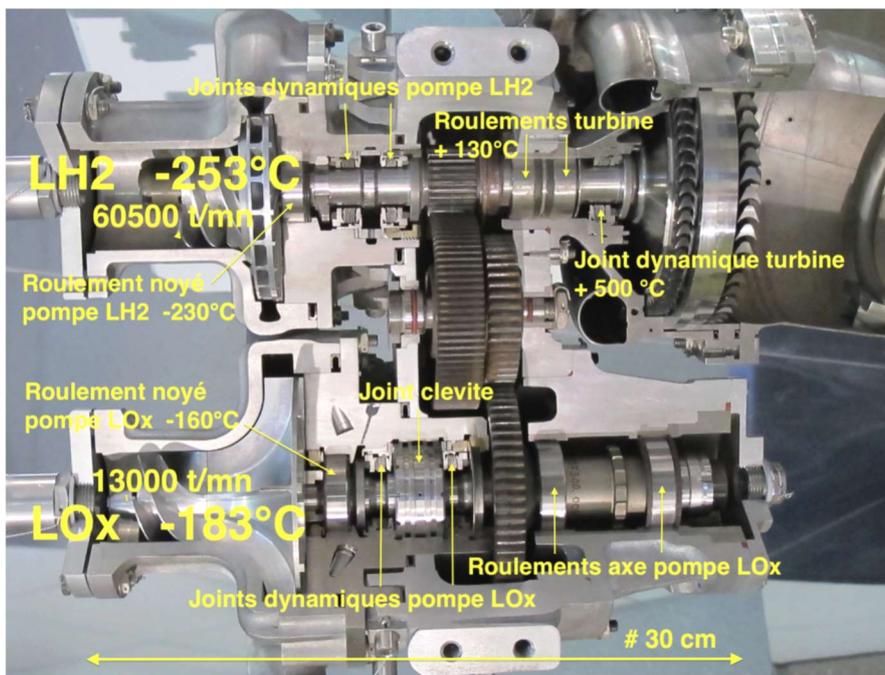
Essai du moteur HM4 en 1967 à Villaroche

L'ensemble de ces travaux va conduire à une première mise à feu du moteur en mars 1967 (échec à l'allumage). Reprise des essais en juillet 1967 qui se poursuivront sans échec jusqu'à fin 1968 par un tir de 250 s permis par les moyens d'essais. Arrêt du programme de faisabilité.

Celle-ci est démontrée 6 ans après l'engagement des travaux mais le succès est partiel car la poussée a été limitée à 4 000 daN en raison d'un problème de dynamique de rotor limitant la vitesse de rotation de la turbopompe.

La SEPR va obtenir du Centre Nationale d'Etudes Spatiales (CNES) un financement destiné à traiter le problème de vitesse critique de l'arbre grande vitesse de la turbopompe.

Les travaux vont débuter par une étude critique demandée à Rocketdyne (USA) spécialiste des moteurs cryotechniques. Les modifications proposées porteront essentiellement sur une réduction du porte à faux des rouets de pompe par inversion de position pompe /joint tournant /roulement /carter permettant la lubrification du roulement dans l'ambiance du carter ( $t > -60^{\circ}\text{C}$ ) à un positionnement pompe /roulement /joint dynamique /carter ne permettant plus de lubrifier les roulements qui se trouvent à la température des ergols ( $-253^{\circ}\text{C}$  et  $-183^{\circ}\text{C}$ ) donc fortement refroidis pour absorber les échauffements dus aux charges de frottement plus élevées.



Turbopompe du moteur HM-7

Cette nouvelle configuration et les nouvelles conditions de fonctionnement des roulements vont conduire à un long travail d'amélioration de la fabrication de ceux-ci (état de surface des pistes et billes, sphéricité des billes), à l'introduction de filtrage des ergols traversant les roulements, qui se poursuivra même après le début du programme Ariane en 1973.

L'objectif d'atteindre les 63 000 tr/mn sur l'arbre grande vitesse conduisant à la poussée de 6 000 daN est obtenu, mais il n'est toujours pas prévu de mise en œuvre de ce type de propulsion.

## 1972

Pendant cette période le programme Europa 1 va se dérouler depuis le 1<sup>o</sup> tir en juin 1964 par une suite d'échecs ininterrompue jusqu'à l'ultime tentative en novembre 1971. L'arrêt du programme est décidé en décembre 1972. L'Europe (et donc la France) se retrouve démunie de moyen de lancement autonome et doit recourir à la NASA pour le lancement de Symphonie premier satellite de télécommunication franco-allemand mais avec des contraintes inacceptables pour le long terme.

## 1973

Cette situation de dépendance va conduire le CNES à lancer un projet de lanceur tri-étages L3S (lanceur de 3<sup>ème</sup> génération de substitution) avec le 3<sup>ème</sup> étage propulsé par le moteur cryotechnique HM6 (photo visible au musée Safran).

Ce programme franco-français au départ va s'eupéaniser et deviendra Ariane impliquant la participation de "coopérants" dans le développement et/ou la fabrication des organes.

C'est ainsi que MBB (Messerschmitt-Bölkow-Blohm devenu DASA puis maintenant Ariane Group) avec qui la Société Européenne de Propulsion (SEP) avait précédemment collaboré à l'étude d'un moteur cryotechnique pour la propulsion du 2<sup>ème</sup> étage du lanceur Europa 3 qui en resta au stade "papier", se présenta pour participer au développement du HM7 dérivé du HM6 en version mono-tuyère et pouvant être poussé à 7 000 daN de poussée. MBB avait débuté le développement d'un démonstrateur de chambre de combustion à ergols cryotechniques sur programme national. C'est sur cet acquis technologique et la répartition des responsabilités prévues pour Europa 3 que va se définir la coopération :

- moteur, définition intégration et maîtrise d'œuvre SEP,
- chambre + tuyère, définition et production MBB,
- système d'alimentation en ergols SEP.

Il est à noter que cette coopération initiée en 1974 se poursuit sur Vulcain, Vinci, c'était donc un bon choix...



Moteur HM7

De ce long exposé on retiendra que la propulsion d'Ariane débute sur la base de technologies dont la mise en œuvre a été démontrée mais dont si peu d'exemplaires ont été réalisés pour garantir un bon niveau de fiabilité à une époque où les développements étaient surtout expérimentaux et où l'assistance informatique n'était pas encore très développée pour garantir une meilleure reproductibilité des matériels. (Ce constat s'applique aussi au moteur Viking).

Le programme était prévu pour 2 à 4 lancements/an au maximum. Les contraintes budgétaires vont conduire à réduire le nombre de matériels de développement et les essais afférents, réduisant la population des informations expérimentales et donc leur fiabilité.

Cependant le bon sort ou le professionnalisme des personnels va placer le développement du HM7 du bon côté de la courbe de Gauss qui se déroulera sans accident majeur mais toujours avec les problèmes déjà évoqués (roulements) mais jugés acceptables pour présenter le matériel à la qualification, obtenue.

## 1979

L'épreuve de vérité arrive. Le premier lancement prévu en début de programme en juillet 1979 se fera le 24 décembre. Réussite exceptionnelle 8 ans après le 11<sup>ème</sup> et dernier échec d'Europa 1.

Au deuxième lancement, échec du 1<sup>er</sup> étage.

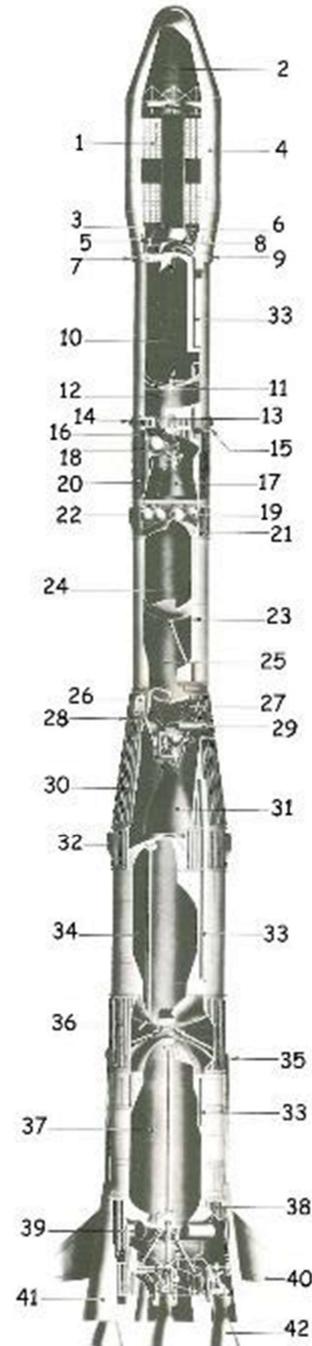
Les 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> lancements concluant, la qualification en vol du lanceur donc de sa propulsion, sont réussis.

