PRENDRE L'AIR

Le monoplan Blériot XI

La revue de l'Association des Amis du Musée Safran

N°12

Juin

2024

Contact

Rond Point René Ravaud 77550 Réau
Tél : 01 60 59 72 58 Mail : https://aams.museum

Sommaire

Editorial 3
Jacques Daniel

Le mot du Président 4
Jean Claude Dufloux

Le monoplan monomoteur Blériot XI 5
Jacques Daniel

Moteurs Gnome & Rhône 14M et 14N utilisés par des avions de la Luftwaffe. Opérations des planeurs et de leurs dérivés motorisés pendant la Seconde Guerre mondiale 11
Albert Grenier

Le sort après la guerre 1939 – 1945 des spécialistes allemands du turboréacteur 31
Pierre Mouton

Le turboréacteur Turboméca Aubisque 1 (RM9) 37
Jacques Daniel

La famille du moteur General Electric F404 46
Jacques Daniel

80 ans de technologie compresseur chez Safran Helicopter Engines 64
Association des Amis du Patrimoine Historique de Turbomeca (AAPHT)

L'avion à hydrogène 73
Pierre Mouton

Notes de lecture 79
Jacques Daniel

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

Editorial

Comme souvent depuis la parution de notre premier numéro, en janvier 2019, nous faisons un très grand écart entre les sujets proposés : du monoplan Blériot XI de 1909 au futur avion de transport commercial à hydrogène.

Au début du siècle dernier, le monomoteur Blériot XI qui traverse la Manche en juillet 1909, innove avec ses lignes très modernes et sa formule monoplan plus aérodynamique. Le Type XI comporte également une importante nouveauté : un manche à balai permettant le contrôle de la stabilité latérale et longitudinale et un palonnier mettant en œuvre le gouvernail de direction. A noter que le gauchissement était effectué par torsion de l'extrémité de chaque aile.

A Villaroche, le hangar Saint-Chamas expose une réplique exacte d'un appareil de 1910, accidenté en juin 1940, puis reconstruit au milieu des années 1980.

Dans ce numéro, notre ami Albert Grenier poursuit son étude sur les avions de la Luftwaffe de la Seconde Guerre mondiale propulsés par des moteurs à pistons français. Aujourd'hui le dossier est consacré à l'exploitation opérationnelle de deux appareils de transport de troupes et de matériels qui ont en commun d'avoir été conçus initialement comme des planeurs : le lourd hexa-moteur Messerschmitt Me-323 " *Gigant* " et bimoteur léger Gotha Go-244. Durant le conflit mondial, les moteurs en étoile Gnome & Rhône 14N de 1100 chevaux et 14M de 700 chevaux équipant respectivement ces deux avions ont été produits, à plusieurs milliers d'exemplaires, par l'industrie française.

Dans la lignée des articles de Pierre Mouton sur les apports de la technologie allemande pour la famille des moteurs Atar, l'auteur consacre un papier sur le sort méconnu des spécialistes allemands du turboréacteur. Leur histoire concerne aussi bien la France (" Groupe O "), l'URSS (opération " Osoaviakhim "), les Etats-Unis (opération " Paperclip "). Leur recrutement par les Alliés fut de deux sortes : individuel, des meilleurs ingénieurs pour les Américains, et de groupes complets d'ingénieurs et de techniciens déjà formés, chez les Russes et les Français, leur industrie du turboréacteur étant encore quasiment inexistante.

Une reproduction à l'échelle 1 du turboréacteur Turboméca Aubisque 1 (RM9) vient d'intégrer les collections du musée Safran. Dans l'histoire des turbomachines françaises, rares sont celles conçues et développées uniquement pour un avion étranger, le biréacteur léger polyvalent Saab 105 : c'est le cas, au début des années 1960, du réacteur double flux Turboméca Aubisque 1 de la classe des 700 kg de poussée. Le propulseur présente trois caractéristiques : c'est le seul réacteur français ayant équipé exclusivement un appareil étranger, c'est historiquement, dans le monde, le premier moteur double flux avec réducteur (gear turbofan) et le premier doté d'une architecture simple corps avec compresseur axio-centrifuge et double flux.

Partenaire de Safran Aircraft Engines (anciennement Snecma) depuis un demi-siècle, la firme américaine General Electric conçoit et produit nombre de réacteurs civils et militaires de référence - 44 000 moteurs civils et 26 000 moteurs militaires dans le monde aujourd'hui – et, qui plus est, à la longévité incroyable. C'est le cas notamment du moteur double corps double flux F404 indissociablement lié au biréacteur embarqué Mc Donnell-Douglas F/A 18 " Hornet ". Vous trouverez dans nos pages une synthèse de la conception et l'utilisation du propulseur qui a, entre autres, servi de modèle au M88-2 : mode de développement avec des démonstrateurs technologiques, gestion des coûts et des risques techniques, dimensions physiques, performances opérationnelles et soutien logistique.

Mis en service en 1981, le F404 et ses dérivés équipent aujourd'hui plus de 2 300 avions militaires de seize nations dans le monde entier. Au début de l'année 2024, en quarante-trois années d'utilisation, la flotte en service – 4 000 exemplaires - avait accumulé plus de 13 millions d'heures de vol.

Dans nos premières éditions de " Prendre l'air ", nous avions abordé le monde des turbines conçues et fabriquées par Turboméca (Safran Helicopter Engines depuis 2016) : dans ce numéro nous présentons un article sur les 80 ans de technologie compresseur chez Safran Helicopter Engines. Divisé en deux parties, il raconte l'évolution dans la conception et l'histoire des moyens industriels associés.

C'est avec l'aimable autorisation de l'Association des Amis du Patrimoine Historique Turboméca (AAPHT) que nous reproduisons ce sujet paru en 2015 dans leur revue interne, Le Diffuseur.

Depuis plusieurs années la vague " verte " n'épargne pas l'aviation et nombre d'avionneurs ont dans leurs cartons des projets d'avions " propres " c'est-à-dire avec des moteurs ne consommant aucun hydrocarbure. Pour cela deux solutions existent, l'hélice entraînée par un moteur électrique alimenté par des batteries ou encore le moteur à hydrogène. Comme le souligne l'auteur, l'avion à hydrogène pose un énorme défi, à la fois pour la définition de l'avion et de ses moteurs ainsi que pour les infrastructures au sol. Celles-ci, destinées à l'avitaillement des avions, seront nécessaires pour la fabrication et le stockage de l'hydrogène.

Notre dernière rubrique, Notes de lecture, vous propose une sélection d'ouvrages parus cette année dont l'un qui mérite le détour : " Autour de l'Atar ". Il aborde la genèse et l'histoire de la famille de la première génération des turboréacteurs militaires, les Atar 101, 8 et 9, avec ses installations d'essais sol et vol (bancs volants) et leurs applications sur les avions de combat français construits quasi exclusivement par Marcel Dassault – excepté le SNCASO SO-4050 Vautour II -, du Mystère II au Mirage F1. Pour rappel, le terme Atar est l'acronyme d'Atelier technique aéronautique de Rickenbach, commune en Allemagne où travailla l'équipe au départ.

Je remercie les contributeurs, toujours fidèles, qui ont rédigé des articles dans notre lettre d'information.

Je vous souhaite une bonne lecture !

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

Le mot du Président

La pugnacité et l'opiniâtreté, alliées à de très solides connaissances techniques, permettent à l'équipe de rédaction de Prendre l'air de vous offrir ce n° 12.

Vous voyagerez ainsi de Blériot à l'avion à hydrogène.

.

Le Président
Jean Claude DUFLOUX

Le monoplan monomoteur Blériot XI

"Un bel avion est un avion qui vole bien."

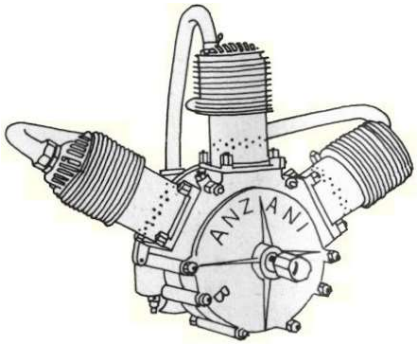
Marcel Dassault (1892 – 1986)

A Villaroche, le hangar Saint-Chamas abrite l'une des plus belles collections de moteurs anciens du monde. Pour illustrer l'une de leurs applications figure suspendu à l'entrée du hall des pionniers un aéronef emblématique de la première décennie du XX^{ème} siècle, un Blériot XI, reproduction exacte d'un appareil de 1910 accidenté en juin 1940 puis reconstruit au milieu des années 1980.

Au début du siècle dernier, la France a été, à divers égards et dans différents domaines, notamment ceux de l'aérodynamique et des propulseurs, le pays le plus avancé en matière d'évolution de l'industrie aéronautique. En témoigne le monoplan de lignes très modernes, à ailes hautes, Blériot XI.

Le samedi 25 juillet 1909, Louis Blériot traverse la Manche de Calais à Douvres : 37 kilomètres parcourus en 37 minutes à la vitesse de 58 km/h. Cet exploit qui eut un très grand retentissement mondial s'est accompagné de plusieurs centaines de commandes du monoplan avec diverses motorisations. Grâce à l'aéroplane, Louis Blériot devient le premier constructeur d'avions au monde.

Blériot XI avec train tricycle à trois roues (© DR). L'avion est considéré comme le plus efficace, le plus sûr et le plus maniable de l'époque.



Moteur 3 cylindres fixes en éventail, à refroidissement par air,Anzani de 25 ch (© DR).

Description

Conçu par l'ingénieur Raymond Saulnier, le Blériot XI est un monomoteur à hélice tractive bipale de type monoplan afin d'offrir une moindre résistance à l'air et avec empennage cruciforme à l'arrière. Tout l'avion est organisé autour du fuselage, poutre maitresse et multifonction : support des ailes, d'un moteur et d'un siège. Le Blériot XI pèse 320 kg en ordre de marche.

D'une longueur de 7,50 mètres et haut de 2,59 mètres, le fuselage, de section carrée, est formé autour de quatre longerons en frêne reliés par des montants et traverses. L'ensemble est rigidifié par des croisillons en cordes à piano. La section avant est recouverte de toile et de tôle d'aluminium. L'habitacle est sommairement équipé et mal aménagé.

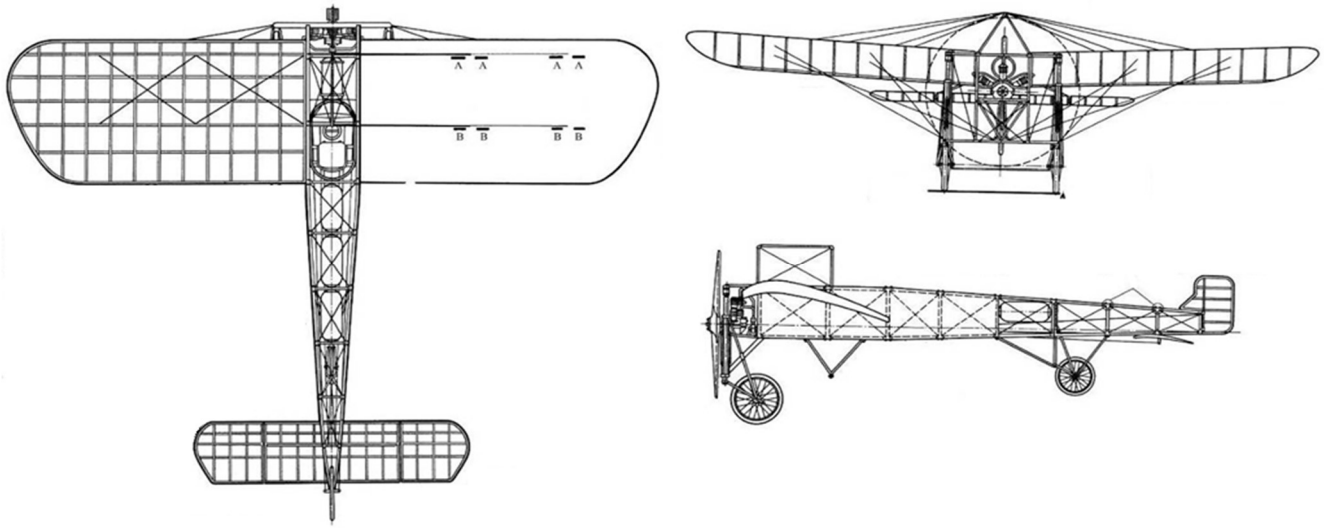
Recouverte par une toile caoutchoutée, la voilure au profil cambré dont l'angle d'attaque est de 7° possède une envergure de 7,20 mètres pour une largeur de 2 mètres en moyenne. Les ailes, constituées d'acajou et de peuplier, ont une surface portante est de 14 mètres carrés. La voilure est structurée par deux longerons pleins. Chaque aile est soutenue par un haubanage supérieur raccordé à une cabane centrale formée de deux V en tubes. Suffisamment flexibles dans leur partie postérieure, les ailes supportent une déformation momentanée et reprennent exactement leur forme normale ensuite.

La stabilité latérale est assurée par le gauchissement du bord de fuite de l'extrémité des ailes par un système de câbles et de poulies relié à " la cloche " ayant la même vocation que le manche à balai. A l'arrière, la stabilité en profondeur et en direction est due à un empennage fixe de 2 mètres carrés pourvu de 2 gouvernes.

Composé de deux grandes roues de vélo, le train d'atterrissage principal, à large voie, est orientable automatiquement avec un rappel au neutre par sandows. Le train arrière est constitué par une roulette

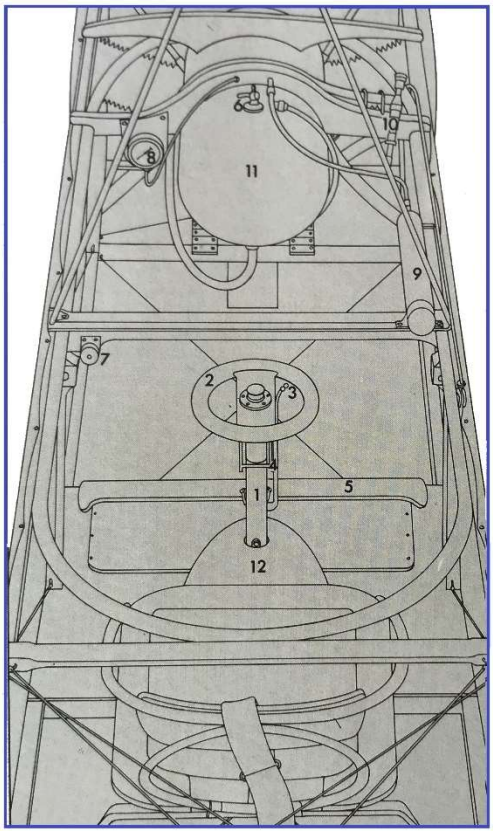
orientable. Le monoplan étant dépourvu de freins il ne se dirige au sol qu'avec l'aide de mécanos accrochés aux bouts d'ailes.

Caractéristiques Blériot XI



Plan trois vues de la version monoplace avec roulette de queue orientable

Envergure : 7.20 m
Longueur : 7.50 m
Hauteur : 2.50 m
Surface alaire : 14 m^2
Poids à vide : 230 kg
Poids total maxi : 320 kg
Vitesse de croisière : 60 km/h
Vitesse maximale : 110 km/h
Plafond maximum : 150 m
Motorisation : moteur à 3 cylindres fixes en éventail à 60° Anzani
Cylindrée : 3.37 litres
Puissance : 25 Ch à 1 600 tr/mn
Hélice : en noyer (diamètre : 2.08 m, pas de 1.15 m, vitesse de rotation : 1450 tr/min)



Habitacle du Blériot XI (© DR)

Manche à balai

Poignée du manche à balai

Manette des gaz

Rochet de la manette des gaz

Palonniers

Robinet d'essence

Commutateur d'allumage

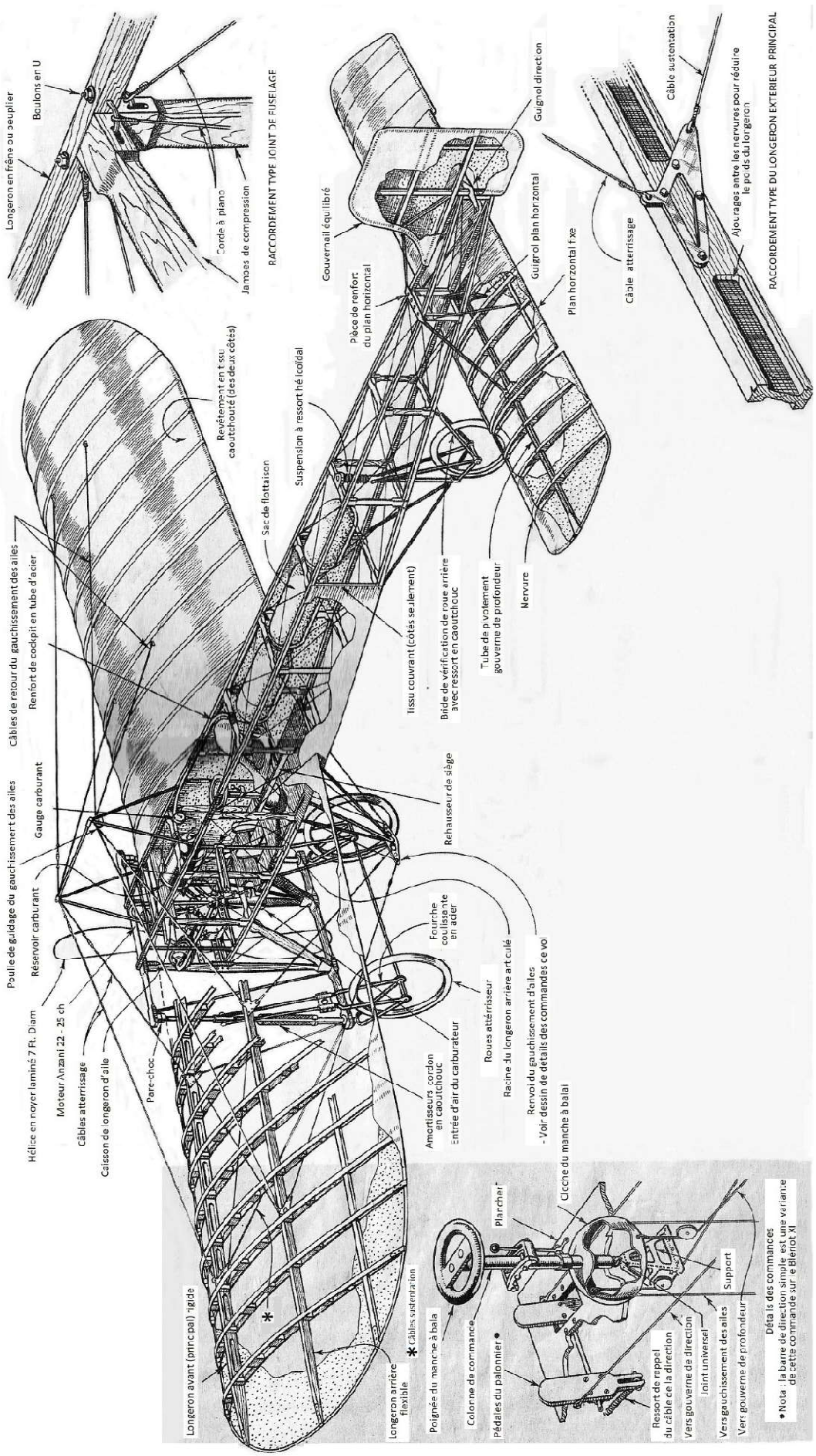
Jauge de pression d'huile

Pompe manuelle de mise en pression

Dispositif d'arrêt du moteur

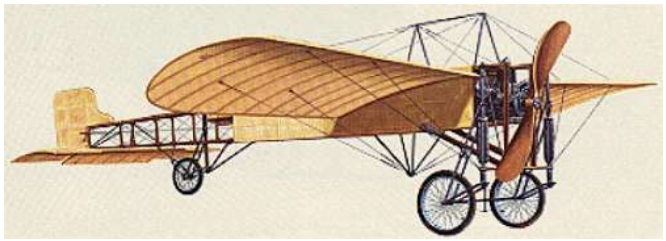
Réservoir d'essence

Cloche du manche à balai



Blériot XI Type Traversée de la Manche (juillet 1909) en éclaté (© Douglas Rolfe)

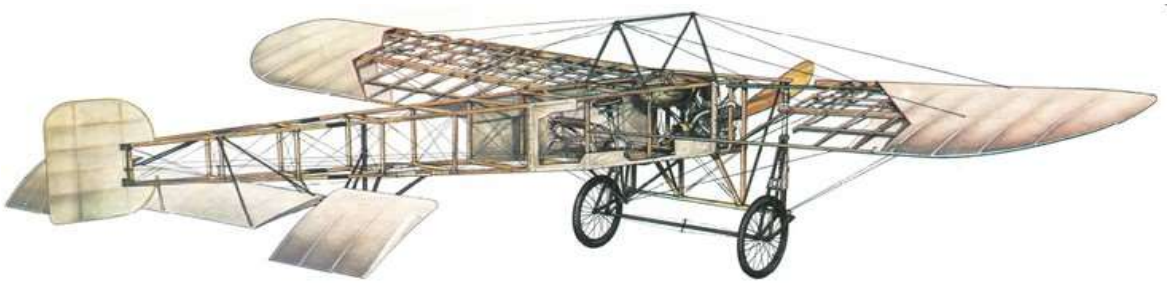
Evolutions techniques



Au fil des ans, en fonction des demandes des clients civils et des utilisateurs militaires, des retours d'expérience, l'architecture générale ainsi que le groupe propulsif de l'aéroplane évoluent.

Le poste de pilotage est de type monoplace, biplace en tandem ou cote à cote voire triplace. Mis à part le manche à balai et le palonnier, il n'y a originellement aucun instrument, pas même un indicateur de vitesse ou un compte-tours. Par la suite, il comporte une barre porte-instruments supportant un compte-tours, une montre, un porte-cartes, une boussole et un altimètre.
Le fuselage est partiellement ou presque totalement entoilé. Les empennages vertical et horizontal sont de petite ou grande surface. La voilure possède une surface alaire variant entre 14 m^2 et 20 m^2 (envergure allant de 7.80 m à 11 m) avec un profil plat pour améliorer l'aérodynamique ou cambré, avec ou sans échancrure en bord de fuite. Si, au niveau du train d'atterrissage, l'atterrisseur avant est conservé, l'atterrisseur arrière est muni soit d'une roue orientable, soit d'une simple ou double béquille rotative ou soit d'arceaux en jonc entrecroisés.

Couvrant une gamme de puissance allant de 25 à 140 ch car la masse à vide de l'aéronef est passée de 230 kg à 320 kg, l'ensemble motopropulseur est proposé indifféremment avec des moteurs en étoile fixes (en éventail, en Y) ou rotatif de 7 ou 9 cylindres : Anzani, Gnome (Oméga, Sigma, Lambda), Le Rhône types 7 et 9. Il est à noter que le montage de moteurs rotatifs en étoile impose un capotage pour protéger le pilote des projections d'huile et des dégagements inférieurs suffisants pour évacuer l'air de refroidissement.



La particularité du monoplan est son système de vrillage d'aile nommé gauchissement qui remplace les ailerons (© DR)

Production

Un peu plus de 800 " Blériot Type XI " de 16 modèles différents ont été construit jusqu'en fin 1915. Avant l'entrée en guerre, 540 appareils sont fabriqués pour l'Aéronautique Militaire, 100 exportés, 120 vendus à des particuliers et 60 construits pour les besoins de la société Blériot (démonstrations, prototypes, école, records). A ce chiffre s'ajoute 80 appareils fabriqués sous licence à l'étranger. Sur ce total, 200 seront de type monoplace et 340 de type biplace.

Parmi les versions les plus connues du "*Type Onze* " il faut distinguer :
Blériot XI *Militaire* – un monoplace militaire doté d'un moteur rotatif Gnome de 50 Ch,
Blériot XI *Artillerie* – une version similaire à la précédente,
Blériot XI² – une version biplace standard en tandem,
Blériot XI² *bis* "*côte à côte* " - large, biplace école de type côte à côte,
Blériot XI² *Hydravion* - équipée de flotteur et à surface alaire augmentée,
Blériot XI² *Artillerie* - version militaire biplace dotée d'un moteur rotatif Gnome de 70 Ch,
Blériot XI² *Génie* - version militaire conçu pour le transport et pouvant être montée et démontée en 25 minutes,
Blériot XI² BG ou Blériot-Gouin – version à voilure parasol pour offrir une meilleure visibilité,
Blériot XI-3 – modèle triplace avec un moteur rotatif Gnome de 140 Ch.
Exportation. Les livraisons à l'étranger ont porté sur plusieurs centaines d'appareils pour les pays suivants : Argentine, Australie, Belgique, Bulgarie, Chili, Danemark, Grèce, Guatemala, Italie, Japon, Mexique, Nouvelle Zélande (un avion seulement), Roumanie, Royaume Uni, Russie, Serbie, Suède, Suisse, Empire Ottoman.

Le Blériot XI² pendant la première guerre mondiale.

Premier avion vendu à l'armée française, le Blériot XI² dit " Traversée de la Manche " est le premier appareil à être engagé dans une opération de combat en octobre 1911 avec l'intervention italienne en Cyrénaïque et en Libye contre l'Empire ottoman.

A la déclaration de guerre de 1914, sur les 21 escadrilles que compte l'Aéronautique Militaire française, le Blériot XI² équipe 6 escadrilles (quatre de biplaces XI², deux de monoplaces) dotée chacune de six appareils et quatre squadrons du Royal Flying Corps, plus quelques unités du Royal Naval Air Service. Il est également en dotation dans les escadrilles italiennes, belges, russes et serbes. Cinq modèles sont conçus.

Au début de la Première Guerre mondiale, le monoplan est beaucoup employé comme avion d'observation et de réglage d'artillerie et peut aussi être armé de grenades ou de fléchettes en acier. Mais ses limitations sont vite mises en évidence : faible puissance, charge utile, autonomie et armement. Peu adapté à l'observation en raison de l'aile qui obstrue le champ de vision vers le bas, le Blériot XI est relégué, au début l'année 1915, sur des théâtres d'opérations secondaires ou à des tâches d'entraînement à l'arrière des lignes.
Rouleur destiné à l'entrainement au sol, muni d'ailes rognées et d'un train élargi, le Blériot R1 " Pingouin ", construit à 132 exemplaires pendant la guerre sera utilisé sur une grande échelle, par les français et les américains pour la formation des pilotes. Ces avions ne pouvaient décoller en raison de la suppression du revêtement des ailes sur de larges surfaces.

Insignes des Escadrilles de l'Aéronautique Militaire ayant été équipées de Blériot XI (1911 – 1915)

Escadrille des Cigognes (Bl 3) Groupement de chasse 12

Escadrille (Bl 9)

Escadrille (Bl 10)

Escadrille (Bl 18)

Escadrille (Bl 30)

A la mobilisation, deux escadrilles de cavalerie, utilisaient des monoplaces Blériot XI et quatre autres unités possédaient la variante Blériot XI², modèle biplace doté d'un moteur rotatif Gnome de 70 Ch.

Quelques précisions sur les escadrilles : les formations portaient un numéro précédé de la marque de l'appareil dont elles sont dotées : **AR** pour Dorand AR, **Bl** pour Blériot, **Bl C** pour Blériot cavalerie, **Br** pour Bréguet, **C** pour Caudron, **CAP** pour Caproni, **CEP** pour Caproni sous licence Esnault-Pelterie, **D** pour Deperdussin, **HF** pour Henry Farman, **F** pour Farman, **MF** pour Maurice Farman, **MS** pour Morane Saulnier, **N** pour Nieuport, **R** pour Caudron R 4, **REP** pour Robert Esnault-Pelterie, **Sal** pour Salmson, **Sop** pour Sopwith, **Spa** pour Spad, **Spa-bi** pour Spad biplace, **V** pour Voisin, **VB** pour Voisin Bombardement, **VC** pour Voisin canon.

Une même escadrille a donc connu plusieurs noms au cours de la guerre à l'image de la 3 qui s'est appelée Bl C 3, MS 3, N 3 et enfin Spa 3.

L'appareil exposé à Villaroche

Suspendu au plafond à l'entrée du hall des pionniers, le musée Safran expose une réplique parfaite à l'échelle 1 du monoplan Blériot XI équipé d'un moteur rotatif en étoile Le Rhône 7 cylindres. Son histoire est particulière.

Appartenant au Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget, c'est une copie d'un véritable Blériot XI b datant de 1910 qui a survécu à bien des vicissitudes. L'original appartenait à un châtelain normand passionné du ciel qui l'utilisait fréquemment au cours de meetings aériens ou pour ses déplacements privés. Entendant l'Appel du Général en juin 1940, il décide de rejoindre l'Angleterre. Malheureusement il avorte son décollage, le

Blériot XI, moteur cassé doit se reposer en catastrophe. Les Allemands accourent et fusillent immédiatement le châtelain puis mettent le feu à l'avion déjà mal en point.

Sa veuve recueille la dépouille de son mari et les morceaux du Blériot dont une aile a brûlé. Elle conserve les débris dans les communs du château pendant de nombreuses années jusqu'à ce que la charpente du bâtiment vieillissant, l'écroulement d'une partie du toit oblige celle-ci à consolider l'édifice au moyen de câbles en acier mais qui passent à travers le fuselage déjà éprouvé du Blériot XI.

Un ferrailleur de la région de Tours, Monsieur Dufresne qui connaissait toute l'histoire, voulait absolument récupérer la carcasse du monoplan mais essuyait, à chacune de ses visites, un refus poli de la châtelaine qui voulait conserver un souvenir de son défunt mari.

Après des années de discussions, le ferrailleur arrive à ses fins et récupère les restes du Blériot XI, carcasse et moteur.

Dans les années 1980, Monsieur Dufresne s'adresse à l'AAMS, pour la restauration du moteur Le Rhône 9C monté sur l'épave. L'AAMS lui propose alors le marché suivant : la remise en état du moteur et la restauration de tout l'avion et, en contrepartie, l'autorisation d'en faire une copie pour le Musée Safran. Le ferrailleur accepte le marché. Le moteur est désassemblé pour connaître les causes de l'accident de juin 1940 : une bielle est passée à travers son piston par suite d'un problème de graissage.

Le moteur est entièrement refait par des membres de l'AAMS et la cellule de l'avion remise aux " Ailes Anciennes " de Dugny. Le fuselage est sauvegardé et méticuleusement restauré. Par contre les ailes, les empennages et le train d'atterrissage sont reconstitués conformément aux plans d'époque avec des matériaux équivalents mais difficilement trouvés. Pour l'association de Dugny, le Blériot XI est l'aéronef le plus ancien qu'ils n'aient jamais restauré …et depuis ils n'ont plus réalisé de copie d'avion !

Par la suite, la SNECMA propose un contrat d'un an à un chômeur qui va restaurer les parties endommagées et en même temps, faire une copie de tout l'appareil.

Le Blériot XI du ferrailleur se trouve aujourd'hui dans son propre musée, le Musée Dufresne, près d'Azay-le-Rideau, équipé de son moteur Le Rhône 9C.

Blériot XI avec moteur Le Rhône 9C exposé au Musée Maurice Dufresne (© Musée Maurice Dufresne)

Blériot XI
(© Musée Maurice Dufresne)

Situé au cœur de la région Centre-Val-de-Loire, à Marnay, le musée Maurice Dufresne qui est ouvert au public depuis octobre 1992 abrite une authentique et impressionnante collection de véhicules anciens, voitures, cycles, avions, camions, motos, tracteurs, machines agricoles ou militaires, affiches vintage et objets insolites d'époque, véritable patrimoine rétro-mécanique des années 1850 aux années 1950. Le visiteur peut découvrir plus de 3000 pièces d'exceptions et pour nombre d'entre elles, unique au monde…

Remerciements : Mr David Moriceau du Musée Maurice Dufresne de Marnay, Mr René Potet de l'Association " Ailes Anciennes " de Dugny

Ouvrages et documents consultés : Revue Pégase, gazette Gnome & Rhône n°26 Mars 2009

Photographies : sauf mention contraire toutes les photographies sont extraites des Archives de l'Association des Amis du Musée Safran (AAMS)

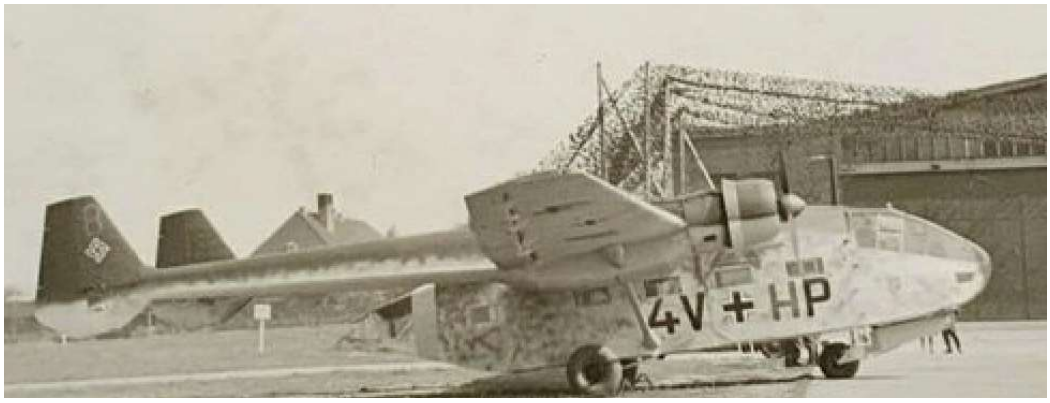
Moteurs Gnome & Rhône 14M et 14N utilisés par des avions de la Luftwaffe. Opérations des planeurs et de leurs dérivés motorisés pendant la Seconde Guerre mondiale.

" Cette guerre est une guerre mondiale.
Toutes les fautes, tous les retards, toutes les souffrances, n'empêchent pas qu'il y a,
dans l'univers, tous les moyens nécessaires pour écraser un jour nos ennemis.
Foudroyés aujourd'hui par la force mécanique, nous pourrons vaincre
dans l'avenir par une force mécanique supérieure. "

Allocution du général de Gaulle sur les ondes de la BBC à Londres. 18 juin 1940.

1 - Introduction.

A l'occasion des numéros 10 et 11 de notre revue, nous avions abordé le bombardement de l'usine Gnome & Rhône de Limoges où étaient construits des moteurs destinés à être utilisés par la Luftwaffe. Puis l'avion bimoteur d'assaut et de lutte antichar Allemand Henschel Hs-129 qui fut motorisé par le type 14M. Pour clore ce dossier, réalisant qu'il reste encore énormément de travaux de recherches à effectuer pour tenter d'appréhender ce que fut effectivement la production, la réparation et la fabrication de pièces de rechange de moteurs d'avion en France pendant la Seconde Guerre mondiale. Nous proposons, dans ce numéro, de présenter les opérations de deux autres utilisations significatives de moteurs Gnome & Rhône par la Luftwaffe : le type 14M qui motorisa l'avion de transport léger bimoteur, pas très réussi, Gotha Go-244 et le type 14N qui trouva sa place sur les ailes de l'avion de transport lourd hexa-moteur Messerschmitt Me-323 " *Gigant* ". Malgré le relativement faible nombre (198 exemplaires) produits, il fut utilisé intensivement et rendit d'énormes services aux unités de transport militaires Allemandes.



Gotha Go-244 – codé 4V + HP (© DR)

Nous avons connaissance, de deux autres applications, moins significatives, de moteurs Gnome & Rhône motorisant des avions de combat d'origine Allemande utilisés au cours de la Seconde Guerre mondiale. Le type 14M installé sur un unique prototype, la version " E " du Focke-Wulf Fw-189, qui ne connut sûrement pas le combat. Le bimoteur de reconnaissance de champ de bataille Focke-Wulf Fw-189 " *Hibou* " fut d'ailleurs largement produit en France. Des 860 construits, 330 le furent par la SNCASO à Bordeaux. Les Fw-189 de série étaient tous équipés du moteurs Argus AS-410, duquel dériva le moteur Renault 12S puis T. La seconde, la version " K " du bombardier léger et avion de reconnaissance à longues distances Dornier Do-17 " *Crayon volant* ". Une licence de fabrication ayant été achetée par la société Yougoslave DFA (*Drzavna Fabrika Aviona),* déjà détentrice d'une licence de fabrication concédée, avant la guerre, par la société Gnome & Rhône l'équipa du type 14N, plus puissant que les moteurs de BMW Bramo 323A " *Fafnir* " (900 ch) lequel fut finalement retenu pour les avions de série mis en service dans les escadres de la Luftwaffe. En avril 1941, quand l'Allemagne envahit la Yougoslavie, soixante-dix avions Do-17 K en versions bombardement 17 KB-1 et reconnaissance 17 K-A3, avaient été construits localement. Beaucoup furent détruits pendant les bombardements précédant l'invasion. Les rescapés furent remis à l'armée de l'air Croate qui s'était alors coalisée aux forces de l'Axe.

A ces avions construits en Allemagne qui furent équipés de moteurs Français, peut-être est-il nécessaire de ne pas négliger, un aspect qui mériterait à lui seul, de plus amples développements. Les avions Français, évidemment motorisés par des moteurs nationaux, saisis et utilisés par la Luftwaffe. Le Lioré et Olivier LéO 451 est de ceux-là. Les chiffres sont incertains, évoluant entre vingt unités récupérées, dans les usines immédiatement après l'armistice de juin 1940, et deux-cents voire deux-cent-vingt-cinq exemplaires, dont des avions neufs récupérés à l'usine SNCASE de Marignane ainsi que d'autres réparés sur ordre de l'occupant, possiblement jusqu'à quatre-vingt-cinq avions. A partir d'avril 1943, ces avions amenés au standard 451T, sont affectés à une unique escadre de transport spécialisée, désignée IV/TG4 basée sur les aéroports du Bourget et d'Étampes-Mondésir, terrains que la Luftwaffe avait dédié à l'utilisation d'avions Français capturés. Forte d'une soixantaine d'avions, sa mission est d'assurer des transports de poste, de troupes, jusqu'à vingt-trois passagers, surtout de carburant en barils, maximum huit (**1**), vers l'Afrique du Nord, l'Italie et la Grèce ou encore au service des forces d'occupation à l'intérieur du territoire Français. A la fin de 1943, c'est la IV/TG4 qui réalise le transfert en urgence des personnels d'une unité d'attaque au sol équipée de Focke Wulf Fw-190 F depuis le terrain de Coulommiers vers celui de Lvov alors en Pologne.

La IV/TG4 qui volait sur Junkers Ju-52, se transforme, sans assistance extérieure, sur le LéO 451 T. Le LéO 45 est excellent, mais réputé capricieux pendant la phase de décollage. Les accidents sont nombreux. Le premier dès le 23 avril au décollage du Bourget. Suivent, la liste est longue : Romilly, Lyon-Bron, Étampes-Mondésir, Istres, Marseille-Marignane, Salon, Fontainebleau, Laon. En Italie Riva-Trigoso, en Autriche Linz en Allemagne Freiburg, Uetersen, ou encore Twente en Hollande… Nous avons des traces de la destruction au sol de plusieurs LéO 451 par mitraillages ou bombardements alliés, dont un à Poix le 18 mai 1943, deux au Bourget le 14 juillet, un à Lille-Vendeville le 8 septembre, un autre à Beauvais le lendemain. Deux LeO 451T sont abattus par des Typhoon de RAF au cours d'un vol de liaison entre Étampes et Venlo en Hollande. N'utilisant plus que le seul terrain d'Étampes-Mondésir, au moment de sa dissolution, dans le courant de l'année 1944, il ne reste que vingt-cinq LéO 451T ! Ils continueront à être utilisés, dispersés dans diverses autres unités.

Les Bloch, de la famille MB-174/175, environ deux-cents exemplaires non armés sont remis à la Luftwaffe et utilisés largement, pour un temps, à la formation multi moteur de ses pilotes. Il est vraisemblable qu'une partie des moteurs de ces Bloch MB-175, furent prélevés pour installation sur le Me-323 ou servir à faire des pièces de rechange. Le Bloch 175 comme le LeO 45, étaient motorisés par deux moteurs Gnome-Rhône 14 N-48 et 49 développant, suivant les versions, entre 1000 et 1100 chevaux.