C'est en particulier en raison de ces succès que va naître Arianespace et l'ambition de commercialiser au niveau mondial un lanceur prévu initialement comme outil d'indépendance d'accès à l'espace pour nos satellites institutionnels.

C'est aussi une réussite, mais on va passer d'un besoin de 2/4 lanceurs par an à 8 puis 10 et jusqu'à 12 entraînant les problèmes de production que cela créera.

Sur environ 250 lancements à la fin 2019, 220 moteurs HM7 auront été utilisés sur les 300 produits occasionnant 5 échecs pour des causes, sauf pour l'un d'entre eux, autres que les difficultés rencontrées durant la phase de développement de 1973 à 1979.

1. Charge utile
2. Plan de séparation coiffe
3. Plan de séparation 3<sup>ème</sup> étage/charge utile
4. Coiffe
5. Case équipements
6. Adaptateur charge utile
7. Case à équipements
8. Membrane d'étanchéité
9. Antennes
10. Réservoir d'hydrogène liquide
11. Anti-ballotant
12. Réservoir d'oxygène liquide
13. Fusées d'accélération (4)
14. Systèmes de contrôle attitude et roulis (SCAR)
15. Plan de séparation 2/3
16. Bâti moteur du 3<sup>ème</sup> étage
17. Moteur du 3<sup>ème</sup> étage HM7
18. Sphère d'hélium de pressurisation
19. Sphères d'hélium de pressurisation
20. Jupe inter-étages 2/3
21. Jupe avant du 2<sup>ème</sup> étage
22. Fusées de freinage (3)
23. Anti-ballotant
24. Réservoir N<sub>2</sub> O<sub>4</sub>
25. Réservoir UDMH
26. Fusées d'accélération (6)
27. Bâti moteur du 2<sup>ème</sup> étage
28. Plan de séparation 1/2
29. Tore d'eau du 2<sup>ème</sup> étage
30. Jupe inter-étages 1/2
31. Moteur du 2<sup>ème</sup> étage - 1 Viking IV
32. Fusées de freinage (8)
33. Gouttière électrique
34. Réservoir N<sub>2</sub> O<sub>4</sub>
35. Canalisations d'arrivée N<sub>2</sub> O<sub>4</sub> (4)
36. Jupe inter-réservoirs
37. Réservoir UDMH
38. Bâti moteur du 1<sup>ème</sup> étage
39. Tore d'eau du 1<sup>ème</sup> étage
40. Empennages
41. Carénages
42. Moteur du 1<sup>ème</sup> étage - 4 Viking IV



Eclaté lanceur Ariane 1

Le HM7 est ainsi le seul matériel du programme Ariane issu d'études engagées en 1962 du temps de la règle à calcul et de la table de logarithmes à poursuivre sa carrière jusqu'au dernier tir d'Ariane 5 en 2022?

## La réglementation aéronautique – L'accident aérien (1<sup>ère</sup> partie)



- Un drame humain
- Un échec du transport aérien
- Répercussions potentiellement étendues à l'ensemble des Acteurs :
  - Médiatisation
  - Limitations
  - Evolution des règlements de certification
  - Liste noire

### ❖ *Enquête technique et enquête judiciaire*

L'enquête technique se satisfait des causes probables quand l'enquête judiciaire exige des certitudes.

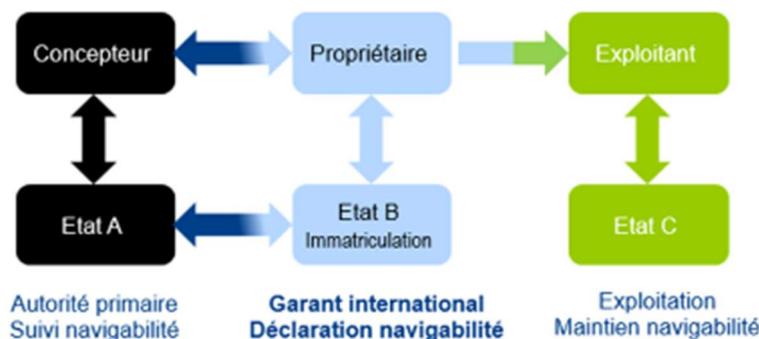
- **Enquête technique**
  - Le doute profite à la sécurité impliquant des recommandations.
  - La finalité de l'enquête technique est la prévention.
- **Enquête judiciaire**

La finalité de l'enquête judiciaire est d'établir les causes certaines de l'accident pour déterminer les éventuelles responsabilités et l'indemnisation des victimes.
- **Au tribunal pénal :**

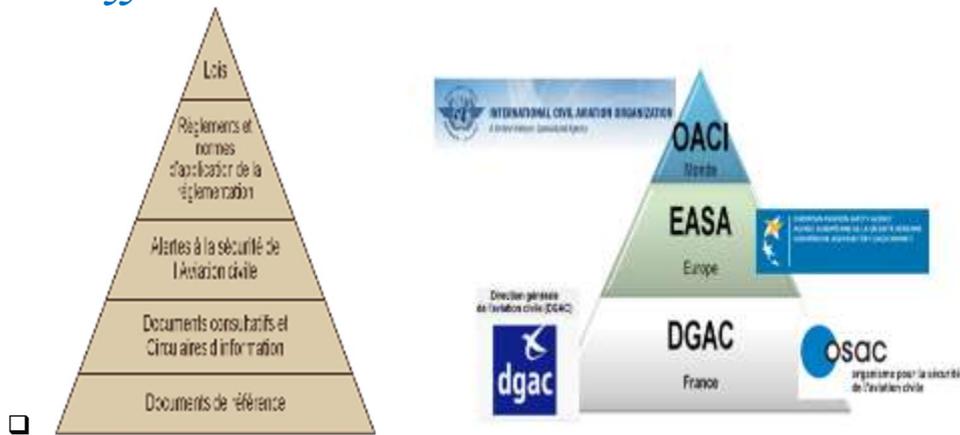
Sont convoqués : Le Dirigeant Responsable, les Personnels de Commandement et le personnel en cas de non-respect des engagements.

### *Un cadre réglementaire obligatoire*

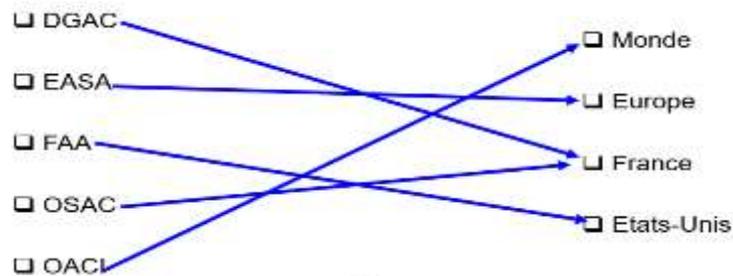
### ❖ *Les règlements dans le cycle de la vie d'un avion*



## ❖ Les organismes officiels ou de surveillance



### L'Organisme et son " territoire de juridiction "



## ❖ L'application du règlement en France

### ❖ Qu'est-ce que le règlement Part 21 ?

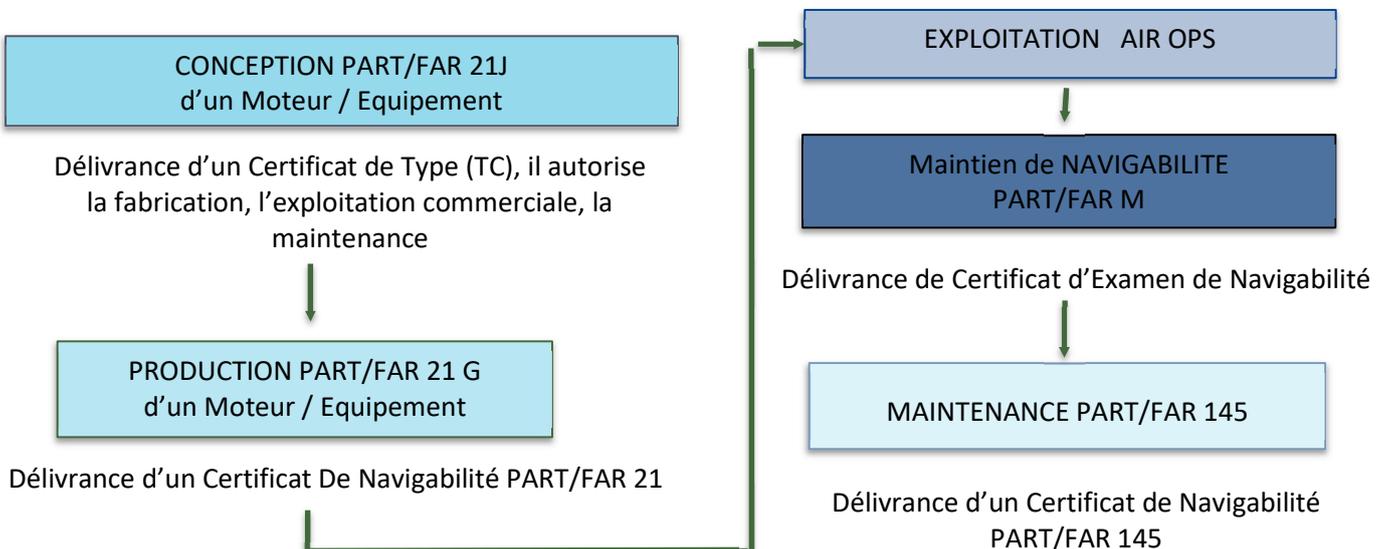
C'est le règlement (CE) n° 1702/2003 de la commission du 24 septembre 2003 établissant des règles d'application pour l'Agrément des organismes :

### ❖ Agréments des organismes / manuels d'Organisme

Reconnaissance par l'autorité de l'aptitude à Safran Aircraft Engines (organisation, système qualité, gestion des données certifiées) à concevoir, produire, maintenir des matériels navigables. Les agréments sont déclinés dans un manuel d'Organisme.

- Règlement Part domaine civil et règlement Far domaine militaire.

- Part/Far 21 J : **Agrément d'organisme de Conception** = Design Organisation Approval  
Manuel : Design Organisation Manual
- Part/Far 21 G : **Agrément d'organisme de Production** = Production Organisation Approval  
Manuel : Production Organisation Approval
- Part/Far 21 J : **Agrément d'organisme de Maintenance** > Maintenance Organisation Approval  
Manuel : Maintenance Organisation Exposition



- Le **Certificat de Type** atteste que le moteur défini par sa **Définition de Type**, répond en tout point aux exigences techniques de navigabilité applicables.
- Le Certificat de Type est accompagné de la fiche de navigabilité (**TCDS : Type Certificate Data Sheet**) qui définit le moteur et ses caractéristiques (nomenclature, limitations...).



### ❖ *Implication des organismes officiels ou de surveillance*

Leur mission comporte deux aspects :

- Evaluer les organisations mises en place, vérifier les dispositions prises par Safran Aircraft Engines pour maîtriser la qualité des fournitures et prestations ainsi que d'assurer une surveillance de la bonne application,
- S'assurer que la qualité des matériaux d'armement livrés aux armées françaises ou étrangères est conforme à leurs spécifications.

Les audits de ces Agences Nationales visent à la délivrance et au maintien des agréments.

### ❖ *Les organismes officiels ou de surveillance*

#### 1) Agence Européenne de la Sécurité Aérienne

L'**EASA** dans le domaine civil est la clé de voûte de la stratégie de la sécurité aérienne de l'Union Européenne.

- L'**EASA** audite Safran Aircraft Engines dans le domaine civil de la conception et de l'exploitation.



#### La Réglementation EASA



#### 2) Organisme pour la Sécurité de l'Aviation Civile

- L'**OSAC** audite Safran Aircraft Engines dans les domaines civils et militaires de la production et de l'entretien.



#### 3) La Direction Générale de l'Armement

La direction générale de l'Armement (DGA) est une direction du ministère français des Armées.

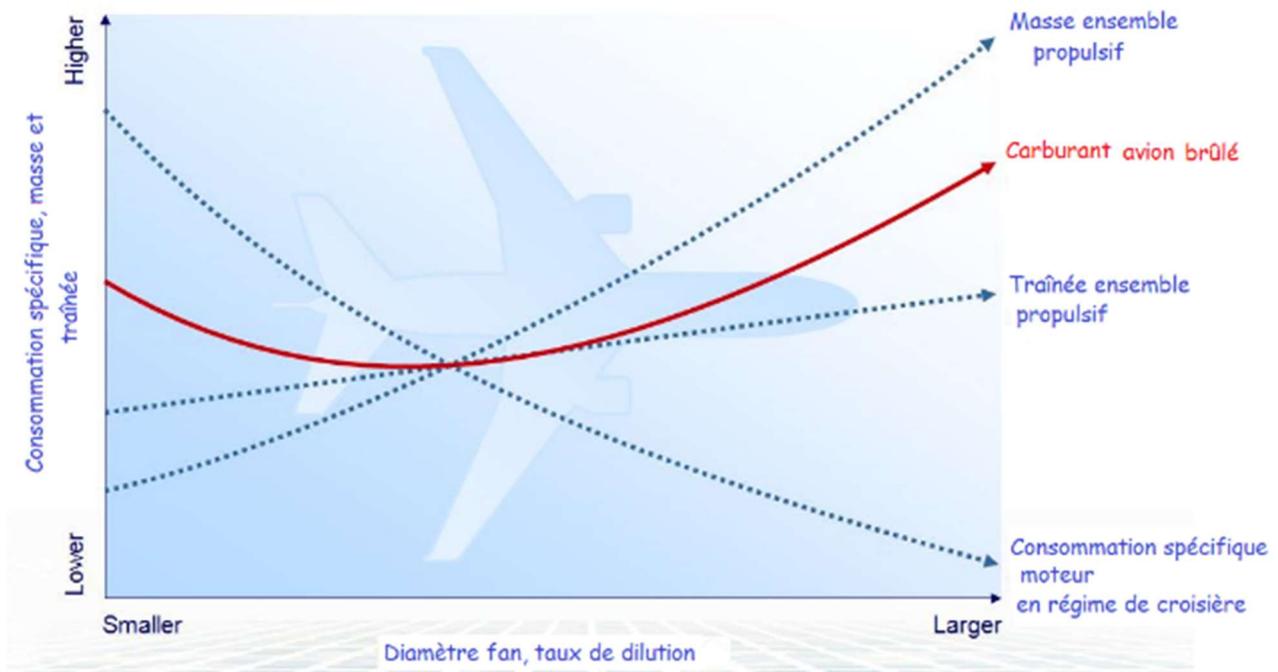
- La **DGA** audite Safran Aircraft Engines dans le domaine militaire de la conception, de la production et de la maintenance.



## Pourquoi un "Open rotor" ?

Il est bien connu que la consommation spécifique d'un turboréacteur s'améliore lorsqu'augmente le taux de compression de son compresseur. Malgré tout, la consommation pourrait encore être améliorée si l'énergie cinétique contenue dans l'air éjecté par la tuyère n'était pas dissipée en pure perte dans l'atmosphère, si ce n'est pour chauffer les petits oiseaux. Le turboréacteur " double flux ", encore appelé turbosoufflante, a été développé pour diminuer cette perte et en cela, réduire encore plus la consommation de carburant.

Une contre pression a besoin d'être maintenue derrière la turbine entraînant le compresseur pour que celui-ci soit à même d'élever la pression de son refoulement et de fournir une poussée. Dans un turboréacteur simple flux cette contre pression est fournie par la tuyère, mais avec le défaut de générer des pertes. La turbosoufflante crée cette contre pression indispensable, non pas en la détendant dans une tuyère, mais dans une deuxième turbine dite turbine de puissance, qui entraîne un deuxième compresseur (la soufflante) débitant un grand débit d'air à faible pression. La poussée est conservée grâce au grand débit d'air et les pertes d'éjection sont réduites de par la faible vitesse d'éjection. L'inconvénient est que le grand débit d'air conduit à un grand diamètre du moteur et donc à un poids et à une traînée très importantes du moteur.



Optimisation du taux de dilution d'une turbosoufflante (origine CFM)

Le graphique ci-dessus montre une évolution typique de la consommation spécifique, de la traînée et du poids d'une turbosoufflante en fonction de son taux de dilution, traduit en diamètre. On y voit qu'un optimum de la consommation de carburant de l'avion est obtenu pour un diamètre bien déterminé de la soufflante, donc du taux de dilution. Augmenter le diamètre au-delà de cet optimum conduirait à augmenter la consommation de l'avion. C'est pour cela que le taux de dilution des turbosoufflantes ne dépasse pas la valeur d'environ 15, alors qu'au-delà la consommation spécifique continuerait de diminuer.

Une des solutions proposées pour encore réduire plus la consommation carburant serait de réduire la traînée de la turbosoufflante en éliminant son conduit secondaire et en laissant tourner la soufflante à l'air libre comme le fait une hélice. Cette solution, qui n'a pas encore eu d'application en service, permettrait à la fois d'augmenter le débit d'air secondaire, ce qui réduit la consommation, et de diminuer le poids. La turbosoufflante se transforme alors en "turbopropulseur", moteur bien connu, mais qu'il n'est pas possible d'utiliser sur les avions rapides, à cause de la chute rapide de la puissance propulsive de ses hélices au-delà de  $M = 0,55$ . Pour que le turbopropulseur soit utilisable à la vitesse que permet la turbosoufflante ( $M = 0,8$ , ou encore 800 km/h), il faudrait donc l'équiper d'une hélice conservant un bon rendement jusqu'à cette

vitesse. C'est ce que permettent aujourd'hui les méthodes de dimensionnement sophistiquées utilisées pour définir les aubes transsoniques de compresseur. Ce type d'hélice est appelé "hélice rapide" et la turbosoufflante qui en est équipée, un "open rotor", pour rappeler que le rotor n'est pas caréné.