Gotha 240 accidenté en Afrique du Nord (© DR)

Singulièrement, alors que la Seconde Guerre mondiale fut véritablement une " guerre industrielle " marquée par l'utilisation de dizaines de milliers de moteurs, de tous types et de toutes puissances, ce sont des planeurs qui mettent fin à la " drôle de guerre ". Négligeant la neutralité de la Belgique, les hostilités commencent le vendredi 10 mai 1940, vers quatre heures trente du matin par un assaut contre la forteresse d'Ében-Émael. Les quatre-vingt-six pionniers-parachutistes qui s'emparent de la forteresse avaient été transportés dans neuf planeurs DFS-230 (**2**). Onze avaient décollé des terrains de Cologne-Ostheim et Butzweilerhof remorqués par autant de Junkers Ju-52. L'un d'eux, qui avait brisé son câble au décollage, rejoindra l'assaut avec trente minutes de retard. Le dernier, égaré s'était posé trop court, hors du périmètre du fort. Après l'atterrissage sur les quarante-cinq hectares des superstructures, elles n'avaient pas été protégées pour permettre aux gardiens du fort de pouvoir jouer au football ! Les pionniers-parachutistes s'en emparent rapidement. Si les combats durent trente-six heures, en moins d'une demie heure, son sort est scellé. Réputé imprenable, l'imposante forteresse d'Ében-Émael, la plus grande d'Europe, était destinée à

empêcher le franchissement de la Meuse et du canal Albert, quelques kilomètres au nord de la ville de Liège. C'est cet épisode spectaculaire qui marque véritablement le début des hostilités sur le front de l'ouest. C'est aussi la première fois, dans l'histoire militaire, que des planeurs sont employés dans une opération de combat.

A l'expérience de ce succès, l'état-major Allemand réalise les avantages qu'apportent l'utilisation de planeurs dans ce type d'opérations : effet de surprise, dû à l'absence de bruit, à l'opposé, d'un parachutage conventionnel, meilleure concentration des pionniers qui n'ayant pas de se défaire de leurs équipements de saut permet le rassemblement et la mise en action immédiate. S'ajoutant à l'effet de surprise l'effet de choc est renforcé. Les planeurs DFS-230, Gotha 242 et Me-321, seront utilisés à de multiples reprises pendant toute la durée de la guerre : en Grèce, en Crète en Afrique de Nord sur le front Russe, même en France. Ainsi, au mois de juillet 1944, pour la reconquête du plateau du Vercors. Un premier posé de nuit sur la commune de Vassieux-en-Vercors, d'une vingtaine de planeurs DFS-230, permit d'amener suffisamment d'unités d'assaut pour contenir les Forces Françaises de l'Intérieur. Alors que les combats s'intensifient, pour achever l'encerclement et la destruction des forces Françaises qui s'en suivi, plusieurs posés, d'une vingtaine, de DFS-230 furent de nouveau nécessaires le lendemain ainsi que, l'utilisation de planeurs moyens Gotha Go-242 pour déposer du matériel. Le relief difficile et les vents caractéristiques à ce secteur montagneux causent beaucoup d'accidents. Tous tirés par des Dornier Do-17, les planeurs étaient partis de l'aéroport de Lyon-Bron. Les DFS-230 s'illustrent encore en septembre 1943, en Italie à 2100 mètres d'altitude, sur les pentes du Gran-Sasso. Remorqués par des Junkers Ju-87 R, ce sont dix DFS-230 qui transportèrent le commando qui libera le dictateur fasciste Italien déchu, Benito Mussolini.

Ironiquement, alors que la Luftwaffe exsangue agonise, ce sont encore quelques planeurs DFS-230, qui participent aux ultimes, si ce n'est futiles, opérations de la guerre aérienne en Europe. Des plus de deux-mille-deux-cents construits, il en reste moins de vingt. Après Tempelhof le 26 avril 1945, le 27, l'Armée Rouge s'empare de l'aérodrome de Berlin-Gatow. C'était le dernier terrain encore disponible. Désormais, la ville ne peut plus être ravitaillée par air. Toutefois, la " *Charlottenburger Chausee* ", une large avenue en centre-ville, connue sous le nom d'axe est-ouest, est encore utilisable et capable de recevoir des avions légers ou des planeurs. C'est par cet axe que le 26 avril, la légendaire aviatrice Hanna Reitsch, grande spécialiste du vol à voile, amène à la chancellerie, à bord d'un Fieseler Storch Fi-156, le général Ritter Von Greim dernier chef d'état-major de la Luftwaffe, venu recevoir les ultimes ordres d'Hitler. Ils s'exfiltrent le 28, à bord d'un Arado Ar-96. Ils seraient les derniers à avoir quitté Berlin par la voie des airs. Dans la nuit du 28 au 29 avril, partis du terrain de Rerik, proche de Rostock, remorqués par des Heinkel He-111, bravant les défenses, cinq DFS-230 tentent de relier Berlin. Au moment, de l'atterrissage, l'axe est ouest est soumis au feu intense de l'artillerie, il est impossible de l'utiliser. Un des planeurs, guidé par la lueur des incendies qui font rage, repère un espace suffisant dans le secteur de Tegel où il se pose. Il transportait des munitions anti-aériennes, qui sont récupérées par des unités de la DCA. Le pilote qui disposait d'un laisser-passer prioritaire réembarque aussitôt dans l'un des derniers Ju-52 qui s'échappe de la fournaise. Un autre, câble rompu, se pose en campagne sans pouvoir atteindre Berlin.

Le destin des trois derniers pilotes et de leur planeur n'est pas connu. Dernière tentative dans la nuit du 29 au 30 avril 1945, deux planeurs défiant le destin, tentent leur chance. La DCA abat l'un d'eux, le pilote grièvement blessé est fait prisonnier par l'Armée Rouge. Le pilote du second est tué à l'atterrissage.

Planeur DFS-230 sur échasses Codé CB + MW (© DR). Désigné " Sauterelle " il servait à familiariser les pilotes à la hauteur inhabituelle, 6 mètres, de la cabine de pilotage du Me-323.

2 - Origines et opérations des planeurs lourds.

Les avions Messerschmitt Me-323 et Gotha Go-244, que nous allons évoquer n'étant à l'origine, rien d'autre que des planeurs lourds et moyens motorisés, il semble donc indispensable d'aborder la genèse de ces planeurs et la réalité de leurs opérations, invariablement intriquées avec leurs versions motorisées.

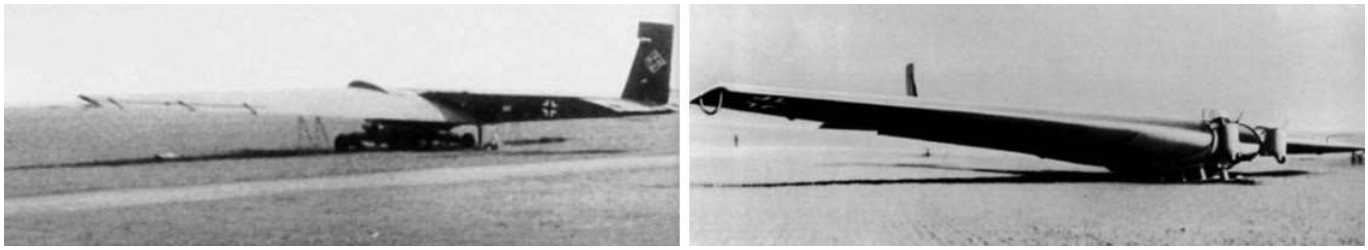
Le 12 octobre 1940, devant l'incapacité dans laquelle se trouve la Luftwaffe d'acquérir durablement la supériorité aérienne indispensable, Hitler décide de reporter *sine die* le projet d'invasion de la Grande-Bretagne. Paradoxalement, à l'expérience du succès d'Ében-Émael, c'est précisément à ce moment que le haut commandement Allemand, dans le plus grand secret demande à Messerschmitt et à Junkers de faire, dans un délai de deux semaines, des propositions pour la fabrication en série de planeurs lourds capables d'embarquer jusqu'à cent-trente fantassins, de facto la valeur d'une compagnie d'infanterie, un blindé léger type Panzer PzKW IV, voire le fameux canon de 88 mm avec les équipages, le carburant et des munitions.

Ce projet, très secret, prend le nom de code " Opérations Warsaw " : " Warsaw-Est " pour Junkers et " Warsaw-Sud " pour Messerschmitt. En fait, il semble que ce fut après que le bureau d'études de Messerschmitt, qui en eut l'initiative, proposa aux plus hautes autorités Allemandes, un projet de planeur lourd correspondant à ces spécifications…? La volonté du haut commandement Allemand étant de pouvoir établir, par moyens aéroportés, une tête de pont dans le secteur de Dungeness, d'y acheminer suffisamment vite et de façon soutenue l'ensemble de la logistique nécessaire à son expansion et sa sécurisation. Les planeurs DSF-230 du fort d'Ében-Émael, capables de n'emporter au maximum que dix fantassins ou une tonne de charge utile sont jugés trop légers surtout incapables de transports volumineux. En réalité, la Wehrmacht et la Luftwaffe doutent des capacités de la Kriegsmarine à pouvoir transporter, suffisamment vite et de façon soutenue, les importants flux humains et logistiques réguliers requis. La Wehrmacht et la Luftwaffe, veulent augmenter les capacités potentielles de transport par mer par d'importantes capacités aéroportées. Simultanément, il est demandé à la société Gotha de concevoir, conservant la même base, un planeur plus grand que le DFS-230. Ce sera le modèle Go-242, qui deviendra, après motorisation, le Gotha Go-244.

3 - L'ère du Junkers Ju-322 " Mammouth ".

Dans le cadre du projet relatif au planeur lourd, pour réduire la consommation d'acier, les services officiels, imposent à la société Junkers d'utiliser le bois comme matériau de base. Si Junkers dispose d'une certaine expérience en matière de construction d'avions de grandes dimensions, il n'en n'a aucune dans l'utilisation du bois. C'est d'ailleurs Junkers qui avait conçu, à la fin de la première guerre mondiale, le modèle D1, premier avion entièrement métallique de l'histoire de l'aviation. La proposition de Junkers, codé EF-094, reprend des études déjà effectuées pour leur modèle quadrimoteur commercial G38 dont l'aile épaisse était en 1929, au moment de son premier vol, très avant-gardiste. L'EF-094 de 1941 est un hydride d'aile volante très épaisse dotée d'une queue mono dérive, la partie centrale constituant la soute. Toutefois, le concept n'a jamais été testé ; même avec des planeurs de compétition.

Les dimensions sont impressionnantes : envergure 62,35 mètres. Elle était initialement prévue à 82,32 mètres ! Longueur 28,90 mètres pour une hauteur de 6,60 mètres. Le poids à vide est de 29,2 tonnes, le poids maximum au décollage prévu serait de 45,2 tonnes. La surface alaire s'élève à 595 m^2, soit significativement plus que celle de notre contemporain Airbus A340 qui s'établit à 363 m^2. Le poste de pilotage, disposé asymétriquement, est installé, au-dessus, et à la droite de la porte cargo incurvée, située à l'avant. Fermée, elle forme la partie centrale du bord d'attaque de l'aile. Déployée, elle sert de rampe de chargement, s'ouvrant sur une soute gigantesque : longue de 11,50 mètres, haute de 3 mètres. A 7,90 mètres sa largeur, soit deux mètres de plus que celle du quadriréacteur Lockheed C-5 " Galaxy ", 5,80 mètres. D'abord nommé " Goliath " il prend finalement la désignation de Ju-322 " Mammouth ". Dès la phase de construction des prototypes, les soucis s'accumulent. Aux premiers essais statiques, pour cause de colle mal adaptée et de bois insuffisamment sec, on s'aperçoit que le premier longeron principal de l'aile ne peut supporter que la moitié de la charge requise. Au second essai, l'aile se rompt de nouveau à 60%. Le plancher du prototype V2, insuffisamment robuste, casse pendant les essais de chargement du véhicule blindé de test.

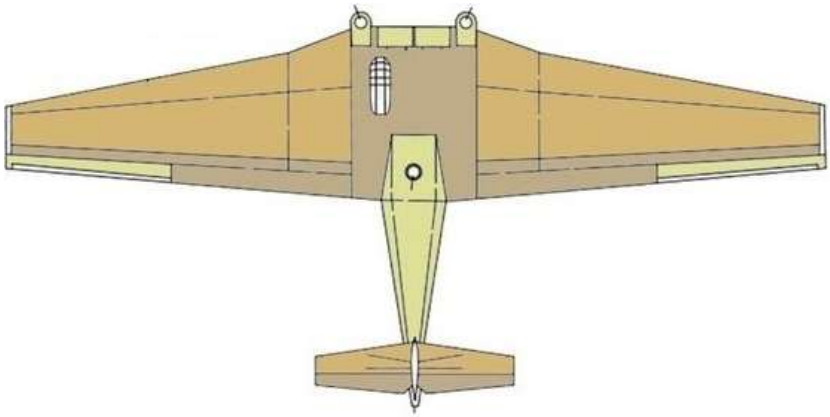


Junkers Ju-322 " Mammouth " (© DR)

Enfin, le 12 mars 1941 sur le terrain de Merseburg, région de Leipzig, aux mains de Peter Hesselbach, pilote d'essais de la société Junkers, le prototype V7 (**3**) du quadrimoteur Junkers Ju-90 (moteurs BMW-801A développant une puissance de l'ordre de 1560 chevaux), tracte pour la première fois, le premier prototype du Ju-322 désigné V1. Bien qu'il serait plus juste de parler d'un grand bond, le Ju-322 vole pour la première, et une des rares fois.

Le décollage est pour le moins compliqué. La course est très longue, au moment où le chariot en acier de huit tonnes qui fait office de train d'atterrissage, qui fut si long à concevoir, est largué, il rebondi et entre en collision avec une des ailes du planeur lui causant quelques dommages. Simultanément, toujours en remorque, le planeur, très instable monte plus vite que son tracteur. Ancré de part et d'autre de la porte cargo, le câble double de cent-vingt mètres de long formant un V pendant le tractage, tire alors la queue du Ju-90 vers le haut, lequel se met à piquer dangereusement. Le largage immédiat du câble rétablit la situation. Le planeur, se stabilise mais, il n'a atteint ni la vitesse, ni l'altitude suffisante pour poursuivre le vol sereinement. De plus, il se découvre incapable de virer. Son pilote après avoir sauté une ligne de chemin de fer, est contraint de se poser, sur ses skis, droit devant, sans casse à seulement deux-cents mètres des limites du terrain. Il faudra plus de deux semaines pour ramener le " Mammouth " aux hangars, tiré par les deux chars d'assaut, qui avaient été mis à disposition pour les essais de chargement.

Après les réparations, quelques modifications sont effectuées dont l'ajout de deux ballasts à l'avant pour contrer la tendance au cabrage que cause le centre de gravité trop arrière, l'agrandissement de la hauteur de la dérive, possiblement également l'augmentation de la longueur de la queue, sous-dimensionnée et le renforcement, pour le rendre plus robuste du chariot train-d'atterrissage de façon à pouvoir le larguer plus haut. Complexe à réaliser, c'est sa sept ou huitième définition. Le deuxième essai prend place en Avril. Cette fois, tracté par une " troïka " composée de trois Messerschmitt Bf-110. C'est un désastre. Si le " Mammouth " parvient à se poser en catastrophe, deux des Bf-110 s'écrasent. En mai, les services officiels qui avaient accumulé de forts doutes quant 'à la viabilité d'un tel concept, trop instable sur les trois axes pour voler normalement, demande à Junkers de stopper les travaux. Autre limitation incontournable, le quadrimoteur Junkers Ju-90 disponible en trop petit nombre, est le seul avion, et encore moteurs poussés à la puissance maximum, capable d'atteindre la vitesse d'auto-sustentation suffisante pour permettre le largage du planeur en toute sécurité. En outre, les divers renforts en acier indispensables à la robustesse de la structure en principe " tout bois ", sans compter les deux ballasts qui réduisent d'autant la charge marchande. Les huit tonnes d'acier nécessaires au chariot-train d'atterrissage dont la conception et la fabrication furent d'ailleurs laborieuses, il aurait été constitué de trente-deux roues en seize tandems représentent quand même beaucoup d'acier !



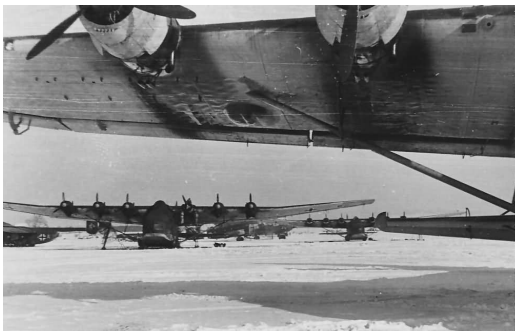
Junkers Ju-322 " Mammouth " (© DR)

Bien que Junkers revendique que la finesse de son " Mammouth " soit égale à 50, chiffre sûrement très exagéré, elle ne pourra jamais être vérifiée. Le projet jugé trop inférieur à celui de Messerschmitt est abandonné au seul profit du Me-321. Il eut été, en principe, capable d'emporter douze tonnes de charge ou cent-quarante fantassins et trois mitrailleuses légères d'auto-défense. Le second prototype V2, ne volera pas. Le bois utilisé pour construire les deux prototypes, et les premières unités, quatre-vingt-dix-huit étaient en cours de construction, servira de combustible pour des véhicules fonctionnant au gazogène ! A la réflexion, il est difficile de ne pas s'empêcher de penser comment il eut été possible d'utiliser un tel engin en zone de combat, et comment des services officiels si expérimentés aient pu y apporter le moindre crédit… ?

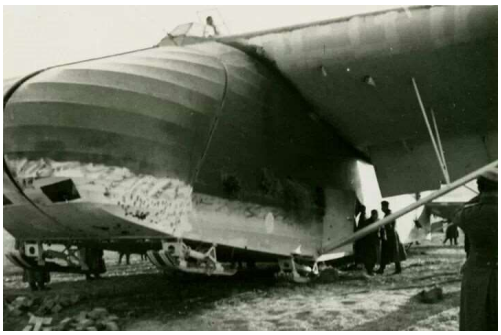
4 - Les Messerschmitt Me-321 et Me-323 " Gigant ".

Le particulièrement inélégant planeur, Messerschmitt Me-321 " *Gigant* " d'abord désigné Me-261 w puis Me-263 qui vole pour la première fois, à partir du terrain de Messerschmitt à Leipheim en Bavière, en mars 1941, présente des dimensions non moins impressionnantes. Il est encore, à ce jour, le plus gros planeur jamais mis en service par une armée de l'air : envergure 55 mètres, longueur 28,15 mètres pour une hauteur de 10,15 mètres, la surface alaire est de 300 m^2. Au poids à vide de 12,4 tonnes, le poids maximum autorisé au décollage est limité à 34,4 tonnes. Le fuselage, en forme générale de coin dont les profils latéraux plans ne font pas beaucoup de place aux lois de l'aérodynamique, de même que la majeure partie des éléments structuraux de l'aile, sont constitués d'une structure tubulaire soudée. Les tubes sont réalisés en acier roulé selon une procédure patentée par la société Mannesmann (**4**). L'ensemble est essentiellement recouvert de panneaux de contreplaqué et de tissus imperméabilisés. A l'avant des bords d'attaque de l'aile réalisés en contreplaqué, le poste de pilotage se trouve à la hauteur de six mètres, au centre de l'aile haute supportée par un système de haubans. Les volets occupent, entre les ailerons, toute la longueur du bord de fuite. Le plan horizontal également renforcé par un jeu de haubans placés de part et d'autre de sa surface est équipé d'un mécanisme permettant le changement de l'incidence de -5° à +2,5°. En cas de panne, un dispositif mécanique bloque le déplacement.

Cette technologie de construction présente beaucoup d'avantages : faible coût de production, besoins limités en machines-outils, impact minimum sur les ressources en matières premières, que l'Allemagne a déjà beaucoup de difficultés à approvisionner, facilité et rapidité de construction et de réparations des dommages de combat surtout, fort gain de poids. La porte de chargement constituée de deux énormes demi-coquilles formant la partie avant du fuselage, est située sous la cabine de pilotage où prennent place un, puis deux pilotes. La rampe de chargement est amovible, constituée de deux passerelles articulées à l'avant du plancher. Elle donne accès à une soute, certes moins large que celle du Junkers Ju-322 mais non moins impressionnante. Longue de 11 mètres, aussi large que haute à presque 3,20 mètres, le volume est de 112 m^3. Le plancher, robuste permet de charger vingt tonnes de cargo, soit pratiquement deux fois la masse du planeur vide ! C'est six fois les capacités du trimoteur Junkers Ju-52, alors cheval de trait des unités de transport de la Luftwaffe. Une première en matière de transport aérien : la soute est au gabarit des wagons de la Reichsbahn. Il est possible d'installer un pont supérieur amovible qui permet, si le plancher inférieur est entièrement disponible d'assoir deux-cents soldats équipés. Le poids du train d'atterrissage est de mille-sept-cents kilogrammes. Il ne sert qu'au décollage. Constitué de deux éléments : un essieu à deux roues forme le train principal, deux roues indépendantes, forment le train avant. L'ensemble est largué après le décollage, le planeur se posant alors sur quatre skis fixes. Dans un souci de standardisation, les roues du train principal sont les mêmes que celles utilisées par le Junkers Ju-90. Celles du train avant sont empruntées au train principal du Messerschmitt Me-109. Pour faciliter le décollage, il est possible d'installer, sous chaque aile, jusqu'à six fusées d'assistance au peroxyde d'hydrogène (**5**), dont la poussée unitaire varie, selon les nécessités, de 600 à 1100 kilos.



Messerschmitt Me-321 (© DR)



Messerschmitt Me-321 en Russie (© DR)

Bien que le pilotage soit déclaré très aisé, plutôt surprenant pour un planeur de cette taille ; la force à appliquer sur les commandes de vol, évidemment sans aucune assistance, se révèle très lourde, trop pénible pour des vols à longues distances. Pour y remédier, à partir du centième exemplaire, la cabine du modèle Me-321A-1 est agrandie pour être équipée de doubles commandes. Le second siège est destiné à un copilote qui assiste le pilote de sa force physique. Une assistance par servomoteurs électriques sera ensuite ajoutée aux commandes de vol dont celle de profondeur. Le type Me-321 A-1 ainsi modifié devient le 321 B-1. Avant la fin

de l'année 1942, cent modèles du type A-1, cabine monoplace, sont produits et deux-cent-trente du type B-1, cabine biplace. Certains modèles disposent de deux postes de mitrailleurs d'autodéfense. Tracté par la " troïka " composée de trois Messerschmitt Bf-110, après les 1250 mètres nécessaires au décollage, le taux de montée initial est de 150 m/min. La finesse est estimée à 16. En vol la vitesse de remorquage type est d'environ 230 km/h. Celle d'atterrissage de 115 km/h, au taux de descente optimum de 7,25 mètres par seconde.

Différentes variantes existent dont certaines destinées à servir de poste de commandement, d'infirmerie de champ de bataille où sont prodigués les premiers soins aux blessés, voire d'atelier de maintenance. Une version équipée de moyens de radionavigation et de communications pour servir de centre de contrôle du trafic aérien avancé fut envisagée. Elle n'a probablement pas été produite. Pour augmenter la flexibilité d'emploi, malgré la réduction significative de la capacité d'emport, que causera l'installation de moteurs, qu'inévitablement génèrera une importante augmentation du poids à vide, en juillet 1941, la décision est prise de motoriser les Me-321. L'opération s'effectue en deux tentatives.

Le premier et unique prototype désigné Me-323C-V1 est équipé de quatre moteurs Gnome-Rhône 14N-48/49 (1140 chevaux au décollage, 1035 à 4800 mètres) entrainant une hélice bipale, à pas fixe, en bois. Les moteurs, les nacelles et les équipements sont prélevés directement sur des Bloch MB-175 qui se trouvaient en Allemagne. Simultanément, il est demandé à l'usine SNCASO de Mérignac de ne plus produire cet avion mais d'expédier les moteurs avec les nacelles équipées directement aux usines Messerschmitt de Leipheim et d'Obertraubling. Les essais en vol qui débutent en avril 1942, démontrent que la configuration quadrimoteur n'améliore pas significativement l'efficacité du planeur. Si le Me-323 C-V1 est capable, à vide, de décoller sans assistance et de voler à la vitesse de 210 km/h, il faut toujours recourir au tractage pour les décollages en charge. C'est la version du second prototype, Me-323 D-V2, hexamoteur, Gnome-Rhône 14N-48/49 entrainant des hélices Ratier tripale, qui vole presque en même temps qui est retenue pour la production des avions de série. Les premiers arrivent dans les escadres en Septembre 1942, juste à temps pour la campagne de Tunisie.

Les deux versions ne diffèrent que par le nombre de moteurs et les hélices. Remplaçant les skis, un train d'atterrissage, fixe et caréné, est installé sur les flancs. A dix roues, il exerce une faible pression sur le sol. Équipé d'un système de ressorts il maintient le plancher de chargement à l'horizontale, permettant d'utiliser des terrains peu ou mal préparés. Les freins efficaces, réduisent la course d'atterrissage à 200 mètres. L'aile renforcée pour supporter les moteurs, et loger les réservoirs d'huile et de carburant, 900 litres chacun, deux dans les extensions, quatre dans la section centrale abrite dans les emplantures deux espaces aménagés en cabine pour deux mécaniciens navigants chargés de la surveillance des moteurs de " leur aile ".

La version type du Me-323 est en principe armée de neuf mitrailleuses de 13 mm. Une version désignée Me-323 E-2/WT, pour *Waffentrager* (Transport d'armements) équipée de 11 canons de 20 mm et de 4 mitrailleuses de 13 mm est destinée à escorter les missions. Cette version alourdie par mille-trois-cents kilos de blindage n'emporte aucune charge mais vingt et membres d'équipage additionnel, c'est un échec. Seulement deux prototypes sont construits. Bien que moins puissant que le BMW-801, le moteur Gnome-Rhône 14N et retenu pour sa disponibilité, sa capacité à accepter l'essence à faible taux d'octane et son rapport poids puissance de 23% supérieur à celui du BMW-801, paramètre important pour cet avion destiné à transporter les charges les plus lourdes possibles. Le 198ème et dernier Me-323. est livré à une escadre de la Luftwaffe en avril 1944.

Moteur :	Six Gnome-Rhône 14N 48 & 49 de 1140 chevaux
Hélice :	Tripale Chauvière ou Ratier 1634/1635 à pas variable
Fusés d'appoint :	Identique au type Me-321
Vitesse maximale :	Entre 250 et 285 kilomètres/heure à 4000 mètres
Plafond pratique :	4 000 mètres
Autonomie :	750 km avec 11,5 tonnes de charge, 1000 km avec 10 tonnes, 1100 km à vide
Taux de montée initial :	3,6 mètres/seconde
Équipage :	7 membres
Surface alaire :	300 m^2
Poids :	29 600 kilogrammes à vide - 43 000 en charge (Me-323)
	12 400 kilogrammes à vide - 34 400 en charge (Me-321)

5 - Les Gotha Go-242 et Go-244.

Le Gotha Go-242, conçu plus grand que le DFS-230, est reconnu comme un excellent planeur, rustique et simple, économique, construit en tubes soudés recouvert de tissus imperméabilisée et de panneaux en bois. Selon l'altitude du largage et les conditions météorologiques, il est capable de parcourir de 30 à 105 kilomètres. Initialement sa mission est l'aérotransport aussitôt que possible, à proximité des zones de combat. Le concept aile haute, double poutre et la rampe de chargement arrière permettent le déchargement rapide d'éléments lourds et volumineux : canons de 30 mm, side-car, véhicules de transport légers, munitions etc. que le DSF 230 ne peut pas embarquer. Les opérations de ces deux modèles sont si imbriquées que la littérature Allemande ne les différencie que rarement, même après que les Go-242 motorisés deviennent Go-244. Largement utilisés sur le front Russe et, depuis le sud de la France, vers la Grèce, en Yougoslavie et l'Afrique du Nord. A l'est, à la suite des échecs de la Wehrmacht, les Go-242 et Go-244 sont surtout utilisés en accompagnement des troupes sur ce front sans cesse mouvant pour délivrer sur des terrains sommairement préparés, souvent en bordure de route, le ravitaillement nécessaire aux troupes en marche. De façon à pouvoir les récupérer, et rapatrier des blessés, des projets, évolutifs, de motorisation sont projetés. Dans un premier temps, il est proposé d'installer, immédiatement après le posé, un moteur unique amovible temporaire de façon, à ce que le planeur puisse rentrer à vide par ses propres moyens. Il était projeté d'installer dans le nez du fuselage avec seulement " *quatre boulons* ", tel un kit, un ensemble complet désigné " *Puissance dans un œuf* " constitué d'un moteur Argus AS10C, huit cylindres en V, refroidissement par air de 250 chevaux avec le réservoir d'huile, son système de refroidissement et la cloison pare-feu. Ce concept jugé peu réaliste n'est pas retenu.

Plus concret, utilisant des cellules existantes, trois prototypes volent pendant l'été de 1942. Le Gotha Go-244 V1 avec deux moteurs BMW-132, de 660 chevaux, le même que celui utilisé par le Ju-52. Le Go-244 V2 avec deux Gnome et Rhône 14M-04/-05 de 700 chevaux, le troisième Go-244 V3 avec deux moteurs d'origine Russe de neuf cylindres Shetsov M-25 de 750 chevaux. Ce moteur, copie du Pratt & Whitney R-1820, prélevé sur des avions de l'Armée Rouge capturés est largement disponible en Allemagne. Bien que plusieurs autres Go-242 furent motorisés avec des BMW-132 et des Shetsov M-25, c'est le Gnome-Rhône 14M qui est retenu. Le carburant et l'huile de lubrification sont contenus dans les poutres qui servent de réservoirs. Quarante-et-un sont produits à partir de cellules existantes, cent-trente-trois à partir de cellules neuves. Quelques-uns, à doubles commandes, désignés Go-244 B5 sont destinés à l'entrainement. En novembre 1943, ils s'illustrent en ravitaillant et en extirpant, 21 500 combattants de la 17ème armée piégée en Crimée puis encore en ravitaillant Ternopol, Velikoïe et Budapest.

Si le Go-242 est reconnu comme un excellent planeur, le Go-244, qui pourtant exécute toutes les missions qui lui sont confiées est trop sous motorisé, incapable en charge de voler en monomoteur, à tel point que le transport de troupes lui est interdit. Très vulnérable aux tirs de la DCA, il n'est pas réputé être un " bon avion ".

Moteur :	Deux Gnome-Rhône 14M " Mars " 04 & 05 de 700 chevaux
Vitesse maximale :	290 kilomètres/heure à 2700 mètres
Plafond pratique :	7 650 mètres
Autonomie :	1130 kilomètres (Go- 244)
Équipage :	2 membres d'équipage et 23 passagers
Surface alaire :	64,40 m^2
Poids :	5100 kilogrammes à vide - 7800 en charge (Go-244)
	3200 kilogrammes à vide - 7100 en charge (Go-242)

Gotha Go-242 tiré par des chevaux (© DR)

Gotha Go-244 Codé 4V + HP (© DR)

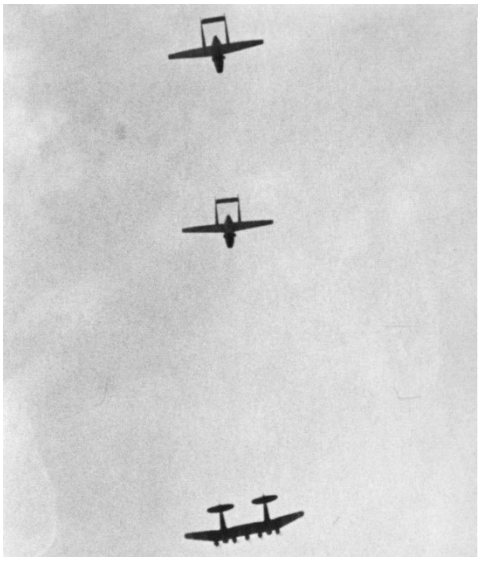
6 - Le remorquage des planeurs.

Le remorquage et la manutention au sol des planeurs utilisés par la Luftwaffe pendant la Seconde Guerre mondiale, doit nécessairement être scindé en deux problématiques. Celle des planeurs " légers " DFS-230 et " moyens " Gotha 242 et celle du planeur " lourd " Me-321.

Typiquement, la manutention au sol des planeurs DFS-230 et Gotha Go-242, même en zone de combat ou proche, était relativement simple. Le DFS-230, léger, 770 kilogrammes à vide, dispose d'un train d'atterrissage à deux roues, larguées après le décollage, il repose ensuite sur un long ski. Le Gotha Go-242, qui entre en service en 1942, plus lourd, avait été conçu dès l'origine avec un train d'atterrissage tricycle fixe conventionnel, éventuellement amovible. La Luftwaffe utilisait communément la " *Kübelwagen* ", un véhicule léger, à deux roues motrices doté d'un pont autobloquant. Peu puissant, 25 ou 28 chevaux mais suffisants, pour les mouvements sur des terrains préparés ou sur des zones de posé peu préparées. Fabriquée en grande série par Volkswagen, c'était le véhicule de liaisons et de services par excellence de la Wehrmacht. Tout autres véhicules, incluant la SdKfz2 désignée " *Kleines Kettenkraftrad HK 101* " (*Petites chenilles*) une moto de conception originale à chenilles, fabriquée par MTU de 36 chevaux. Des blindés légers étaient également utilisés, ainsi que des attelages de chevaux. C'était très fréquemment le cas sur le front Russe, en zone de combat ou proche. D'un poids à vide inférieur à 800 kilogrammes, il était possible d'embarquer une " Kübelwagen " dans la soute du Go-242. Généralement, il n'était pas envisageable de les faire repartir en vol, aussitôt après les posés. Quand cela était possible, des équipes de mécaniciens spécialisés procédaient aux démontages nécessaires pour le transport par route ou par chemin de fer, en vue d'utilisations ultérieures.

La manipulation au sol, du Me-321 dont le poids à vide, 12 400 kilogrammes, est bien plus compliquée. D'autant qu'à la fin d'un vol, le train d'atterrissage, roues larguées pendant le décollage, il se pose sur ses quatre skis. Il est alors difficile de le déplacer. Les unités opérant le Me-321 étaient en principe toutes équipées de véhicules de service multi usages puissants et lourds, à chenilles tel que le T9, fabriqués par la société Praga en Slovaquie ou de l'half-track SWS Gerat 71 de la société Büssing-NAG.

Pour le décollage en charge et le remorquage en vol, souvent à longues distances, le Ju-52, le Dornier Do-17, ou encore le Messerschmitt Bf-110 étaient capables de remorquer deux DFS-230, le Ju-87 " *Stuka* " régulièrement mis à contribution, ne pouvait en tracter qu'un seul. Bien que le Ju-52 put tracter deux Go-242, son remorqueur de choix était le Heinkel He-111. Le He-111 dans sa version H6, n'avait pas de compartiment à bombes pour permettre d'utiliser les moteurs à la pleine puissance plus longuement, les systèmes de refroidissement des moteurs du H6 avaient été renforcés. Dans la combinaison, He-111 H6, au poids maximum du planeur, environ 7 200 kilogrammes, la distance nécessaire pour le décollage du Go-242 était de 1000 mètres, 250 pour l'atterrissage. Quand il sera disponible le He-111 Z, spécifiquement conçu pour le Me-323, pouvait en remorquer jusqu'à trois. Il était possible d'ajouter deux fusées d'assistance type Walther type R1 202B de 500 kilogrammes de poussée unitaire pendant 30 secondes ou quatre Rheinmetall R1 502 de 500 kilogrammes de poussée unitaire pendant 6 secondes.



Heinkel He-111 Z " Zwilling " (Jumeau) tractant deux Gotha Go-240 (© DR)

Tout autre est le tractage du Me-321. Le Ju 90 des premiers essais en vols, disponible en nombre trop limité, qui plus est, sollicité pour tant d'autres missions, était tout juste capable d'assurer le décollage du planeur vide. Pour terminer la campagne d'essais en vol, une solution intermédiaire est mise en place : la " troïka " constituée de trois Messerschmitt Bf-110 décollant en formation en " V " tractant un Me-321 au bout de trois câbles de dix millimètres de diamètre, longs de 90 mètres pour les extérieurs, 130 pour le central. Le Ju-290, avec ses quatre moteurs BMW-132 offre 3320 chevaux, la " troïka " avec ses six moteurs Daimler Benz DB-601, presque deux fois plus 6300. Toutefois, les accidents sont nombreux, spectaculaires, souvent graves. C'est le cas au cours du premier décollage d'entrainement destiné aux pilotes des Bf-110, alors qu'ils ne tirent que les trois câbles reliés, un ses avions extérieurs vire subitement vers la droite. Il se prend dans un des câbles, perd le contrôle et percute le Bf-110 central. Les deux avions

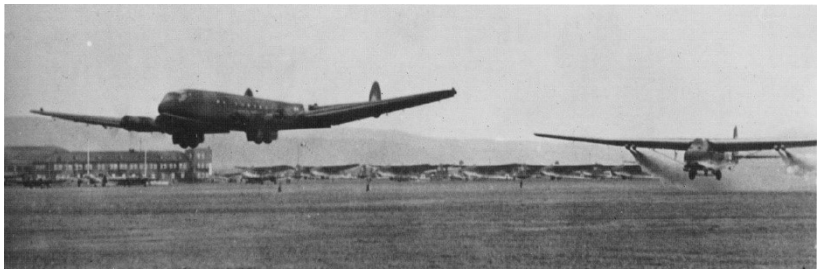
s'écrasent. En absence d'autres alternatives immédiatement disponibles, les essais continuent. D'abord en utilisant un Ju-52, qui duplique le planeur, moteurs extérieurs au ralenti.

Au cours d'un essai, le Bf-110 de gauche vire subitement sur sa droite. Le pilote du Ju-52 réagit immédiatement, il se largue en poussant simultanément les moteurs extérieurs à la pleine puissance mais l'un des câbles reste attaché, s'enroule autour d'un poteau de téléphone que le robuste Ju-52 arrache. Son pilote, après avoir cisaillé un chariot agricole, arraché quelques arbres et démoli plusieurs toitures, réussit à se poser sur le terrain de Merseburg, le poteau de téléphone toujours en remorque ! Encore chez Messerschmitt, à Obertraubling, au début de la montée avec un des premiers Me-321, les câbles se libèrent subitement son pilote réussi à allumer les fusées d'appoint, engage un virage très serré. Après avoir déployé le parachute de freinage, il réussit à se poser sans casse ! Vers 1300 pieds, sur le terrain de Merseburg, le pilote d'un " Gigant " alors en remorque largue les câbles et vire aussitôt par la droite pour atterrir au plus vite. L'un des câbles ne se détache pas. Il entre en collision, du côté du virage avec l'arrière du fuselage d'un des Bf-110 qu'il cisaille net. Malgré ces déconvenues, le comportement en vol du " Gigant " étant satisfaisant " *nécessités obligent* ", les essais continuent, les accidents aussi. Pendant un essai de décollage à pleine charge, 120 fantassins sont à bord, au moment de l'allumage des fusées, le groupe de droite ne s'allume pas. Le " Gigant " déstabilisé vire brutalement entrainant avec les trois câbles, l'ensemble du " train " qui entre en collision et s'écrase dans un bois en bordure du terrain. On déplore 129 victimes. Bien que cela ne puisse être confirmé, il est hautement probable que les victimes faisaient partie d'un bataillon disciplinaire de la Wehrmacht caserné sur le terrain d'Obertraublin. Avec plusieurs centaines de travailleurs forcés, ils étaient employés à la construction des " Gigant ". Pendant un essai de décollage en surcharge, le lest mal amarré se libère, déséquilibré le Me-321 s'écrase tuant le pilote d'essais qui avait ramené le Ju-52 avec le poteau de téléphone en remorque.

Outre le risque de collision, inévitable en cas de panne de moteur, au-delà d'une grande expertise, tant des pilotes des Bf-110 que du planeur, en particulier en conditions turbulentes, la " troïka " requière 1300 mètres de piste en dur. La lourdeur de la mise en œuvre du dispositif, est telle, qu'il n'est pas envisageable de faire décoller les planeurs à fréquence soutenue. La procédure de décollage doit d'être des plus rigoureuses. Le pilote du Gigant le décolle vers 55 nœuds, suivit par les Bf-110 extérieurs simultanément, enfin, vers 80 nœuds, le central. Les Bf-110 à la limite de la vitesse de décrochage, la tension sur les câbles engendre des secousses qui s'atténuent progressivement avec l'augmentation de la vitesse, jusqu'au moment où " le train " atteint l'altitude et la vitesse de croisière. Le vol est alors qualifié de " calme "…

La procédure " troïka " est lourde et risquée, consommatrice d'avions qui pourraient être utilisés ailleurs dans le rôle pour lequel ils ont été conçus. Le rayon d'action de l'ensemble est limité à moins de 500 kilomètres. Par la force des évènements, bien que peu satisfaisante, elle continuera à être utilisée en conditions opérationnelles jusqu'à la fin de la guerre. L'atypique et impressionnant, " l'avion à deux queues " pour le voisinage des pistes, le Heinkel He-111 Z-1 " Zwilling " (Jumeau) naitra d'une idée simple mais efficace du général Ernst Udet, chef de l'état-major de la Luftwaffe, d'accoupler deux robustes et fiables Heinkel He-111, du type H6, par les ailes et d'ajouter un cinquième moteur central. Propulsé par ses cinq moteurs Junkers Jumo 211 F-2, douze cylindres en V de 1350 chevaux unitaire, l'ensemble développe, 6750 chevaux au décollage. Avec 8500 litres de carburant, le temps de vol est de six heures, qu'il est possible de porter à dix, si comme pour les He-111 conventionnels, les réservoirs de carburant externes sont installés. Les vitesses de croisière s'établissent à 240 nœuds seul, 120 avec un Me-321 en remorque, 130 avec un Gotha Go-242.

L'ensemble est capable de tracter un Me-321 avec un câble de 150 mètres, deux Go-242 voire trois en cas d'urgence. Le He-111 Z sera produit à douze exemplaires. Il n'en restera que quatre à la fin des hostilités. Le couple He-111 Z, Me-321 est très performant. Pendant l'évacuation de la tête de pont du Kouban, en un seul vol, il remmènera cent-trente blessés, quinze dans chacun des fuselages du He-111 Z et cent dans le Me-321.



Junkers Ju-90 tractant un Messerschmitt Me-321 (© DR)

Après la bataille de Stalingrad, face à l'indéniable évolution de l'efficacité et de l'agressivité de l'Armée de l'Air de l'URSS, puis au-dessus de l'Allemagne, suicidaire après que les Alliés obtinrent la maitrise des cieux, et des limites de l'aviation de chasse Allemande, trop sollicitée, incapable de protéger ses vulnérables trains de planeurs, les services techniques développent le concept du " *Starrschlepp* " ou remorquage rigide qui était en phase de tests depuis le début de l'année 1940. A ce moment de l'histoire, l'intention était de rallonger le rayon d'action du remorqueur en transférant du carburant emporté par le remorqué. Le " *Starrschlepp* " est une barre rigide longue, selon les variantes, de un à dix mètres. Le dispositif de commande de déconnection, est à la disposition tant du pilote de l'avion remorqueur que du pilote du planeur.

Constituée, de deux sections reliées par une rotule souple permettant une certaine flexibilité aérodynamique entre les deux aéronefs. L'intention étant d'effectuer un maximum de vols nocturnes éliminant le risque d'interception par les aviations de chasse Russe ou Alliées. Le pilotage de nuit du planeur, sur de longues distances, souvent en conditions météorologiques défavorables, feux de navigation éteints, au bout d'un câble de seulement cent-trente mètres, éreintant pour le pilote du planeur augmente le risque de collision. La liaison rigide inclue une ligne téléphonique entre les deux pilotes, fonctionnant mieux qu'avec le câble souple.

Le remorquage rigide qui élimine largement le risque de collision fut très largement utilisé après le mois de juin 1944. Toutefois, moins que souhaité, le dispositif imposant une modification significative de l'arrière du fuselage des Ju-52, constamment sur la brèche, il n'était pas possible de les immobiliser.

7 - Isthme de Corinthe - Invasion de la Crète - Malte.

A la fin du mois d'avril 1941, alors que la Grèce en est à quelques heures de capituler, d'importantes forces Anglo-Australiennes résistent dans la région des Thermopyles. Soumises à de très fortes pressions, elles n'ont d'autre choix que d'abandonner le terrain. Leur chemin de repli passe par un unique pont au-dessus de l'isthme de Corinthe. En s'en emparant, le commandement Allemand, y voit l'opportunité de rééditer un second Dunkerque. En urgence, un parachutage est organisé dans la zone du pont. Des parachutistes largués par des Junkers Ju-52 et des pionniers parachutistes par DFS-230 sont déposés sur les deux rives du pont dont ils se saisissent après un bref combat. Toutefois trop tard, le gros des éléments Anglo-Australiens, était passé. Pendant le combat, un tir Britannique heureux au canon léger fit sauter les charges de démolition, que les assaillants venaient de retirer. Mais n'ayant pas eu le temps, de les déplacer, elles étaient encore entreposées sur le tablier. L'explosion pulvérise le pont. Bloquées au nord, les forces Allemandes ne purent empêcher, le réembarquement de plus de 50 000 Anglo-Australiens qui réussiront à s'extirper de Grèce par les ports du Péloponnèse en abandonnant, avec la totalité de leur matériel lourd, plusieurs centaines de prisonniers. L'assaut par planeurs vient une seconde fois, en moins d'un an, de montrer son indéniable efficacité.

Sans délai, l'invasion de la Crète commence dès le 20 mai. Les rotations de Junkers Ju-52 et les DFS-230 employés massivement, plus de soixante-dix, sont utilisés, parachutant ou déposant six-mille parachutistes et pionniers, essentiellement des chasseurs Alpins. L'ile est conquise en moins de deux semaines. C'est une victoire à la Pyrrhus. La résistance des troupes alliées est ferme, à l'expérience des combats en Grèce, les fantassins Alliés désormais préparés, mitraillent les portes des planeurs au moment où les pionniers encore sous le coup d'un atterrissage, souvent rugueux, sortent. Il en coûte quatre mille morts et plus de deux-mille blessés à la Wehrmacht. Auxquels s'ajoute la perte de presque deux-cents Ju-52 qui vont faire gravement défaut sur le front Russe.

Tant en Grèce qu'en Crète, les planeurs Messerschmitt Me-321 et Gotha Go-242, n'ont pas été utilisés directement pour le transport des groupes d'assaut. Cependant, ils le furent ensuite largement pour assurer la logistique de ces deux opérations.

Conjointement avec l'allié Italien, l'invasion de l'ile de Malte, par un double débarquement, simultanément aéroporté et maritime, est à l'étude. Désignée " *Hercules* ", l'opération est programmée pour le mois de septembre 1942. Le plan étant de débarquer, le plus vite possible jusqu'à 70 000 hommes, évidemment avec la logistique requise. L'état-major Allemand prévoit il n'y employer pas moins de mille avions, dont cinq-cents Junkers Ju-52 et deux-cents planeurs. La courte distance, 145 kilomètres, entre les bases du sud de l'Italie et l'ile de Malte permettrait aux Ju-52 d'exécuter quatre rotations quotidiennes. Trois-cents DFS-230, deux-cents Gotha Go-242 emportant vingt-trois fantassins et vingt-cinq Messerschmitt Me-321 capables de

deux-cents hommes seront réquisitionnés. Si l'emploi des DFS-230 et des Go-242 à partir de terrains du sud de l'Italie, ne pose pas de difficulté nouvelle, il n'en n'est pas de même avec les Me-321 qui imposent la préparation de trois terrains dédiés en Sicile, au pied de l'Etna. Les nouveaux remorqueurs Heinkel He-111 Z, disponibles depuis peu, seront mis en place au moment de l'invasion.

Remorqueurs Heinkel He-111 Z " Zwilling " (© DR)

Rendue caduque, par les échecs de l'Afrika Korps, l'opération " *Hercules* " est annulée. En réalité, la stratégie qui aurait consisté à conquérir deux zones sur les hauteurs pour sécuriser le débarquement par mer ainsi que la prise des terrains d'aviation, pour en dénier l'utilisation à la RAF et d'en disposer très rapidement jointe à la gestion du posé de tant de planeurs, petits ou grands, sans moyen immédiat de manutention, dans les limites contraintes, relativement urbanisées, parsemées d'obstacles de l'ile de Malte n'eut pas été sans poser de problèmes complexes à résoudre.

8 - Les poches de Kholm - Demiansk - Opérations sur le front Russe - La fin Breslau, Budapest et Bucarest.

La grande contre-offensive d'hiver Russe qui débute dans les premiers jours du mois de décembre 1941, après avoir desserré l'étau autour de Moscou, s'essouffle au printemps 1942 avec la nécessité de reconstituer sa logistique et la reprise de l'offensive Allemande. En janvier, dans son sillage, l'Armée Rouge engage, dans un secteur réputé faible du dispositif Allemand, un nouvel assaut de grande ampleur, cette fois pour tenter de briser le siège de Léningrad. Le siège tient, mais la Wehrmacht est contrainte de reculer. Par endroits, elle s'agrippe au terrain. A moins de cent kilomètres de distance, deux poches se forment dans le secteur du lac Ilmen, quelques quatre-cents kilomètres au sud-ouest de Leningrad autour des villes de Kholm et de_Demiansk, une centaine de kilomètres à l'intérieur de la ligne de front. La superficie de la poche de Kholm est réduite, deux kilomètres dans sa plus grande largeur, elle contient environ cinq-mille-six-cents combattants. Celle de Demiansk, complètement fermée le 18 janvier, est beaucoup plus grande, environ 3000 $km^{2.}$. Constituées en six divisions, elle contient 96 000 combattants et 20 000 chevaux. Deux terrains d'aviation y sont disponibles dont un de neuf-cents mètres capable de traiter vingt avions simultanément. Résistant pendant plus de trois mois, c'est un des plus longs sièges de la Seconde Guerre mondiale. Seul celui de Leningrad, 872 jours, fut plus long. Elles vont connaitre des destins similaires.

A Kholm, malgré son exiguïté, la Luftwaffe, à la hâte, réussit à établir un terrain d'aviation de fortune capable d'accueillir des trimoteurs de transport Junkers Ju-52 qui parviennent à l'utiliser jusqu'au 13 février. A Kholm, à partir de cette date, l'artillerie et l'artillerie antiaérienne Russe sont si efficaces que les deux tiers des Ju-52 qui opèrent ce jour-là sont abattus ou détruits au sol. Pour continuer à ravitailler leurs forces, et limiter les pertes, déjà lourdes, de Ju-52, deux options restent possibles : le parachutage de containers joint à des vols sans retour de planeurs sur le terrain ou dans les rues de la ville. S'appuyant sur trois terrains de départ, Dno-Griwotschki, bien équipé, Pskow où est établi l'état-major du commandement du pont aérien, et Ostrov, proches d'un important nœud ferroviaire et routier entre Leningrad et Smolensk, à 250 kilomètres, soit environ quatre-vingts dix minutes de vol, un pont aérien est mis en place vers les deux enclaves. Dans l'histoire militaire, c'est la première fois qu'une opération du telle ampleur est tentée. Par des températures de moins 40°, les vols commencent le 16 février, par un premier planeur, Gotha Go-242 qui se pose dans Kholm. La mécanique Allemande découvre le " démarrage froid ". Technique qui consiste à ajouter 2,5% d'essence dans l'huile de lubrification qui s'en trouve moins visqueuse. Moteur en fonctionnement,

l'essence s'évapore, sans risque, quand la température de l'huile augmente. Cette technique qui permet de fonctionner n'est pas sans impact sur la durée de vie des moteurs… Pour supporter les deux poches, cinq-cents avions de transport Junkers Ju-52, Ju-86, Ju-90 et Heinkel He-111 sont engagés. Sur ordre supérieur, le 25 février dernière tentative, funeste, sur Kholm avec des Ju-52. Quatre des sept Ju-52 qui viennent de se poser sont gravement endommagés au sol par une des rares interventions de l'armée de l'air Russe qui mitraille le terrain pendant le déchargement. La décision est alors prise d'y arrêter complètement les opérations, pour ne plus utiliser que des planeurs. Le 5 mai, quand la poche de Kholm est libérée, le 1er mai pour celle de Demiansk, on y compte une douzaine de Ju-52 détruits au sol et cinquante-six des quatre-vingt-un Gotha Go-242 envoyés. Alors que vingt-cinq autres ont été abattus en chemin ou se posèrent en dehors de la poche. La Luftwaffe reconnait avoir perdu vingt-sept autres Ju-52 dans la seule opération de Kholm.

Au total, en 33 000 sorties, (2200 pour la seule poche de Kholm) 65 000 tonnes de ravitaillement et d'équipements sont distribués et 34 500 blessés évacués, plus de 30 000 combattants de renfort déposés. Au total 265 Ju-52 ont été détruits. Au-delà, des pertes en matériel, dont plus de 150 rames de chemin de fer, 42 155 tonnes d'essence d'aviation ont été brûlées, soit un tiers de la capacité de production mensuelle de l'Allemagne. Un gaspillage que la Luftwaffe ne tardera pas à regretter. En mai, la libération de ces poches soulage les unités de transport de la Luftwaffe déjà contraintes de tourner leur attention vers le sud du front Russe. Elles commencent à acheminer des moyens importants dans le secteur de Stalingrad où la longue bataille pour s'emparer de la ville commence.

Les interventions de l'armée de l'air Russe, au début de 1942, encore limitées et peu agressive, n'ont que peu gêné l'activité de la Luftwaffe, facilitant ces deux incontestables succès. Ses escadres de transport en démontrant leur capacité à assurer le soutien logistique de longue durée à des éléments isolés va avoir deux effets. Le premier, l'emploi de planeurs, dans ces conditions tactiques, montre vite leurs limites. Même si les énormes Messerschmitt Me-321 " *Gigant* " n'ont pas été engagés directement dans les poches, la quasi impossibilité de les réutiliser rapidement, s'ajoutant à la grande difficulté de les manœuvrer au sol, ils encombrent vite les zones de poser. Le planeur est une arme à " un seul coup ". Si l'atterrissage est manqué, ils sont immanquablement contraints à des atterrissages toujours risqués en dehors, voire loin des secteurs souhaités, auquel s'ajoute l'impérieux besoin de remorqueurs, qui ne sont alors plus disponibles pour effectuer les missions de combat pour lesquelles ils sont initialement destinés. Inconvénients qui seront corrigés par l'accélération des projets de motorisation déjà envisagés. Le second effet, va bientôt avoir de très lourdes conséquences. Trop fière, voire trop confiante de ses succès, la Luftwaffe qui pendant la période de Kholm-Demiansk conduisait d'ailleurs un effort aussi important en support des forces combattant autour de Leningrad, s'affirme capable d'alimenter, qu'elle qu'en soit l'importance, toutes forces qui viendraient à être assiégées. Dont, à la fin de l'année, la VIème armée qui va se retrouver encerclée dans Stalingrad… Attitude qui va peser très lourd dans la décision de la maintenir dans la ville de Stalingrad.

Pendant et après les combats de Kholm-Demiansk, l'armée de l'air Russe s'organise pour récupérer les nombreux planeurs Allemands égarés. Ils seront réutilisés pour alimenter les multiples groupes de résistance qui harassent la Wehrmacht sur les arrières du front. Il semble que des DFS-230, récupérés seront utilisés par le bureau d'études de la société Antonov pour améliorer leur modèle A-7.

Messerschmitt Me-323 sur front Russe (© DR)

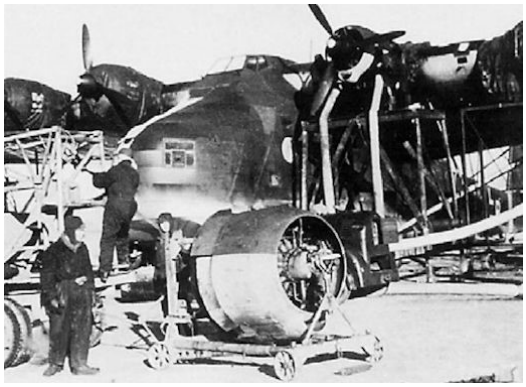
Messerschmitt Me-323 : épave hélice bipale (© DR)

C'est le 14 septembre 1941, dans le cadre de l'opération " *Beowulf* ", qu'associé à des planeurs

DFS-230, le Messerschmitt Me-321, est employé, le plus probablement pour la première fois, en condition de combat. Ils servent au transport de commandos, sur l'ile de Saaremaa, en mer Baltique. L'ile de Saaremaa avec les iles de Muhu et Hiiumaa, en face de l'Estonie, contrôlent l'entrée du golfe de Riga. A partir du terrain de Sroda, en Pologne, quatre planeurs Me-321 reçoivent la mission de transporter, sur l'ile de Saaremaa, la plus grande des trois, des combattants chargés de renfoncer un régiment d'infanterie qui tentait de débarquer en force. Faisant face à l'opposition déterminée des défenseurs de l'armée Rouge, il était sur le point d'être repoussé. L'assaut des moyens aéroportés, trop faible, fut un échec. Le commando, contraint de se replier, dû être évacué par la mer. Ces iles, abritaient des canons de marine à longue portée qui perturbaient le trafic des navires de la Kriegsmarine. Pendant la dernière semaine de septembre, en une seconde opération après que des forces plus importantes furent débarquées par mer, depuis un terrain de la région d'Orcha en Biélorussie, des Me-321 assurèrent le ravitaillement des troupes qui combattaient encore pour achever la conquête de ces iles qui tomberont finalement aux mains des Allemands le 29 septembre.

Alors que des Me-321 ont été remorqués dans le secteur de Stalingrad, globalement très peu de planeurs furent utilisé par le pont aérien destiné à alimenter les troupes encerclées dans la ville. Malgré la détermination du chef d'état-major de la Luftwaffe de les utiliser - il s'était d'ailleurs rendu sur place à la fin du mois de janvier -, que des trains avaient acheminé, au rythme d'un tous les trois jours, que plusieurs centaines de DFS-230 et Go-242 vers des terrains de la région, il ne fut pas possible de les employer en masse. Victimes des conditions métrologiques exécrables, dont un blizzard tenace, la vitesse du vent constamment trop forte pendant presque toute la durée du siège, surtout du manque de terrains aménagés pour les recevoir et des moyens, tant dans la poche que sur les terrains de départ, à l'extérieur, pour les manœuvrer. En outre, le manque de carburant dans la ville aurait empêché les troupes assiégées, très affaiblies par le froid et les privations, d'aller récupérer puis de distribuer la charge des planeurs qui auraient atterrit hors des terrains préparés, dont le nombre se réduisait chaque heure.

Alors que la Luftwaffe manque de chasseurs à long rayon d'action capables de protéger les Ju-52 et d'escorter les lents planeurs, l'efficacité de l'Armée de l'Air Soviétique a beaucoup progressé depuis l'affaire de Kholm-Demiansk. Mieux accoutumée aux conditions climatiques, ses fréquentes interventions, plus agressives, gênent beaucoup les mouvements de la Luftwaffe. Le 25 janvier 1943, la ville tombera le 2 février, il est évident que les planeurs ne pourront plus être utilisés. Il est alors décidé de les transférer au groupe d'armées " A " qui combat dans le Caucase et de ramener une partie des Me-321 en Allemagne pour être stockés ou convertis en modèle Me-323. Ils seront bientôt expédiés en Italie, en Sicile et dans le sud de la France, pour acheminer la logistique aux forces qui tentent de contrer le débarquement des alliés en Afrique du Nord. Le pont aérien, au débit notoirement insuffisant sur Stalingrad coutera à la Luftwaffe, avec un millier de pilotes et membres d'équipage, expérimentés, presque cinq-cents avions de transport détruits ou endommagés gravement, soit le tiers des Ju-52 alors en service. Après les évènements de Crète, de Kholm-Demiansk et de Stalingrad, toutes les unités de transport de la Luftwaffe subissent de véritables saignées dont elles ne se relèveront pas. Le renouvellement des Ju-52 en particulier est lent. Depuis 1942, une grande partie de sa fabrication, environ cinquante pour cent, est confiée à l'industrie Française. Notamment dans les usines de la Société de Construction et d'Études Métalliques Amiot (SCEM Amiot), à Colombes, alors que la totalité des moteurs neuf cylindres en simple étoile, BMW-132 qui les équipent sont fabriqués par Gnome et Rhône. Toutes entités qui ne font pas preuve du plus grand dynamisme… Ainsi en France, le rendement qui était de 30 ouvriers pour produire 1 000 chevaux en 1939 passe à 63 en 1943.



Me-323 se préparant à embarquer un moteur radial (© DR)

Me-323 Afrique du Nord (© DR)

Au début du mois de janvier 1945, l'Armée Rouge lance la longue offensive finale, qui va la conduire à Berlin, la victoire et la fin de la Seconde Guerre mondiale. 2,2 millions d'hommes, 40 000 blindés et pièces d'artillerie sont mobilisés. Les forces sont trop déséquilibrées, la Wehrmacht reflue en combattant sur un front qui se rétrécit chaque jour. En février, une poche de résistance se forme dans la ville de Breslau, considérée nœud ferroviaire et routier critique, elle avait été déclarée " Forteresse Breslau " en août 1944, avec l'ordre formel de la " *défendre jusqu'au bout* ".

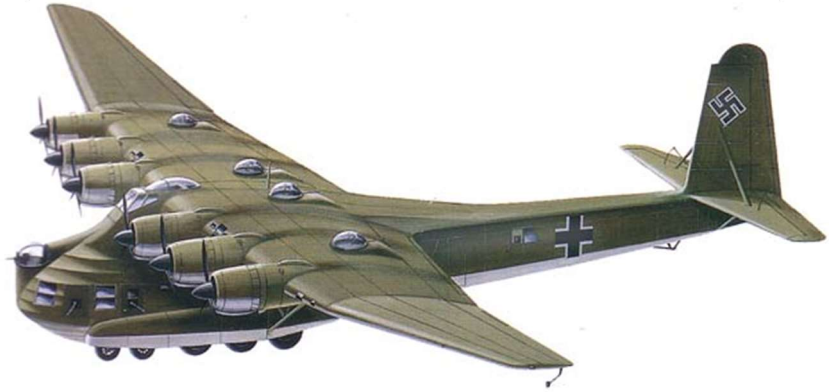
Cette ville a une longue histoire. Allemande jusqu'en 1945 elle devient ensuite Polonaise sous le nom de Wroclaw. Débute un siège terrible qui va durer trois mois. Des combats acharnés, rue par rue, maison par maison, se déroulent dans une ville en feu après le bombardement incendiaire de la RAF du 1er avril, dimanche de Pâques. Ils dureront jusqu'au 6 mai, soit quatre jours après la reddition de Berlin, le 2 mai. A la mi-janvier, par -20° la majorité de la population civile, 60 000 femmes et enfants a été évacuée de force vers l'ouest, sans aucune pitié. La garnison est constituée d'environ 70 000 combattants qu'il va falloir ravitailler. Le 7 février, depuis des terrains autour des villes de Dresde et de Jüterbog à deux-cents kilomètres. Avec ce qui reste des Ju-52 et d'essence d'aviation, un pont aérien est mis en place vers le seul terrain disponible, Breslau-Gandau. A compter du 7 mars les mesures défensives de l'Armée Rouge sont telles, qu'il est suicidaire d'utiliser Gandau qui d'ailleurs tombe aux mains de l'Armée Rouge pendant le bombardement de la RAF 1er avril. Alors, deux avenues en centre-ville, la Kaiserstrasse et la Friesenweise sont élargies et déblayées mille mètres de long, trois cents de large par des travailleurs forcés, mal nourris, qui œuvrent nuit et jour, sans repos pour les maintenir ouvertes aux planeurs et aux Ju-52. Treize mille y laissent leur vie. Le dérisoire de cette affaire : un seul avion, utilisa une des avenues déblayées, celui qui exfiltra le gouverneur de Breslau Karl Hanke. Encore, est-il probable que ce fut un des rares prototypes de l'hélicoptère Flettner Fl-282 B. Tractés par des Heinkel He-111 et des Dornier Do-17, ce qui reste de DFS-230 et de Gotha Go-242, largués entre 2 000 et 2 300 mètres, au-dessus de la ville, leurs pilotes, le plus souvent issus des jeunesses Hitlériennes, éblouis par les projecteurs de DCA, piquent vers les avenues, ouvrant leur parachute de freinage au dernier moment, juste avant le posé.

Ils parviennent, en deux mille rotations, incluant celles des Ju-52 à déposer 1650 tonnes de vivres et de munitions, d'évacuer plus de trois mille deux cents blessés et même d'amener presque quatre mille pionniers-parachutistes de renfort. L'affaire coûte à la Luftwaffe 165 Junkers Ju-52 et Heinkel He-111 et presque tout ce qui restait de DFS-230 et Gotha 242. La totalité des DFS-230 et Gotha 242 furent incendiés par la poigné de défenseurs survivants avant la reddition du 6 mai. Il n'y a pas de trace de l'utilisation de Me-321, voire de Me-323 en support des opérations de ravitaillement des troupes qui combattaient dans Breslau. A ce moment de la guerre, il ne restait plus que quatre He-111 Z. Selon certaines sources, il ne restait plus aucun Me-321 ou Me-323.

A la fin de l'année 1944, la Hongrie qui abrite la dernière raffinerie de pétrole encore en production, est le dernier allié de l'Allemagne. A partir de la fin du mois d'octobre, l'Armée Rouge et l'armée Roumaine, passent à l'assaut en direction de la capitale Hongroise. S'en suivent de multiples combats désespérés dans tout le pays et autour de la ville de Budapest, complètement assiégée le 29 décembre. Édifiée en " forteresse ", il incombe de la ravitailler en munitions, en carburant et en nourriture d'autant qu'il reste de nombreux civils, dont des enfants et des nourrissons qui manquent gravement de lait. A compter du début du mois de janvier, il n'est plus possible d'utiliser aucun terrain d'aviation préparé. Il faut recourir à ce qui reste de planeurs encore en état de vol, difficilement rassemblés après des recherches intensives dans ce qui restait sur les bases de la Luftwaffe et dans les usines de production et le rappel de pilotes et de mécaniciens. Lesquels, sans avion à piloter ou à mettre en œuvre avaient été envoyés sur le front comme fantassins. L'histoire se répète.

Alors que les opérations de Breslau sont au zénith, que la résistance dans Budapest est sur le point de s'effondrer, le commandement du transport aérien désormais basé à Wiener Neustadt qui jusque-là n'avait été capable d'organiser que quelques missions de planeurs, de nuit, enfin, le 5, le 8 ou le 9 février, les sources divergent quant 'à la date exacte, est en mesure d'ordonner un ultime effort majeur de jour. Des Ju-52, des Do-17 et des He-111 amènent quarante-huit planeurs DFS-230 et Gotha Go-242, vers Budapest, presque entièrement enveloppée dans un énorme nuage de fumée noire épaisse causé par les incendies et les combats.

Avant même qu'ils puissent les larguer, douze sont abattus ou ont rompu leur câble en route. Trente-six parviennent au-dessus de la ville, ils sont sévèrement étrillés par la DCA de l'Armée Rouge. Ceux qui se posent dans l'étroite et unique zone d'atterrissage disponible, longue d'environ huit-cents mètres établie dans le jardin public de Vermezo que borde une des grandes avenues de la ville, sont la cible de l'artillerie. Malgré les dommages importants, qu'ils subissent au sol, une partie des livraisons est récupérée. Une dernière mission est ordonnée le 13 février, jour de la chute de Budapest, les combattants sont ensuite abandonnés à leur sort. Vingt planeurs sont envoyés. Tous interceptés ou abattus avec les avions qui les tractent. Le destin des équipages reste à ce jour inconnu. Les opérations aériennes en support de la forteresse Budapest, qui sur la durée ont livré une centaine de tonnes de munitions, vingt-huit de nourriture et quelques trente de carburant et produits divers ont coûté à la Luftwaffe treize morts dix-sept blessés graves et une centaine de disparus.



Messerschmitt Me-323 " *Gigant* " (© DR)

Me-323 Poste pilotage (© DR)

Situation extravagante ; le 23 août 1944, la Roumanie jusque-là alliée de l'Axe, change subitement d'allégeance et s'allie à l'URSS qui pénètre dans le pays. Les forces Allemandes qui combattent l'Armée Rouge en Roumanie sont piégées dans Bucarest. Le haut commandement Allemand veut les libérer, en s'appuyant sur deux terrains proches de la capitale : Otopeni et de Targsorul-Nou. Tôt le matin du 24, une opération d'assaut, dans laquelle les planeurs excellent, est rapidement montée. Deux compagnies du régiment d'élite " Brandebourg ", alors stationné à Sarajevo, sont constituées en groupe de combat. Le premier élément transporté par des Messerschmitt Me-323 " *Gigant* ", s'empare, dès 11:00 heures, des deux terrains alors qu'une noria de " *Gigant* " amène des troupes de renfort et commence les évacuations. A 19:00 heures, tous les objectifs, dont le siège de l'état-major Allemand, sont sous contrôle. Vers 21:00 heures par des contre-attaques vigoureuses les forces Russo-Roumaine encerclent les deux aéroports qu'il n'est plus question d'utiliser. Un second élément des forces d'intervention est déposé, par des Ju-52, sur les terrains de Boteni et de Tandarei avec la mission de détruire les avions du 1er corps aérien Roumain. Ironie de l'histoire, il se heurte à la 4eme division de parachutistes Roumains que la Luftwaffe avait formée. En infériorité numérique, la compagnie Allemande est vite annihilée. Cette opération est un fiasco. Le groupe de combat du régiment " Brandebourg " y perd la moitié de son effectif. Deux-mille combattants Allemands sont fait prisonniers par l'Armée Rouge, d'autres, plus heureux, aidés par des militaires Roumains anti-communiste restés fidèles à leur ancien allié, ne font aucun effort pour les empêcher de rejoindre la Yougoslavie.

9 - L'épisode de Dole-Tavaux.

A une cinquantaine de kilomètres au sud-est de Dijon, le terrain de Dole-Tavaux servait avant la Seconde Guerre mondiale de satellite à la base de Dijon-Longvic. Disposant d'une piste en dur, d'un hangar et de moyens pour le stockage de munitions et de carburant, dans l'intention d'y baser des chasseurs de nuit, la Luftwaffe y avait installé un système d'approche Lorenz. A la fin de 1943, à la suite des fréquents mitraillages et des bombardements des terrains du sud de la France, notamment celui d'Istres-les-Patis où le 17 août 1943, en quatre vagues, 180 Boeing B-17 Flying Fortress de l'USAF, détruisent, parmi un total revendiqué de 94 avions, trois Me-323 de l'escadron II/TG, sept planeurs Me-321 des escadrons I et II du Luftlandegeschwader 1, 73 planeurs Go-242 et 66 planeurs DFS-230. La Luftwaffe redéploye les escadres de planeurs qui s'y trouvaient vers divers terrains plus au nord, dont Haguenau qui servira de poste de commandement à l'escadron Luftlandegeschwader 2, Dole-Tavaux et vraisemblablement Lyon-Bron. Avant d'évacuer les terrains du sud de la France, cette unité effectuait des transports et des parachutages au profit du front Italien.

Le 26 février 1944, une mission " *intruder* " est menée par deux De Havilland Mosquito FB Mk VI du 418ème escadron des Forces Aériennes Royales Canadiennes (RCAF) dans le secteur Tours, Dijon, Bourges à partir d'une base de la RAF à Ford, région de Portsmouth au sud de la Grande-Bretagne. Sur le chemin du retour, les deux Mosquito surprennent un " train " de Heinkel He-111 Z, alors en basse altitude, tractant deux planeurs Gotha Go-242 B1. Les Mosquito passent aussitôt à l'attaque. Elle s'engage en bordure de la ville de Besançon, se poursuivant au-dessus de Dole puis du terrain de Tavaux. Le premier planeur, largué brutalement, s'écrase sur la commune de Brevans. Les deux pilotes, deux sous-officiers, sont tués. Le second planeur, également largué brutalement, après que le câble de tractage ait endommagé les tuiles du toit d'un moulin se pose en catastrophe entre les communes de Villette-les-Dole et Choisey. Le sous-officier pilote est tué, les deux autres, des caporaux, un mécanicien et le second pilote, sont blessés. Malgré la riposte de son mitrailleur, le Heinkel He-111 Z est abattu en coopération. Les feux d'un des Mosquito enflamment le moteur de l'aile droite, l'autre celui de l'aile gauche et un des trois centraux. L'avion s'écrase, entre les communes de Parcey et de Choisey à l'est, proches du terrain de Tavaux. Il brûlera toute la nuit, les trois membres de l'équipage sont tués. L'heure précise du combat n'est pas connue mais les Mosquito avaient décollé de Ford à 11:20, ils s'étaient posés à 19:50.

Cette mission fut des plus productive. Avant d'arriver au-dessus de Tavaux, alors qu'ils survolaient le terrain de Saint-Yan, le chef de patrouille observe deux Junkers Ju-52 et un Heinkel He-177 qu'ils mitraillent (**6**). L'un des Ju-52 explose, les deux autres, et une citerne de ravitaillement en carburant brulent. Le combat de Tavaux terminé, au moment où ils prennent le cap de retour, l'un des deux pilotes observe un Go-242, dans un champ proche de Dole, qu'il mitraille. Le planeur est sévèrement endommagé. Par une de ces coïncidences dont l'histoire a souvent le secret, c'est ce même jour, 26 février 1944, qu'un autre Mosquito presque à la même heure ramène les premières photos exploitables montrant les destructions subies par l'usine Gnome et Rhône de Limoges !

Gotha Go-244 (© DR)

Moteur du Heinkel He-111 Z abattu à Tavaux (© DR)

10 - Les opérations en Afrique du Nord et en Méditerranée.

Depuis 1941, suite à la décision de l'Allemagne ne pas s'emparer de l'ile de Malte, la Royal Navy conserve le contrôle de la Méditerranée. Les navires envoyés en Afrique du Nord pour fournir la logistique à l'Afrika-Korps, même protégés par ce qui reste de la marine Italienne, largement amoindrie après la bataille de Tarente, sont trop fréquemment coulés. Il en résulte que les moyens de transport par air de la Luftwaffe sont très sollicités. A partir de 1942, pendant des mois les Me-323, au rythme d'un centaine de missions quotidiennes, vont écrire leurs pages de gloire et de mort. Les missions, entre Trapani, Catane et Palerme, en Sicile et les terrains de l'Afrika-Korps de Tunis et Bizerte se succèdent quotidiennement avec les premières pertes. Un Me-323 est abattu au-dessus de Tunis El Aouina le 10 novembre 1942, suivent deux autres détruits au sol les 23 et 28, à Bizerte. Si au début des opérations, les pertes sont acceptables, avec la réaction des Alliés, surtout après le débarquement en Afrique du Nord du 8 novembre 1942, elles augmentent en flèche. Particulièrement au sol par bombardements ou mitraillages des terrains, au point que pendant plusieurs mois toute la production de l'usine d'Obertraubling est dirigée vers le théâtre Méditerranéen. A la fin du mois de décembre, les Me-323 doivent observer une forte réduction, contrainte et inutile, de leur activité sur ce front. Pendant le siège de Stalingrad, quinze appareils sur la soixantaine, déployés en Italie et en Sicile sont expédiés en Pologne. Comme il ne fut pas possible de les employer, ils sont rapidement renvoyés vers l'Italie, la Sicile et le sud de la France.

Volant en formation serrée, pour maximiser l'efficacité de leurs feux défensifs, à l'aller ils amènent des troupes de renfort, douze tonnes de carburant en barils par avion, du courrier, le service de propagande du Reich est très attentif à cet aspect qui permet de maintenir le moral des troupes au combat ainsi que celui des familles en Allemagne. Dans l'autre sens ils ramènent des blessés ou des malades, nombreux, des permissionnaires et du courrier. Le 21 avril 1943, quatorze Me-323 effectuent le trajet Pomigliano Bizerte aller et retour sans encombre. Le lendemain 22, est une journée noire pour le Transportgeschwader 5 (TG5). Alors que le cap Bon, zone reconnue très dangereuse, est en vue, deux escadrons de la RAF, dont un de Polonais, équipés de Spitfire et quatre de l'Armée de l'Air Sud-Africaine sur Curtiss P-40 " Kittyhawk ", interceptent une formation de seize Me-323, volant dans leur formation serrée typique. A la suite d'une erreur de transmission, la chasse Allemande de protection n'est pas au rendez-vous des Me-323. Elle s'est totalement concentrée sur un vol concomitant de Ju-52. C'est un massacre. Quatorze des Me-323 sont abattus. Ils s'écrasent en mer, en bordure des côtes, ou sont détruits pendant les tentatives d'atterrissage de fortune qui s'en suivent. Seuls deux parviennent à se poser sans casse à Bizerte.

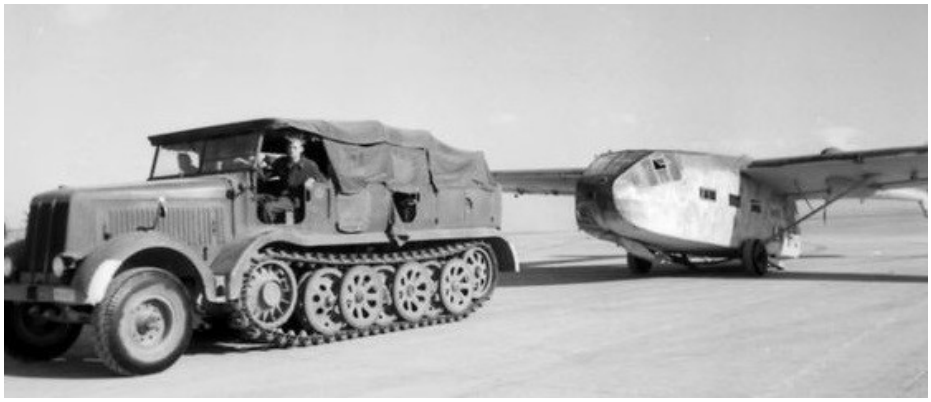
Les pertes Allemandes sont énormes, en hommes de troupe, l'équivalant d'un régiment, en carburant, deux-cent-quarante tonnes. Des cent-quarante membres d'équipage engagés, seulement dix-neuf survivent. Un des deux Me-323 qui réussit à se poser sur l'aéroport de Bizerte est détruit au sol, le lendemain pendant un mitraillage. L'autre, seul rescapé de cette mission tragique, retourne à sa base de Trapani en Sicile avec sa cargaison de blessés graves. Les jours précédents, plusieurs avaient été détruits au sol par mitraillage. Pour le seul mois d'avril, quarante-trois avions disparaissent, vingt-neuf abattus ou détruits au sol. A ce moment, il ne reste que vingt-trois Me-323 en Sicile. Deux jours plus tôt, dans un épisode connu comme le " *Massacre du Dimanche des Rameaux* " les mêmes escadrons de Spitfire et de P-40 " Kittyhawk " avaient intercepté une formation de quatre-vingt-dix Ju-52. Une soixantaine sont abattus ! Plusieurs autres sérieusement endommagés pendant les tentatives d'atterrissage de fortune. La présence des chasseurs Alliés " *au bon endroit au bon moment* " ne doit rien au hasard. La RAF avait un accès régulier aux décryptages " ULTRA " (**7**) des communications, perméables, de la Luftwaffe que les services de renseignements communiquaient aux escadrons, pratiquement en temps réel. En outre, en prévision du débarquement en Sicile, des commandos SAS (**8**) opéraient à proximité des terrains avec la mission d'informer par radio les gros mouvements qu'ils pouvaient observer. Notamment de celui de Trapani où, selon une légende, le commando SAS qui opérait depuis une église dissimulait son poste radio dans le confessionnal !

Heinkel He-111 Z " Zwilling " (© DR)

Le 10 juillet 1943, les forces alliées qui se sont rendu maitre de l'Afrique du Nord, après un bref répit, débarquent en Sicile. La Wehrmacht ne tarde pas à répliquer. Le 11, une formation importante constituée de divers types d'avions : Ju-52, He-111, Me-323 débarque, depuis Istres, 1400 parachutistes et du matériel sur l'ile. Une chance extravagante l'accompagne dans cette mission. Alors qu'ils approchent de Messine, n'en croyant pas leurs yeux, les équipages croisent le chemin d'une vingtaine de Lockheed P-38 " Lightning " de l'USAF qui quittent les lieux ! A court de carburant, ils rentrent à leurs bases en Tunisie. La totalité des avions passe sans encombre. La même opération est répétée le lendemain 12 juillet. Cette fois, la chance a tourné. L'aviation Alliée qui n'a pas manqué de noter le succès de la mission de la veille est en alerte. Au décollage d'Istres plusieurs planeurs Me-321 transportant des moyens antichars et leurs servant s'écrasent au décollage, il n'y a pas de survivants. Plusieurs autres sont perdus en route. Le terrain de Catane est bombardé au moment où des Me-323 se préparent à atterrir. Quand ils finissent par se poser, le terrain

subit un nouvel assaut. Tous les Me-323 sont détruits au sol. Devant l'avance des forces terrestres US et Britanniques, la Luftwaffe évacue ce terrain le 13 juillet.