Les hélices rapides ont une forme nouvelle de pales qui ressemblent à des sabres, courbées en arrière, à la manière des ailes en flèche des avions. Alors que généralement les hélices conventionnelles ont quatre pales au maximum, le nombre de pales des "open rotor" est plus élevé, de l'ordre de 8 à 12. Ces hélices qui sont à pas variable permettent de conserver un rendement acceptable jusqu'à  $M = 0,75$ .

Toutefois la configuration simple mono-étage laisse derrière elle une rotation du jet d'air dont l'énergie cinétique est définitivement perdue. L'adjonction derrière elles d'un redresseur à calage variable ou d'une deuxième rangée d'aubes tournant en sens inverse redressent le jet et permettent de gagner encore 7% de rendement.

L'ensemble contrarotatif possède un bon rendement jusqu'à  $M = 0,85$ . Ces hélices rapides ont une vitesse périphérique beaucoup plus élevée que celle des hélices conventionnelles, ce qui fait que pour la même puissance propulsive leur diamètre est plus faible, facilitant leur installation sur avion.



GE-36 - Open rotor à hélices coaxiales

Un premier inconvénient est qu'un réducteur doit généralement être utilisé car les pales ne peuvent pas tourner aussi vite que la turbine qui les entraîne. Cependant, cet inconvénient peut être évité comme sur le démonstrateur UDF (Unducted Fan) de General Electric (GE) à hélices contrarotatives qui n'avait pas de réducteur, les pales étant directement accrochées aux extrémités des aubes de la turbine et des distributeurs qui tournaient également, mais en sens inverse.

Un deuxième inconvénient tient au fait que les pales d'hélices tournant à l'air libre, elles ne pourraient pas être contenue au cas où une d'elles se détacherait, rendant difficile la certification de l'avion. Pour cette raison, entre autres, les projets d'avion avec "Open rotor" les installent généralement à l'arrière de l'avion comme l'étaient les moteurs de Caravelle.



Installation du "démonstrateur" UDF de GE sur un Douglas DC-9 (Mai 1987)

Un troisième inconvénient provient du bruit et des vibrations générés par la rotation des hélices, surtout si elles sont contrarotatives. Les calculs acoustiques conduits pendant la phase de définition incluent la recherche d'un bruit minimum, ressenti aussi bien dans la cabine qu'à l'extérieur, mais les performances de l'ensemble restent cependant limites. Cet inconvénient reste majeur, surtout si la réglementation devait devenir plus sévère.

Un quatrième inconvénient résulte du diamètre important des hélices qui complique l'installation sur l'avion. La position à l'arrière du fuselage semble aujourd'hui être la seule considérée.

L'"Open rotor" a donc beaucoup de défauts mais aussi une très grande qualité, celle d'offrir la plus faible consommation de carburant tout en permettant une vitesse de vol qui reste acceptable pour les avions de transports. C'est donc l'importance accordée à cette qualité qui pourrait faire accepter ses inconvénients. C'est donc le prix du carburant qui devrait décider de son utilisation ou non. Or il faut plusieurs années pour développer un nouveau moteur et le prix du carburant fluctue en beaucoup moins de temps. Y aura-t-il un avionneur qui prendra le risque d'investir beaucoup d'argent dans un avion qui ne correspondra plus au besoin du jour lorsqu'il deviendra disponible ? J'en doute !

## B782, la mère de toutes les turbines (1<sup>ère</sup> partie)



La B782 tient une place éminente dans l'histoire des turbines à gaz Turbomeca (Safran Helicopter Engines depuis 2016). Étudiée en 1947, elle est la première turbine de la lignée qui va faire la fortune de la maison. Tous les moteurs de la société qui vont suivre, y compris l'Arriel et le Makila encore en production aujourd'hui, en sont issus.

### Une turbine de très petite taille

Au lendemain de la seconde guerre mondiale, l'aéronautique française est en plein renouveau. Pour rattraper le retard pris avec le conflit et éviter d'acheter du matériel étranger avec des devises que le pays n'a alors pas, il faut construire français. Dans le domaine des avions commerciaux, cette politique se traduit le 14 mars 1945 par la commande à la SNCASE d'un prototype d'avion long-courrier SE-2000. Quelques mois plus tard, le 17 août 1945, 50 exemplaires de série font l'objet du marché 188/45. L'avion va évoluer et devenir SE-2010 " Armagnac ".

Avec 77,5 tonnes au décollage, cet appareil, qui fait son premier vol le 2 avril 1949, est le plus lourd avion français jamais réalisé, tous les avions plus lourds construits ultérieurement l'étant en coopération européenne.

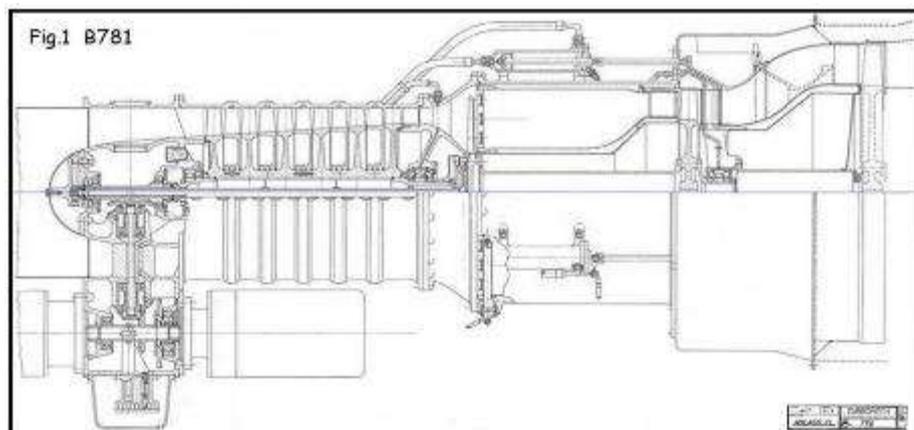


Au cours de la phase d'étude de cet avion, il est envisagé de ne pas utiliser les moteurs principaux pour faire l'électricité à bord. Il faut donc une source indépendante. Une turbine entraînant un alternateur paraît alors une solution crédible, en particulier en raison de sa légèreté.

Or, dans le marché 5064/46 passé à Turbomeca en avril 1946 pour un turboréacteur de six tonnes de poussée appelé B701, il est prévu la construction d'une turbine de démarrage de 250 ch dénommée B781. Début 1947, André Vialatte, responsable des moteurs Turbomeca au STAé, demande donc à Joseph Szydowski d'étudier une turbine dérivée de la B781 et destinée à entraîner un alternateur pour produire l'électricité à bord de l'Armagnac. Ce moteur doit donner une puissance de 60 ch à 7 000 m, soit environ 100 ch au sol.

A cette époque, l'essentiel de l'activité du bureau d'études turbines de Turbomeca, celui constitué par l'équipe allemande, est consacré au développement du gros B701. Les études sur les petites machines comme la B781 sont confiées à un jeune ingénieur, Georg Oberländer. Né en 1918 à Lodz en Pologne, ce dernier a fait des études techniques à Dantzig puis à Munich. Pendant la guerre, il travaille chez Daimler-Benz dans l'équipe d'Erich Überlacker qui, en 1947, a la responsabilité du bureau de dessins Turbomeca. Comme il le dit lui-même :

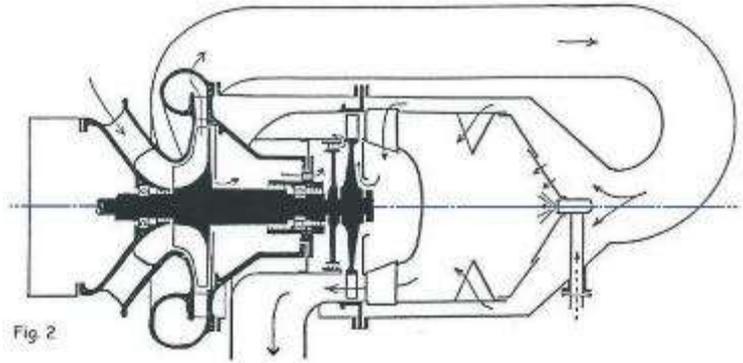
" Nallinger, Überlacker étaient de très gros personnages. Il leur fallait la " grosse machine ". Et moi, j'étais petit, j'ai eu le petit projet : celui du démarreur du B701 ". Tout naturellement, le projet de ce qui s'appelle initialement le " 60 ch " ou " Sechzig PS Gerät " en allemand, lui échoit.