Bien qu'à ce moment, le rythme de production soit d'environ un avion par jour, la disponibilité se réduit dramatiquement. Toutefois, le commandant d'une des escadres transport de la Luftwaffe sur le théâtre Méditerranéen revendique qu'entre novembre 1942 et avril 1943, les Me-323 de son escadre auraient, en environ mille-deux-cents sorties, transporté quinze-mille tonnes d'équipements divers, plus de trois-cents camions, six-cents canons de tous calibres plusieurs dizaines de véhicules blindés et canons automoteurs. Avec la fin de la campagne d'Afrique du Nord, après un bref effort depuis Istres pour supporter les combats en Sicile, les Me-323, sont aussitôt tous redéployés vers le front Russe, où ils vont disparaitre, un à un, abattus, détruits au sol ou sabordés pour échapper à la capture. Ils opéraient sur toute la largeur du front de Riga à Sébastopol, en Roumanie ou encore en Hongrie. Le dernier est sabordé sur le terrain de Skutsh en Tchécoslovaquie au début du mois de mai 1945. A la date de l'armistice, il ne restait plus aucun Messerschmitt Me-323 intact. A notre connaissance aucun n'a survécu intact à la guerre.



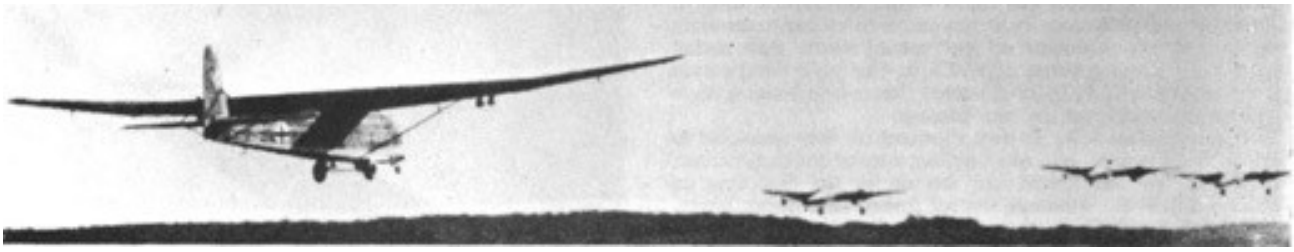
Gotha Go-240 tiré par une chenillette (© DR)

11 - Conclusions

Des débats ont pris place quant 'à l'extrême vulnérabilité, voire l'inutilité du Messerschmitt Me-323. Relativisant l'aspect de la vulnérabilité, plus élevée que celle du Ju-52, leurs vitesses maximales sont comparables : 285 km/h pour le Me-323, 295 km/h pour le Ju-52. Grâce à son concept de construction, le Me-323 encaisse particulièrement bien sauf s'ils transportent de l'essence. Nombreux sont les rapports de pilotes de chasse alliés rapportant des Me-323, peu inflammables, qui continuaient à voler après avoir reçu de nombreux coups au but alors qu'ils avaient épuisé toutes leurs munitions !

Les services officiels Allemands réalisant l'étendue des services rendus et les indéniables performances de ce type d'avion dont à l'époque aucune autre Armée de l'Air au monde ne dispose, souhaitent faire évoluer le concept. A la fin de 1943, alors que la production du Me-323 à moteurs Gnome & Rhône 14N s'arrête, un prototype propulsé par six moteurs Jumo 211 R de 1340 chevaux vole le 11 décembre 1943. Également proposé, un modèle qui eut été désigné Me-323 G, est prévu avec des moteurs Gnome & Rhône 14R de 1320 chevaux. Voire même, à la Heinkel He-111 Z, couplée par les ailes, une version surprenante à neuf moteurs BMW-801. Dès 1942, Messerschmitt veut retourner à la planche à dessins. Mais son bureau d'études trop chargé par la multitude des programmes en cours, suggère à la société Zeppelin assistée de quelques-uns de ses ingénieurs qui avaient travaillé au développement du " Gigant " sur le site de Leipheim de proposer un concept plus élaboré. Le projet, désigné ZLSO 523, qui aurait conduit à un avion de 95 tonnes de poids maximum au décollage, rayon d'action 2 200 kilomètres, bi-dérive, train d'atterrissage rentant à six roues, rampes de chargement avant et arrière, également hexa-moteur, et propulsé par six hypothétiques moteurs Gnome et Rhône type 18 R, qui aurait potentiellement développé 2200 chevaux. La construction, devant être confié à la SNCASO d'Issy les Moulineaux. L'inertie du personnel Français, les bombardements alliés et enfin la libération de la France, mettront fin à cette initiative qui n'ira pas plus loin que la construction d'une maquette d'étude en bois.

L'histoire retiendra l'incroyable courage des pilotes de planeurs de la Luftwaffe et que les inélégants Messerschmitt Me-321/323 ainsi que les Gotha Go-242/244 ont clairement contribué à modifier la conception des avions de transports militaires qui vont suivre. Se substituant aux incommodes portes latérales des avions existants, Junkers Ju-52 et Douglas DC-3, les Gotha 242/244, sont les premiers à disposer d'une rampe de chargement arrière, largement accessible, permettant d'embarquer des éléments volumineux sans nécessiter leur démontage, préfigurant le Lockheed C-130 " Hercules ", l'Antonov An-124, le Lockheed C-5 " Galaxy " et autres Airbus A-400M " Atlas ".



Troïka de Messerschmitt Bf-110 tractant un Me-321 (© DR)

(1) On observera la très faible rentabilité de ces vols qui apportaient environ 850 litres de carburant pour une consommation équivalente. Le rayon d'action maximum du LéO 45 était de 2 300 kilomètres avec 3240 litres de carburant.

(2) Le DFS-230, projet que l'Allemagne avait réussi à garder secret, est capable d'emporter jusqu'à dix fantassins. Il avait été conçu par l'institut Allemand de recherche pour le vol à voile et, construit par la société par la société Gothaer Waggonfabrik AG plus connue sous la dénomination plus courante de Gotha. DFS indique Deutscher Forschunsanstalt für Segelflug ou Institut Allemand de recherche pour le vol plané.

(3) Presque tous les documents disponibles indiquent que le tracteur du Ju-322 du premier vol, le 12 mars 1941, fut le 7eme prototype (V7) du Ju-90. Ce qui pourrait ne pas être exact. En effet, le Ju-90 V7, premier des dix-huit Ju-90 à recevoir le moteurs BMW-801, n'aurait effectué son premier vol que le 6 septembre 1941. Bien que produit en quantité limitée, le Ju-90 eut cinq motorisations. Initialement le Daimler Benz DB-600 (1 050 ch) les BMW-132 H/1 (830 ch) et -801A (1 560 ch) HP), Pratt & Whitney Twin Wasp R-1830 (1 200 ch) et Jumo 211 F (1 200 ch). Il est plus que probable qu'en cette occasion, l'avion utilisé était l'un des deux Ju-90 à moteurs Twin Wasp destinés à South African Airways, jamais livrés pour cause du déclanchement de la guerre.

(4) Procédure, pour obtenir des tubes sans soudure par perçage de tiges pleines chauffées fortement.

(5) Le peroxyde d'hydrogène, est un des rares composés chimiques à la fois carburant et oxydant, est largement utilisé dans l'industrie des fusées réutilisables.

(6) D'autres rapports font état d'un Junkers Ju-86 et d'un seul Caudron C-445 détruits. Le fait est que le terrain de Saint Yan fut bien mitraillé le 26 février 1944 par les deux mêmes De Havilland Mosquito du 418eme escadron de la RCAF.

(7) ULTRA Non donné par les Britanniques aux opérations d'interception et de décodage des transmission électromagnétiques de tous types, émises par l'Allemagne.

(8) SAS Special Air Service. Unités secrètes des forces spéciales Britanniques spécialisées dans les opérations de pénétration et d'action couvertes en territoire ennemi.

Références :

Luftwaffe Airfields 1935-45 de Henry L. DeZeng
Bundesarchiv – Chapitres accessibles par Internet.
Airborne Combat: The Glider War/Fighting Gliders of WWII De James E. Mrazek
Blog Axis History Factbook WW2 day by day

Le sort après la guerre 1939 - 1945 des spécialistes Allemands du turboréacteur

La guerre est la plus terrible invention de l'homme et malheur au vaincu car le vainqueur devient vite un prédateur. Lors la deuxième guerre mondiale l'Allemagne s'est vite trouvée en infériorité numérique et seule la supériorité de ses armes lui laissait une chance de gagner. Un énorme effort technologique et industriel a été mis en place pour produire cet armement tout en devant pallier le manque de ressources en aciers spéciaux et en carburant. A la fin de la guerre le niveau de technologie aéronautique de l'Allemagne était très haut, aussi bien dans le domaine des fusées, avec la V2, que dans celui des avions à réaction avec la bombe volante (on dirait aujourd'hui le missile de croisière) V1 et surtout le chasseur-bombardier Messerschmitt Me-262.

Messerschmitt 262 avec ses deux turboréacteurs Junkers Jumo 004 (1944) (© DR)

En 1945, l'Allemagne vaincue regorgeait donc d'éminents spécialistes aéronautiques qui firent naître des envies de récupération aux vainqueurs. Avant même la fin des hostilités, au fur et à mesure de l'avancée des troupes sur le sol allemand, les " alliés " organisèrent donc une chasse aux " cerveaux " pour les amener, de gré ou de force, à travailler pour eux et chez eux. Cette " récupération " pris des formes très différentes, bien organisée (opération " Paperclip ") et basée sur le volontariat chez les Américains, plus discrète, et non contraignante également, chez les Français et beaucoup plus autoritaire chez les Russes. Les spécialistes allemands du turboréacteur n'échappèrent pas à ce recrutement, bien que les Anglais, qui croyaient tout savoir dans ce domaine, n'aient pas été très virulents. C'est le sort de ces spécialistes qui va maintenant être raconté.

En février de l'année 1945, la victoire finale ne faisant plus de doute, Roosevelt, Churchill et Staline se réunirent à Yalta pour décider du sort futur de l'Allemagne. Celle-ci fut découpée en 5 zones d'occupation, la France s'en voyant accorder une (petite). La zone d'occupation dédiée aux Soviétiques se trouvait inclure les deux principales usines allemandes de turboréacteurs, à Dessau pour Junkers et à Stassfurt pour la Bayerische Motoren-Werke (BMW).

Il est important de noter que ces deux usines étaient situées à l'ouest de l'Elbe, où s'arrêtera l'avancée des troupes américaines, mais aussi à l'intérieur de ce que sera la future zone d'occupation russe. Pour éviter que les Russes en arrivant prennent possession de l'usine BMW, celle-ci et ses ingénieurs furent immédiatement transportés en zone américaine à Munich. L'usine Junkers resta en place mais une partie de son personnel, pour se soustraire aux Russes, et fortement incitée et aidée pour cela par les Américains, s'enfuit pour s'établir dans les zones d'occupation anglaises plus au nord et américaines au sud.

La stratégie de recrutement des Alliés fut de deux sortes, recrutement individuel des meilleurs éléments pour les Américains, en général les Ingénieurs en Chef, pour leur faire animer leur industrie déjà en place et recrutement de groupes complets d'ingénieurs et de techniciens déjà formés, chez les Russes et les Français, leur industrie du turboréacteur étant encore quasiment inexistante.

Les Américains identifièrent rapidement les spécialistes Junkers et ceux qui les intéressaient le plus furent contactés. Ce fut le cas de Wilhelm Grunert qui me raconta que, pour fuir les Russes, lui et sa famille avaient quitté le secteur de Dessau pour se rapprocher de Munich. Les américains l'avait alors retrouvé pour

l'interroger puis l'avaient laissé dans l'attente après une vague promesse de partir aux Etats-Unis. C'est finalement H.Oestrich, qui formait son groupe, qui l'avait contacté et recruté, en lui demandant en plus de retrouver deux anciens de Junkers, W.Stein et S.Decher. Il retrouva Stein alors que Decher, avait déjà été sélectionné par les Américains. Celui-ci n'avait pu partir à temps à cause d'une blessure de son fils mais lorsque son fils fut rétabli, son départ fut annulé, les Américains qui venaient de vaincre le Japon n'ayant plus d'urgence à renforcer leur industrie du turboréacteur. Siegfried Decher devait alors rejoindre le groupe " O " par une autre filière. La principale " recrue " des Américains fut Anselm Franz, le " père " du Jumo 004, qui partit pour l'USAF à Wright Field, dans l'état de l'Ohio, continuera son activité chez Lycoming. Les Américains avaient bien essayé de s'assurer le concours de Hermann Oestrich, ingénieur en Chef de chez BMW, mais ils ne voulaient pas qu'il emmène toute son équipe avec lui. Hermann Oestrich préférera l'offre française pour former son fameux groupe " O " qui sera à l'origine du succès que la SNECMA, puis aujourd'hui Safran, connaît.

Les experts motoristes qui iront aux USA n'ont finalement pas été très nombreux, à part Anselm Franz dont on vient de parler. Au contraire c'est le domaine des fusées qui en a le plus profité, avec Werner Von Braun qui deviendra le père du programme lunaire "Appolo ".

Une fois installé dans leur zone d'occupation les Russes sont parvenus à maintenir sur place les personnels de Junkers, qui ne s'étaient pas enfuis, en promettant que leur usine continuerait son activité à Dessau. Nous verrons plus loin ce qu'il adviendra d'eux.

Les français, eux, agirent de deux manières, en regroupant pour leur compte deux groupes d'ingénieurs et de techniciens allemands, l'un qui sera formé sous le contrôle du Ministère des Armées, ce sera le groupe " Oestrich " et l'autre géré directement par Turboméca à titre privé.

La croix rouge marque l'implantation des usines Junkers et BMW

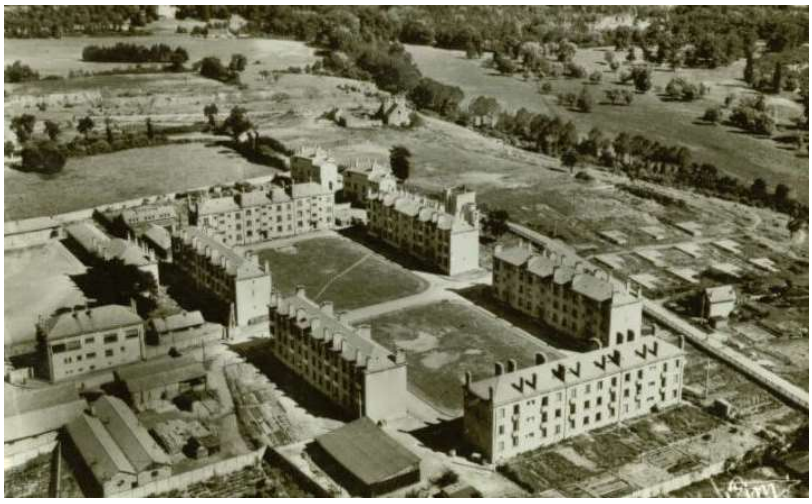
Le groupe Oestrich. Voyons tout d'abord comment s'est constitué le groupe Oestrich, encore connu sous le nom de " Groupe O ".

Cette histoire commence pendant la guerre avec trois ingénieurs français (Mr Brassier, Bennet et Yerannian) travaillant chez BMW, au titre du STO (Service du Travail Obligatoire). Ils connaissaient bien H. Oestrich, l'ingénieur en chef responsable du développement du turboréacteur BMW-003 qui équipera, entre autres, le chasseur Heinkel He-162. Alors que la guerre se terminait, on ne sait pas comment ils firent à Hermann Oestrich la proposition de travailler pour la France, mais le résultat est qu'il la préféra à celle des Américains. En effet il lui serait possible de regrouper une grande équipe dont il conserverait la direction et le contrat était limité à 5 ans. Et puis les familles seraient de la partie et la France étant à coté, en cas d'ennui, il suffirait de retraverser le Rhin pour rentrer chez soi. Entre temps H. Oestrich avait commencé à constituer son équipe. C'étaient pour la plupart des anciens de BMW mais bientôt, dès la nouvelle connue et, par le bouche à oreille, de nombreux autres spécialistes de Junkers et de Heinkel vinrent s'y joindre. Après un voyage depuis Munich, en pleine clandestinité et au nez et à la barbe des Américains, ce seront finalement plus de 120 ingénieurs et techniciens et leur famille qui se regrouperont à Lindau, sur le site de l'usine Dornier de Rickenbach, en zone d'occupation française. Le " Groupe O " était constitué. La structure administrative dans laquelle le groupe devait fonctionner fut celle d'un Atelier d'Etat dénommé " Atelier Technique Aéronautique de Rickenbach " (ATAR) dont le moteur à étudier prendra le nom. A Rickenbach deux ingénieurs français furent associés au groupe allemand, dont Mr L. Jumelle, alors sous-lieutenant, et qui sera, 20 ans plus tard, un acteur de premier plan de la participation SNECMA au programme Concorde.

Le contrat entre Hermann Oestrich et l'Etat français stipulait que le groupe devait conduire l'étude d'un turboréacteur, dérivé du BMW-003 qui serait essayé et construit en France. Les travaux commencèrent à Rickenbach dès la fin de l'année 1945 mais, pour des raisons liées à une modification des accords entre les alliés occupant l'Allemagne, le groupe et les familles furent transférés en France pendant l'été 1946, à Decize dans la Nièvre. Ils furent logés et travaillèrent dans une ancienne caserne de Gardes Mobiles,

préalablement occupée par la Wehrmacht puis par des prisonniers de guerre allemands. A Decize, et seulement au début de leur séjour, les nouveaux arrivés furent l'objet de petits signes d'animosité de la part de la population. Mais cette réaction ne dura pas, la présence des Allemands étant relativement discrète de par leur isolement. De plus, de par la présence des familles, ils n'apparaissaient pas comme une " survivance " de l'occupation. Les Allemands que j'ai connu à la SNECMA ont toujours été respectés par le personnel d'origine française et je n'ai jamais été témoin de remarques xénophobes à leur égard. Les remarques désobligeantes existaient plutôt de la part d'Alsaciens germanophobes vis à vis de ceux qui étaient plutôt germanophiles.

En 1952, le contrat de 1946 étant échu, une partie des ingénieurs du groupe " O ", après sélection, se verra proposée une intégration au personnel SNECMA. L'autre partie retournera en Allemagne ou partira aux Etats unis. Le site de Decize sera libéré et leur activité se poursuivra à Melun-Villaroche. Les familles seront transférées dans une cité, genre HLM, située à Dammarie-les-Lys, que l'on connaitra sous le nom de " Cité SNECMA ". Les nombreux Allemands qui avaient choisi de rester continueront alors leurs travaux à Villaroche jusqu'à leur retraite. Certains de leurs enfants viendront même y travailler. L'intégration était terminée, et réussie !



La caserne de Garde Mobile à Decize, résidence du groupe " O " (© DR)

L'équipe allemande de Turboméca. Par contre l'intégration des spécialistes allemands aux activités de Turboméca a été très différente et s'est moins bien terminée que celle avec la SNECMA.

Fin septembre 1945, la DTI (Direction Technique et Industrielle) dépendant du Ministère de l'Air, autorise Joseph Szydlowski, le Président Directeur de Turboméca à conduire une mission d'étude de l'industrie aéronautique Allemande. Au cours de cette mission Mr Szydlowski rencontrera des ingénieurs du motoriste Daimler-Benz, dont son Directeur Technique Friedrich Nallinger, qui acceptera de travailler pour lui. Le gouvernement français autorise alors Turboméca à créer un établissement dans la zone d'occupation française, sur les bords du lac de Constance, en territoire autrichien, et dont Mr Nallinger deviendra le directeur. Cet établissement sera appelé " Turbo-Méca, établissement de la zone d'occupation française ".

L'embauche d'ingénieurs et de techniciens allemands a été très rapide et le nombre de personnes qui composeront le bureau d'études " B ", le " A " étant celui de Bordes, atteindra près de 200 en avril 1946. Comme ce fut également le cas pour le groupe " O " d'Hermann Oestrich, la nouvelle réglementation interalliés qui devait entrer en vigueur à l'été 1946, a forcé le transfert de Turbo-Meca ZOF vers la France, mais avec la différence importante que la plupart des familles resteront en Allemagne.

La place manquant à Bordes, l'implantation se fera tout d'abord à Nay dans une ancienne usine de chaussure en attendant que de nouveaux bâtiments soient construits à Bordes, le fief historique de Turboméca. Des chambres meublées aux alentours (alors que la population manquait cruellement de logements) et les hôtels servirent à loger les nouveaux arrivants.

Une autre différence avec le transfert du groupe " O " à Decize est que l'arrivée de ces Allemands au pays basque n'a pas toujours été très appréciée par la population. Contrairement au groupe " O ", ce n'étaient pas des familles constituées qui arrivaient mais des hommes seuls assimilés à prisonniers de guerre et même parfois à d'anciens nazis. La coupure de presse ci-après illustre bien ce sentiment.

Les Basques, qui manquaient de tout, alors que les Allemands envoyaient des colis de nourriture toutes les semaines à leurs familles restées en Allemagne, ont eu du mal à accepter ces " travailleurs étrangers " même s'ils étaient présentés officiellement comme devant sauver l'aviation française !

En Avril 1946, le STPAe commanda à Turboméca un turboréacteur du type B701 de 7200 kg de poussée, dérivé de celui que Daimler Benz avait en études avant la fin de la guerre, et un turbomoteur à turbine libre de 250 ch, du type B781.

SEPTIEME COMPLETE

Dimanche-soir

A DEUX PAS DE LA FRONTIÈRE ESPAGNOLE

DES TECHNICIENS NAZIS travaillent à sortir l'avion français qui sera le plus rapide du monde...

...peut-être en attendant de passer chez Franco avec armes, bagages... et plans !

Coupure de presse d'un journal national du 26 mai 1947

Cependant en Avril 1947, le Ministère de l'air, qui avait refait ses comptes, décida l'abandon du B781 et du B701, lui préférant l'ATAR du groupe " O " d'Hermann Oestrich et de la SNECMA. Le programme du B782, petit turbomoteur de 60 ch, dont l'étude par l'ingénieur allemand Georg Oberländer était en cours, sera malgré tout maintenue. Les effectifs du bureau d'études deviennent alors surabondants et un retour vers l'Allemagne des ingénieurs allemands allant retrouver leurs familles se fait très rapidement. Début 1948 il n'en reste plus que 50 et finalement seulement 13 en 1952, qui resteront à Bordes jusqu'à leur retraite. Ce sera la fin de l'activité " gros moteur " chez Turboméca, le B782, dont le développement sera conduit à terme, constituera, lui, le début d'une longue lignée de turbomoteurs qui font encore aujourd'hui le succès de Safran Helicopter Engines.

Seul Hispano Suiza, qui était en 1945 le deuxième plus important motoriste Français après SNECMA, n'a pas accueilli d'ingénieurs Allemands. Pour entrer dans l'ère des turboréacteurs il avait choisi (ou s'était-il vu imposé par le Ministère de l'Air ?) de prendre la licence du turboréacteur Rolls Royce Nene. Alors que, grâce aux ingénieurs allemands, Safran Aircraft Engines et Safran Helicopter Engines ont aujourd'hui atteint une stature internationale, Hispano Suiza, lui, a perdu toute compétence de conception des turboréacteurs. Les choix, faits sans idées préconçues par nos ministres en 1945, ont donc été très judicieux.

Il nous reste maintenant à voir comment, en 1945, les Soviétiques se sont comportés avec les ingénieurs motoristes allemands de leur zone d'occupation.

L'opération Osoaviakhim. La conférence de Yalta avait prévu, entre autres, les " réparations " qui seraient imposées à l'Allemagne nazi une fois vaincue. Ces réparations, dont 50% reviendraient aux soviétiques, devaient prendre la forme de fourniture d'équipements et de main d'œuvre, l'Allemagne ruinée ne pouvant payer comme elle devait le faire en 1919. Seulement, lorsque la guerre se termina, le gouvernement de l'Allemagne n'existait plus et l'application de cet accord était devenu administrativement impossible. Chacun s'organisa donc de son côté sans aucune coordination pour se " payer sur la bête " et les Soviétiques ne manquèrent pas de prendre leur part dans leur zone d'occupation et sur ce que les Américains leur avaient laissé à l'ouest de l'Elbe.

Pour cela les Soviétiques ont considéré que le travail forcé constituait un moyen de réparation valable et ils l'ont planifié. Cela a été l'opération Osoaviakhim qui a été décrétée le 13 mai 1946 par le conseil des ministres de l'URSS, sans aucune concertation. Le plan était de déplacer des usines aéronautiques allemandes entières vers l'URSS et de déporter 2000 à 3000 de leurs spécialistes pour les y installer, en les isolant au mieux de l'environnement local. Les spécialistes avaient préalablement été bien identifiés et l'opération fut déclenchée secrètement, et à la barbe des autres " alliés ", le 22 octobre 1946. Les spécialistes de Junkers et BMW furent arrêtés avec leurs familles à leur domicile, par l'armée et en pleine nuit, sous prétexte qu'ils étaient mobilisés pour aller travailler en URSS. Ils furent transportés par camion avec leurs biens personnels pour être regroupés à la gare de Dessau, d'où 92 trains les emmenèrent vers une destination inconnue. On leur avait dit, lors de leur arrestation, qu'ils allaient obtenir un salaire meilleur que celui des Russes, ce qui

fait que certains n'étaient pas forcément opposés à ce transfert. Ils vont vite déchanter, l'avenir leur montrant très vite qu'ils avaient été leurrés.

Après des jours d'un transport très lent, les trains arrivèrent à Kuybyshev, aujourd'hui Samara, une grande ville sur la Volga, à 900 km au sud-est de Moscou. De là ils furent transportés à Uprawlentscheskij Godorok, renommé Upra, 20 km plus au nord où se trouvaient de nombreuses installations aéronautiques datant de la guerre. par deux familles à la fois ils furent logés, étroitement, dans des maisons en bois très modestement équipées. Pour s'en éloigner les résidents devaient avoir un permis délivré par l'administration russe de la " résidence ". Le soir de leur déplacement ils devaient rendre ce permis, comme preuve qu'ils étaient bien rentrés !

Le travail du personnel déplacé de Dessau commencera immédiatement à partir de novembre 1946. Ces ingénieurs ne seront jamais intégrés dans une entreprise russe déjà existante, mais des jeunes techniciens russes viendront les rejoindre, surtout pour apprendre à leur contact. Ce sera un travail très dur à la fois à définir les installations (banc d'essais, ateliers, soufflerie) nécessaires et à concevoir de nouveaux moteurs. Ils ne bénéficieront que d'un minimum de repos et seront de moins en moins bien payé. Toute erreur, tout retard dans la programmation des tâches, seront punis par une réduction du salaire. Et cela va durer 6 ans !

Upra avec ses installations aéronautiques était situé 20 km au nord de Samara

Jusqu'en 1948 le l'objectif fut de terminer les études du Junkers Jumo 012, ce turboréacteur de 3000 kg de poussée dont Monsieur Grunert m'avait dit être le responsable lors de la visite que je lui avais faite en 1992. Devant les difficultés que posaient l'absence de moyen de production adaptés, le programme fut réorienté vers le Jumo 022, un turbopropulseur de 6000 ch. Son développement se termina en 1950 et la production fut alors transférée dans une autre usine russe. Deux de ces moteurs équiperont le prototype du bombardier Tupolev Tu-95, mais, les résultats étant médiocres, ce moteur fut abandonné pour être remplacé par une version plus puissante connue sous le nom de Kuznetsov NK-12. C'est ce moteur qui sera installée sur l'avion de transport Tupolev Tu-114 et le bombardier lourd Tu-95 " Bear ".

L'espoir de chacun était qu'un jour il retournerait chez lui, en Allemagne, mais les années passèrent quand, en 1950, les premiers prisonniers de guerre furent libérés et que l'espoir revint. Ce ne fut finalement qu'en 1952 que les " déportés " des usines Junkers et BMW retrouvèrent la liberté. Ils retournèrent en Allemagne de l'Est et beaucoup tentèrent, et parfois réussirent, à passer en Allemagne de l'Ouest, pour oublier les tristes jours passés en Russie.

Ils n'auront pas eu la bonne idée de se sauver et de suivre les Américains comme le firent ceux que j'ai connus à Villaroche, W. Grunert et A. Stieglitz particulièrement.

Le turboréacteur Turboméca Aubisque 1 (RM 9)

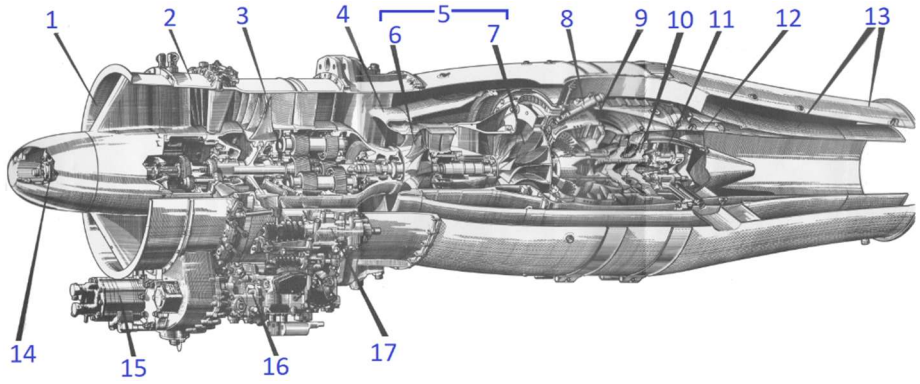
Second turboréacteur de type double flux conçu et produit par Turboméca au début des années 1960, l'Aubisque présente la particularité de n'avoir eu qu'un seul utilisateur : la force aérienne suédoise. Son nom de baptême obéit à la tradition de l'entreprise depuis 1949 dont les machines reçoivent des noms issus de la chaîne de montagnes des Pyrénées : les turboréacteurs double flux portant des noms de cols, le moteur reçoit celui de l'Aubisque.

Développé à partir du générateur de gaz du turbomoteur Turmo III, l'Aubisque est un petit turbofan à engrenages. Au total, 374 exemplaires de série sous la désignation suédoise de Reaktionsmotor 9 ou RM9 furent produits. Sa seule et unique application fut la propulsion du bimoteur léger polyvalent SAAB 105. Le premier des 150 appareils de série commandés par l'armée de l'air suédoise (Flygvapnet) est livré en 1966 et le dernier en 1969.

Le Turboméca Aubisque 1

Le moteur Aubisque qui est lancé en 1961 est suivi par la construction de 12 moteurs prototypes. Le premier d'entre-deux réalise sa première rotation au banc, à Bordes, à la poussée de 700 kg, en juin 1962.

La mise au point est longue et difficile. Après la fin des essais statiques et d'un essai d'acceptation supplémentaire de 150 heures validant les performances, la technologie et le réglage des équipements, l'Aubisque 1A (RM-9B) est homologué le 8 avril 1966 à la poussée de 742 kg.



Turboméca Aubisque 1A – Ecorché

1. Buse d'entrée d'air
2. Carter d'entrée
3. Compresseur basse pression
4. Carter double flux
5. Compresseur haute pression
6. Etage axial
7. Etage centrifuge
8. Allumeurs-torches
9. Chambre de combustion
10. Turbine à deux étages
11. Palier arrière
12. Diffuseur de sortie
13. Tuyères
14. Dynamo-démarreur 15. Pompes à huile 16. Bloc pompes régulateur 17. Vérin de commande des volets d'entrée d'air

De type simple corps double flux, l'Aubisque 1 comporte essentiellement une couronne de volets réglables, un compresseur axial BP monoétage entrainé par la turbine par l'intermédiaire d'un réducteur, un compresseur HP constitué d'un étage axial et d'un étage centrifuge, une chambre de combustion annulaire, une turbine axiale à deux étages (haute pression et basse pression) et une tuyère d'éjection fixe à flux séparés.

Les volets d'entrée réglables qui déterminent le débit d'air ingéré par le moteur sont à commande hydraulique et dégivrés par un courant d'air chaud. La présence de la couronne de 24 volets variables (de 25° à 105°) permet, non seulement de diminuer la puissance prise devant le compresseur BP pendant la phase de démarrage, mais aussi de rendre possible des variations de poussées importantes à vitesses de rotation données ; en particulier les positions de volets très fermés permettent de réaliser les poussées très faibles exigées par les avions pour le ralenti au sol et en vol.

Via un réducteur (rapport 1 / 2,132) la turbine actionne le compresseur BP (taux de compression d'environ 1,5) qui tourne à environ la moitié de la vitesse de rotation de la turbine. Au niveau du compresseur HP, le rôle l'étage axial (taux de compression d'environ 1,5) est de suralimenter l'étage centrifuge (taux de compression de 3).

Un tiers de l'air qui traverse le compresseur BP est dirigé dans le compresseur HP, tandis que les deux autres tiers se dilatent à travers le canal secondaire qui fonctionne concentriquement à l'extérieur du générateur de gaz. Environ la moitié de la poussée totale du moteur est générée par l'expansion de l'air dans le canal secondaire.

La chambre de combustion annulaire repliée possède un dispositif d'injection centrifuge de carburant. Ce dispositif a pour avantage d'obtenir une combustion très stable (sur réduction rapide du débit carburant, la chambre ne s'éteint pas) et d'une bonne répartition des températures.

A l'arrière, la turbine à deux étages (HP et BP) est dotée de pales rapportées, les deux disques sont refroidis par circulation d'air. Le diffuseur forme la tuyère de sortie pour le flux chaud. Les flux chaud (primaire) et flux froid (secondaire) sont éjectés séparément dans deux tuyères à section convergente fixes. Le flux chaud est éjecté à haute vitesse et le flux froid à vitesse plus lente.

L'Aubisque comporte deux ensembles tournants : l'un arrière, porté par deux roulements, comprenant le compresseur centrifuge, la roue d'injection, un arbre intermédiaire et les deux turbines, l'autre à l'avant, lui aussi porté par deux roulements, comprenant seulement le compresseur axial et qui est relié à l'ensemble arrière par un arbre cannelé.

Le démarrage électrique est assuré par une dynamo-démarreur entrainant l'ensemble tournant jusqu'à la vitesse d'autonomie.

Pour sa construction, le moteur utilise essentiellement : pour les parties fixes (carters) des alliages légers et, pour les parties tournantes (compresseurs et turbine), des alliages réfractaires, d'alliages d'aluminium, du titane, des alliages fortement alliés et des alliages de nickel (Udimet 500).

Caractéristiques techniques de l'Aubisque 1A (RM-9B)

Date d'homologation : avril 1966
Poussée : 742 kgp
Consommation spécifique : 0,61 kg/kgp/h
Vitesse de rotation : 15 245 tr/mn (soufflante) 32 500 tr/mn (compresseur)
Débit d'air : 22.25 kg/s
Taux de compression : 7.05
Taux de dilution : 2.18
Température entrée turbine (TET) : 900 °C
Capacité du réservoir d'huile : 20 litres dont 12,4 litres utilisables
Consommation d'huile : 200 gr/h

Nombre d'étages :
- Soufflante : 1
- Compresseur BP : 1 axial
- Compresseur HP : 1 axial, 1 centrifuge
- Turbine : 2

Encombrement :
- Diamètre maxi : 565 mm
- Longueur totale : 2 280 mm

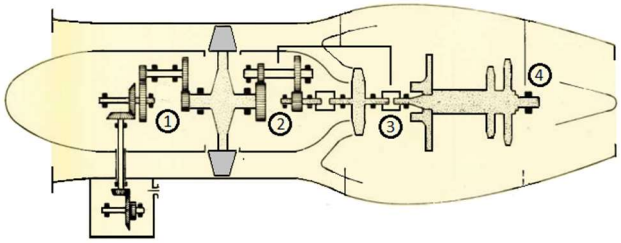
Masse : 292 kg

Performances de l'Aubisque 1A (RM-9B) au point fixe au sol en conditions standard

Régimes	Vitesse de rotation		Poussée		Consommation spécifique
	Tr/mn	%	daN	kg	Kg/kg.h
Décollage	33 000	101,5	727	742	0,615
Montée	32 500	100	645	658	0,596
Maximum continu	32 000	98,5	613	625	0,594
Croisière	30 000	92,3	495	505	0,602

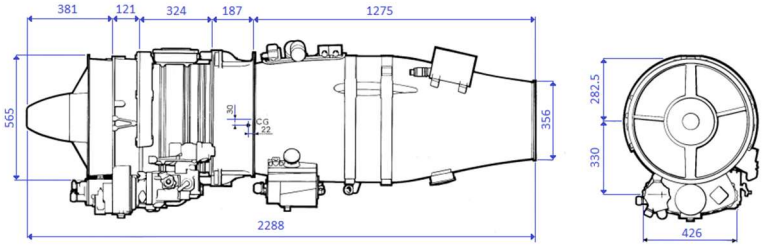
Potentiel. Au niveau de la maintenance, la durée initiale d'utilisation entre deux révisions fixée à 150 heures lors de la mise en service a été successivement portée à 350 h en 1968, puis 600 h, 700 h et 1 000 h pour finir. Le potentiel s'entend par la durée d'utilisation entre deux révisions sans vérification des parties chaudes dont l'examen nécessiterait un démontage partiel de la machine.

Turboméca Aubisque 1A – Vue côté gauche

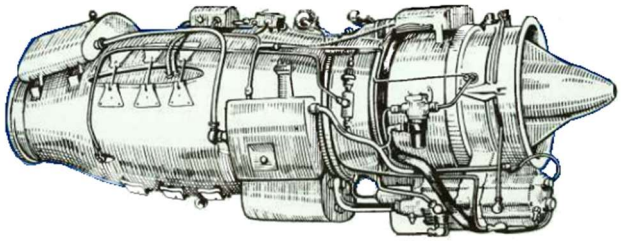


Coupe interne Ensemble tournant. 1 Commande des volets 2. Réducteur 3. Palier intermédiaire 4. Palier arrière

Commandes et contrôles. La conduite et la surveillance de chaque réacteur est assurée par : une manette des gaz réglant la vitesse de la turbine et commandant la position des volets, un commutateur " Démarrage-Ventilation ", un commutateur " Sol-Vol ", un bouton de mise en route, un voyant vert " démarrage ", un voyant rouge " Blocage ", un indicateur de température huile, un voyant de baisse de pression d'huile, un indicateur de vitesse de rotation, un indicateur de température tuyère, trois interrupteurs de mise sous tension / coupure des trois circuits de dégivrage de l'entrée d'air (bras et volets).



Turboméca Aubisque 1A – Encombrement



Turboméca Aubisque 1A

Régulation.

Au moment de sa conception, en 1961, le système de régulation de type hydromécanique de l'Aubisque est relativement simple mais au fil des essais en vol, il devient le plus complexe jamais réalisé chez le motoriste suite à l'ajout de multiples fonctions supplémentaires.

Le pilotage de l'Aubisque se fait par l'intermédiaire d'un vérin de commande des volets piloté d'une part par la manette de puissance au travers du limiteur d'accélération (et accessoirement du bloqueur) et d'autre part par le limiteur de charge thermique. L'évolution de la position des volets qui en résulte entraine le fonctionnement du régulateur qui maintient constante la vitesse de rotation du moteur. Autour de ce dispositif gravitent plusieurs fonctions annexes comme des amortissements ou des limites minimales ou maximales.

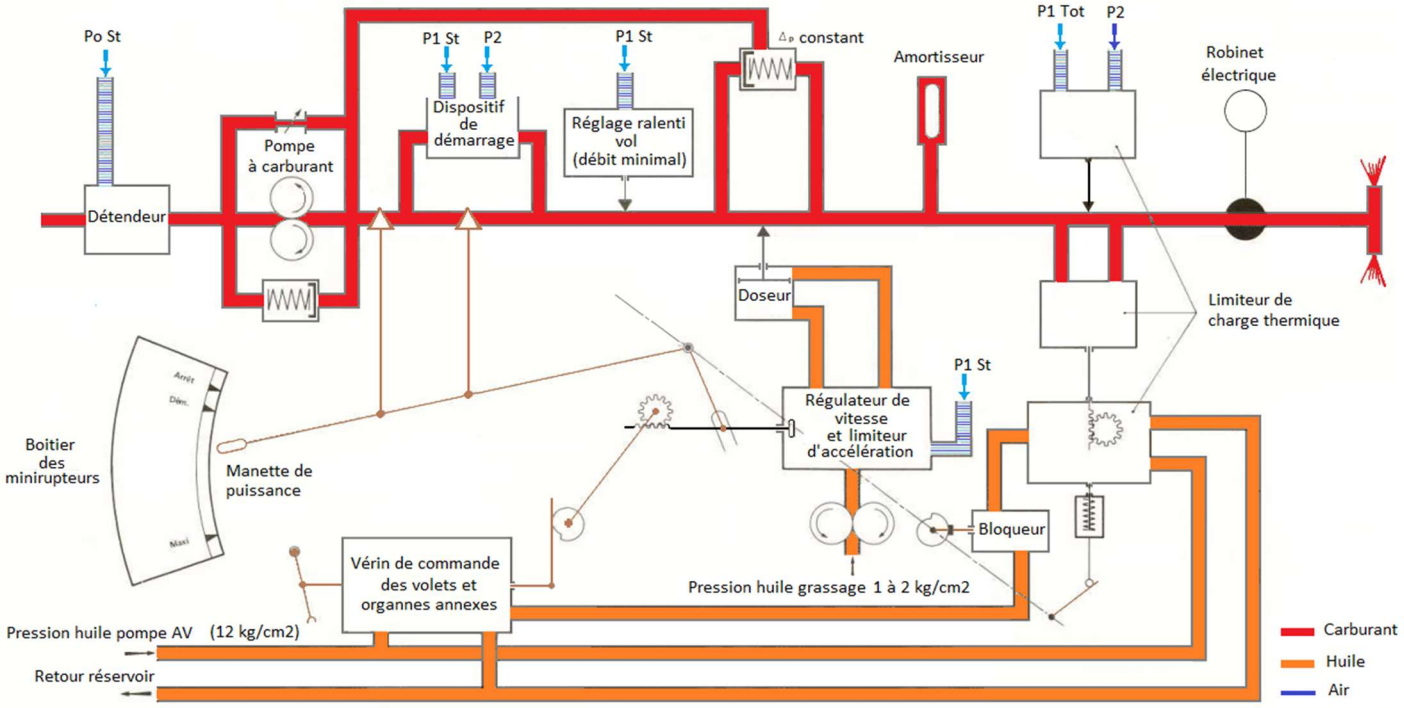


Schéma du système de régulation hydromécanique de l'Aubisque 1A.

Le carburant destiné au moteur traverse successivement : le détendeur, la pompe à carburant, le robinet d'arrêt, le robinet de débit, le clapet de débit mini, le doseur, le filtre puis le détecteur de P2-P1 du limiteur de charge thermique, le robinet électrique. Il est ensuite envoyé vers le tube à carburant et la roue d'injection.

Les 36 premiers moteurs de série livrés à l'avionneur, à partir de 1965, sont du type Aubisque 1 (RM-9A) fournissant une poussée de 700 kg. Par la suite, ils sont tous rétrofités au standard 1A (RM-9B) qui se différencie principalement du type 1 (RM-9A) par le matériau des aubes de turbines, une longueur, un débit d'air et une masse, très légèrement accrus. Au total, 374 exemplaires sont livrés à la Suède.

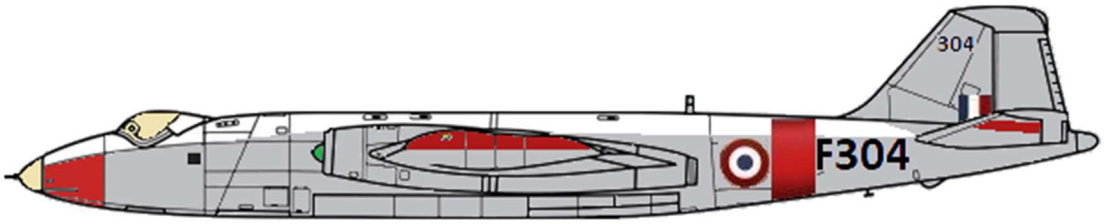
Un an après la mise en service du SAAB 105, en mars 1968, Turboméca a proposé une version améliorée du moteur dénommée Aubisque 6 portant sur une augmentation de la température d'entrée turbine (TET). Totalement interchangeable et de masse quasiment identique, l'Aubisque 6 délivre une poussée de 824 daN (840 kg) avec une consommation spécifique légèrement supérieure. La proposition du motoriste n'est pas retenue.

Il en est de même, dix ans plus tard avec la proposition de Turboméca de remotorisation avec le moteur Larzac 04 qui convient à la fois au niveau performances et dimensions. Des maquettages ont même été réalisés en Suède pour vérifier l'avionnage du réacteur double corps double flux.

Le banc d'essais volant English Electric Canberra B.6 n° 304 (F-ZLAL)

Pour mener à bien la mise au point du réacteur, Turboméca fait appel à la Compagnie Générale des Turbo-Machines (CGTM), une filiale commune à Turboméca et Hispano-Suiza créée en 1956 et opérant alors à partir de Marignane. L'appareil choisit est un bombardier léger triplace biréacteur, l'English Electric Canberra B.6 ° 304 précédemment utilisé comme avion de servitudes. Acquis par le Centre d'Essais en Vol (CEV), en août 1955, il présente comme avantages d'avoir une grande autonomie (1 300 km), d'avoir un large volume disponible pour les installations d'essais et d'enregistrement, de monter à 15 000 mètres d'altitude et d'accueillir trois membres d'équipage assis sur des sièges éjectables : un pilote, un ingénieur et un expérimentateur. De plus, ayant été précédemment été utilisé par l'Arsenal pour la mise au point du statoréacteur Ars 600 puis du turboréacteur avec postcombustion Turboméca Gabizo de 1 100 kgp, il dispose d'un dispositif d'escamotage du réacteur dans la soute à bombes ventrale.

Le Canberra B.6 ° 304 s'est illustré en mai 1957 en battant le record d'altitude français de 53 400 ft (16 287 m) sans équipement particulier comme le port des combinaisons haute altitude pressurisées.

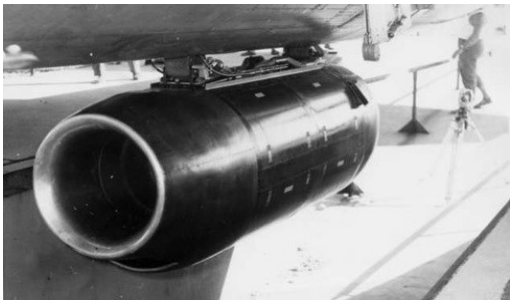


Electric Canberra Mk 6 ° 304 (F-ZLAL). Il est recouvert d'une livrée couleur aluminium naturel excepté le dessus de fuselage peint en blanc et de panneaux anticollision auto-adhésifs fluorescents de couleur rouge orange apposés autour de la pointe avant, sur les extrémités de voilure et les parties centrales fixes du plan horizontal de profondeur.

Au cours des années 1950, pour assurer les essais de statoréacteurs et de réacteurs, la Société Nationale de Construction Aéronautique du Nord (SNCAN) installe dans la soute à bombe ventrale du Canberra un système hydraulique permettant de rentrer et de sortir le moteur à essayer. En cas de non fonctionnement du dispositif (en effet l'avion ne peut pas se poser avec le moteur en test sorti), un dispositif par boulons pyrotechniques assure le largage du moteur.

Au sol, l'inconvénient majeur du Canberra vient de sa position basse sur son train d'atterrissage. Aussi il est placé au-dessus d'une fosse (une excavation de largeur inférieure à celle du train d'atterrissage et de longueur suffisante), la nacelle rétractable placée en position basse permet aux techniciens de travailler aisément sur le moteur.

English Electric Canberra B Mk 6 ° 304 F-ZLAL avec sa nacelle rétractable *(Photo collection Ph. Ricco)*

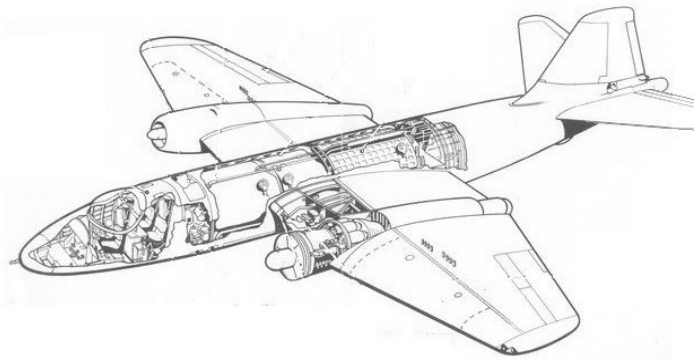


Aubisque 1 hors de la soute à bombe ventrale *(Photo collection Ph. Ricco)*

Menés entre août 1962 et novembre 1966 et totalisant plus de 227 heures, les essais en vol de l'Aubisque 1 sont très laborieux en raison des problèmes du système de régulation hydromécanique et du dispositif d'antigivrage de l'entrée d'air et qui ne seront réglés qu'en novembre 1966.

Tout le domaine de vol du réacteur (jusqu'à 12 000 mètres) est exploré puis les essais de mise au point sont poursuivis parallèlement en Suède sur le SAAB 105 et, partiellement, en France à Pau, en mars 1966, où l'un des prototypes mène une campagne avec les moteurs définitifs.

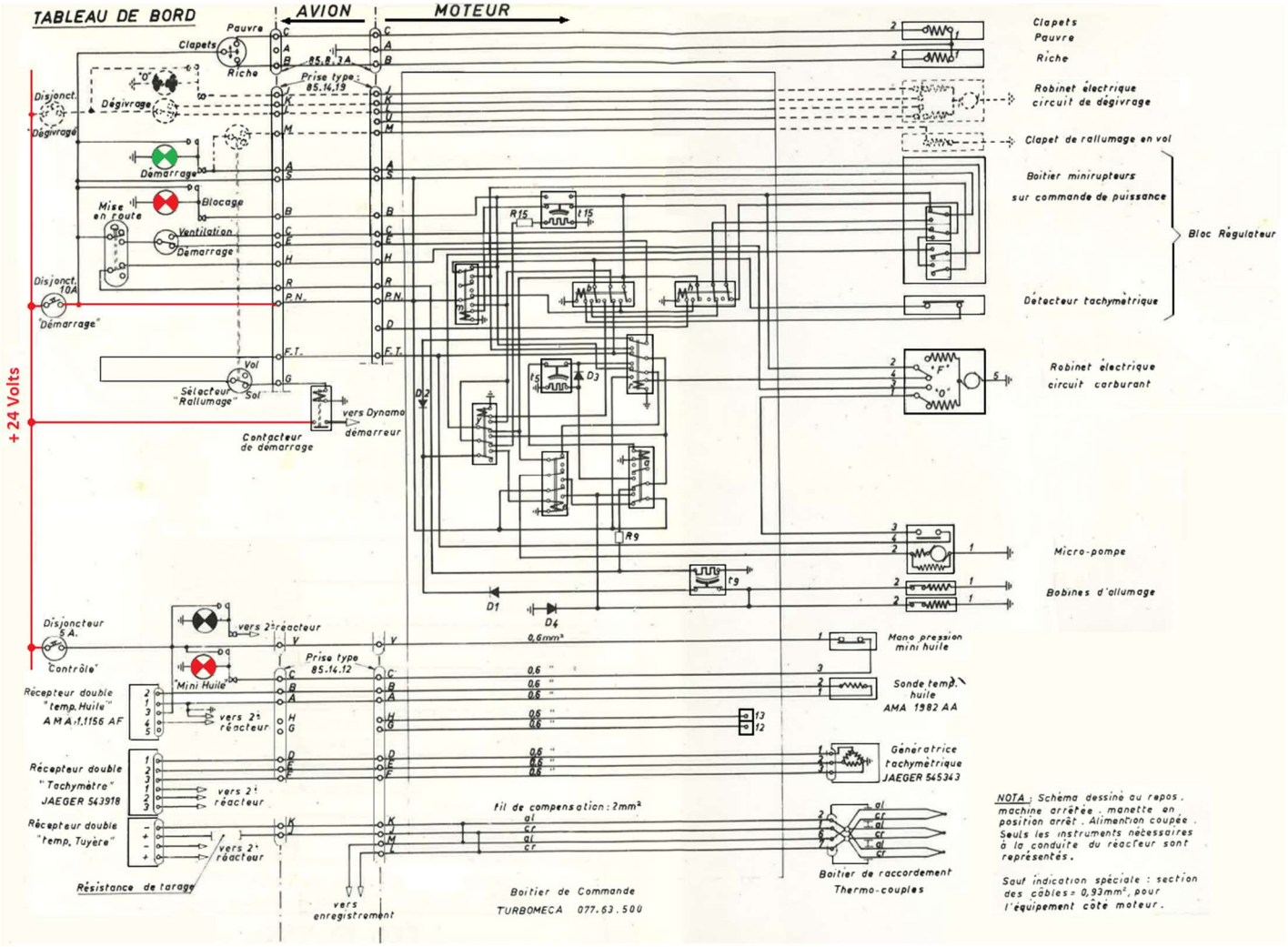
Le Canberra 304 rejoint par la suite le CEV où il est doté d'un radar Cyrano II. Il fait son dernier vol à Brétigny-sur-Orge, en juillet 1972, après avoir accumulé 1 133 h 10 de vol. Réformé en septembre 1974, il termine sa carrière sur le champ de tir de Cazaux pour servir de cible de vol au sol.



English Electric Canberra Mk 6 (© DR)

Caractéristiques

Motorisation : 2 Rolls-Royce RA-7 Avon Mk 109 de 36 kN
Envergure : 19.51 m
Longueur hors tout : 19.96 m
Hauteur : 4.77 m
Masse à vide : 9 820 kg
Masse au décollage : 25 000 kg
Surface alaire : 89.19 m^2
Plafond : 15 000 m
Autonomie : 1 300 km
Vitesse maxi : 930 km/h à 12 200 m



Installation propulsive : schéma électrique avion/moteur

Le biréacteur léger polyvalent SAAB 105 (Sk 60)

Développé par la société aéronautique suédoise Svenska Aeroplan Aktiebolag (SAAB) sur ses fonds propres en vue de fournir à un certain nombre d'utilisateurs, civils ou militaires, un biréacteur d'entrainement léger, le SAAB 105 fut conçu au cours de l'année 1959. Les difficultés auxquelles se heurta le constructeur pour trouver un moteur adapté (**1**) retardèrent cependant jusqu'au 29 juin 1963 le vol inaugural d'un des deux prototypes réalisés (SE 501).

Doté en série d'une paire de Turboméca Aubisque 1A (RM-9B) d'une poussée unitaire de 742 kg, l'appareil se présente comme un monoplan à aile haute en flèche à 12,5° avec un dièdre négatif à 6° et qui dispose d'un

empennage en T. Sa construction est entièrement métallique et ses commandes hydrauliques. Outre le train d'atterrissage tricycle escamotable avec des jambes courtes, l'avion comporte deux réacteurs installés sur chaque côté du fuselage, les deux membres d'équipage prenant place, côte à côte sur des sièges éjectables légers, dans un cockpit pressurisé.

Les réacteurs double flux Aubisque 1A plaqués sur les côtés du fuselage qui délivrent chacun une poussée statique maximale au niveau de la mer de 742 kg, ont des entrées d'air et des tuyères courtes assurant une efficacité maximale ; leur proximité de l'axe du fuselage minimise les effets des forces asymétriques dans le cas d'un moteur hors service. Leur taux de dilution relativement élevé de 2,1 entraîne une consommation de carburant spécifique à une poussée statique maximale de seulement 0,615 kg/kg/h, et la capacité totale de carburant de 1 400 litres offre une autonomie de 3 heures 55 minutes. Chaque moteur possède son propre circuit carburant qui peut être interconnectées ainsi qu'une réserve de carburant assurant le vol dos pendant une durée de 15 secondes.

Utilisables à travers la verrière, le domaine d'emploi des sièges éjectables est le suivant : hauteur minimale d'éjection, 90 m (300 ft), vitesse minimale, 158 km/h (86 kt), vitesse maximale d'éjection, 920 km/h (500 kt) en vol en palier.

A la suite d'essais intensifs et concluants menés par les deux prototypes la Flygvapnet passe commande au début de l'année 1964 de 130 machines, le marché étant finalement porté à 150 exemplaires. Toutefois deux modifications importantes sont apportées à l'installation propulsive : le redessinage des entrées d'air et des écopes de ventilation des nacelles réacteurs générant la retouche de l'intrados de l'emplanture des ailes.

Près de deux ans après le début des essais en vol, en 1965, les deux prototypes du SAAB 105 (SE 501 et SE 502) totalisent 1000 sorties et 750 heures de vol.

SAAB 105 - Flottilj F5 Ljungbyhed (© DR). Grâce aux quatre portes d'accès à ouvertures rapides, la majorité des principaux organes et accessoires du moteur est accessible, ce qui permet un entretien facile au niveau du sol.

Poste de pilotage (© DR)

Cinq versions sont produites pour l'armée de l'air suédoise. La première, le Sk.60A d'entrainement et de liaison, quitte le sol pour la première fois le 29 août 1965, le Sk 60.B qui lui succède est un avion d'attaque d'objectifs terrestres et navals avec une capacité d'emport de 700 kg sous six points d'emport alaires (bombes et roquettes) ; quant au Sk 60.C au nez allongé et anguleux, dont le premier vol date de juin 1967, il s'agit d'un appareil destiné à la reconnaissance à l'aide de caméras panoramiques. Ils sont suivis du Sk 60D une version de liaison quadriplace et du Sk 60E similaire, mais avec 4 sièges simples remplaçant les 2 sièges éjectables et comportant une instrumentation de bord commerciale.

Etudié spécialement pour faciliter sa maintenance, le SAAB 105 est utilisé pour la formation des pilotes, l'attaque au sol et la reconnaissance, le transport léger et le remorquage de cibles.

Flottilj F5

Flottilj F16
" Upplands Flygflottilj "

Flottilj F18
" Södertörns Flygflottilj "

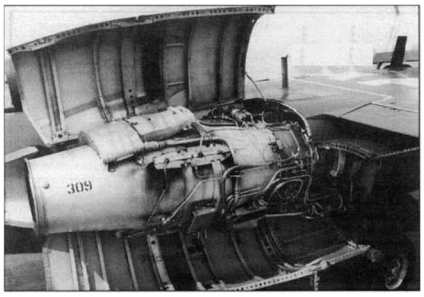
Flottilj F20
" Flygkadettskolan "

Flottilj F21
" Norrbottens Flygflottilj "

Mis en service opérationnel en juillet 1967, au total, cinq escadres (Flottilj) sont successivement équipées : F5 à Ljungbyhed, F20 à Uppsala, F21 à Luleå-Kallax, les F16 et F18 à Tullinge ainsi que la patrouille acrobatique " Team 60 " (avec une dotation de six appareils).

En termes de performances, le SAAB 105 a une vitesse maximale de croisière de Mach 0,67 (soit environ 828 km/h) et une vitesse de décrochage de 139 km/h. Son plafond pratique est de 12 700 mètres et son autonomie maximale de 1 800 kilomètres. En cas d'extinction d'un moteur au cours du décollage le second moteur assure la poursuite du vol. L'approche monomoteur est sans problème compte tenu de la faible trainée de l'appareil. La structure, l'alimentation en carburant et la lubrification sont dimensionnés pour supporter un facteur de charge positif de 7,3 g et de - 3 g en négatif.

SAAB 105 – Accessibilité aux réacteurs Aubisque 1A (© DR)



Portes d'accès réacteurs (© DR)

Avionnage.

Les deux réacteurs sont montés latéralement sur les flancs du fuselage et accessibles au moyen de trois portes ouvrantes et démontables. Le montage sur la cellule est assuré à l'avant, par trois points de fixation, et à l'arrière, par une double chape constituant les points de fixations principaux.

Les opérations de dépose et de repose de chaque moteur s'effectuent verticalement par hissage par trois techniciens en moins de 40 minutes. La méthode employée ne nécessite aucune mise à niveau de l'avion.

Dépose réacteur Aubisque 1A (© Saab)

Taux d'attrition. Mis à part la perte du premier prototype (immatriculé SE 501) consécutif à une perte de contrôle, en juin 1966, lors d'essais de vrilles inversées - le pilote s'éjectant en toute sécurité -, plusieurs appareils ont été perdus par accident.

En trente ans d'activité opérationnelle avec les moteurs Turboméca, l'Armée de l'air suédoise a dénombré, 14 accidents sur une flotte de 150 appareils, soit un taux d'attrition de l'ordre de 9,1%. Sur ce nombre, l'un provient d'une erreur technique (vis desserrée a bloqué l'empennage horizontal), l'autre d'une collision avec le sol ; quatre crashs sont liés au vol à basse altitude et cinq dues à des actions ou erreurs de pilotage.

Deux incidents majeurs sont directement imputables aux Aubisque 1A. L'un de ces deux résulte d'une explosion de la turbine du moteur droit ; la partie arrière du fuselage est sévèrement endommagée et l'empennage horizontal impacté, malgré tout l'équipage réussi à atterrir. En raison de ses dommages, l'avion est irréparable et réformé.

Par ailleurs, environ 10 incidents/événements majeurs, mais sans entrainer la perte d'un avion, ont entrainés divers dommages à l'aéronef, comme des collisions aviaires.

SAAB 105 (© DR)

Caractéristiques SAAB 105

Motorisation : 2 Turboméca Aubisque 1A de 742 kgp
Envergure : 9.50 m
Longueur : 10.80 m
Hauteur : 2.70 m
Masse à vide : 2 782 kg - Masse au décollage : 4 845 kg
Surface alaire : 16.30 m^2
Plafond pratique : 12 700 m (41 700 ft)
Autonomie : 1 800 km
Vitesse de croisière maximale continue : 770 km/h (420 kt)
Vitesse de croisière normale : 620 km/h (335 kt)
Vitesse minimale : 158 km/h (86 kt)

Au terme de trois décennies d'activité opérationnelle, les Saab 105 de la Flygvapnet ont accumulé près de 500 000 heures de vol soit 1 million d'heures de fonctionnement pour les moteurs Aubisque 1.

Remotorisation. Au début des années 1990, l'avionneur suédois a lancé des études approfondies pour trouver un remplaçant au RM-9 Aubisque. La remotorisation portait sur les versions d'entraînement (masse au décollage 4024 kg) et d'attaque (masse au décollage 6 500 – 7 000 kg) avec un nouveau réacteur double flux. L'étude comprenait les moteurs Snecma/Turboméca Larzac 04 C6, General Electric J85-17B, Turboméca Aubisque RM9-B, Garrett TFE-109 et Williams FJ44 pour les avions d'entraînement et d'attaque. Trop ancien et bruyant et avec une consommation de carburant élevée, le GE J85-17B de type simple corps simple flux a été rapidement écarté.

Le rapport masse sur poussée au décollage a été l'un des paramètres les plus importants pour comparer les performances de l'avion pour différents moteurs (voir le tableau ci-après).

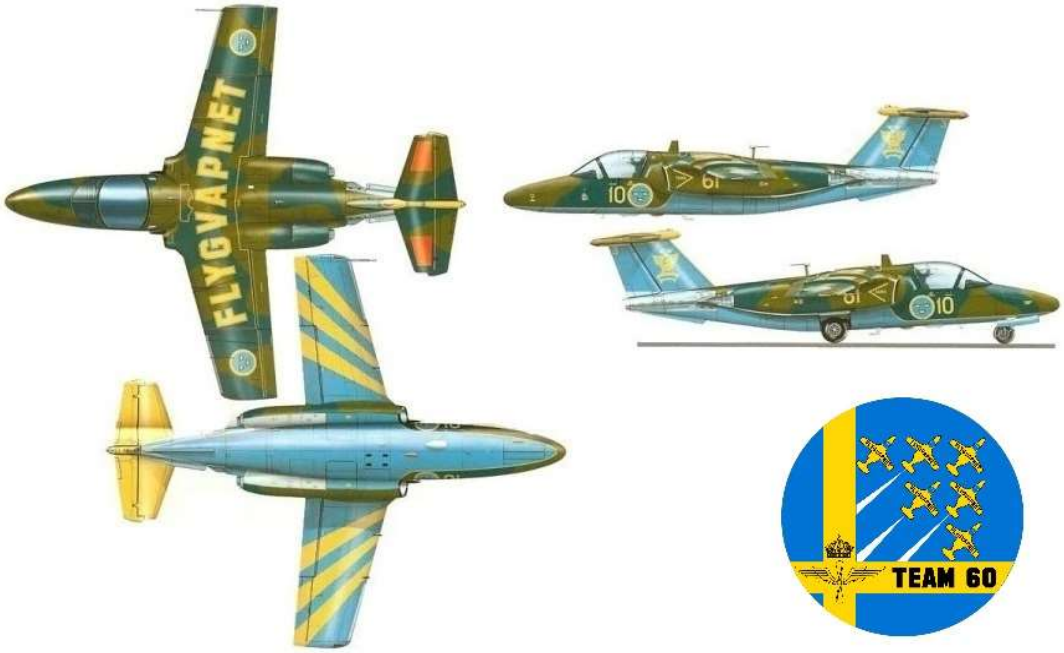
Moteur	Poussée (kN)	Poussée (kp)	Taux d'accroissement de la poussée (%)	Masse avion au décollage (kg)	Rapport Poussée/Masse au décollage	Masse moteur (kg)
Aubisque RM9-A	13,8	2 x 703		4 024	0,349	2 x 290
Aubisque RM9-B	14,56	2 x 742	5,5	4 024	0,369	2 x 292
Garret TFE-109-3	14,3	2 x 729	3,6	4 024	0,362	2 x 182
Williams FJ44-1C (RM15)	16,9	2 x 861	22,4	6 500	0,265	2 x 209
General Electric GE J85-17B	25,7	2 x 1 310	86,2	6 500	0,403	2 x 230
Larzac 04-C6	26,4	2 x 1 346	91,3	6 500	0,414	2 x 295

Masse avion au décollage : pour les avions d'entrainement, 4 024 kg et d'attaque, 6 500 kg.

Patrouille acrobatique " Team 60 ". En 1967, l'armée de l'air suédoise créé une patrouille acrobatique de démonstration non officielle de quatre appareils, " the Vikings ", qui se produit au salon international de l'aéronautique et de l'espace du Bourget, afin de promouvoir l'appareil à l'étranger.

En 1974, le chef d'Etat major de l'armée de l'air suédoise signe une note pour créer officiellement une équipe de voltige aérienne dotée de quatre avions SAAB 105. Le nom de la patrouille " Team 60 " étant une combinaison de la désignation locale de l'avion SK 60 et du mot " équipe ". La patrouille fait partie de l'école centrale de pilotage de l'armée de l'air implantée sur la base aérienne de Ljungbyhed, dans le sud de la Suède.

L'année suivante, deux autres avions s'ajoutent à la patrouille acrobatique " Team 60 ". La première démonstration publique de la nouvelle équipe suédoise a lieu en mai 1976 à Göteborg.



SAAB 105 aux couleurs de la patrouille nationale " Team 60 " (© DR)

À l'origine, tous les avions sont peints en camouflage standard (aluminium fini naturel) et équipés de générateurs de fumée blanche pour permettre au public de mieux matérialiser les trajectoires. Quelques années plus tard, le schéma de peinture est modifié et la surface inférieure du fuselage et des ailes a été peinte en jaune et bleu national et deux containers de fumée ont été installées sur les ailes.

Au cours de sa carrière, le " Team 60 " a participé à de nombreux meetings aériens, mais uniquement en Europe. La patrouille n'a connu qu'un seul incident, en juin 1994, avec une collision en vol ayant endommagé les empennages horizontaux et verticaux d'un des appareils. De retour à la base, l'avion est réparé.

Quelques saisons se sont déroulées sans aucune démonstration : au cours des années 1989 et 1990 par manque de pilotes et, en 1999, du fait des problèmes liés aux nouveaux moteurs Williams-Rolls FJ44-1C. En outre, le Team 60 a été forcé de réduire son parc d'aéronefs pendant quelques années, surtout à cause de la pénurie de pilotes. Enfin, lors de la saison 2008, la patrouille acrobatique a été temporairement dissoute en raison de difficultés financières de l'armée de l'air suédoise.

Un spectacle aérien type ou " ruban " dure 16 minutes. Il commence par diverses formations - la pyramide, le cerf-volant et le cygne - avec les six avions. À mi-programme, le spectacle se poursuit avec un bloc de quatre appareils tandis que les deux autres comblent la démonstration avec diverses figures de voltige. En fin de programme tous les avions se rejoignent pour effectuer une séparation dans le plan horizontal. En fonction des conditions météo dégradées - faible couverture nuageuse et/ou une mauvaise visibilité - deux types de présentations dans le plan horizontal sont exécutées par les six avions à basse altitude.

SAAB 105 second prototype (immatriculation civile SE 502). Volant pour la première fois 17 juin 1964, l'appareil connait une longue carrière de 28 ans. En 1967, il est modifié comme SAAB 105XT (Export Demonstrator) et réimmatriculé SE-XBZ. Depuis son retrait du service, en 1992, il est exposé au musée de l'automobile et de l'aviation de Svedino, Ugglarp. (© DR)

(1) Le SAAB 105 était à l'origine prévu pour être équipé de deux réacteurs Marboré VI de 480 kgp, mais l'avionneur suédois demanda plus de poussée que ce moteur ne pouvait en fournir, Turboméca proposa l'Aubisque 1.

Etapes clefs turboréacteur Aubisque 1

1961 Début des études du turboréacteur Turboméca Aubisque 1

1962 Juin - Première rotation au banc, à Bordes

1962 Août - Début des campagnes d'essais en vol de l'Aubisque 1, à Istres, sur le biréacteur English Electric Canberra Mk 6 n° 304

1963 Juin - Livraison de quatre moteurs prototypes Aubisque 1 (RM-9A) délivrant une poussée de 700 kg ; premier vol du premier prototype (SE-XBY immatriculé SE 501) du biréacteur léger polyvalent SAAB 105, le 29 juin 1963, aux mains du pilote d'essais Karl-Erik Fernberg avec une paire d'Aubisque 1

1964 Commande de 150 SAAB 105 (Sk 60, Skol entrainement) par la force aérienne suédoise *(Svensk Flygvapnet)*. Premier vol du second prototype (SE-XBZ immatriculé SE 502) du SAAB 105, le 17 juin 1964.

1965 Avril – Franchissement du cap des 1000 sorties et 750 heures de vol des deux prototypes.

1965 Août - Premier vol du SAAB 105 tête de série avec deux réacteurs Aubisque 1 de 700 kgp.

1966 Avril - Homologation par les Services Officiels Français de l'Aubisque 1A (RM-9B) à la poussée de 742 kg, le 8 avril 1966.

1966 Novembre - Fin des campagnes d'essais en vol du réacteur sur l'English Electric Canberra Mk 6 n° 304

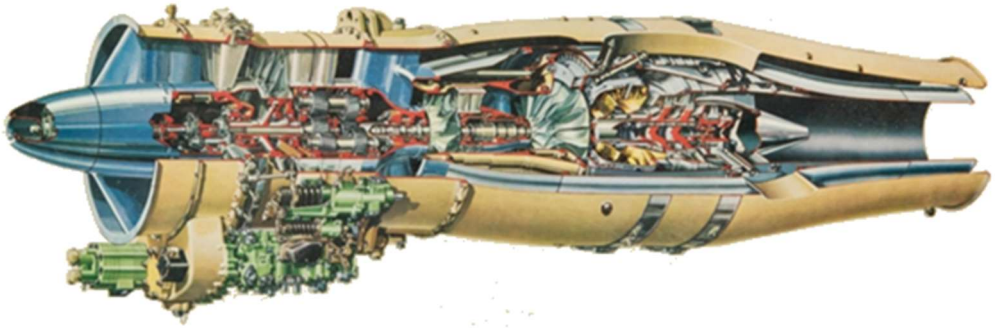
1967 Juillet - Mise en service opérationnelle du SAAB 105 avec une paire d'Aubisque 1 A (RM-9B) de 742 kgp

1969 Livraison du 150ème et dernier exemplaire du SAAB 105 (Sk 60)

1975 Décembre - Franchissement du cap des 144 000 heures de vol des SAAB 105 de la force aérienne suédoise.

1998 / 1999 Remplacement des moteurs Aubisque 1A par des moteurs américains double corps double flux Williams-International FJ-44 1A de 862 kgp sur 106 SAAB 105.

1999 – Près de 500 000 heures de vol ont été réalisés par les SAAB 105 de la force aérienne suédoise.



Turboméca Aubisque 1A – Ecorché couleur (1966) (© Turboméca)

Remerciements : L'auteur souhaite vivement remercier les différentes personnes qui l'ont aidé à réaliser cet article et en particulier : Mr Charles Claveau de l'Association des Amis du Patrimoine Historique Turboméca (AAPHT) qui a répondu favorablement à mes demandes, Mr *Philippe Ricco, Christian Faure, Régis Ligonnet, Jean-Claude Fayer,* Francis *Bedei,* Tord Jonsson, Saab's Historical Archives. Saab's Veteran Club.

Ouvrages et documents consultés : L'Atar et tous les autres moteurs à réaction français – Alfred Bodemer et Robert Laugier – Editions J.D. REDER (1996), Documentation Turboméca. Archives Musée Safran de Melun-Villaroche. Aviation Safety Network

Photographies : sauf mention contraire toutes les photographies sont extraites des Archives de l'Association des Amis du Patrimoine Historique Turboméca (AAPHT)

La famille du moteur General Electric GE F404

" Un bon moteur, c'est un moteur qu'on oublie. " Un pilote de l'US Navy

A l'instar du General Electric GE J-79 construit à plus de 17 000 exemplaires pendant trente ans et ayant équipé cinq avions de combat américains : les monoréacteurs Lockheed F-104 " Starfighter " et Israël Aircraft Industries IAI " Kfir ", les biréacteurs Mc Donnell-Douglas F-4 Phantom II et North American A-5 " Vigilante ", le bombardier quadriréacteur Convair B-58 " Hustler ", le F404 est une incontestable réussite technique du motoriste. De type double corps/double flux à très faible taux de dilution, le F404 qui est directement dérivé du moteur YJ-101-GE-100 a été décliné en plusieurs versions militaires de différents niveaux de poussée, avec et sans postcombustion, mais aussi le moteur civil expérimental à soufflante non-carénée (UDF) GE-36 et la turbine industrielle LM1600.

Le General Electric GE YJ-101

Etudié à partir de 1969, le réacteur YJ-101-GE-100 (ou GE-15) est un réacteur expérimental qui commence ses essais au banc en juillet 1972 comme remplaçant du J-79. Il est proposé originellement pour équiper le biréacteur léger multirôle Northrop YF-17 " Cobra ", capable d'effectuer des missions d'attaque au sol aussi bien que d'assurer la supériorité aérienne. L'appareil se caractérise par ses deux entrées d'air ventrales, ses deux dérives de grande taille montées très à l'arrière et une voilure haute offrant une flèche modérée (30°) prolongée vers l'avant par une surface cambrée ou apex avec pièges à couche limite.

Au terme d'une compétition de l'US Air Force pour un avion de combat léger, le YF-17 est éliminé contre le YF-16. Prévue initialement sur une période de douze mois, la compétition est réduite de moitié. Malgré son élimination, le YF-17 réalise des performances remarquables avec notamment l'élimination de tout risque de décrochage des compresseurs. Conçu pour pouvoir évoluer jusqu'à l'incidence de 45°, le YF-17 a volé jusqu'à 63° sans manifester de tendance au décrochage. Qui plus est, il s'est bien comporté dans une configuration de vol comprenant à la fois une incidence de 40° et un angle de dérapage de 36°. Sans postcombustion, le bimoteur dépassait Mach 1, et en l'utilisant, il volait à deux fois la vitesse du son. Seul défaut la quantité interne de carburant.

Originellement destiné aux bimoteurs de combat, le moteur double corps double flux YJ-101 a été conçu autour de trois critères principaux : légèreté, gamme de puissance moyenne (4 300 kgp en sec et 6 532 kgp avec rechauffe), production plus économique. Trois autres exigences essentielles concernent sa modularité (7 modules), sa fiabilité (taux d'arrêt en vol) et sa pilotabilité c'est-à-dire l'absence de décrochage dans tout le domaine de vol et la possibilité d'effectuer des mouvements illimités de la manette des gaz entre le ralenti et la pleine postcombustion. Faciles à entretenir, les YJ-101 ne dégagent aucune fumée. Bien que de type double flux, pour des raisons commerciales et pour souligner sa simplicité, le propulseur a été désigné " J " (jet) et non pas " F " (fan).

Northrop YF-17 (© DR). Le Northrop YF-17 est un prototype d'avion de combat construit à deux exemplaires dans le cadre du programme américain *Light Weight Fighter*, au début des années 1970. Candidat malheureux à cette compétition, il a été retenu par l'US Navy et a donné naissance au F/A-18 " Hornet " (Frelon).

Caractéristiques

Motorisation : 2 GE YJ-101 de 67 kN
Envergure : 10.50 m
Longueur : 17 m
Hauteur : 5 m
Masse à vide : 10 400 kg
Masse maximale : 19 454 kg
Surface alaire : 32 m^2
Plafond : 15 000 m
Autonomie : 4 810 km
Vitesse maxi : 2 100 km/h (Mach 2)

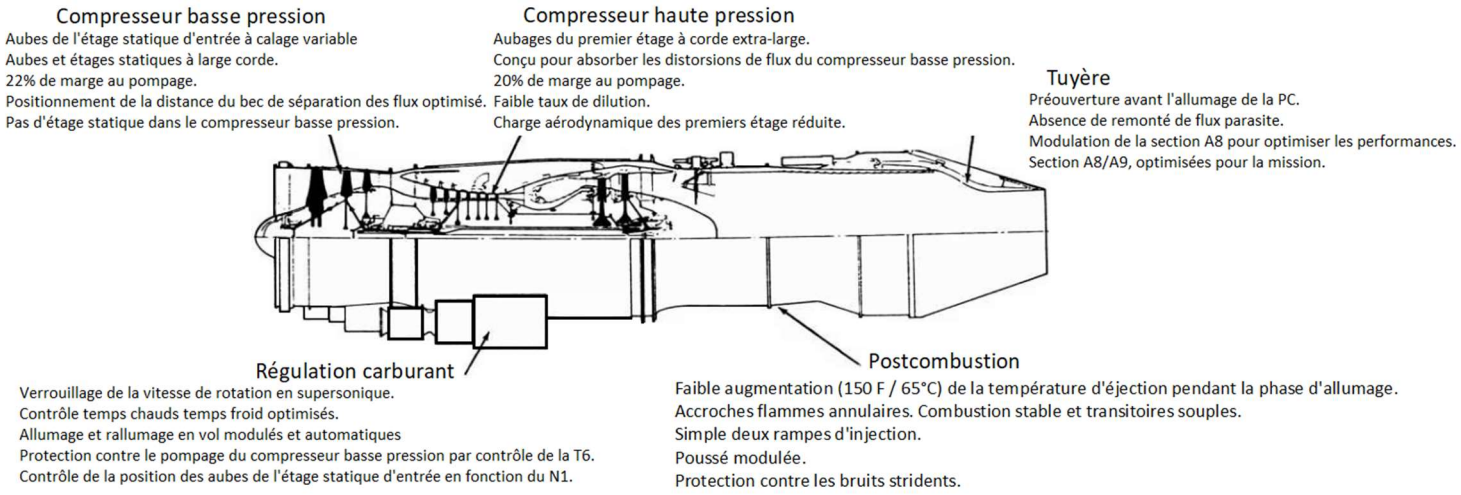
Sur le démonstrateur ont été notamment étudiés et testés : la poussée au ralenti sol, facteur de charges et manœuvres en altitude, la compatibilité électromagnétique (EM) des circuits électriques (harnais), l'emploi du carburant JP4, la distorsion dans la manche d'entrée d'air, la régulation électro-hydro-mécanique.

Faisant suite aux essais au banc, au cours du dernier trimestre 1973, une campagne d'essais a été menée au banc d'altitude de l'USAF Arnold Engineering Development Center (AEDC). Pendant 102 heures les principales caractéristiques ont été évaluées : performances en fonctionnement transitoire, étude aérodynamique du compresseur BP, transitoires de poussée, allumage et stabilité de la rechauffe, distorsion d'entrée d'air, régulation.