### Une nouvelle conception

Le B781 était une turbine construite sur le même modèle que le gros B701 : un générateur composé de six étages de compresseurs axiaux, une chambre annulaire avec injection de carburant centrifuge, une turbine

haute pression pour entrainer le compresseur et un étage de turbine libre devant fournir la puissance (Fig 1). Le générateur tourne à 18 000 tr/mn. Très rapidement, Georg Oberländer se rend compte qu'il n'est pas possible de réduire la taille de cette machine pour en faire une turbine aussi petite que celle demandée par le STAé. Pour des turbines aussi petites, il faut une autre conception, en particulier en raison de la vitesse de rotation, le double de celle de la B781. Pour ces vitesses, seuls les turbocompresseurs pour moteurs à pistons apportaient quelques idées. A ce stade de l'histoire, il est intéressant de rappeler que Turbomeca travaillait alors sur des turbocompresseurs, en particulier pour le moteur Gnome-Rhône 14 R. Par ailleurs, la toute première turbine étudiée à Turbomeca était issue d'une réflexion sur les turbocompresseurs. Même si son concepteur, Boleslaw Szczeniowski, avait quitté Turbomeca en 1942, ses dossiers avaient été récupérés par Jean Castan qui, en 1947, travaillait aux compresseurs centrifuges et était en contact avec Georg Oberländer. Celui-ci décide donc de partir d'une configuration type turbocompresseur avec un compresseur centrifuge et des turbines axiales. Le problème principal devient alors d'intégrer une chambre de combustion dans l'architecture.



Après l'étude de plusieurs solutions, Georg Oberländer dessine un premier concept de turbine monoarbre (on dira plus tard turbine liée) avec une chambre de combustion tubulaire à un seul injecteur fixe, placée en face arrière de la turbine (Fig 2). L'air sort du compresseur par une volute et un gros tuyau le conduit à l'arrière de la machine. Une architecture que l'on retrouvera des années plus tard sur la famille Allison 250. Pour refroidir le disque de turbine, la face arrière de celui-ci est protégée par un couvercle formant une cavité dans laquelle circule de l'air arrivant au travers des pales du distributeur.

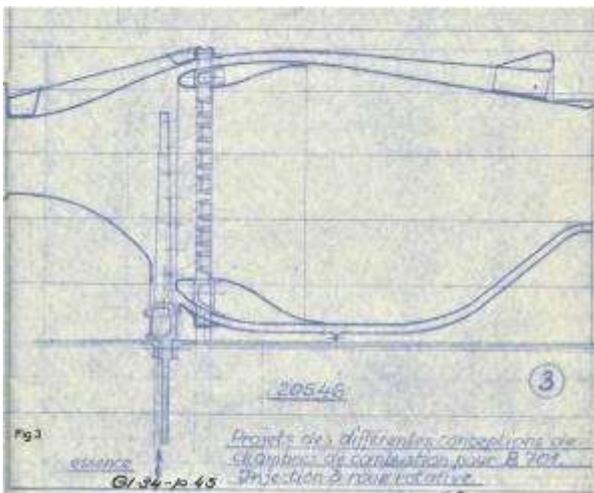


Figure 3 - Chambre de combustion B701

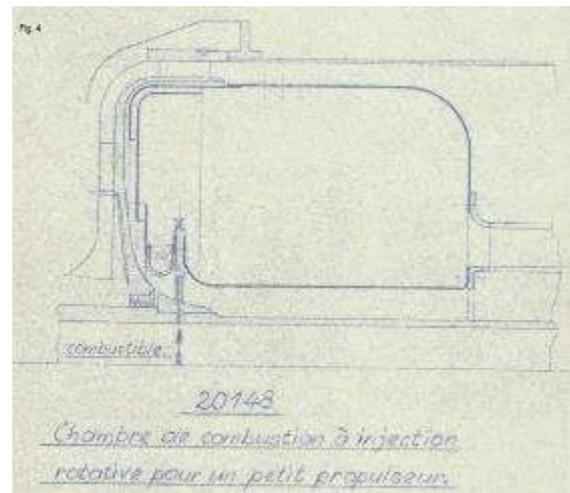


Figure 4 - Chambre de combustion à injection rotative

En parallèle des réflexions de Georg Oberländer sur la meilleure architecture pour le moteur de 60 ch (qui rapidement prend la désignation B782 ou parfois TT782), l'équipe combustion démarre les premiers essais d'injection centrifuge dans le cadre de l'étude du B701. Cette équipe comprend alors Wilhelm Glamann (dit " La flamme éternelle "), Erwin Haug et Georg Hagedorn, tous embauchés en Allemagne. L'idée de l'injection centrifuge est arrivée à Turbomeca avec eux. Elle n'a pas été testée en Allemagne pendant la guerre, mais l'idée en avait été émise et fait partie des premiers plans de travail élaborés fin 1945/début 1946 par Friedrich Nallinger. L'année 1946 se passe en études théoriques et en construction de bancs d'essais combustion. Les premiers essais partiels démarrent à Bordes le 11 janvier 1947. Ils portent sur une injection centrifuge adaptée à la chambre annulaire du B701, avec le carburant injecté parallèlement à l'axe moteur (Fig 3). Rapidement, les essais confirment les espoirs mis dans la solution et Georg Hagedorn entreprend d'adapter ce type d'injection à des machines de petite taille avec un compresseur de type centrifuge (Fig 4). Joseph Szydowski comprend immédiatement tout l'intérêt de l'injection centrifuge pour

la B782 et décide de l'intégrer dans l'architecture du moteur. Le 3 avril 1947 Georg Oberländer prend le numéro E303 pour le dessin de cette nouvelle configuration.

### *La turbine B782*

Le 16 avril 1947 Turbomeca adresse à l'Ingénieur en Chef Noël Daum, chef de la Section Moteurs du STAé, son avant-projet de turbine à gaz B782 de 60 chevaux. Prenant en compte les problèmes d'approvisionnement rencontrés en cette période de pénurie et de reconstruction, la machine est construite avec des roulements disponibles et des aciers réfractaires dont l'approvisionnement a pu être assuré grâce à la petite quantité nécessaire. La machine comprend un compresseur centrifuge, une chambre de combustion, une turbine à deux étages et un réducteur de vitesse (Fig 5).

**Le compresseur centrifuge** est dérivé du modèle " Super S " étudié pour le moteur Arsenal 24 H et porte la désignation S40. Le standard Super S se caractérise par le remplacement des trois petites roues axiales type S39 placées en entrée du compresseur par une roue d'entrée unique ; une solution proposée par le Dr Otto Schmidt de l'équipe allemande. Le compresseur comporte 16 pales et sa vitesse périphérique maximale est de 440 m/s. Le rapport de pression est alors de 3,6. Au régime nominal de 35 000 tr/mn, le débit d'air est de 1,2 kg/s, le rapport de pression de 3,35 et le rendement adiabatique de 78 %. Le compresseur est construit en duralumin AU4C. Le diffuseur radial, également en duralumin, comporte 16 pales taillées dans la masse. Il est suivi d'un diffuseur axial. L'entrée d'air du compresseur est radiale, composée du carter compresseur et du carter d'entrée d'air qui fait office de carter arrière du réducteur. Ces deux carters sont en alliage léger et se caractérisent par de grosses nervures externes.