Comportant un tiers de pièces en moins que le General Electric GE J-79 (ce dernier comporte un compresseur de 17 étages), le nouveau moteur n'en a que 10 étages : 3 BP + 7 HP. Sept exemplaires sont installés sur les deux prototypes du biréacteur Northrop YF-17, qui effectuent en sept mois, entre juin 1974 et février 1975, 288 sorties (345 heures de vol) pour un total de 691 heures de vol moteur qui permettent d'explorer tout le domaine de vol jusqu'à Mach 2.05 à 12 500 m.

En trois années d'expérimentation, le démonstrateur YJ-101 a accumulé près de 2 455 heures de fonctionnement au banc et en vol. Par la suite, le démonstrateur YJ-101 a été utilisé dans le cadre du programme de recherche Supersonic Cruise (croisière supersonique) destiné à l'étude d'un moteur à cycle variable (VABI).

Grâce aux connaissances acquises avec le démonstrateur YJ-101, General Electric développe un moteur destiné au biréacteur embarqué Mc Donnell-Douglas F/A-18 " Hornet " retenu en 1976 par l'US Navy, sous la désignation F404-GE-400, le chiffre 400 désignant la Navy.

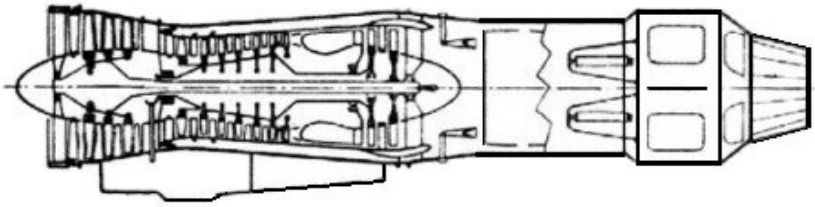


General Electric YJ-101-GE-100 – Coupe longitudinale (1975)

Caractéristiques du YJ101-GE-100

Longueur	Diamètre	Débit d'air	Taux de compression	Taux de dilution	TET	Poussée maximale à sec	Poussée maximale avec PC	Masse
3530 mm	829 mm	57,5 kg/s	21	0,20	1 300 °C	43 kN	68 kN	910 kg

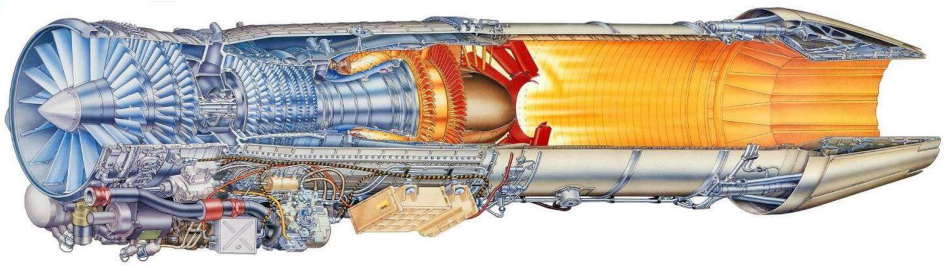
General Electric YJ-101-GE-100 – Coupe longitudinale (1972)



Le General Electric GE F404

Lancé en octobre 1975, le F404 effectue ses premières rotations au banc d'essai en janvier 1977 puis au banc d'altitude simulée cinq mois plus tard. Son premier essai en vol date du mois de juillet 1978. Les 14 moteurs dédiés au développement accumulent 9 532 heures d'essais. Homologué en juillet 1980 il entre en production en 1981.

Le F404 et ses dérivés constituent une famille de turboréacteurs avec et sans post-combustion dont les poussées s'étagent de 49 kilonewtons (kN) en sec, à 76 kilonewtons avec postcombustion. Comme son prédécesseur cinq exigences ont été définies : pilotabilité, fiabilité, maintenabilité, bac coûts d'acquisition de de soutien et un rapport, poussée sur masse, élevé.



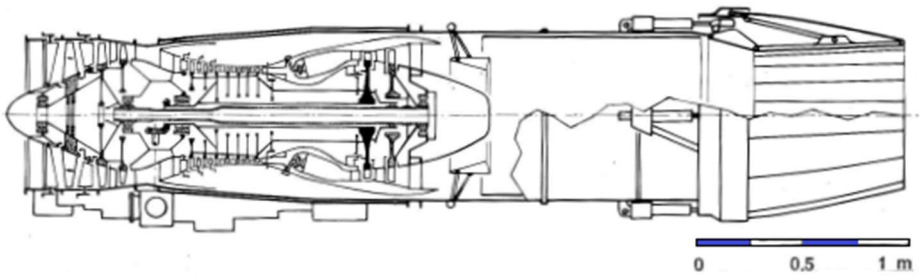
Ecorché couleur du F404 GE-400 (© DR). " Faire simple mais sur ". (© DR)

Conception. De type double corps double flux, le F404 répond à la formule :

- trois étages de compression basse pression (BP) précédés d'un étage statique d'entrée (RDE) constitué de 18 aubes dégivrées à calage variable,
- un compresseur haute pression (HP) à 7 étages pourvu de trois étages de stators à calage variable,
- une chambre de combustion annulaire mince,
- une turbine HP monoétage fortement chargée et refroidie par film d'air,
- une turbine BP monoétage,
- une tuyère multivolets convergente divergente à géométrie variable (taux de détente 3.23). Malgré le surcroit de masse et de complexité, la tuyère a été conformée pour donner la vitesse maximale possible au jet et ainsi d'obtenir la poussée maximale. Cette configuration apporte un gain de 7 à 10 % de poussée et de 4% en consommation spécifique.

Les différentes géométries variables permettent de faire varier le débit d'air en fonction des conditions de vol.

Au niveau de la régulation électronique, un calculateur (DEC ou Digital Engine Control) suspendu à l'aplomb de la turbine libère le pilote de tout souci de conduite et de sécurité. Dissociant l'alimentation électrique du DEC des circuits de l'avion le calculateur est alimenté par un alternateur autonome entrainé directement par le relais d'accessoires. Pour le reste, les actionneurs sont du type électrique et hydraulique.



Coupe longitudinale du F404 GE-400 (© DR). La navalisation du F-18 a entrainé le renforcement de l'avion pour les appontages et catapultages sur porte-avions. Cela entraine une augmentation de la masse du F-18 de 8 000 lb (3 629 kg) et une évolution de la poussée de 17 % du YJ-101, qui devient le F404 de 16 000 lb (7 257 kg).

Pilotabilité.

Au niveau de la pilotabilité, le F404 a été conçu pour améliorer l'agilité de l'avion, c'est-à-dire assurer un fonctionnement sans décrochage dans tout le domaine de vol, sans aucune restriction de mouvement de la manette des gaz. La capacité du moteur à délivrer de la poussée à des angles d'incidences élevés et à de faibles vitesses est également importante pour le F/A-18 " Hornet ".

Pour se prémunir du phénomène de pompage, le compresseur haute pression (HP), alimenté par la soufflante à trois étages, offre une marge au décrochage de 25 %, alimenté par une soufflante à trois étages. La tolérance aux effets de distorsion dans la soufflante est améliorée par l'utilisation d'aubes directrices d'entrée à géométrie variable. Celles-ci, ainsi que les stators à géométrie variable du compresseur HP, le diamètre de la section de tuyère et les débits carburants, sec et postcombustion, sont gérés par le système de régulation carburant de type hydro/électromécanique conçu de telle sorte qu'une seule manette de puissance assure le contrôle de la poussée dans toute la plage du ralenti sol à la pleine charge de postcombustion.

Trois ans après sa mise en service opérationnelle, en février 1984, le moteur dépasse tous les objectifs de fiabilité en atteignant la moitié du taux d'arrêt en vol (IFSD) spécifié soit de 0,2 pour 1000 heures de vol.

Fiabilité.

La fiabilité est un élément clef de la conception. Dans ce but, General Electric a légèrement détaré la poussée, donc la température maximale d'entrée de la turbine (TET) d'environ 50 °F (10°C). La TET est de 1 348°C. Ce point resta une constante tout au long de la conception du F404, pour preuve de son efficacité, la réalisation de tous les objectifs du test d'endurance de mission simulée (Smet). Trois moteurs de présérie ont été soumis à l'équivalent de trois ans d'utilisation réelle du F/A-18, en tenant en compte des profils de missions. Effectué en 1980, le Smet s'est avéré trois fois meilleur que les spécifications concernant la moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF) émises par l'US Navy. Lorsque le moteur a été désassemblé, ses composants se sont tous avérés réutilisables. Près de trois ans après sa mise en service opérationnelle, le F404 a dépassé les objectifs fixés du MTBF de l'ordre de 15 %.

CF-18 " Hornet " de la Royal Canadian Air Force au décollage (© DR)
Chaque moteur de 7 250 kgp affiche un taux de dilution de 0.34 et d'un rapport poussée/masse de 7.5 à 1.

Une autre priorité émise pendant la phase de conception du moteur a été les tests d'usure accélérés, dans lesquels les profils de mission Smet ont été compressés, en se concentrant sur les phases pendant lesquelles les contraintes sont les plus sévères tels que le décollage et la montée à pleine puissance. Afin que la durée de vie des pièces critiques puisse être validée, jusqu'à cinq heures de vol sont représentées par une seule heure d'essais accéléré.

Au moment où il devient mature, avec le franchissement du cap des 100 000 heures de vol, le F404 démontre des taux de retour en atelier de 1,75/1000 heures, toutes causes confondues, et de 0,42/1000 heures pour causes moteur. Les objectifs étaient respectivement de 2,0 et 0,5.

Maintenance.

Grâce à sa simplicité, rendue possible par une meilleure aérodynamique et l'amélioration des matériaux, seulement cinq roulements principaux sont nécessaires pour supporter les deux ensembles tournants du moteur. De cette simplicité, résulte également une maintenance plus facile. Le moteur est divisé en six modules principaux (soufflante, compresseur HP, chambre de combustion, turbine HP, turbine LP, postcombustion), et un module constitué de tous les équipements, le relais des accessoires. Chacun des modules structuraux peut être remplacé sans aucun rééquilibrage. La maintenance peut être effectuée que le moteur soit à l'horizontale ou à la verticale les moteurs gauche et droit sont interchangeables et l'avionnage ne requiert aucun réglage. Les éléments tels que le régulateur de carburant principal peuvent être remplacés en moins de 30 minutes.

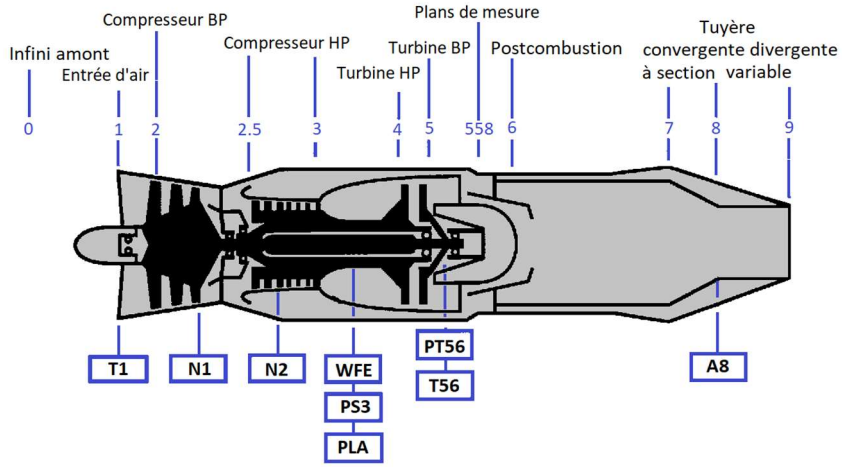
Le F404 innove avec son concept de maintenance selon état (" on condition ") : les composants sont remplacés en fonction de leur état et non à un nombre d'heures ou de cycles prédéterminés. Moteurs avionnés le concept consiste à surveiller les performances tout au long de la durée de vie du moteur. Ceci est réalisé par un système d'analyse automatique embarqué qui surveille 19 paramètres : 11 provenant du moteur et 8 de l'avion. Le signal est transmis à un calculateur programmé pour afficher toutes les pannes majeures nécessitant une action du pilote, les pannes moins urgentes étant mémorisées et affichées au personnel de maintenance de la base.

F404/RM12 - Décomposition modulaire (© General Electric)

Treize orifices endoscopiques permettent l'inspection sans désassemblage du moteur, et neuf d'entre eux sont accessibles moteur en place dans l'avion. Pour faciliter l'accès, la plupart des équipements, organes et accessoires sont regroupés en partie basse, entre les positions 16 heures et 20 heures, et aucun réglage n'est nécessaire lorsque ceux-ci sont remplacés. Les harnais électriques sont agrafables et de couleurs différentes permettant d'identifier leur fonction. Les connecteurs électriques sont de type " indesserrables ", sans emploi de fil frein, sécurisés (" scooproof ").

L'indice de maintenance du réacteur, relativement minime, est de 0,9 heure de main d'œuvre par heure de fonctionnement moteur (HMO/HDFM). Pour rappel, l'indice de maintenance d'un réacteur représente, rapporté à l'heure de de fonctionnement moteur, le coût de la main d'œuvre technique engagé aux différents échelons de maintenance. Il s'exprime en heures de main d'œuvre par heure de fonctionnement moteur (HMO/HDFM).

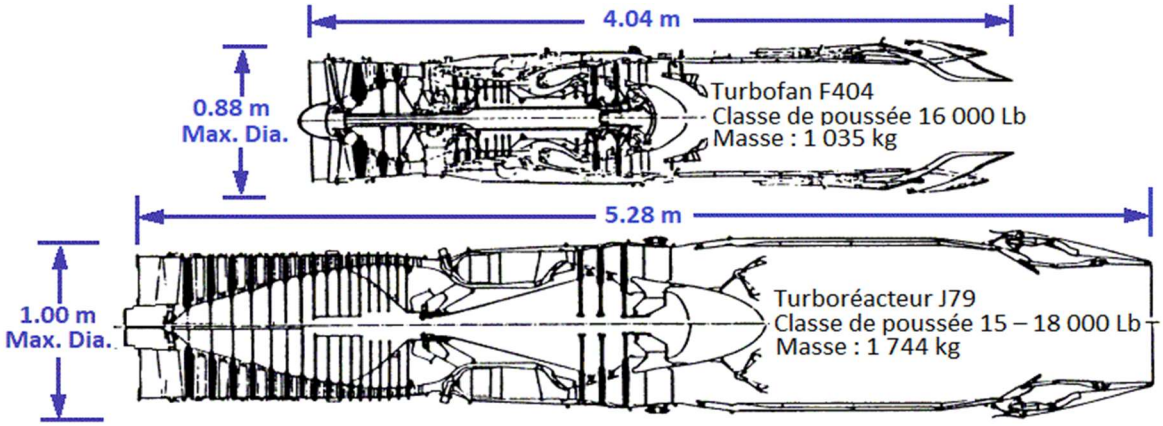
Moteur robuste et fiable, son taux de retour en atelier, pour 1000 heures, initialement de 0,42 est passé à 0,2.



F404-GE-400
Plans de mesure :
T : température,
N ; vitesse de rotation,
W : débit,
PS ; pression statique,
PT ; pression totale,
A : section,
PLA : position manette des gaz

Comparaison J79 / F404.

Moteur d'avion de combat américain mis en service au début des années 1980, le F404 comporte d'importantes améliorations des composants depuis le développement du General Electric J79 au début des années 1950. Si les deux moteurs produisent la même poussée, le F404 est deux fois moins lourd et utilise plus d'un tiers de pièces en moins lesquelles sont quatre fois plus fiables. Sa longueur est réduite d'un quart et son compresseur haute pression (HP) fait deux fois le travail du compresseur HP du J79 avec 10 étages au lieu de 17. De plus, le F404 ne produit pas de fumée et offre une meilleure plage de fonctionnement.



Le F404 est considérablement plus simple que son prédécesseur, le General Electric J79, qui est dans la même classe de poussée

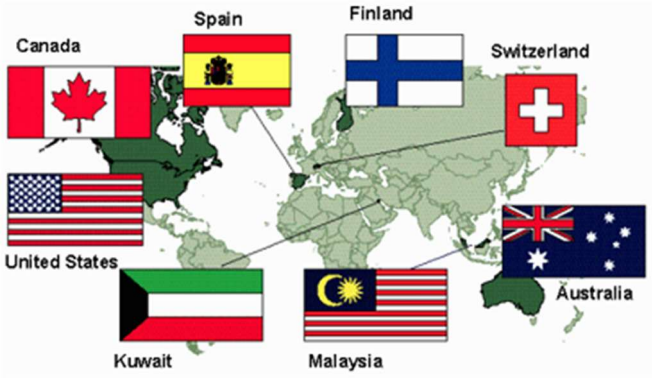
Matériaux. Pour sa construction, le moteur utilise essentiellement : pour les parties fixes (carters) des alliages de titane et d'aluminium et, pour les parties tournantes (compresseurs et turbine), des alliages de titane, et des superalliages à base nickel (René R41, R95, R125, Hastalloy) et nickel-chrome (Inconel 718).
A partir des modèles -402 et F412, les aubes de turbines sont en alliage monocristallin.

Apportant un gain de masse de 15%, les matériaux composites apparaissent à partir du F404-GE-402 pour le canal compresseur (ou carter flux froid) réalisé en graphite T300 (carbone cristallisé) pré-imprégné avec

résine polymère PMR15 ils supportent une température de 270 °C. Ce carter a remplacé les deux coques en titane usinées chimiquement. Démontrant des qualités mécaniques identiques que le métal, il conserve ses propriétés entre – 50°C et + 390°C.

Incidents. Les moteurs en service n'ont fait l'objet que de trois problèmes majeurs apparus en 1987, au bout de 1 million d'heures de fonctionnement, mais tous rapidement résolus : flambage des carters en phase de Mach élevé et en basse altitude, défaillances des aubes du rotor du compresseur causées par des vibrations aéromécaniques et des dommages causés par des corps étrangers (FOD) ou des erreurs d'assemblage en maintenance, feux de titane au niveau des carters compresseurs.

Mc Donnell Douglas F/A-18 " Hornet " – General Electric F404 (© DR)



Mc Donnell Douglas F/A-18 " Hornet " : les 8 pays utilisateurs (© DR)

Applications. Hormis les Mc Donnell Douglas F/A-18 A et B " Hornet ", la version de base F404-GE-400 a également équipé plusieurs démonstrateurs et prototypes d'avions tels que le Grumman X-29 à flèche inversée (1984 – 1992), le Rockwell-MBB X-31 pour le vol à très grande incidence (1984 – 1991), le Mc Donnell Douglas F/A-18 HARV High Alpha Research Vehicle (1987- 1996), le Dassault ACX Rafale A (1986 – 1994).

Le Grumman X-29 a été conçu pour explorer les avantages de l'aile en flèche inversée et la coordination avec des surfaces canards et d'autres technologies nouvelles. Construits en deux exemplaires à partir de deux cellules de Northrop F-5A, le premier X-29A effectue son vol inaugural le 14 décembre 1984. Un an plus tard, il devient le premier avion à ailes en flèche inversée à voler en supersonique en palier. En août 1992, date de la fin officielle du programme, les deux appareils avaient totalisés 422 vols, plus qu'aucun autre appareil expérimental américain.

Développé conjointement par les firmes Rockwell et MBB, le X-31 est un avion expérimental germano-américain destiné à étudier le gain en manœuvrabilité offert par une poussée vectorielle associée à des commandes de vol électriques permettant de garder le contrôle de l'appareil à très forte incidence. Ainsi, il a démontré un vol stabilisé à 70° d'incidence sur une durée de 40 secondes, des manœuvres de roulis à cette incidence extrême et des virages à 180° sur un rayon minimum, au-delà du décrochage.

Entre octobre 1990 et 2003, les deux exemplaires construits ont réalisé 580 vols d'essais dont 530 effectués en moins de quatre ans.

Grumman X-29 (1984 – 1992) (© DR)

Rockwell-MBB X-31 Vector (1990 - 2003) (© DR)

Pendant près de dix ans, entre avril 1987 et septembre 1996, le F/A-18 " Hornet " (BuNo 160780) sixième appareil de développement appartenant à la Nasa a été utilisé comme véhicule de recherche sur les vols stabilisés à haute incidence, entre 65 et 70 °. Dénommé HARV pour High Alpha Research Vehicle, l'avion

également connu sous le nom de " Silk Purse " (sac à main en soie) a effectué 385 vols à l'aide de palettes de déviation du jet, avec et sans postcombustion, placées autour de chaque tuyère (3 palettes par moteur).

En sept ans et demi, entre juillet 1986 et janvier 1994, le démonstrateur technologique Rafale A a effectué 867 sorties (soit 890 heures), avec le moteur F404-GE-400 dont 460 en configuration bi-F404 (430 heures et 50 mn de vol) sans aucun incident.

Lors de son vol inaugural le pilote atteint une vitesse supersonique sans l'aide de la rechauffe, va jusqu'à Mach 1,32 et " tire " 5 g. Peu après le Rafale affiche des performances brillantes : Mach 1,9 à 15 000 m et Mach 0,95 à très basse altitude, une vitesse minimale de 180 km/h ainsi que + 8 g en continu, lui conférant une manœuvrabilité exceptionnelle.

Le F404-GE-400 D : un projet sans suite. Vers le milieu des années 1980, cinq exemplaires de présérie du biréacteur d'attaque tout temps Grumman A-6F " Intruder " – également connus sous le nom de " Intruder II " – propulsés par une paire de F404-GE-400 D fournissant chacun 48 kN, furent construits. Dépourvus de postcombustion, les moteurs offrent une poussée plus élevée, une baisse de la consommation carburant, une absence d'émission de fumées et une longévité supérieure par rapport au moteur d'origine, le Pratt & Whitney J52. La Navy avait planifié l'achat de 150 exemplaires pour la décennie 1990.

Sur les 5 appareils seuls trois (BuNo 163183, 163184 et 163185) volent pour la première fois en août et en novembre 1987 et en août 1988. A ce moment-là, en plein développement, le projet A-6F est annulé en raison de l'existence du projet d'avion d'attaque furtif Advanced Tactical Aircraft (ATA) : l'aile volante McDonnell Douglas / General Dynamics A-12 " Avenger II ".

Grumman A-6F " Intruder II "
BuNo 163183 (1987) (© DR)

Les différentes versions du General Electric GE F404

Le réacteur F404 a été décliné en six grandes versions, avec et sans rechauffe, pour des avions de combat mono ou bimoteurs, américains et étrangers. Les différentes versions ont été obtenues grâce à : l'accroissement des dimensions de la soufflante et du débit d'air, augmentation de la température d'entrée turbine, l'amélioration des composants et du système de régulation, l'adaptation du moteur aux différentes missions de l'avion.

Le F404-GE-100.

Première déclinaison du réacteur développée au début des années 1980, avec et sans postcombustion, mais en version monomoteur avec une poussée 5 200 kgp en sec et 7 700 kgp avec PC, elle offre d'appréciables différences avec la version de base.

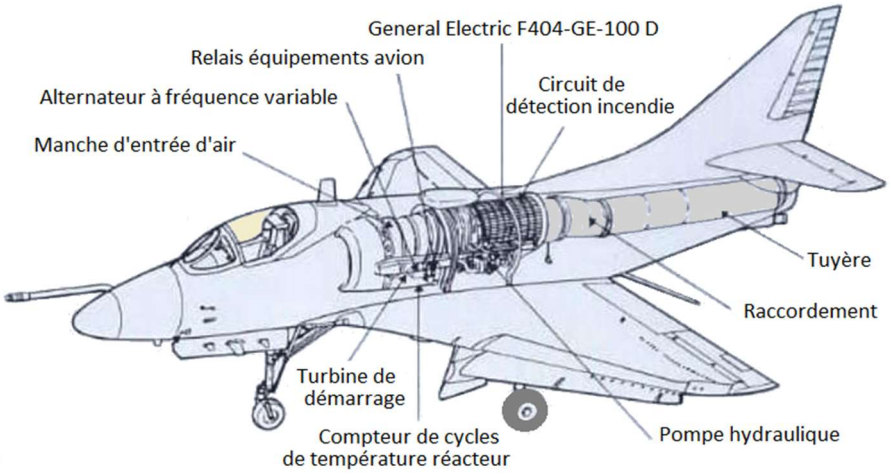
Devant équiper un monomoteur, sa survivabilité ainsi que sa poussée doivent être supérieures. La survivabilité est assurée par un nouveau relais d'accessoires, nouvelles pompes à carburant et pompe hydraulique, et la redondance de l'ensemble des systèmes, y compris l'allumage. L'accroissement des performances provient du débit d'air augmenté de 5%, brassé par des aubes de fan plus épaisses (résistant mieux à l'ingestion d'oiseaux de 0.5 kg) associé à une meilleure aérodynamique des aubages directeurs du stator à calage variable.

Northrop F-20 " Tigershark "
(© DR)

La température devant turbine (dite T41) gagne 41°C et la régulation devient numérique (DEC) libèrant le pilote de tout souci de sécurité. Pour le reste, les actionneurs sont du type électrique et hydraulique.

Non construite en série, la version avec rechauffe a équipé uniquement les trois exemplaires du Northrop F-20 " Tigershark " (1982 – 1986). Désigné F404-GE-100, il développe environ 1 000 lb (453 kgp) de poussée supplémentaire par rapport au - 400 de base en raison d'un débit d'air légèrement plus élevé, rendu possible par une température d'entrée de turbine (TET) plus élevée obtenue en utilisant des matériaux plus avancés au niveau des aubes de turbine. Ces améliorations donnent au monomoteur un rapport poussée-poids de 1:1. La poussée supplémentaire permet à l'appareil d'être prêt au combat à partir d'un démarrage à froid et de monter à 34 000 ft (10 360 m) en 2 minutes et 30 secondes. Le moteur permet également au F-20 de passer de Mach 0,3 à Mach 0,9 en 27 secondes.

Le programme du Northrop F-20 " Tigershark " est définitivement abandonné en novembre 1986, après 1500 vols et deux accidents mortels.

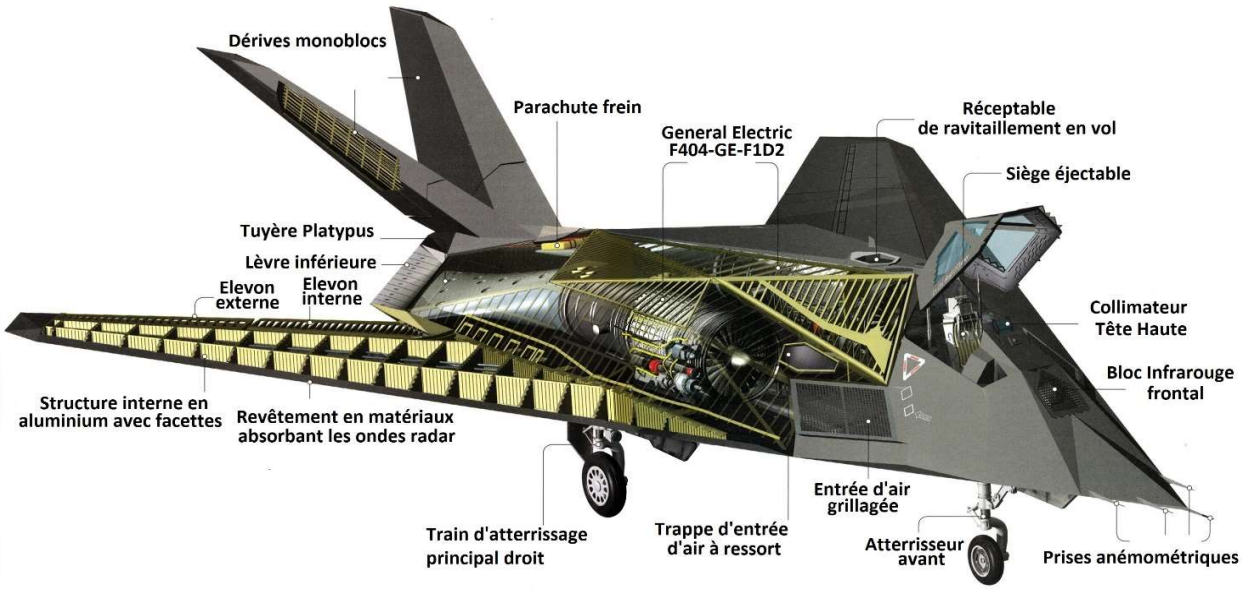


Douglas A-4SU " Super Skyhawk "

La version sans rechauffe ou F404-GE-100 D de 48,93 kN (D pour Dry) a propulsé, entre 1984 et 2003, les 150 chasseurs bombardiers et d'entrainements avancés Douglas A-4 " Super Skyhawk " singapouriens ; leurs performances se sont améliorées grâce au remplacement du moteur d'origine Wright J65-W-20 par le General Electric. Renommés A-4SU " Super Skyhawk " l'appareil qui sera également la monture de la patrouille acrobatique Black Knights de 1990 à 2000, restera en service au sein de trois escadrons à Singapour, entre 1988 et mars 2005.

Le F404-GE-F1D2.

Ce modèle dépourvu de postcombustion a été développé spécifiquement pour le biréacteur d'attaque furtif Lockheed F-117 A " Nighthawk " taré à 46.88 kN.



Lockheed F-117 A " Nighthawk " – Ecorché (© DR)

Premier avion furtif opérationnel de l'histoire, le Lockheed F-117 A " Nighthawk " a été produit à 64 exemplaires entre 1981 et 1990 dont cinq de présérie. En raison de l'exigence de furtivité, le réacteur dépourvu de rechauffe, possède une tuyère bidimensionnelle à faible signature infrarouge (IR). Longue de 4.5 m, revêtue de couches de matériaux pour absorber la chaleur du moteur, la tuyère passe d'une forme circulaire à une forme plate et compartimentée à son extrémité. Haute de 20 cm et large de 1.65 m cette buse plate comporte un refroidisseur de gaz d'échappement et est partiellement masquée depuis le sol par une plaque qui déborde du fuselage. Le jet chaud est écrasé et se mélange très vite au contact de l'environnement extérieur.

Dotées de grilles bloquant la propagation des ondes radar, les entrées d'air réduisent la surface équivalente radar (SER) à environ 0,001 m^2. La veine d'entrée d'air aboutissant au moteur est coudée, les ondes radar venues du sol, ricochant de paroi en paroi, ne peuvent ainsi pas frapper directement le compresseur, elles ricochent de paroi en paroi. De plus, elles sont revêtues de matériaux absorbants. L'avantage supplémentaire des entrées d'air placées au-dessus de l'aile, c'est aussi le masquage du bruit émis par les réacteurs.

Opérationnel entre 1983 et 2008, le F-117 A a été engagé lors de l'invasion du Panama en 1989, de la guerre du Golfe en 1991, de l'opération Allied Force en 1999, au Kosovo, et de la guerre d'Irak en 2003.

KAI T-50 " Golden Eagle " (© DR)

Turkish Aerospace Industry " Hürjet " (© DR)

Le F404-GE-102.

Développé spécifiquement pour des monomoteurs supersoniques le F404-GE-102, taré à 48 kN en sec et 78.73 kN avec rechauffe, équipe le KAI T-50/TA-50/FA-50 " Golden Eagle " sud-coréen et le " Hürjet " turque. Cette version se caractérise par l'adoption d'un système de régulation électronique numérique pleine autorité redondante ou Fadec (Full Autorithy Digital Engine Control).

Entré en production en 2013, l'avion d'entrainement avancé et chasseur léger sud-coréen T-50 " Golden Eagle " a été commandé à plus de 200 exemplaires par huit forces aériennes : Corée du Sud, Indonésie (2011), Irak (2013), Thaïlande (2015), Philippines (2014), Pologne (2023), Malaisie (2023), Sénégal (2023).

Également monomoteur, le Turkish Aerospace Industry " Hürjet " (son nom " Hür " veut dire " libre ") qui a fait son premier vol en avril 2023, est en cours de développement. C'est avion de combat léger d'entraînement et d'attaque avancé, biplace en tandem, et supersonique, conçu pour remplacer les Northrop T-38 " Talon " et compléter les F-16 " Fighting Falcon " de l'Armée de l'air turque.

Le F404-RM12.

Développé conjointement par General Electric (65%) et le motoriste suédois Volvo Aero (35%), sous la désignation F404 J, la version RM12 (ou Reaktionsmotor 12 selon la nomenclature locale) délivrant 54 kN en sec et 80 kN avec PC, a été spécialement conçue pour l'avion de combat polyvalent, le SAAB JAS-39 " Gripen " (Griffon). Jakt Attack Spaning, signifie Chasse / Attaque / Reconnaissance.

Mis en service en 1996, il peut, à lui seul, remplir trois missions principales : combat aérien, attaque au sol et reconnaissance. L'environnement scandinave et l'utilisation des autoroutes comme piste d'envol ont exigé le renforcement du réacteur à la résistance à l'absorption d'oiseaux de 0.5 kg d'où un étage directeur d'entrée (RDE) dotée de 15 aubes. De plus, le Gripen étant monomoteur, la survivabilité a été revue avec, en particulier, un système de régulation électronique FADEC monovoie comportant des modes dégradés pour

parer aux pannes ainsi qu'un secours hydromécanique. Construit à 254 exemplaires, le RM 12 offre une poussée plus forte obtenue par une augmentation de 5% du débit d'air passant à 69 kg/s, un taux de compression accru et une augmentation de la température d'entrée turbine TET (+ 42°C).

Le JAS-39 " Gripen " est en service dans quatre forces aériennes : suédoise (175 monoplaces et 29 biplaces), tchèque (12 monoplaces et 2 biplaces), hongroise (12 monoplaces et 2 biplaces) et sud-africaine (26 exemplaires dont 9 biplaces) et Brésil (36 exemplaires dont 8 biplaces).

Le F404-RM12 (Reaktionsmotor 12) (© General Electric)

Le F404-GE-402.

Apparue à la fin des années 1980, le F404-GE-402 (connu sous l'appellation Enhanced Performance Engine (EPE)) est une version évoluée du modèle de base qui a été conçue pour améliorer les performances en combat des F/A-18 " Hornet " C et D de l'US Navy et des variantes suisses et koweïtis.

Avec une poussée supérieure de 20%, elle atteint 78.73 kN avec PC avec le maintien de la durée de vie des 2000 heures des parties chaudes. Le F404-GE-402 qui voit un accroissement de la vitesse de rotation du corps BP, est doté d'aubes monocristallines pour la turbine HP et, au niveau de la rechauffe, d'un nouvel accroche-flammes de type radial. Il se caractérise par sa TET de 1 444°C.

Pour le chasseur bombardier de Mc Donnell Douglas cela apporte un surplus de puissance de 18%, une accélération augmentée de 27% et un temps de montée amélioré de 31%. La vitesse maximale est portée à Mach 1.98, le plafond de combat à 50 000 ft (15 240 m), la vitesse d'approche à 134 kt (250 km/h) et un rayon d'action de combat de 300 nautiques (550 km).

Le F404-GE-IN20.

Version la plus puissante de la famille et dérivée du RM12, le F404-GE-F2J3 de 81 kN de poussée a été étudiée spécifiquement pour le monomoteur à aile delta conçu par la société Hindustan Aeronautics Ltd. (HAI) " Tejas " Mk 1/1A destiné à l'Indian Air Force et la Marine indienne. Le cycle moteur a été optimisé pour les températures élevées (" hot & high ") régnant sur le continent indien. Produite à 40 exemplaires, au début des années 2000, cette version est rapidement suivie quelques temps plus tard par une commande d'une variante à poussée accrue : le F404-GE-IN20 de 84 kN.

Les modifications introduites incluent des fonctionnalités redondantes y compris l'allumage, un calculateur numérique à pleine autorité redondante (FADEC double voies) et une augmentation de la durée de vie. Le premier vol sur " Tejas " a eu lieu en juin 2008 et la mise en service opérationnelle en 2015. A ce jour 99 exemplaires (73 monoplaces et 10 biplaces) ont été commandés.

HAI " Tejas " (" glorieux " en sanskrit) Mk 1/1A (© DR)

Boeing T-7A " Red Hawk " (© DR)

Le F404-GE-103.

Fournissant 49,97 kN en sec et 78,52 kN avec PC, la version F404-GE-103 a été développée spécialement pour propulser les 351 monomoteurs biplaces d'entrainement avancés supersoniques Boeing T-7A " Red Hawk ". La vitesse maximale, en altitude, est de 1 300 km/h (Mach 1.05). Le nom de l'appareil dont le premier vol a été effectué en décembre 2016 rend hommage aux Tuskegee Airmen, les aviateurs afro-américains ainsi surnommés parce que formés sur la base proche de Tuskegee en Alabama et qui s'illustrèrent

lors de la Deuxième guerre mondiale aux commandes de Curtiss P-39 et P-40, Republic P-47 " Thunderbolt " et North American P-51 " Mustang " dont les empennages de leurs avions étaient peints en rouge : les fameux " Red Tail " – queues rouges. Fin septembre 2023, les deux prototypes avaient effectués environ 500 vols d'essais.

Le F412-GE-D5F2.

Désigné initialement F412-GE-400 de 58 kN, une version dépourvue de postcombustion, le F412-GE-D5F2 est étudié spécifiquement pour le projet d'aile volante furtive embarquée McDonnell Douglas / General Dynamics A-12 " Avenger II ". Prévu pour être produit à 620 exemplaires pour l'US Navy et 238 exemplaires pour les Marines, le programme est annulé en janvier 1991, le constructeur ré-oriente alors ses recherches vers le moteur F-414 destiné au F/A-18 E/F " Super Hornet ".

En comparaison avec le F404-GE-400, cette version aurait eu une soufflante de plus grande dimension, des taux de compression et de dilution accrus, une résistance améliorée face à l'ingestion d'oiseaux, de glace et de corps étrangers ou FOD (Foreign Objects Damages) ainsi qu'une chambre de combustion multi-trous et des matériaux de turbine monocristalline. Afin d'atténuer la signature infrarouge (IR), la partie arrière se caractérise par sa tuyère de forme coudée, aplatie et rectangulaire.

McDonnell Douglas / General Dynamics A-12 " Avenger II " (© DR)

General Electric F412-GE-400 (maquette) (© DR)

Caractéristiques

Versions	Longueur	Diamètre	Taux de compression	Taux de dilution	Débit d'air	Poussée maximale à sec	Poussée maximale avec PC	Masse
F404-GE-400	4040 mm	709 mm	26	0,34	64.2 kg/sec	49 kN	71 kN	1 055 kg
F404-GE-F1D2	2108 mm	709 mm	24	0.34	64.4 kg/sec	46.88 kN	-	785 kg
F404-GE-402	3910 mm	890 mm	26.1	0,27	66 kg/sec	53 kN	78.7 kN	970 kg
F404-GE-102	3910 mm	890 mm	26.1	0.27	66 kg/sec	53 kN	78.7 kN	1 035 kg
F404-GE-103	3910 mm	890 mm	26.1	0.27	66 kg/sec	53 kN	76 kN	1 035 kg
F404-GE-RM12	3910 mm	890 mm	27.1	0.31	69 kg/sec	54 kN	80.5 kN	1 055 kg
F404-GE-IN20	3910 mm	890 mm	28.1	0.28	70 kg/sec	54 kN	85.53 kN	1 073 kg

F404-GE-102

F404-GE-IN20

F404/-RM12

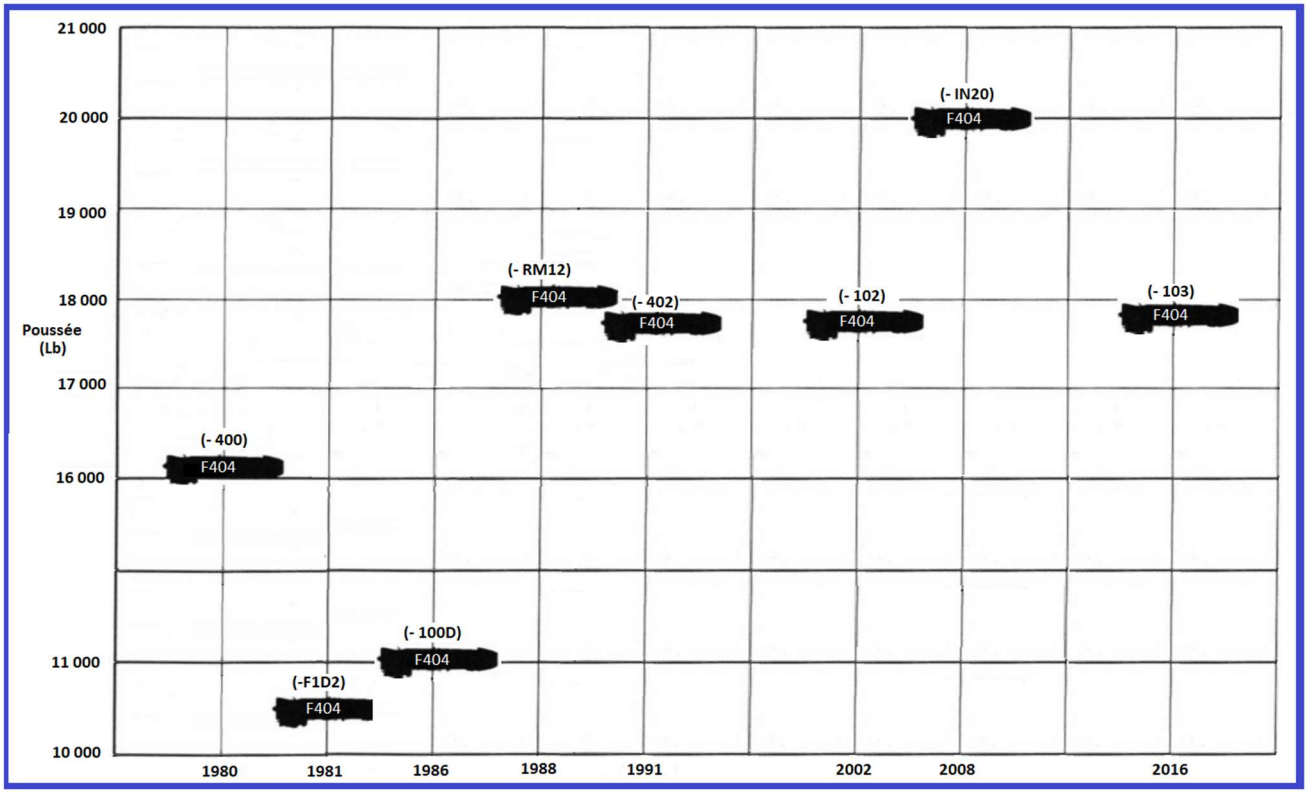
Bilan actuel.

Mis en service en 1981, le F404 et ses dérivés équipent ou ont équipé plus de 2 300 avions militaires de seize nations dans le monde entier. Le F404 offre un grand potentiel de croissance, qui a été atteint en augmentant notamment la température d'entrée turbine sans altérer la fiabilité du moteur. Le même processus est arrivé au J79, qui a augmenté de 25 % de poussée au cours de sa vie. L'une des clés

essentielles de la longévité du turboréacteur réside dans l'incorporation de matériaux composites dans les pièces structurales.

Au début de l'année 2024, en quarante-trois années d'utilisation, les 4 000 exemplaires du moteur livrés avaient accumulé plus de 13 millions d'heures de vol.

Le F404 est toujours en service dans plusieurs armées de l'Air dans le monde, et il risque de fonctionner encore un bon moment car une toute nouvelle version, le F404-GE-103, commence à peine à entrer en fabrication, plus de 45 ans après sa première rotation au banc.



Famille F404 : versions construites en série. La famille F404 couvre la plage de poussée du moteur avec rechauffe de 16 à 24 000 livres (71 à 107 kN) et la plage de poussée du moteur sans rechauffe de 48 à 84 kN (11 à 19 000 livres).

Désignation des réacteurs militaires américains

Depuis la fin de la seconde guerre mondiale, la désignation des réacteurs militaires américains est basée sur une association de lettres et de chiffres identifiant à la fois le moteur proprement dit, ses versions et ses dérivés.

Entre 1945 et 1966, les réacteurs simple flux étaient désignés à l'aide de la lettre " J " signifiant " Turbojet ", suivie d'un numéro d'ordre et les réacteurs double flux à l'aide de l'acronyme " TF " signifiant " Turbofan ", suivi d'un numéro d'ordre. Exemples : General Electric J-47, Pratt & Whitney J-57, Pratt & Whitney TF-30-P408.

Depuis la fin des années 1960, les réacteurs double flux, quasiment majoritaires, sont identifiés à l'aide de la lettre " F " signifiant Turbofan, suivi d'un numéro d'ordre dans la série -100 pour une application sur avion terrestre (USAF) ou -400 pour un avion marin (US Navy et US Marine Corps) puis de l'acronyme du constructeur (PW, GE, RR). La même règle s'applique pour la désignation des versions. Exemples : General Electric F-110-GE-129, Pratt & Whitney F-401-PW-400, Rolls-Royce F405-RR-401.

S'agissant de la gamme des moteurs General Electric, le motoriste identifie ses réacteurs avec la lettre " F " suivie de la série " 400 " lorsqu'il s'agit d'un moteur conçu pour l'US Navy, donc navalisé, exemple le GE F404. Si la version est destinée à un avion marin, elle est identifiée dans la série -400, à l'inverse, si son application est destinée à un avion terrestre (USAF), la désignation est celle de la série -100. Exemples : General Electric GE F404-GE-400, GE F404-GE-102.

Le McDonnell Douglas F/A-18 " Hornet "

Conformément à la nomenclature des avions de combat tactiques américains, le nouveau biréacteur de McDonnell Douglas (Boeing depuis août 1997) prend la désignation F-18. Cumulant les fonctions de chasseur et d'avion d'attaque, car l'appareil est un avion de combat multirôle, le F/A-18 " Hornet " est initialement destiné à être embarqué à bord de porte-avions de l'US Navy. Sa désignation, F/A, signifie qu'il peut mener à la fois des missions de chasse (F, pour Fighter) et d'attaque (A, pour Attack). Mis en service au début des années 1980, il a été construit à 1 479 exemplaires jusqu'en septembre 2000 et exporté vers une dizaine de pays à 431 exemplaires. Il a été utilisé par la patrouille acrobatique des " Blue Angels " de l'US Navy entre 1987 et 2020.

Un F/A-18C " Hornet " (BuNo 165220) modex 401, des " Death Rattlers " du 323ème VMFA de l'USMC au catapultage sur le porte-avions USS Nimitz (CVN 68) en 2021. Le F/A 18 C se distingue par ses cloisons d'apex et une série d'antennes ajoutées sur le fuselage. La durée de vie de la cellule est de 6 000 heures. (© US Navy)

Mis en service opérationnel en 1983 au sein de l'US Marine Corps (USMC) et l'US Navy, 380 F/A-18A et B furent construits, suivis en 1987 par 466 exemplaires de F/A-18 C et D. Le dernier escadron de l'US Navy à voler sur les " Legacy Hornet " (ainsi appelés dans ses versions A à D par les américains) a cessé son activité opérationnelle en octobre 2020. Les derniers " Hornet " de l'US Navy ont été retirés du service en juin 2021 après 36 années d'activité. Selon le planning originel, il était prévu que tous les appareils de l'USMC soient retirés du service en 2026 mais, en fait, ils le seront en 2031.

McDonnell Douglas F/A-18 C " Hornet " – Flottille d'attaque VFA 204 US Navy (© DR)

La configuration générale de l'avion de combat dérive du Northrop YF-17 " Cobra " des années 1970 avec une masse accrue de 5 tonnes. Le F/A-18 " Hornet " peut atteindre un angle d'attaque de plus de 90°, avec un angle de glissade de 45°.

À partir de 1991, les " Hornet " ont reçu un réacteur F404-GE-402 amélioré offrant 20 % de puissance supplémentaire. Le dernier des 1 479 biréacteurs F/A-18 de première génération A/B/C/D a été livré en septembre 2000 à l'armée de l'air finlandaise.

Hormis le fait que le pilote peut obtenir la puissance maximale en postcombustion en 3 ou 4 secondes à peine, les performances du biréacteur ont été décevantes pour l'US Navy : autonomie très limitée avec charges extérieures, problème de vibrations au niveau de la voilure, etc. Ce constat a entraîné la construction d'une nouvelle version à la taille fortement accrue, le F/A-18 E/F " Super Hornet " avec un moteur de plus forte poussée, le F414.

Mc Donnell Douglas F/A-18 D " Hornet " - Force aérienne suisse. (© DR)

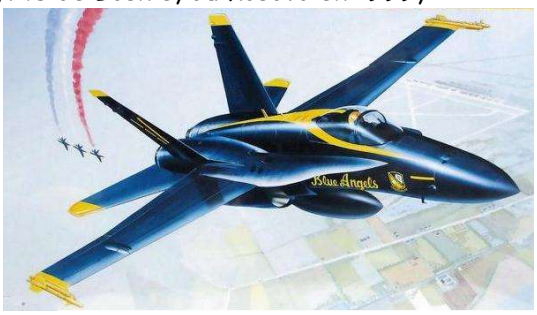
Caractéristiques

Motorisation : 2 GE F404-GE-402 de 79 kN
Envergure : 12.31 m
Longueur : 17.07 m - Hauteur : 4.66 m
Masse à vide : 10 810 kg
Masse maximale : 23 541 kg
Surface alaire : 37.16 m^2
Plafond : 15 240 m
Rayon d'action (attaque, profil hi-lo-hi) : 466 km
Vitesse maxi : 2 203 km/h (Mach 1.8)

Au début de l'année 2016, les 1594 exemplaires du " Hornet ", en service, avaient accumulé plus de 3 millions d'heures de vol.

Engagements. Le premier engagement des biréacteurs eut lieu en 1986 lors de l'opération El Dorado Canyon : des appareils américains attaquèrent les défenses anti-aériennes libyennes à Benghazi depuis le porte-avions USS Coral Sea (CV 43). Depuis cette date, les " Hornet " canadiens et américains ont participé activement aux deux guerres du Golfe (Koweït en 1991, Irak en 2003), aux conflits de Bosnie, du Kosovo en 1999, d'Afghanistan entre 2001 et 2012, et à la guerre contre l'État islamique depuis 2014.

En mars 2011, six CF-18 canadiens ont été engagés en Libye pour faire respecter la résolution 1973 des Nations unies et, deux ans plus tard, des F/A-18 malaisiens ont été engagés lors du conflit de Sabah. Depuis le mois d'octobre 2014, des " Super-Hornet " australiens sont également engagés dans la guerre contre l'État islamique.



McDonnell Douglas F/A-18 " Hornet " - Patrouille acrobatique " Blue Angels " de l'US Navy (1987 – 2020). (© DR)

Utilisateurs de F/A 18 " Hornet ".

Mis à part l'US Marine Corps et l'US Navy (dans ses versions A à D) les forces armées de 7 pays utilisent ou ont utilisé le biréacteur. Plus de 430 exemplaires du " Hornet " ont été vendus à l'export :

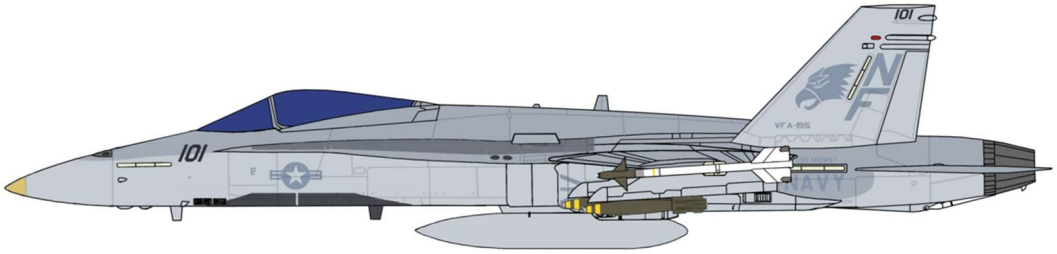
- Australie : 75 exemplaires de types A et B dits " Classic Hornet " (57 monoplaces AF-18 A et 18 biplaces ATF-18 A) répartis entre quatre unités.

En 35 années d'utilisation (mai 1985 – décembre 2021), les F/A 18 australiens ont accumulés 408 000 heures de vol. Depuis leur mise en service au sein de la RAAF en 1985, les " Classic Hornet " ont participés aux opérations " Slipper " (en mai 2002) pour protéger l'ile de Diégo Garcia d'où les forces américaines allaient frapper l'Afghanistan après les attentats du 11 septembre 2001), " Falconer " (en Irak en 2003) et " Okra " (aux Emirats Arabes Unis de 2014 à 2018 pour la guerre contre Daesh). Seuls quatre appareils ont été perdus par accident, entre novembre 1987 et mai 1992. La RAAF a revendu 25 exemplaires au Canada, en 2019.

- Canada : client de lancement du biréacteur à l'exportation, l'Aviation royale canadienne a reçu 138 exemplaires dont 98 monoplaces dénommés localement CF-188 ou CF-18 A " Hornet " et 40 biplaces CF-188 B ou CF-18 B " Hornet ". Cinq escadrons ont été équipés. Mis en service en 1982, ils devraient rester en service jusqu'en 2032.

- Espagne : 96 exemplaires (EF-18A et EF-18B, " E " pour Espagna). Suivant en cela une tradition en usage dans la force aérienne espagnole, la version monoplace du " Hornet " (60 exemplaires) porte la désignation de C.15, et le modèle biplace (12) est appelé CE.15. En 1995, l'Espagne racheta 24 anciens " Hornet " de l'US Navy (F/A 18 A+), redésignés C.15M et CE.15M. Ils sont répartis entre trois escadres. Les F/A-18 espagnols ont participé à la guerre en Bosnie et à la guerre du Kosovo sous le commandement de l'OTAN, basé à Aviano, en Italie et plus récemment à l'intervention militaire de 2011 en Libye. Mis en service en 1986, 13 appareils ont été perdus par accident, entre novembre 1988 et mai 2023, ils devraient rester en service jusqu'à l'horizon 2030.

- Finlande : 64 exemplaires répartis en 57 monoplaces F-18 C et 7 biplaces F-18 D. Réceptionnés entre novembre 1995 et août 2000, ils sont répartis entre trois escadrons. Seuls deux appareils ont été perdus par accident. Ils devraient rester en service jusqu'en 2025 - 2030.
- Koweït : 40 exemplaires reçus dont 32 monoplaces F/A-18 C (ou KAF-18C) et 8 biplaces F/A-18 D (KAF-18D),
- Malaisie : 8 biplaces F/A-18 D, livrés en 1997, qui devraient rester en service jusqu'en 2035.
- Suisse : 34 exemplaires reçus en 1992 dont 26 monoplaces F/A-18 C et 8 biplaces F/A-18 D et affectés à trois escadrilles. Quatre appareils ont été perdus par accident, entre avril 1998 et août 2016.



McDonnell Douglas F/A-18 " Hornet " VFA-195 US Navy (© DR). Le biréacteur peut être avitaillé moteurs tournants.

La soufflante non-carénée GE-36

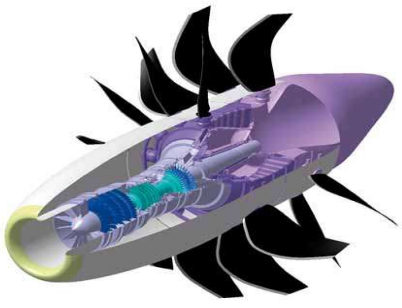
La soufflante non carénée GE-36 a été développée conjointement par la NASA, General Electric et Snecma à hauteur de 30 % qui comprenait notamment le compresseur HP et la chambre de combustion. Appelée aussi Propfan ou Open rotor ou encore ultra-high-by-pass engine (moteur à très fort taux de dilution), la soufflante non carénée est fixée directement sur la turbine de puissance sans conduit d'échappement à l'extérieur et en dehors de la nacelle. Le but principal étant la réduction de la consommation en carburant. Un facteur décisif dans le développement du démonstrateur GE-36 fut l'emploi de nouveaux matériaux composites d'une grande robustesse, facilitant la production de pales courbes, minces et solides.

Boeing B727-63 MSN 19843 (N32720) banc d'essais volant entre août 1986 et février 1987 (© GE)

L'idée d'un fan non caréné fut lancée au début des années 1980, quand GE Aviation développa le démonstrateur GE-36 dans le cadre du programme *Un Ducted Fan* (UDF). Basé sur le corps haute pression du F404, ce moteur est caractérisé par le dispositif propulsif contra-rotatif et l'absence de boîte de transmission, il effectua sa première rotation au banc sol en août 1985.

Conception

L'architecture d'un propfan est basée sur celle d'un réacteur double flux classique, toutefois, la soufflante, non carénée, est située l'extérieur de la nacelle. Contrairement à l'architecture utilisée avec les turbopropulseurs, il n'y a pas de dispositif de réduction (boite d'engrenages) de la vitesse de rotation de l'arbre d'entrainement du doublet d'hélices. L'objectif étant d'obtenir les mêmes performances en termes de vitesse avion que celles permises par un turboréacteur mais avec la sobriété d'un turbopropulseur.



Le GE-36 utilise comme base de développement le F404, dont les flux, primaire et secondaire, sont mélangés, traversant ensemble, la turbine haute pression et la turbine de puissance qui met en rotation un doublet d'hélices contrarotatives dotées de 10 et 8 pales (initialement 8 et 8). En forme en cimeterre, le sommet des pales tourne à des vitesses atteignant Mach 0,75, soit environ 925 km/h au niveau de la mer. Longues d'un mètre, elles pèsent respectivement 10,2 kg, hélice avant, et 9,8 kg, hélice arrière. La turbine de puissance est constituée de 14 étages (initialement 12) et de deux stators aérodynamiques

d'entrée et sortie de turbine. Ces 14 étages de turbine constituent deux empilements de 7 rotors contrarotatifs, chaque rotor tournant en sens inverse de celui qui le précède. L'effet de la contra-rotation permet d'éliminer les stators inter-étage. La turbine de puissance constituée d'éléments contrarotatifs dont la vitesse de rotation est à la moitié de la vitesse d'une turbine classique ne nécessite pas de boîtier réducteur à engrenages pour entraîner le doublet d'hélices.

Caractéristiques techniques du GE-36

Première rotation au banc : août 1985
Poussée : 110 kN
Consommation spécifique : 0.105 g/kg/h (croisière)
Vitesse de rotation : 1 393 tr/mn
Débit d'air : 63.5 kg/s
Taux de compression : 26 : 1
Taux de dilution : 35
Température entrée turbine (TET) : 1382 °C
Rapport poussée sur poids : 8

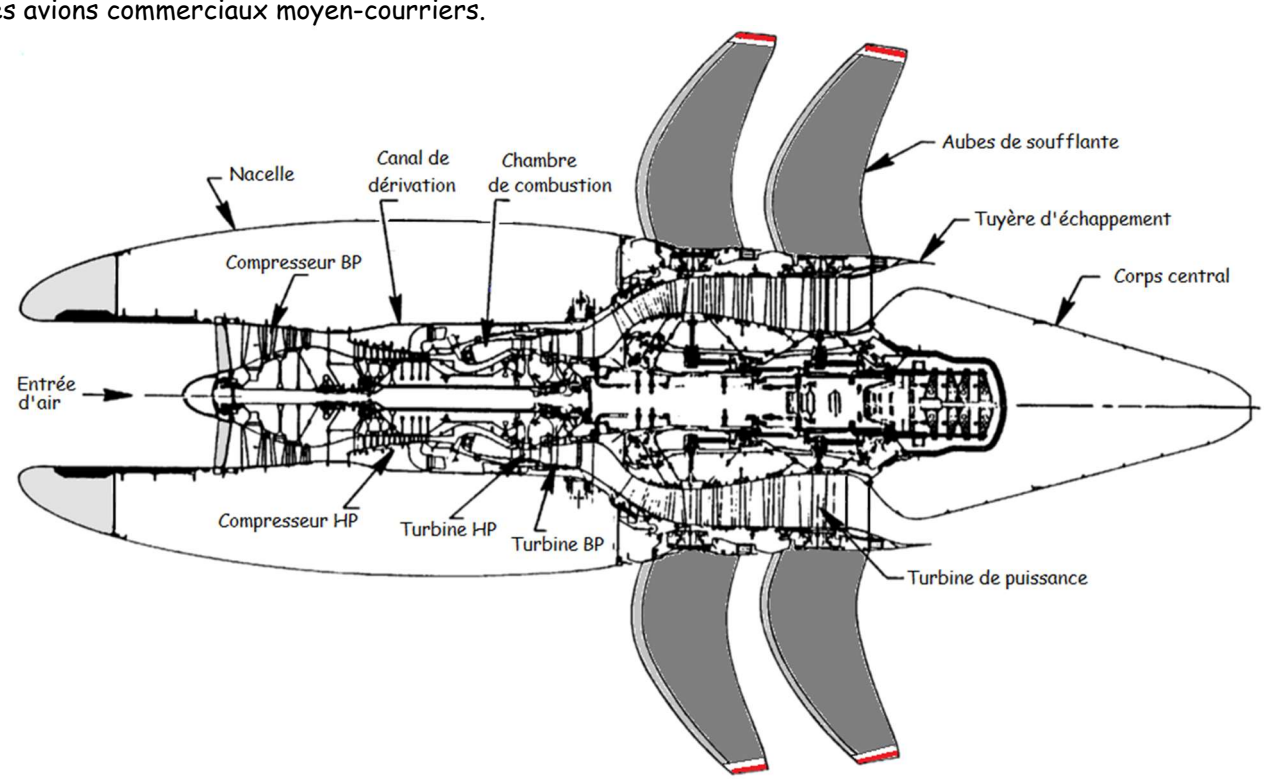
Nombre d'étages :
- Compresseur BP : 3 étages
- Compresseur HP : 7 étages
- Turbine HP : 1
- Turbine BP : 1

Encombrement :
- Diamètre maxi : 3.56 m
- Longueur totale : 5.20 m

Masse : 2 700 kg

Dotées de pales à incidence variable, les hélices sont maintenues en position " drapeau " lorsque le moteur est arrêté. Elles pivotent lentement jusqu'à atteindre leur position normale pendant la phase de démarrage du moteur. Supportant les paliers de l'arbre de la turbine de puissance et assurant l'attache arrière pour le moteur entier, le cadre d'échappement assure un rôle structurel particulièrement important.

Quatre variantes du GE-36 couvrant la gamme de poussée de 53 à 133 kN ont été prévues pour équiper des avions commerciaux moyen-courriers.



Démonstrateur GE-36 *Un Ducted Fan* (UDF) – Coupe longitudinale (© General Electric)

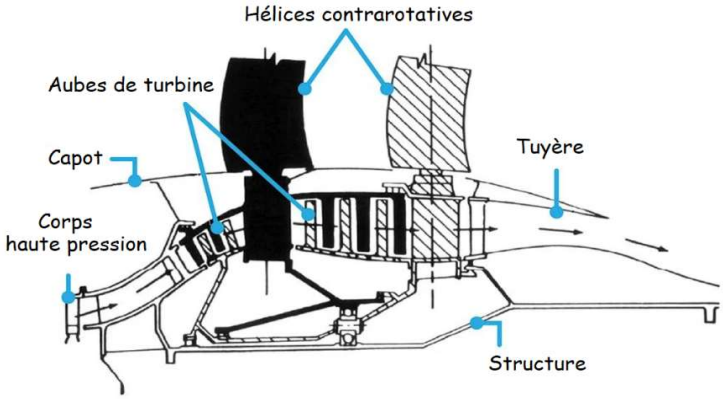
Essais en vol

Entre août 1985 et juillet 1986, un moteur prototype a été testé au sol pendant 162 heures. Par la suite, deux campagnes d'essais en vol ont été menées successivement sur deux bancs volants : l'un triréacteur, l'autre biréacteur.

Tout d'abord sur le Boeing 727 Boeing B727-63 (MSN 19846) du 20 août 1986 à la mi-février 1987 avec le GE-36 sur le côté droit. Au cours de 25 sorties, le prototype accumule plus de 41 heures de vol (sur un total prévu de 75 heures) : il atteint Mach 0,84 et une altitude de 39 000 pieds (12 000 mètres).

Environ deux mois plus tard, le moteur est installé en position gauche sur le biréacteur McDonnell Douglas MD-81 (MSN 48000) puis réalise son premier vol le 18 mai 1987. Au départ, le moteur est dans une configuration de soufflante avant à 8 pales et de soufflante arrière à 8 pales, puis il est remplacé, à partir

d'août 1987, par le deuxième démonstrateur GE-36 dans une configuration plus silencieuse : 10 pales sur la soufflante avant et 8 pales sur la soufflante arrière. 33 heures d'essais en vol sont réalisées. En raison d'un problème mécanique, le moteur revient à la configuration d'origine 8 x 8 et l'avion enregistre 22 vols de démonstration, entre fin janvier et fin février 1988.



Démonstrateur GE-36 *Un Ducted Fan* (UDF) – Détail (© General Electric)

Ces vols, qui ont généralement duré environ une heure et atteint une vitesse de croisière de Mach 0,76 démontrent que les qualités de vol sont peu différentes de celle d'un vol propulsé par turboréacteur, à l'exception de légères vibrations sur les sièges arrière pendant le décollage et la montée. Le 25 mars 1988, McDonnell Douglas met fin au programme d'essais en vol. Le biréacteur MD-81 avait effectué 93 sorties en 165 heures de vol, à une vitesse allant jusqu'à Mach 0,865 et à une altitude de 37 000 pieds (11 000 mètres).

En juillet 1988, l'avionneur réinstalle le moteur GE-36 sur le banc d'essai MD-81 pour d'autres types de vols tels que des voyages à longues distances, mais le programme est définitivement arrêté en 1989.

Les 200 heures de vol réalisés par les deux moteurs de démonstration sur le McDonnell Douglas MD-81 et le Boeing 727-63 ont permis de démontrer la viabilité de la formule et un niveau de bruit jugé tout à fait acceptable et inférieur à la réglementation d'alors (FAR 36 Stage 3). Malgré tout, les effets du bruit de l'UDF étaient tels qu'ils faisaient sauter certains rivets de l'avion.

McDonnell Douglas MD-81 MSN 48000 (N980DC) banc d'essais volant entre mai 1987 et mars 1988 (© GE)

Etapes clefs

1970 – Lancement du programme du moteur double corps double flux YJ-101

1972 Mars - Essai du corps haute pression du YJ-101

1972 Juillet – Première rotation au banc sol du YJ-101

1973 Dernier trimestre – Essai au banc d'altitude du YJ-101 au USAF Arnold Engineering Development Center (AEDC) : 102 heures réalisées

1974 Juin – Premier vol du YJ-101 sur le Northrop YF-17

1975 Février – Fin du programme du moteur double corps double flux YJ-101 après un total de 288 vols représentant 691 heures de vol et 2455 heures de fonctionnement moteur

1975 Octobre - Début des études du turboréacteur double corps double flux F404

1977 Janvier - Première rotation au banc sol du F404

1977 Juin - Essais du F404 au banc altitude

1978 Novembre – Premier vol du F404 sur le McDonnell Douglas YF-18 à partir de Saint-Louis

1980 Juillet – Essais d'homologation du F404-GE-400

1981 Janvier - Premier vol du F404-GE-F1D2 sur le Lockheed YF-117 " Nighthawk "

1981 Février – Mise en service du F404-GE-400 sur McDonnell Douglas F/A-18 A " Hornet "

1982 Juin – Lancement de la version F404-RM12 (initialement F404J)

1984 Juillet - Première rotation au banc sol du F404-RM12

1985 Août – Première rotation du GE-36 au banc d'essais en plein air de General Electric à Peebles

1986 Août - Premier vol du GE-36 Unducted Fan (UDF) sur le Boeing B727-63 MSN 19846 à partir de Mojave

1986 Septembre - Premier vol du F404-GE-100D sur le McDonnell Douglas A-4 SU " Super Skyhawk "

1987 Février – Fin des essais en vol du GE-36 sur le Boeing B727-63 MSN 19846 : 41 heures de vol en 25 sorties

1987 Mai – Premier vol du GE-36 Unducted Fan (UDF) sur le McDonnell Douglas MD-81 MSN 48000

1987 Décembre – Homologation du F404-GE-400

1988 Mars – Fin des essais en vol du GE-36 sur le McDonnell Douglas MD-81 : 165 heures de vol en 93 sorties

1988 Décembre - Premier vol du F404-RM12 sur le SAAB Jas 39 " Gripen "

1989 – Arrêt du programme de développement du moteur GE-36 Unducted Fan (UDF)

1990 Juin - En 10 années d'utilisation, la flotte des moteurs en service franchit le cap des 2 millions d'heures de vol

1991 Juillet – Premier vol du F404-GE-402 sur McDonnell Douglas F/A-18 C " Hornet "

1991 Décembre – Les 2400 exemplaires en service dans le monde totalisent plus de 8 600 000 d'heures de vol

2002 Février – Premier vol du F404-GE-102 sur KAI T-50 " Golden Eagle "

2008 Juin – Premier vol du F404-GE-IN20 sur LCA " Tejas "

2016 Décembre - Premier vol du F404-GE-103 sur Boeing SAAB T-7A " Red Hawk "

2023 Avril - Premier vol du F404-GE-102 sur le Turkish Aerospace Industry " Hürjet "

2024 Janvier - En 43 années d'utilisation, les 4000 exemplaires du moteur livrés franchissent le cap des 13 millions d'heures de vol

Remerciements : Mr *Régis Ligonnet, Mr Albert Grenier, Espace Patrimoine Safran (Mr Domnique Prot)*

Ouvrages et documents consultés : Technical report General Electric AFAPL-TR-77-18 YJ-101 YF-17 Aircraft prototype Junuary 1977, ICAS-84-5.4.2 F404 New standards for fighter aircraft engines BA Riemer and SP Powel IV, On the Leading Edge : Combining Maturity and Advanced Technology on the F404 Turbofan Engine (June 1990) S. F. Powel IV Manager, F404 Advanced Programs GE Aircraft Engines Lynn, Massachusetts. Archives Musée Safran de Melun-Villaroche.

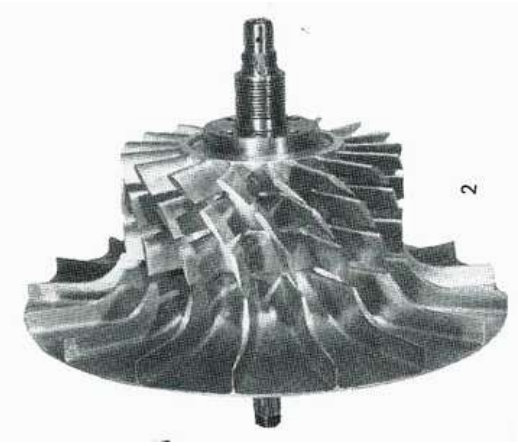
80 ans de technologie compresseur chez Safran Helicopter Engines

C'est sur la maitrise de la technologie des compresseurs qu'est née Turboméca en 1938, devenue maintenant Safran Helicopter Engines. Elle a fait sa fortune et reste sa grande spécialité. Ce composant, au cœur des performances des turbomachines, marie si intimement conception et technologie de fabrication qu'il est impossible de séparer ces deux aspects quand on évoque son histoire. C'est donc en deux parties que cet article paru en 2015 dans Le Diffuseur, le journal de l'AAPHT (Association des Amis du Patrimoine Historique de Turboméca) vous la raconte : la première montre l'évolution dans la conception, la seconde, l'histoire des moyens industriel associés, seuls à même de concrétiser les idées des concepteurs.

Partie 1 - La conception

Le S39, père de tous les compresseurs Turboméca

Turboméca a été fondée pour produire des compresseurs, plus précisément le modèle S39 H3 destiné au moteur Hispano-Suiza 12 Y 45 et issu de dix ans de recherches acharnées. L'élément clé du S39 est son ensemble tournant. Celui-ci comprend trois roues axiales directement suivies par un rouet centrifuge, sans redresseurs intermédiaires. Le rouet comporte 17 pales strictement radiales. Les roues axiales comportent aussi 17 pales sans cambrure, dont le calage par rapport à l'axe de rotation diminue de la roue 1 à la roue 3. Point essentiel, les pales des roues axiales sont dites cylindriques : le calage du profil est le même sur toute la hauteur de la pale. Cela en raison des limitations des moyens d'usinage disponibles à l'époque, les fraiseuses Deckel à pantographe.



Le S39H3 et son ensemble tournant

On distingue parfaitement les trois axiaux accolés au rouet

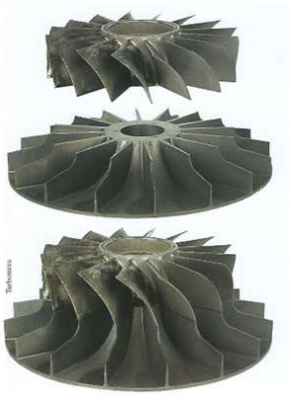
La première génération de compresseurs centrifuges

En parallèle de la production du S39, Joseph Szydlowski n'avait de cesse de travailler à l'augmentation des performances de ses compresseurs. Des milliers d'essais furent réalisés au banc compresseur, y compris pendant la guerre, pour tester différentes géométries. Parmi celles-ci, les roues axiales à pales hélicoïdales, dans lesquelles le calage du profil varie tout le long de la hauteur de la pale. D'abord usinées artisanalement, il allait jusqu'à tordre les pales de compresseur à la pince multiple " pour voir ", de telles roues nécessitaient des moyens d'usinage nouveaux pour une production en série. C'est grâce à André Planiol, alors installé aux Etats-Unis, que Joseph Szydlowski put trouver après la guerre, des fraiseuses à trois broches nécessaires à la productivité. Dans le même temps, les trois roues axiales furent remplacées par une seule roue d'entrée accolée au rouet donnant naissance à la géométrie de compresseur centrifuge en deux parties qui allait équiper la première génération de moteurs : roue d'entrée hélicoïdale et rouet à pales radiales.

Le compresseur axial transsonique

Au début des années 1950, Joseph Szydlowski imagina de suralimenter le compresseur centrifuge avec un compresseur axial. Mais pour ce faire, il fallait maitriser les écoulements supersoniques, ce qui n'avait alors jamais été fait. D'autres centaines d'essais furent réalisés pour arriver à un concept original : une roue axiale

avec un nombre réduit de pales à grande corde, hélicoïdales et profil en forme de " S ", suivie d'un redresseur bigrille. Pour la petite histoire, il faut savoir que le profil en " S " adapté aux écoulements supersoniques, serait issu d'une découverte fortuite. En effet, c'est suite à une erreur de copiage sur la machine-outil qu'un compresseur de ce type fut fabriqué. Essayé malgré tout, il se serait révélé plus performant que les aubages antérieurs !



Compresseur centrifuge en deux parties

Roue axiale avec pales à large corde et profil en S (Arriel)

La technologie des compresseurs axiaux multiétages

Dix ans plus tard, les nécessités du programme Adour entrainèrent Turboméca à travailler sur les compresseurs axiaux multiétages. C'est à cette époque que fut mise au point la technique de développement de ce type de compresseur avec les essais dits par empilage des étages : 1, puis 1 + 2, puis 1 + 2 + 3, etc., permettant une approche progressive de l'adaptation des étages. Pour lever les doutes des Britanniques quant à la capacité technique de Turboméca, une compétition formelle fut lancée entre les deux industriels pour le compresseur HP (haute pression) : le modèle de Turboméca surclassa très nettement au banc d'essais celui de son partenaire (David triomphait de Goliath !). Ce fut le point de départ de l'admiration que Rolls-Royce porta à Max Giraud, concepteur de l'aérodynamique du compresseur, à Turboméca et à son président Joseph Szydlowski. Rolls-Royce acquit même la licence du compresseur HP et l'utilisa en 1969 sur un de ses premiers prototypes de turbofan triple corps, le RB-203 Trent (10 000 lb de poussée) destiné à remplacer le Spey. Enfin le compresseur complet, dans une version améliorée (un étage de moins) et à échelle moitié, sera repris plus tard pour le Larzac, cette fois avec Snecma.

Le temps de la modélisation des écoulements

Jusque dans les années 1975, la puissance des moyens de calcul ne permettait pas de simuler de manière détaillée les écoulements à l'intérieur des compresseurs axiaux et centrifuges. Sur une base simplifiée et à l'aide de résultats de nombreux essais paramétriques, Turboméca avait cependant développé un modèle d'écoulement monodimensionnel, dit " 1D ", à l'origine de l'essentiel des progrès réalisés sur les centrifuges jusqu'en 1980, comme l'introduction de pales intercalaires dans les rouets et l'inclinaison des pales par rapport à la direction radiale en sortie. Les centrifuges les plus avancés développés sur cette base et réalisés avec un rouet " évolutif monobloc ", en opposition aux rouets en deux parties antérieures, furent ceux des moteurs Astazou XX, Makila 1 et Arriel 1C.

Rouet évolutif monobloc Arriel 1C

A partir de 1980, la puissance des moyens de calcul progressant de manière spectaculaire, des modèles de plus en plus sophistiqués furent développés, validés là aussi par des essais dédiés de compresseurs axiaux et centrifuges :

- le modèle dit " méridien 2D " qui fut à la base des progrès réalisés jusqu'en 1985 sur l'évolution des veines méridiennes et la décélération de l'écoulement,
- le modèle dit " quasi tridimensionnel " associant le calcul " méridien 2D " précédent à des calculs dits " aube à aube 2.5D par tranche ". Développée en coopération avec l'ONERA, l'association de ces deux codes entraina les progrès de 1985 à 1990 en optimisant la distribution de la charge des aubages principaux et intercalaires.

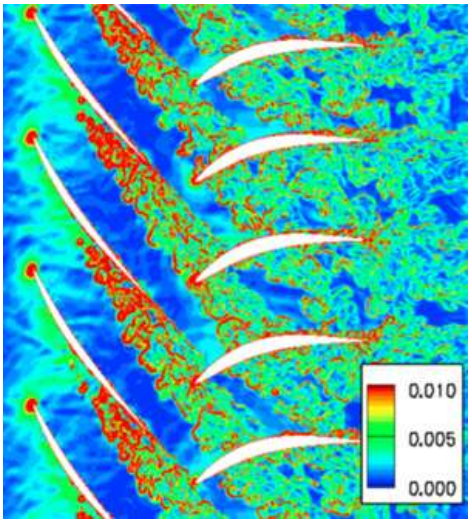
- le modèle dit " 3D Euler " permettant l'analyse des écoulements transsoniques et instationnaires, prit la succession à partir de 1990.

Ces recherches, financées par les services officiels (STPAé, DRME puis DRET), permirent d'augmenter simultanément le taux de compression, le rendement et la stabilité de compresseurs expérimentaux et in fine de limiter le nombre d'étages de compression. Afin de simplifier au maximum les petites turbomachines, la recherche d'une charge maximale des aubages permit de limiter le nombre d'aubes fixes et mobiles (d'environ 50 % par rapport à la concurrence) et de passer à des redresseurs axiaux mono-grilles. Les turbomoteurs de nouvelle génération TM333, Arrius 1, RTM322 ainsi que le groupe auxiliaire de puissance APS 3200 furent développés sur ces bases.

En parallèle, il fut possible d'augmenter le débit et la vitesse spécifique des centrifuges afin de les utiliser comme premier étage d'un compresseur multi-étagé. Ceci donna naissance au compresseur MTR390 qui fut le premier moteur à utiliser deux centrifuges en série sur le même arbre, sans élément de géométrie variable.

Profitant encore de l'accroissement de la puissance de calcul des ordinateurs, de l'ordre d'un facteur 2 chaque année, et pour s'affranchir des hypothèses simplificatrices précédentes, l'utilisation de méthodes dites de Navier-Stokes résolvant les équations de la mécanique des fluides avec une modélisation de la turbulence des écoulements démarra en 1995.

Ces logiciels furent validés sur des compresseurs finement caractérisés par vélocimétrie laser dans nos laboratoires partenaires : axiaux à l'ONERA et centrifuges à Supaéro et l'Ecole Centrale de Lyon. Ils permirent une meilleure connaissance des écoulements complexes dans les compresseurs, rendue difficile par l'exiguïté (~ 5 mm de hauteur d'aube en sortie de compresseurs centrifuges à fort rapport de pression), les grandes vitesses périphériques (~ 650 m/s), les températures élevées (~ 450 °C) et l'instationnarité à haute fréquence des phénomènes. Enfin la calibration de ces nouveaux outils sur une large palette de compresseurs permit de réduire drastiquement le nombre d'essais de développement des futures machines au banc compresseur par la satisfaction des performances nominales mais toujours avec des aléas pour la maitrise de la limite de stabilité en conception. Grâce à ces dernières méthodes, de nombreux moteurs virent leurs performances améliorées : Adour Mk 951, Arrius 2, Arriel 2, Makila 2, MTR390-E, RTM322-01/9 ; de nouvelles machines furent développées : TRI40 (Microturbo), Ardiden 1, Ardiden 3, Arrano et Silvercrest (Snecma).