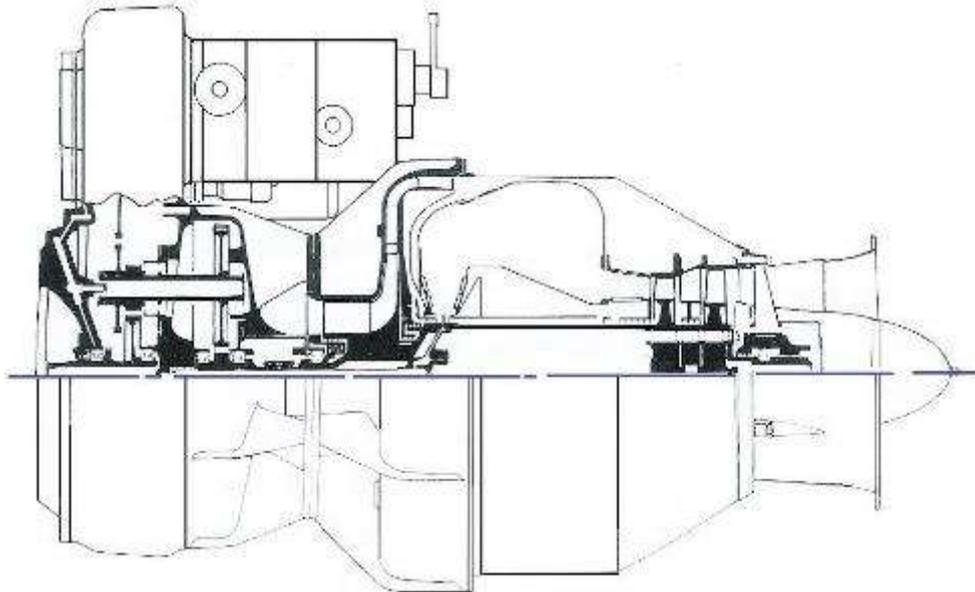


Figure 5 - La turbine B782 en coupe

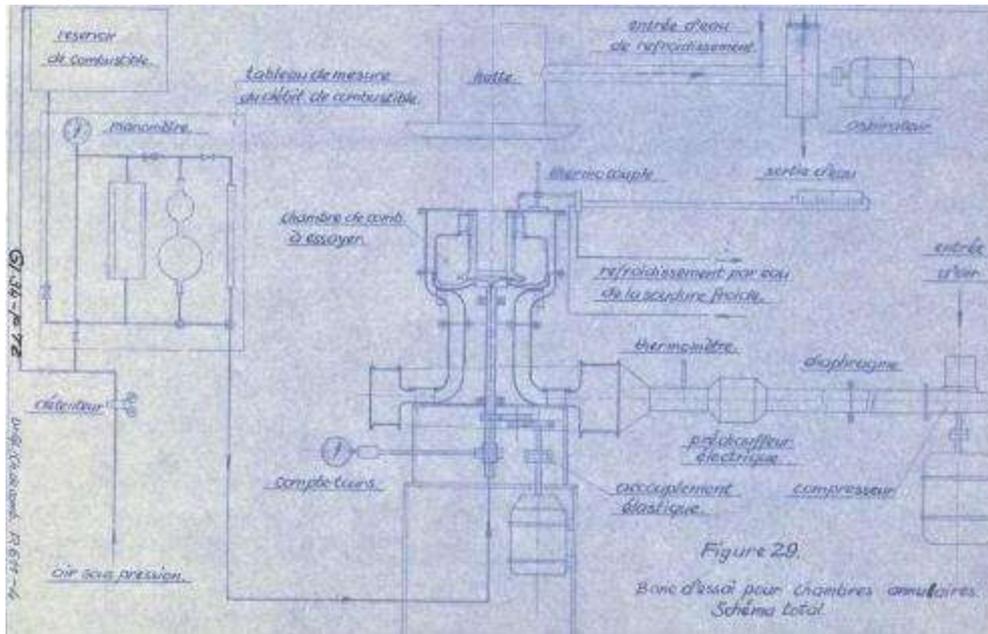
**La chambre de combustion** à injection centrifuge, à l'aide d'une roue d'injection portée par l'ensemble tournant et alimentée par une tuyauterie centrale, n'est pas définie de manière précise au moment où l'avant-projet est rédigé. Pour une raison simple, aucun essai de développement n'a encore été fait sur le banc combustion. Des essais de principe démarrent le 4 juin 1947 suivis par des essais sur la configuration retenue pour la B782 à partir du 23 août. Georg Hagedorn est à la manœuvre. Au sortir du diffuseur, l'air du compresseur se partage en trois :

- Une partie va alimenter une tôle de turbulence arrière portée par le champignon en traversant les pales du distributeur. On se souvient que l'utilisation des pales du distributeur pour amener de l'air avait été imaginée par Georg Oberländer dans le premier concept du 60 ch. Evidemment, cet air permet de refroidir ces pales qui sont directement à la sortie de la chambre de combustion.
- Une partie va alimenter une tôle de turbulence avant portée par la partie extérieure. Pour arriver à ce résultat, Georg Hagedorn ajuste les pertes de charge dans l'écoulement de la chambre pour créer un écoulement centripète partiel entre la paroi arrière du compresseur et la chambre de combustion. De ce fait, les deux côtés de la zone de combustion sont alimentés équitablement avec de l'air

primaire, ce qui permet d'obtenir une symétrie pour le mélange turbulent et la combustion dans le plan d'injection du carburant perpendiculaire à l'axe moteur.

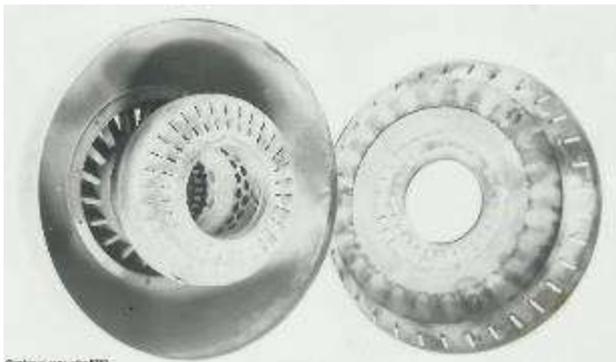
- Enfin, le reste de l'air entre dans la zone de dilution par l'arrière de la partie extérieure pour refroidir les gaz avant leur entrée dans la turbine. Ceci est obtenu par la répartition et le dimensionnement des trous sur la face externe de la chambre.

A noter que les deux tôles de turbulence sont munies de fentes tangentielles pour donner à l'air primaire une rotation inverse de celle que la roue d'injection communique au carburant ; ceci pour favoriser les turbulences et la bonne qualité du mélange. Le rendement de combustion est mesuré à 96 %. L'arbre (entre compresseur et turbines) et la roue d'injection sont en acier 28CD12 tandis que les pièces de chambre sont en acier Z10CNT18.



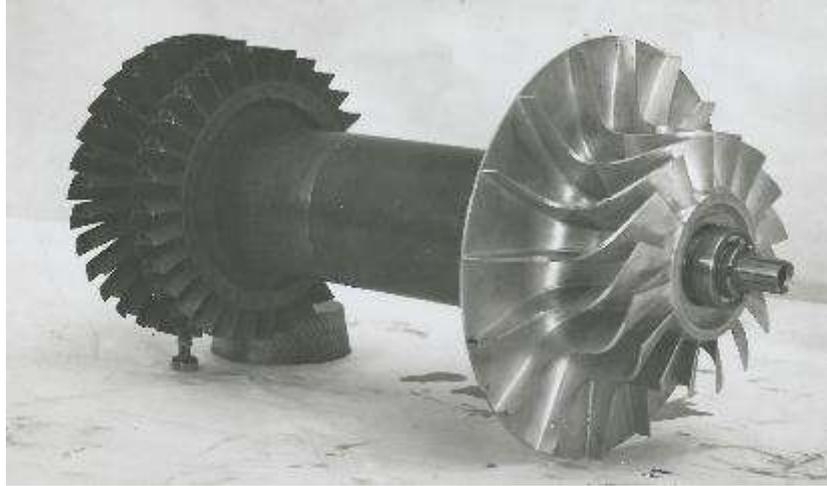
Le banc d'essais pour chambre de combustion annulaire

Pour le démarrage, l'utilisation initiale de trois bougies standards nécessite l'emploi d'essence. Le kérosène ne peut être envoyé dans la chambre qu'une fois celle-ci allumée. Il faudra attendre la disponibilité des allumeurs-torches pour supprimer cette contrainte. Un démarreur alimenté sous 24 V lance le rotor de la turbine à 6000 tr/mn, vitesse à laquelle commence l'injection centrifuge de combustible ; dès que l'allumage se produit, la turbine accélère et la commande du démarreur se décroche automatiquement vers 9 000 tr/mn. A noter que la phase d'allumage reste alors bien problématique. Jean Castan raconte ainsi le démarrage de la B782 le 29 juillet 1948 devant le préfet des Basses Pyrénées, Gabriel Delaunay, venu admirer, à l'invitation de Joseph Szydowski, cette merveille technologique : " Sur le banc d'essai Oerlikon, servant de démarreur, on pouvait apercevoir au milieu de tuyaux, de câbles électriques, de fils de fer (le fil de fer a joué un grand rôle dans la vie des bancs d'essais Turbomeca) quelque chose qui était une machine thermique comportant un gros trou. Près de ce trou se tenait Boisbeau, tenant à la main droite un bout de fer autour duquel était entouré un bout de coton. A un signal donné, Boisbeau plongeait le coton dans de l'essence, allumait la torche et la plongeait dans le trou qui était devant lui et, Oh miracle, la chambre de combustion s'allumait et le moteur se mettait à tourner. Avec trente ans de recul, l'expérience acquise et les difficultés rencontrées encore à ce jour pour allumer les chambres de combustion, je pense que si Bordes n'avait pas été à côté de Lourdes, Turbomeca n'aurait jamais existé ! ".



La mise au point de la chambre de combustion a été probablement la partie la plus délicate de la conception de la B782. Autant Turbomeca avait en 1947 de l'expérience dans le domaine des compresseurs et des turbines, autant la société partait de zéro en matière de chambre de

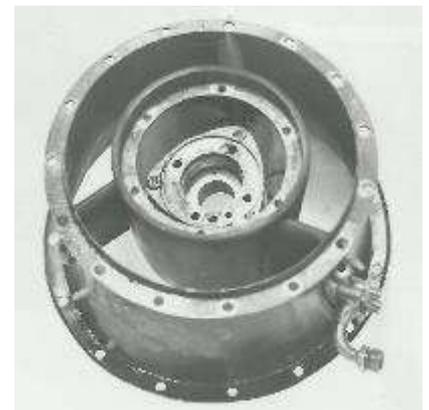
combustion. La mise au point de la chambre à injection centrifuge nécessita d'innombrables essais. Joseph Szydlowski se passionna pour cette mise au point. Écoutons Georg Oberländer : " Je me souviens encore très bien de la fois où il (Joseph Szydlowski) est resté avec nous toute la nuit au banc d'essai lors d'un essai de chambre de combustion décisif, pour ensuite partir à Paris avec les documents et résultats d'essais et revenir avec l'accord du Ministère pour nous passer une commande de développement de ce type de moteur ". La mise au point de la chambre à injection centrifuge a été l'élément technique décisif qui a assuré à Turbomeca sa réussite dans le domaine des petites turbines.



B782 - Ensemble tournant

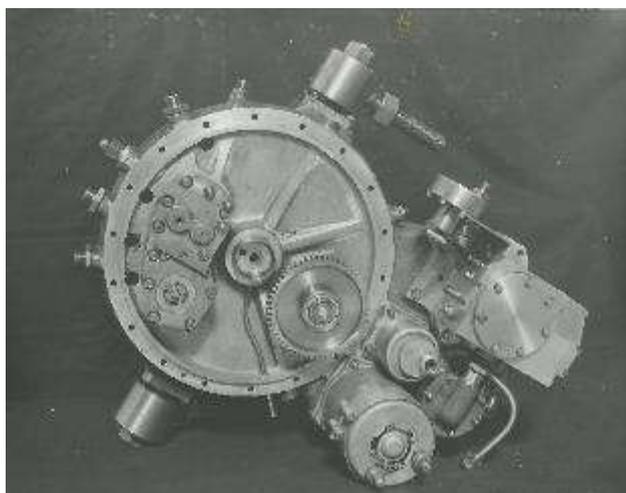
**La partie turbine** se compose de deux étages. Ces turbines sont assemblées entre elles et à l'arbre par quatre boulons en alliage réfractaire. Au départ les pales, au nombre de 32, sont usinées séparément et soudées par rapprochement au disque sur sa périphérie. Les profils sont épais et percés de trous d'allègement pour diminuer les contraintes sur le disque. Nous verrons plus loin qu'à la fin du premier essai d'endurance de 50 heures, elles se sont envolées. Joseph Szydlowski invente alors le profil Turbomatic (le Patron adorait tout baptiser et avait le génie du mot choc, c'était un grand communicant comme on dit aujourd'hui). Ce profil a l'immense avantage de permettre l'usinage des pales directement dans la masse du disque en utilisant les machines-outils qui servaient alors à usiner la roue d'entrée du compresseur. Évidemment, il y avait quelques concessions à l'aérodynamique ; Robert Deblache, quelques années plus tard, imposera des profils plus efficaces. Ces turbines monobloc, dotées de 23 pales seulement, sont en Noxis 4, un alliage réfractaire français, moins performant que les alliages britanniques ou américains d'alors, mais approvisionnement facile en ces temps difficiles. La vitesse périphérique en bout de pale du deuxième étage, un peu plus grand en diamètre que le premier, est de 380 m/s. La température entrée turbines (TET) est limitée à 750°C et le rapport de détente des deux étages est de 3,25. Les pales des deux distributeurs sont en tôle réfractaire galbée et soudée. Les distributeurs supportent au centre les labyrinthes qui encadrent le disque premier étage. Chambre de combustion et distributeurs sont portés par le carter extérieur à partir de sa bride arrière qui supporte également le palier arrière. Ce carter en tôle d'acier de 1,5 mm d'épaisseur est composé de deux parties assemblées par soudure : une partie avant cylindrique et une partie arrière conique.

**Le palier arrière** constitue un point très délicat car il est situé en zone chaude. Erich Überlacker invente tout d'abord la suspension de ce palier par trois bras tangentiels articulés. Ensuite, Georg Oberländer conçoit le palier lui-même avec carter d'échappement, alimentation en huile et apport d'air de refroidissement. Cet air de refroidissement, arrivant de l'extérieur par les carénages qui entourent les trois bras du palier, est aspiré par l'arbre à bride creux qui supporte le roulement arrière et circule le long de la face arrière du disque deuxième étage par l'intermédiaire de rainures radiales. Il s'échappe ensuite dans la veine derrière les turbines. Pour les turboréacteurs, il s'échappe par le cône central arrière.

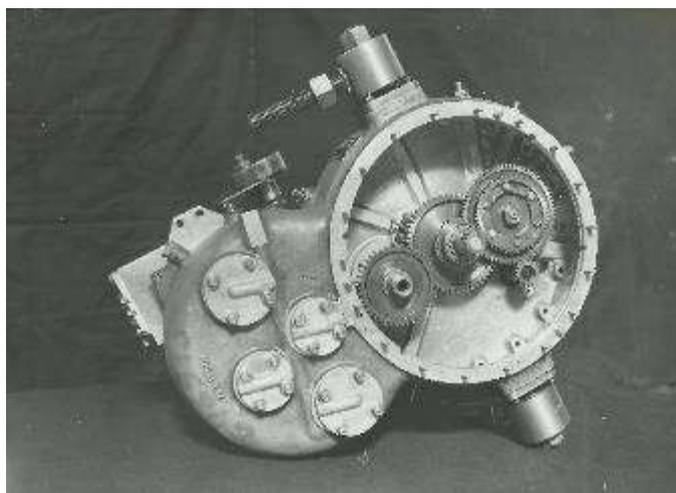


Au moment de la construction de la B782, Turbomeca ne dispose pas encore de roulements à rouleaux. Il est donc décidé d'employer un roulement à billes pour le palier arrière, comme pour le palier avant qui lui, reprend la poussée axiale de l'ensemble tournant. Pour permettre les déplacements axiaux du rotor, ce roulement arrière est alors monté avec un faible jeu entre la bague extérieure et le palier, jeu rempli d'huile pressurisée. Lors des essais, il fut constaté que ce montage apportait en plus un certain amortissement et ce concept de film d'huile amortisseur fut généralisé plus tard avec les roulements à rouleaux.

**Le réducteur** est installé devant le générateur de gaz. Lors de l'avant-projet, deux types de réducteur sont prévus pour entraîner des génératrices électriques : un donnant une vitesse de sortie de 6 000 tr/mn et l'autre une vitesse de 24 000 tr/mn. Il est précisé qu'afin d'accélérer les travaux de développement, les premiers prototypes seront équipés d'une sortie à 15 800 tr/mn pour permettre l'utilisation des bancs d'essais existants. Le réducteur 6 000 tr/mn comprend un carter arrière qui est également le carter d'entrée d'air fixé au générateur et un gros carter avant en forme de mandoline, fabriqué dans un alliage léger appelé Silumin, qui reçoit la pignonnerie de puissance et celle des accessoires. La sortie de puissance se fait dans l'axe du moteur au travers d'un double train démultiplicateur. Les accessoires sont disposés sur la face arrière de la mandoline.



Le réducteur - Face avant



Le réducteur - Face arrière

Le réducteur 24 000 tr/mn ne sera pas fabriqué. Il en est de même d'une sortie 12 000 tr/mn proposée par la suite. Par contre, pour les premiers essais au banc électrique Oerlikon, il est décidé d'alimenter le moteur en huile et carburant avec des circuits externes et d'utiliser le moteur Oerlikon comme démarreur. Il n'y a donc pas besoin d'accessoires sur le moteur et le réducteur 15 800 tr/mn est simplifié à l'extrême.

**Le circuit d'huile** est animé par une pompe à huile placée dans la partie basse de la mandoline. Cette pompe comporte trois pompes à engrenages : une première aspire l'huile du réservoir externe et l'envoie dans l'appareil sous une pression de 3 kg/cm<sup>2</sup> ; une deuxième de débit plus grand aspire l'huile du palier arrière et la renvoie au réservoir ; la troisième d'un débit encore plus grand aspire dans le puisard au fond du carter mandoline et renvoie l'huile au réservoir. Le débit total des deux dernières pompes est environ quatre fois plus grand que celui de la pompe d'amenée d'huile. Les pompes de récupération débitent dans un centrifugeur d'huile qui fournit une pression de 1 kg/cm<sup>2</sup> et enlève à l'émulsion une partie de l'air entraîné avant l'entrée dans le radiateur de refroidissement externe puis le réservoir. Sortie de la pompe de pression, l'huile traverse un filtre à lamelles fixé sur le côté du moteur et va alimenter les différents gicleurs au travers de tuyauteries rigides. Au palier arrière, arrivée et retour d'huile se font par le même bras de palier.

**Le circuit carburant** comporte une pompe à palettes de marque Martin-Moulet qui fournit une pression de 3 kg/cm<sup>2</sup> maintenue constante grâce à un clapet spécial. Cette pompe est placée dans le corps du régulateur installé à l'arrière de la partie haute de la mandoline. Par des trous percés dans le carter mandoline le combustible arrive (après avoir traversé le régulateur) à l'axe de la machine et pénètre à l'intérieur de l'arbre par un injecteur fixe monté avec jeu dans le tube d'arrivée. Le carburant à l'intérieur du tube est entraîné par un moletage et arrive en couche de plus en plus mince jusqu'à la région de la roue d'injection portant des perçages inclinés puis radiaux débouchant dans la chambre de combustion. Les perçages inclinés sont munis d'un moletage qui entraîne le brouillard de combustible ; il débouche dans une

petite chambre circulaire de laquelle partent les 10 trous d'injection. Ce brouillard arrive dans la chambre de combustion à 200 m/s assurant une excellente pulvérisation.



La première turbine Turboméca

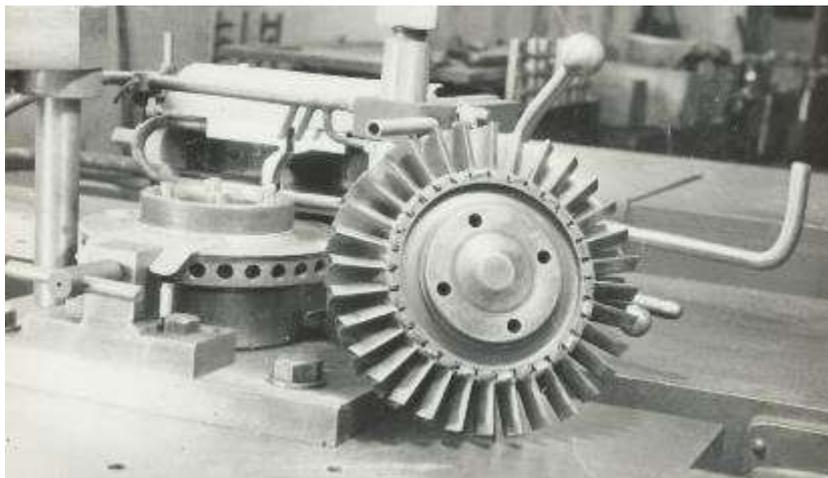
**Le régulateur** isodrome a été conçu par Heinrich Franck et Julius Ziegler. La prise de mouvement entraîne une masselotte sensible à la force centrifuge. Celle-ci agit sur un piston de travail par l'intermédiaire d'un tiroir de distribution d'huile, l'huile sous pression étant fournie par une pompe à engrenages intégrée au régulateur. On réalise la stabilité de l'asservissement au moyen d'un piston isodrome soumis à l'action de deux ressorts antagonistes identiques. Le piston de travail est solidaire d'une vanne réglant l'alimentation en combustible. Ce dispositif de régulation sophistiqué a été imposé au départ par la nécessité de réguler finement la vitesse de rotation de l'alternateur entraîné par la turbomachine.

**Les autres accessoires** comprennent un démarreur, un tachymètre, des thermocouples pour mesurer la température en sortie des turbines et des bougies de démarrage.

On a là la configuration générale qui sera utilisée pour toutes les turbines Turboméca durant les 30 années qui vont suivre.

L'avant-projet annonce les performances suivantes pour une température entrée turbine de 750 °C :

- à 7 000 m, une puissance de 60 ch pour une consommation carburant de 480 g/ch.h,
- au sol, une puissance de 97 ch pour une consommation carburant de 500 g/ch.h.



B782 - Turbine à pales soudées

Nous avons déjà nommé un certain nombre de personnes impliquées dans la conception de cette turbine, mais il faut en citer d'autres pour être complet : Heinrich Kühl pour la configuration et le développement, Friedrich Homola pour les calculs de résistance des matériaux, Jean Castan pour le compresseur centrifuge ; Wilfried Oesterlin pour les mesures de vibrations, Kurt Walther pour les matériaux, Ludwig Schlosser pour le soudage, Fritz Köhler et Hans Foltyn pour la préparation.

A suivre

## Notes de lecture

### " Le flamant et ses dérivés " Par Bruno Vieille - Editions Lela Presse

Cet ouvrage de plus de 550 photos retrace l'histoire du bimoteur à piston qui prendra son envol à la fin des années quarante.

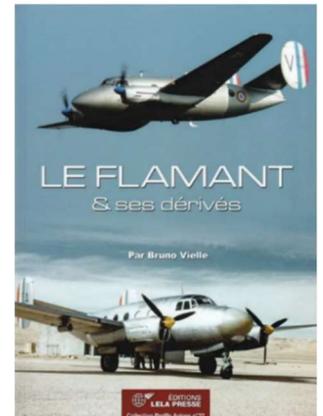
A la demande de l'Etat, la fabrication de cet appareil est ventilée entre entreprises nationales et privées. Cette organisation est une première en France. En effet, l'Etat passe des marchés séparés avec chacun des partenaires au lieu de laisser le maître d'œuvre libre de sous-traiter. Cette répartition, lourde à manier, suscite d'importants problèmes de coordination que l'industrie aéronautique française apprend à maîtriser. Le bureau d'études Dassault est chargé de mettre au point des outillages très élaborés afin de les rendre compatibles avec les chaînes des différentes usines. Ces appareils constituent le point de départ de l'essor de la Société et des usines Dassault de la région bordelaise.

Un premier marché de 65 appareils est signé le 3 décembre 1947, suivi un an plus tard (8 novembre 1948) d'un autre de 230 plus 25 (fin 1950) pour la Marine, soit, avec les prototypes, 325 avions.

Trois modèles de Flamant sont construits :

- MD 311, caractérisé par son nez vitré, pour l'entraînement à la navigation et au bombardement,
- MD 312, avion de liaison et d'école de pilotage, une version MD 312 M existe pour la Marine nationale,
- MD 315, appareil destiné aux missions d'outre-mer et à usage sanitaire.

Ses versions école formeront durant près de 34 années des générations d'équipages de transport. Il sera l'avion de liaison de toutes les unités de l'armée de l'air.



### " Le siècle des as " Par Pierre Razoux - Editions Perrin



Depuis 1915 et l'exploit du Français Adolphe Pégoud, les as de l'aviation sont des pilotes de chasse crédités d'au moins cinq victoires aériennes homologuées. Qui sait que le dernier d'entre eux fut l'Iranien Assadollah Adeli, en 1988 ? Que dans l'intervalle, huit mille pilotes d'une quarantaine de nationalités ont décroché ce titre envié, dont un tiers d'Allemands ? Qu'il y eut autant d'as canadiens que d'as français pendant les deux guerres mondiales ? Qu'un Finlandais occupe la tête du palmarès de la Seconde Guerre mondiale, as de la Luftwaffe mis à part ? Qu'il y eut davantage d'as soviétiques que d'as américains pendant la guerre de Corée ? Que la guerre du Vietnam engendra trois fois plus d'as vietnamiens que d'as américains ? Et que ce sont deux Russes et un Israélien qui ont obtenu le plus de victoires à bord d'un chasseur à réaction moderne ?

Cette histoire d'hommes, de femmes et de machines transcende le XX<sup>ème</sup> siècle. Véritables chevaliers du ciel, les as ont dominé les champs de bataille comme les chevaliers du Moyen Âge en leur temps. À travers cet essai magistral qui décrypte leur mythe, l'auteur raconte leur épopée, soulignant la manière dont ces héros ont été instrumentalisés par la propagande et le pouvoir politique. Il répond à toutes les questions que se posent le grand public comme les passionnés d'aviation à leur sujet. Il livre une synthèse de leurs palmarès, toutes nations confondues, et apporte pour la première fois de précieuses informations sur les as israéliens, arabes et iraniens.

### " Super Mystère B2 en service dans l'armée de l'air "

par Michel Liébert, Éric Moreau & Cyril Defever - EM37 Editions

Le " Super Mystère B2, en service dans l'armée de l'air " qui retrace la vie opérationnelle du premier avion capable de tenir une vitesse supérieure à Mach 1 en vol horizontal.

Avec plus de 384 pages consacrées à la vie opérationnelle des Super Mystère B2 en service dans l'armée de l'Air ainsi qu'en Israël et au Honduras, cet ouvrage retrace vingt années de service au sein des prestigieuses 5<sup>e</sup>, 10<sup>e</sup>, et 12<sup>e</sup> escadres de chasse.