Calcul Navier-Stokes instationnaire, interaction entre roue et redresseur dans un compresseur axial

L'aérodynamique n'est pas tout

Roue axiale 3D Arriel 2

La conception d'un compresseur nécessite d'autres travaux que les seuls calculs aérodynamiques. Dans le domaine aérothermique, des logiciels particuliers ont été mis au point à partir des années 1980 pour définir le champ thermique d'un compresseur et calculer les jeux de fonctionnement. Là encore, différentes étapes furent nécessaires avant d'arriver aux modélisations par éléments finis 3D actuelles. Il en fut de même dans le domaine des calculs de structure pour maitriser les vibrations, les déformations, les durées de vie et la tolérance aux dommages par impact de corps étrangers. Les progrès dans ce domaine furent spectaculaires puisque les durées de vie ont été multipliées par cinq grâce à ces méthodes et à l'évolution des matériaux. La science des matériaux, particulièrement du Titane, matériau de base de nos compresseurs, fit en effet d'énormes progrès notamment sur les propriétés d'emploi. C'est ainsi qu'entre 1978 et 1990, une amélioration d'un facteur 50 (!) fut apportée sur la durée de vie minimale en fatigue du TA6V.

Le long chemin technologique

On mesure mieux, en lisant cette histoire, même résumée, combien le temps technologique est long et combien son déroulement influe à long terme sur la technologie des moteurs. Une gamme de moteurs ne s'improvise pas. Si les architectures des moteurs de la nouvelle génération (Arrano, Ardiden, etc.) sont ce qu'elles sont, c'est à la suite de dizaines d'années de maturation technologique qui ont nécessité des générations de chercheurs. C'est cette accumulation patiente, jamais interrompue, de travaux, qui seule permet de développer de nouveaux moteurs toujours plus performants. On ne s'improvise pas Motoriste, on le devient.

Et la fabrication ?

Le mode de réalisation (usinage, fonderie, mécano-brasage, etc.) a toujours guidé la conception des compresseurs. Comme les progrès en aérodynamique, aérothermique, mécanique des structures ou science des matériaux, les progrès des techniques de fabrication sont vitaux pour le développement des futurs composants. C'est ce que nous allons voir dans la seconde partie de cette histoire.

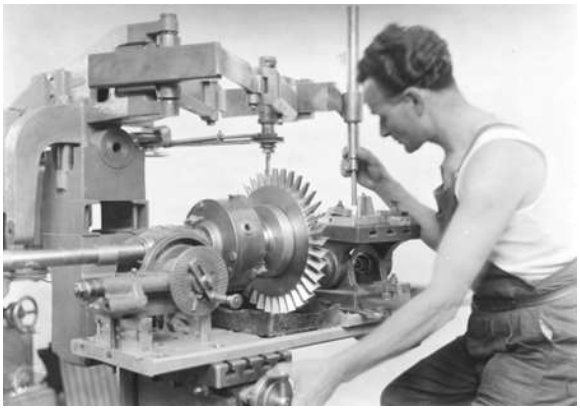
Partie 2 - La fabrication

Rouet Arriel et roue axiale RTM322

Rouet Arrius sur la machine Rigid NF100 monobroche

I - Jusqu'en 1957, l'usinage par copiage manuel sur des machines conventionnelles

Les fraiseuses Deckel KF1



Machine Deckel KF1 à pantographe

Dès 1938, dans le premier atelier de Boulogne-Billancourt, on usinait déjà ces fameux trois étages axiaux qui précédaient l'étage centrifuge du compresseur S39 du moteur Hispano-Suiza. C'était sur une machine Deckel KF1 à pantographe, la machine n° 001 [1], que Eugène Legrill [2] fit les premiers copeaux à la force du poignet et des épaules dans du dural. Cette machine permettait de copier un modèle de la forme de la pale, mais l'usinage était un travail très physique qui demandait aussi une grande habileté des compagnons. Il y eut jusqu'à six machines de ce type pour faire face à la charge [3]. On y usinait aussi les redresseurs en alliage léger sur lesquels on frettait ensuite une couronne extérieure.

[1] Cette Deckel KF1 n°001 est visible au musée Turboméca sur le site de Bordes

[2] Eugène Legrill, surnommé Bouboule, était un garçon très sympathique qui se plaisait à dire qu'il avait fait ECC (Ecole Communale de Clignancourt). Il est demeuré pendant de longues années le spécialiste des pales. Il suivra Turboméca lors de chaque déménagement et il termina sa carrière dans l'atelier fraisage de Bordes comme contremaître du fraisage des pales. Il quitte TM en mars 1975 à l'âge de 65 ans.

[3] Dès mars 1945, JS recherchait des machines tribroches aux USA par l'intermédiaire d'André Planiol pour augmenter la productivité. Ils évoquent déjà une machine Cincinnati Hydrotel. Fut-elle vraiment livrée ?

Les fraiseuses Bombardier

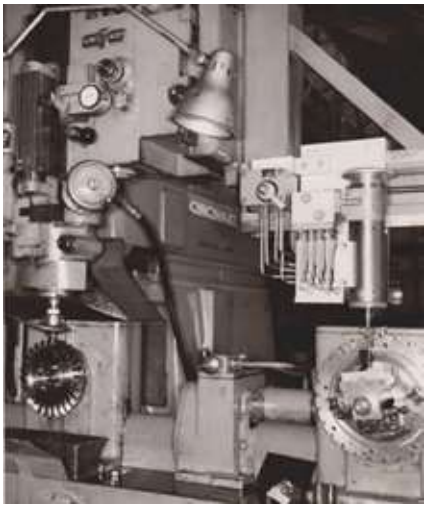
Dans les années 1950, des machines Bombardier permirent d'absorber la croissance de la charge. A l'aide d'un reproducteur plan et sa rainure en forme de haricot, un doigt permettait de reproduire mécaniquement le profil. Elles fonctionnaient avec deux compagnons, l'un assurait le déplacement longitudinal de la table de la fraiseuse en tournant la manivelle et l'autre, avec un grand levier, faisait en sorte d'annuler le jeu sur le diviseur lors de l'inversion de sens. Il y eut plusieurs fraiseuses. Mais les deux compagnons qui sont restés dans la mémoire de nos plus anciens sont Louis Casabonne et René Tardan. Une anecdote rapporte qu'un gradé militaire fut très impressionné et donc abusé par Tardan, ancien professionnel de rugby à XIII et aussi boxeur, qui lui laissait croire que c'était lui qui assurait la trajectoire de la fraise avec son levier !

II - De 1957 à 1979, l'arrivée du copiage hydraulique

Les Nassovia et les Cincinnati

Multibroche avec tête de copiage Chéringou (1963)

Pour améliorer la productivité, on achète à partir de 1957 des fraiseuses à copiage hydraulique [4], d'abord deux machines Cincinnati Hydrotel puis deux machines Nassovia. Sur ces machines plus puissantes furent surtout réalisées des ébauches de roues pour enlever le plus gros de la matière, surtout dans l'acier, mais la finition continuait à être réalisée par copiage manuel sur les Deckel KF1 [5]. Ces machines servaient aussi à la réalisation des pièces prototypes. Mais très rapidement, elles subirent la concurrence des machines multibroches conçues par Turboméca.


Dispositif de copiage Cincinnati

Les Multibroches " Chéringou "

Alfred Chéringou avait été embauché en 1946 comme chef d'atelier principal. A cette époque, les ingénieurs allemands présents dans l'usine s'étaient lancés dans l'étude d'une machine pesant 15 tonnes et coûtant 15 millions d'anciens francs pour produire les ensembles tournants ! De son côté, Alfred Chéringou, utilisant ses connaissances en hydraulique, acquises aux Arts et métiers, eut l'idée de la fraiseuse multibroches avec donc plusieurs broches disposées en couronne sur un plateau afin de tailler simultanément dans la masse toutes les pales d'un compresseur ou d'une roue de turbine. Il souhaitait aussi un outil de production plus compétitif, simple et dix fois moins cher que le projet allemand abandonné entre temps.

Les premiers travaux réalisés ne furent pas concluants si bien que Joseph Szydlowski ne le prit pas au sérieux, au point qu'Alfred Chéringou faillit démissionner. C'est alors qu'arrive André Bertin. Il sera celui qui réussira à concrétiser toutes les idées d'Alfred qui avait un mal fou à tracer un trait de crayon. Trois mois d'études et trois mois de fabrication furent nécessaires pour réaliser la première machine et, le 21 juin 1957, la première multibroche entra en service. Elle n'avait que 3 broches et il était encore nécessaire de faire plusieurs phases d'usinage pour réaliser une roue complète. Ce n'est qu'un peu plus tard que fut construite la 1ère multibroche complète avec 37 broches pour réaliser les roues de turbine Marboré.

Multibroche avec tête de copiage Chéringou (1963)

[4] Dans le copiage hydraulique, on utilise la force d'une pompe hydraulique et des vérins bidirectionnels pour remplacer la force humaine. Simultanément il devient possible de faire le tour de la pale au lieu d'usiner d'abord un côté (intrados), puis l'autre (extrados) comme sur la Deckel à pantographe.

[5] Les escaliers réalisés lors de l'ébauche étaient préalablement enlevés par polissage chez un sous-traitant ou dans l'atelier d'ajustage de Fernand Denot.

Joseph Szydlowski présentant une multibroche

Turboméca en était si fière qu'elle fut présentée au ministre de la Défense ! Les premières machines étaient conçues avec un arbre à deux cames, l'une actionnant le vérin " vertical " et l'autre le vérin " rotatif ". Dès que le vrillage des pales fut plus conséquent (roue axiale Astazou) il fallut adopter une tête de copiage permettant de reproduire un modèle tridimensionnel de la pale. On adapta d'abord une tête de copiage Nassovia qui fut ensuite remplacée par une tête de copiage Chéringou dont la réalisation fut assurée par André Bertin.

A chaque nouvelle machine, du moins au début, Joseph Szydlowski amenait une bouteille de champagne pour arroser l'évènement. Il connaissait très bien le bénéfice qu'il allait en tirer immédiatement.

Elles participèrent indéniablement au succès industriel de Turboméca et furent exportées chez nos licenciés en Inde, Israël et Roumanie.

En 1960, il existait déjà six ou sept multibroches qui usinaient pales axiales à chape, roues d'entrée, roues de turbine (et roues axiales après 1962). Une cinquantaine de multibroches différentes furent construites [6] et Charles Asnard en était le contremaître. Jean Radaelli, qui sera plus tard chef d'atelier fraisage, s'occupait alors de la maintenance de ces multibroches. La moitié des multibroches fut ensuite affectée à Tarnos lors de la création de l'usine pour l'usinage des roues de turbine. Il en reste encore neuf aujourd'hui pour les pièces de rechange. Rétrospectivement, on peut dire que ces multibroches à copiage hydraulique furent le premier grand saut technologique dans l'usinage des compresseurs et des turbines.

Gabriel Lasserre, André Crespo, Jean Radaelli, André Bertin, Alfred Chéringou et X

III - De 1980 à 2000, l'avènement des machines à commande numérique (CN)

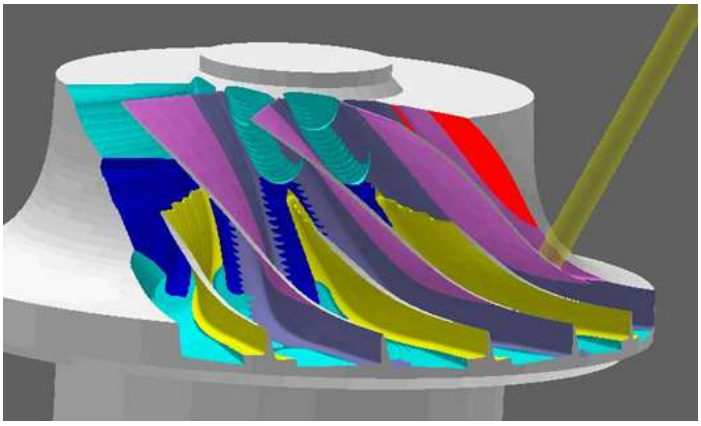
Comme évoqué dans la première partie, les moyens de calcul progressent de manière spectaculaire à partir de la fin des années 1970. Les premiers rouets centrifuges évolutifs (et donc monoblocs) apparaissent. Avec les moyens dont nous venons de parler, il n'y avait que les Deckel KF1 qui permettaient de les réaliser, et cela demandait près de 130 heures de travail très physique pour les opérateurs de ces machines, sans parler des 50 heures de polissage manuel également nécessaires. Il fallait trouver d'autres moyens. Or c'était l'époque où les machines CN se développaient vraiment et où l'on commençait à avoir des armoires CN pouvant piloter simultanément plusieurs axes. La première, à 3 axes simultanés, fut la Bridgeport qui servit en 1975 à usiner les pieds " tour Eiffel " de nouvelles pales de redresseurs Adour avec le logiciel Polysurf tournant avec un écran graphique Tektronix. Mais pour usiner les rouets centrifuges dont les deux flancs de la pale sont des surfaces réglées (générées par des droites), il fallait des machines 5 axes (X, Y, Z et deux plateaux tournants) de manière à usiner avec le flanc de la fraise.

Une des trois Wyssbrod B74 (1979)

C'est en juin 1979 que le service CN de Turboméca réussit à programmer un centre d'usinage (CU) Wyssbrod B74 et à usiner dans la masse un rouet Arriel, en utilisant pour cela un logiciel américain SSX5, évolution de l'APT 360 d'IBM, acquis gratuitement auprès de l'IITRI (Illinois Institute of Technology). C'était une première en France ! Seule en Europe, la société MAN, à Stuttgart, usinait de cette manière le rouet du moteur HM-60 de la fusée Ariane 4.

Trois machines Wyssbrod B74 furent achetées de 1979 à 1982, et le temps d'usinage du rouet Arriel tombait successivement de 130 heures à 30 heures en 1983 puis à 14 heures en 1988.

[6] A noter que les machines étaient constituées d'un bâti et de plateaux interchangeables comportant un nombre variable de broches ce qui permettait de s'adapter à tous les cas de figure et aussi augmenter la flexibilité de la production en fonction de la charge.



Simulation usinage (logiciel NCSIMUL)

René Andureu sur une machine Rambaudi à 4 broches

Lionel Ducasse sur le robot Zeiss FC600

Simultanément (en 1981 et 1983) deux machines Rambaudi Rammill furent mises en service pour l'usinage des roues axiales. A l'origine, elles étaient des machines " par apprentissage " [7].

Afin d'améliorer la productivité, plusieurs tentatives d'automatisation furent réalisées. Un des CU 5 axes monobroche Wyssbrod fut transformé en bibroches et les 2 fraiseuses Rambaudi bibroches furent modifiées en machines 4 broches avec une palettisation qui permettait de doubler la capacité de la machine et de travailler la nuit sans interruption sur 8 roues axiales. Ces machines par apprentissage furent ensuite programmées " hors ligne " [8] par le service Programmation CN.

A partir de là, de nombreuses étapes jalonnent plus d'une vingtaine d'années dédiées à l'optimisation du fraisage des rouets et des roues. Les progrès technologiques, la baisse des coûts et l'amélioration de la qualité ont été de puissants moteurs pour promouvoir tout au long des années 80 et 90 d'autres investissements.

Ces investissements ont concerné : les machines elles-mêmes en remplaçant les CU de première génération Wyssbrod par des centres de fraisage Starrag/La Rigid plus modernes et plus performants (Quatre centres furent achetés de 1987 à 1996), les moyens de contrôle tridimensionnel pour la mesure des épaisseurs des aubages, de nouveaux systèmes de FAO (Fabrication Assistée par Ordinateur), pour la programmation des trajectoires (logiciel PSI) ou pour la simulation des usinages (logiciel NC-Simul) permettant d'acquérir une meilleure maîtrise du fraisage 5 axes.

Machine Rigid/La Starrag NF100 bibroches

[7] La programmation " par apprentissage " d'une machine (ou d'un robot) consiste à lui faire enregistrer dans un premier temps le parcours de l'outil, ici par palpage d'un modèle représentatif de la pale. Dans un 2ème temps, l'armoire numérique associée restitue ce parcours pour réaliser l'usinage.

[8] La programmation "hors ligne" permet de ne pas immobiliser la machine comme dans la méthode par apprentissage.

En parallèle, Turboméca a développé un savoir-faire important dans la conception et la fabrication des outils coupants dédiés à cet usinage. De cette maîtrise, dépendent beaucoup les succès remportés en fraisage. Ainsi, les temps d'usinage divisés par deux (7 h 00 sur le rouet Arriel en 2000), la diminution des temps de polissage manuel (de 50 heures à 15 heures en 1990, puis 7 h 50 en 2000 lors de l'acceptation des stries de fraisage en fond de veine) et une réduction des dispersions sont les résultats les plus visibles des progrès réalisés durant ces deux décennies.

Usinage de trois roues axiales Makila sur la machine UGV Starrag HX 243-B

A noter aussi qu'une des deux machines Rouchaud FV80 achetées à Tarnos en 1986 pour l'usinage des roues de turbine fut transférée à Bordes en avril 1996 pour l'usinage des roues axiales (huit pièces à la fois).

Ainsi, en s'appuyant sur une forte implication des équipes de la Production et des Bureaux d'Etudes, Turboméca a su, par l'ingénierie simultanée, rationnaliser cet usinage complexe pour en faire une vitrine technologique. Durant ces deux décennies l'avènement des machines CN sera donc le deuxième saut technologique important.

IV - Depuis 2000, l'Usinage Grande vitesse ou UGV

A partir des années 2000, l'introduction de l'UGV constituera le troisième saut technologique avec l'arrivée de machines capables de grandes vitesses de rotation de broches et d'accélérations très élevées. Combiné à l'utilisation d'outils plus modernes, avec de nouveaux carbures et de nouveaux revêtements, l'usinage fut bouleversé pour produire des pièces parfaitement maîtrisées en dimensions et état de surface. Les gains de productivité atteignirent près de 50 %, les coûts de consommables diminuèrent de 60%. L'amélioration de la " capabilité " du procédé d'usinage et des recherches sur les modes vibratoires [9] permirent aussi de faire un bond en avant extrêmement significatif par une nouvelle et forte réduction des dispersions et en autorisant l'allégement des contrôles par la Maîtrise Statistique des Procédés (MSP).

Rouets Arrius sur machine UGV Liechti Gmill 550 bibroches

Franck Fernandez sur la machine UGV Starrag HX 243-B

En mars 2000, une fraiseuse 4 axes Starrag HX 243 B arrive à l'îlot Profils pour l'usinage des roues axiales. Equipée de trois broches, cette machine remplace à elle seule trois machines (les deux Rambaudi et la Rouchaud) qui totalisaient 16 broches ! Avec des vitesses de broche de 18 000 tr/mn au lieu des 2500 maxi précédemment, des avances de 3,8 m/mn au lieu de 2m/mn, équipée d'un magasin de 72 outils et d'un palettiseur pour 18 roues axiales, son autonomie permet le travail de nuit et le week-end sans surveillance. En ce qui concerne les rouets centrifuges, le passage à l'UGV fut réalisé en 2004 avec l'arrivée d'une machine 5 axes bi-broches Liechti Gmill 550 Twin en vue de commencer à remplacer les quatre centres Starrag vieillissants (15 ans d'âge). Outre la vitesse de broche (15 000 tr/mn et des vitesses de coupe de 250 m/mn), les autres caractéristiques sont une accélération qui atteint 10 m/s² sur les trois axes linéaires (soit 0 à 100 km/h en 2,8 s) et des vitesses de plateaux rotatifs de 40 à 200 tr/mn à comparer aux 4 tr/mn auparavant. En y associant un arrosage à plus forte pression (50 bar), le frettage des outils pour une meilleure rigidité,

[9] Une thèse CIFRE fut menée en 2003/2005 sur les modes vibratoires des aubages considérés comme des parois minces.

un système de mesure et de surveillance par laser, un magasin de 94 outils et une palettisation de 20 pièces, les temps d'usinage sont encore divisés par deux sur Makila 2 (10,6 h à 5,4 h) et Arrius 2 (9,2 h à 3,5 h), l'Arriel passant à 5,4 h. Mais comme il s'agit de machine bi-broches il faut à nouveau diviser par deux le temps effectif, soit 2,7 h/rouet !

Les performances de ces machines UGV ont aussi permis, sans dégrader les temps, de changer la stratégie d'usinage en passant d'un
" contact ligne " où l'on usine avec tout le flanc de la fraise (logiciel PSI/L) à un " contact point " (logiciel PSI/P) où l'on fraise avec le bout de la fraise ; et ainsi de pouvoir développer des rouets à aubages tridimensionnels, dont celui de l'Arrano. Cela illustre encore l'interdépendance entre conception et fabrication.

Francis Bonnasse-Gahot sur la machine UGV Liechti Gmill 550

V - Mais encore ...

Dans ce qui précède nous n'avons pas été exhaustifs. Dans ce dernier paragraphe, nous allons donc essayer d'évoquer sous forme d'inventaire " à la Prévert " (en les survolant toutefois) d'autres aspects de la fabrication des compresseurs.

Les roues d'entrée

Alors que leur finition était réalisée sur les Deckel KF1, leurs ébauches étaient réalisées avec des fraises cloches sur une machine Milwaukee qui fut déplacée chez notre sous-traitant Mécaprécis. En 2001/2002, ces roues sont réintégrées à Bordes et usinées dans la masse sur nos CU 5 axes Starrag et le sont toujours sur un centre mono-broche qui a été déplacé au CCI Pièces Spécifiques (bâtiment B11).

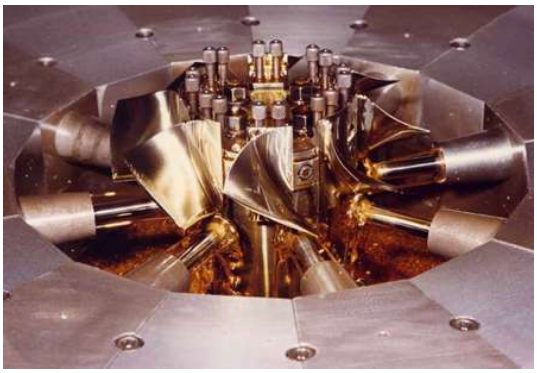
Les rouets droits

Assemblés avec les roues d'entrée pour constituer le compresseur centrifuge, ils sont fabriqués sur des fraiseuses conventionnelles Kearney-Trecker et Sundstrand avec un astucieux dispositif de balayage. En 1982, leur fabrication est transférée dans un îlot spécifique à Tarnos. Mais depuis 2004, ils sont sous-traités chez Récaéro à Verniolles dans l'Ariège pour les besoins en réparation.

Les pales axiales à chape

Nous les trouvons sur les moteurs Turmo, Astazou, Bastan où elles étaient montées et goupillées sur un arbre. Matricées, elles étaient ébauchées sur les Cincinnati/Nassovia et terminées par lots de huit sur les multibroches Chéringou. Elles furent transférées à Tarnos en 1982 dans un îlot spécifique qui était en outre équipé d'une machine transfert MOCN de 1983 à 2003. Elles continuèrent à être fabriquées à Tarnos jusqu'en 2008 dans un petit îlot reconstruit, mais aujourd'hui elles sont sous-traitées chez Mécafi à Châtellerault dans la Vienne.

Les pales Adour



Pales Astazou sur multibroches usinées par 8

Les pales des compresseurs et redresseurs Adour étaient usinées à Tarnos sur une chaine spécifique Fritz-Werner. Ce fut l'une des premières activités de Jean-Pierre Subrenat (futur Directeur de production) qui, après son embauche en septembre 1967, commanda et installa les machines de cette chaine qui fut réceptionnée en 1970. On y fabriqua aussi peu de temps après les pales du Larzac, mais il faut souligner ici que les usinages ne concernaient que le pied et la tête des pales car le profil était obtenu directement par matriçage. Cette chaine fut ferraillée en 1997, mais l'usinage maintenu à Tarnos jusqu'en 2009 en particulier sur le CU vertical Burkhardt HYOP120 palettisé. Ces pales sont aujourd'hui aussi chez Mécafi.

Les rouets atypiques Eurodyn, TM 1800 et SMX

De très beaux challenges furent remportés sur ces rouets de grande taille. Pour Eurodyn d'abord, un rouet double en titane (Ø 336) et un rouet en alliage réfractaire Inco 718 (Ø 294) sur lequel on s'est bien cassé les dents (de la fraise !). Puis deux autres rouets en titane, celui du TM1800 (Ø 500), usiné en 2002 à Tarnos sur le centre Burkhardt MC 100 et le rouet expérimental SMX (Ø 518) en 2007/2009 usiné à la MAP sur un centre Mori-Seiki car nous n'avions pas de machine de capacité suffisante.

Les machines 6 axes

En 1984, sous la houlette de Joseph Szydlowski, André Bertin conçut et réalisa deux machines 6 axes, selon un concept très ingénieux qui consistait à articuler les axes d'un double berceau rotatif autour d'un point qui était aussi le centre de l'outil sphérique qui usinait la pièce. Une première roue axiale en alu fut terminée le 25 janvier 1985. Ces machines permirent d'usiner quelques pièces prototypes.

Le polissage

Nous avons indiqué ci-dessus les diminutions de temps obtenues, mais au-delà de l'amélioration du fraisage, il faut souligner les autres aspects qui l'ont permis. D'abord le polissage Extrude Hone (par des allers-retours d'une pâte abrasive dans la veine), qui était sous-traité et mal maîtrisé, il fut réintégré à Bordes où il sert aussi au calibrage des distributeurs. Puis les travaux d'ingénierie simultanée avec le bureau d'études en 1997/2000 qui ont débouché sur un standard (ST2315) qui accepte un certain nombre d'imperfections de surface et, surtout, les stries de fraisage en fond de veine. Aujourd'hui, le temps de polissage manuel a été amené à 1 h 75 par rouet (on ne polit plus que les bords d'attaque) et 20 minutes de polissage Extrude Hone. L'objectif est maintenant de s'affranchir totalement du polissage manuel.

Le grenaillage

Le grenaillage conventionnel à la bille d'acier sur les pales et les fonds de certains rouets (Arrius, Makila et RTM 322) a permis d'améliorer leur tenue en fatigue. Ce grenaillage était initialement réalisé chez MIC à Bayonne mais, en 2003, Bordes s'est équipé d'une machine Sonats à ultrasons pour assurer ce travail.

Les redresseurs et diffuseurs

Nous n'en parlerons que pour mémoire car ces pièces statiques font partie intégrante des compresseurs, mais leurs modes d'élaboration en série s'écartent largement des procédés évoqués ci-dessus Elles font surtout appel à la fonderie ou à des techniques d'assemblage par soudage ou brasage [10].

Machine de grenaillage ultrasons SONATS

Autant dire qu'aujourd'hui l'aventure se poursuit avec à l'horizon des machines encore plus performantes mais aussi de nouveaux challenges avec des pièces aux géométries plus complexes dans des matériaux réfractaires à faible usinabilité. Cette activité continuera donc de susciter pour longtemps des débats passionnés entre tous les acteurs.

David et Goliath : à gauche, le rouet Arriel et, à droite, le rouet d'essais TM1800

[10] A noter toutefois que les premiers moteurs étaient équipés de segments de diffuseurs usinés sur des multibroches Chéringou avec des plateaux spéciaux dont les broches étaient orientées vers l'extérieur et ensuite assemblés en couronne.

L'avion à hydrogène

La vague " écolo " qui déferle sur l'Europe depuis plusieurs années n'a pas épargné l'aviation. La menace " verte " de " boycotter " les compagnies aériennes et de ruiner l'industrie aéronautique a produit ses effets et les avionneurs se sont dépêchés de faire savoir qu'ils étaient prêts à lancer (sous réserve d'un financement d'Etat bien sûr !!) des projets d'avions " propres " pour la planète. Le transport aérien représente moins de 2% des émissions du CO_2, gaz qui serait responsable du réchauffement climatique. Je ne veux pas entrer ici dans le débat de savoir si, oui ou non, ceci est vrai, bien que je sois convaincu que l'origine de tous nos maux est la surpopulation mondiale, le CO_2, n'en étant que la conséquence.

Donc, si nous voulons continuer à voyager, tout en gardant la conscience tranquille, les moteurs ne doivent plus consommer d'hydrocarbures. Pour cela deux solutions existent, l'hélice entraînée par un moteur électrique alimenté par des batteries ou encore le moteur à hydrogène. La solution à batteries est très lourde et ne peut convenir qu'aux petits avions à très faible rayon d'action, et c'est sans se poser la question de savoir quel est le degré de " carbonisation " de la production des batteries et l'origine de l'électricité qu'elles contiennent ! L'argument avancé en faveur du moteur à hydrogène est qu'il ne rejette pas de CO_2 dans l'air mais uniquement de la vapeur d'eau. C'est d'ailleurs passer sous silence que la vapeur d'eau est aussi un puissant gaz à " effet de serre ", dont la " durée de vie ", cependant, est très courte.

Donc des avionneurs, Airbus en tête, car Boeing est encore empêtré dans les difficultés du B737 Max et le gouvernement des USA ne semble pas disposé à offrir un financement, ont décidé que le moteur à hydrogène serait le moteur de l'avenir devant réconcilier l'aviation et ses utilisateurs. Et, tout de suite, des images d'avions futuristes " à hydrogène " ont été diffusées par les médias, comme si l'affaire était facile et déjà jouée.

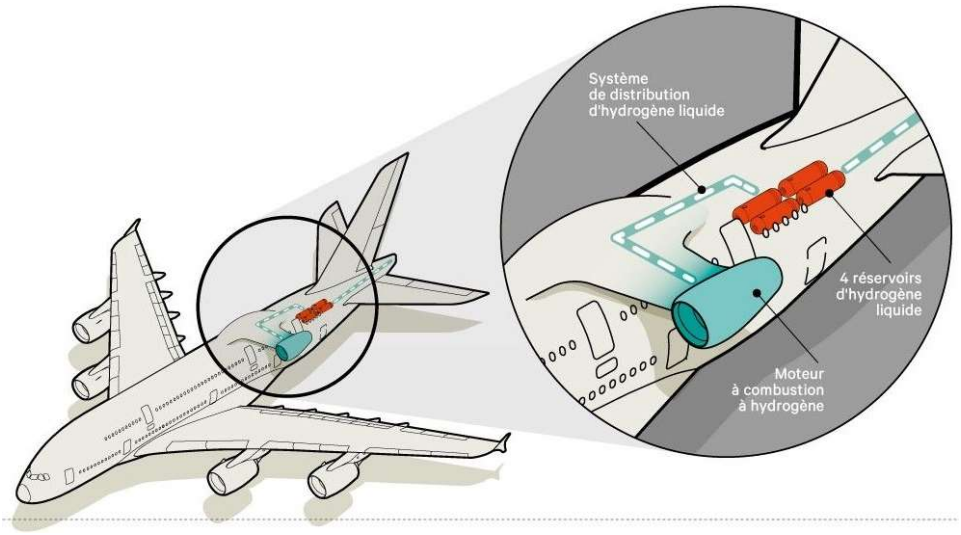
Projet futuriste de l'aile volante à l'hydrogène d'Airbus (© Airbus group)

Ces propositions ont été faites alors que l'expérience des moteurs d'aviation à hydrogène est quasi nulle. A ma connaissance, les russes avant la dislocation de l'URSS, ont fait quelques vols d'essai avec un triréacteur Tupolev Tu-155 dont un des moteurs était alimenté à l'hydrogène liquide. Du côté américain, dans les années 1950, Pratt & Whitney a également essayé au banc sol un turboréacteur à hydrogène destiné à un avion militaire, puis le projet a été abandonné.

Depuis 2020 très peu d'informations publiques ont été publiées par Airbus et Safran sur l'avancement de leur projet. Seule une image de ce que pourrait être le futur banc d'essai volant du moteur a été publiée par Airbus et je pense que la configuration de ce banc volant est révélatrice des difficultés futures qui vont être rencontrées.

Un banc d'essai volant utilise généralement un quadrimoteur dont l'un des moteurs est remplacé par le moteur en essai. Or ici ce n'est pas le cas, le moteur à essayer étant installé beaucoup plus près de la cabine, comme si on voulait limiter la longueur des tuyauteries entre les réservoirs d'hydrogène liquide et le moteur.

L'avion à hydrogène pose un énorme défi, à la fois pour la définition de l'avion et de ses moteurs et aussi pour les infrastructures au sol qui seront nécessaires pour la fabrication et le stockage de l'hydrogène destinés à l'avitaillement des avions.



A380 modifié comme banc d'essai volant d'Airbus pour un moteur à hydrogène (© Les Echos)

Il n'y a pas de mystère, les avions, comme les oiseaux, doivent vaincre la force de pesanteur et pour cela ils doivent générer une force verticale qui lui est opposée. Cette force aérodynamique est fournie par la portance des ailes, elle même fonction de la vitesse d'avancement et de l'incidence. Or, en même temps que la portance, est générée une traînée, que devra équilibrer la poussée des moteurs. Cette traînée dépend de la vitesse, de la forme du fuselage et de l'incidence des ailes. Tous ces phénomènes réunis font qu'à vitesse d'avion donnée, la poussée que les moteurs doivent fournir dépend avant tout de la forme et de la masse de l'avion et c'est sur ces points que les avions fonctionnant à l'hydrogène se différencieront de ceux fonctionnant au kérosène.

Une première question que l'on se pose est de savoir s'il est préférable d'avitailler l'avion avec de l'hydrogène liquide ou de l'hydrogène gazeux. La réponse à cette question est rapide et sans ambiguïté.

Un rapide calcul montre que pour occuper un volume équivalent à celui de la même masse d'hydrogène liquide, c'est-à-dire avec le même pouvoir calorifique, l'hydrogène gazeux devrait avoir une pression supérieure à 850 bars. Une telle pression n'est naturellement pas acceptable, à cause de la masse qu'auraient les réservoirs et des dangers que présenterait leur rupture. Ce sera donc sous forme liquide, c'est à dire à -253°C (!) que l'avitaillement devra se faire. La résistance mécanique des réservoirs et des conduites de liaison ne sera plus un problème mais ceux-ci devront être très efficacement isolés thermiquement pour limiter l'évaporation. Une autre comparaison intéressante montre que, toujours à même pouvoir calorifique, le volume utile des réservoirs contenant du kérosène est quatre fois inférieur à celui de ceux qui contiendrait de l'hydrogène liquide, et cela sans prendre en compte le volume de leur isolation thermique. Le poids de l'hydrogène embarqué serait cependant trois fois plus faible que celui du kérosène. Ces petits calculs montrent sans équivoque que, toutes choses égales par ailleurs, un avion à hydrogène, sera beaucoup plus gros qu'un avion classique fonctionnant au kérosène et ayant la même capacité commerciale. De plus le volume important des réservoirs d'hydrogène et de leur isolation thermique fait qu'ils ne pourront plus être installés dans l'épaisseur des ailes, mais devront être logés dans le fuselage. Les avions à hydrogène ne ressembleraient donc plus à ceux plutôt effilés que l'on voit aujourd'hui, mais seront beaucoup plus " ventrus ". Ceci explique sans doute pourquoi Airbus a choisi, pour un de ses projets, la configuration dite " aile volante " où la portance est fournie non par des ailes fines mais par un fuselage aplati de grand volume permettant le logement de réservoirs volumineux.

Une deuxième question est de savoir sous qu'elle forme (liquide ou gazeuse) l'hydrogène doit être injecté dans la chambre de combustion du moteur. La réponse à cette question est plus délicate.

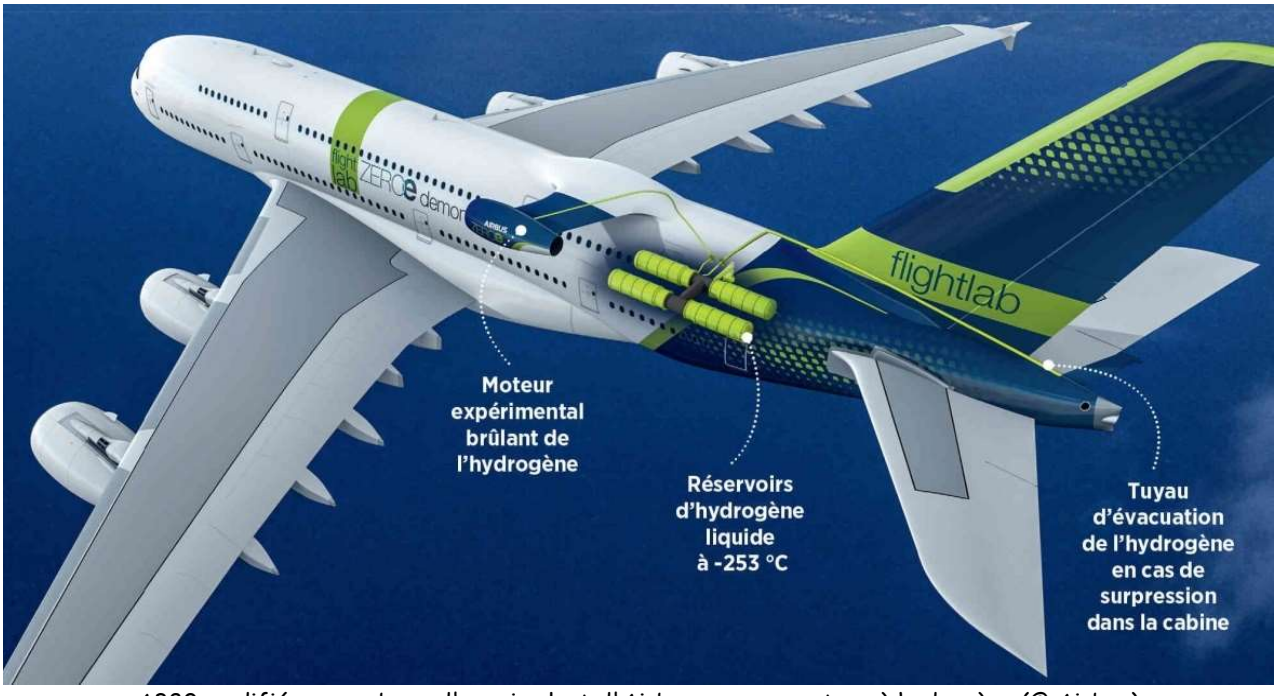
La combustion de deux composants, l'hydrogène et l'oxygène de l'air dans notre cas, demande une proximité de leurs atomes de manière à ce que leur contact puisse déclencher la réaction exothermique d'oxydation. Il faut donc qu'à un certain stade, et avant de brûler, l'hydrogène liquide des réservoirs soit

transformé en gaz. On peut alors imaginer trois endroits où l'hydrogène liquide contenu dans les réservoirs peut être évaporé.

Ce pourrait être comme dans une chambre de combustion de fusée où l'hydrogène est injecté sous forme liquide et où c'est l'échange thermique avec les gaz de combustion environnants, et qui viennent juste de brûler, qui l'évapore avant qu'il s'enflamme. C'est d'ailleurs aussi ce processus que l'on rencontre sur les turbomachines fonctionnant au kérosène et sans doute aussi celui qui a été utilisé lors des essais du Tupolev Tu-155. Dans ce concept la pulvérisation de l'hydrogène doit se faire à une pression supérieure à celle de la chambre de combustion, et donc demande l'installation d'une pompe cryogénique d'injection.

Environ 2,5% du pouvoir calorifique de l'hydrogène liquide sont dépensés pour sa vaporisation et son réchauffement jusqu'à la température d'entrée de l'air dans la chambre et, bien sûr, cette énergie est perdue pour la propulsion. La mise en place d'un évaporateur extérieur à la chambre de combustion permettrait de produire de l'énergie mécanique, comme le fait une machine à vapeur. Ce concept se trouve sur le moteur model 304 de P&W. Pour cela, alors que l'hydrogène est encore liquide, il est porté à haute pression, de l'ordre de 100 bars avant d'être vaporisé puis envoyé dans une turbine produisant de l'énergie mécanique. C'est à la sortie de cette turbine que l'hydrogène gazeux est alors injecté dans la chambre de combustion.

On peut envisager deux installations pour cet évaporateur extérieur, soit près des réservoirs, soit intégré au moteur. L'installation près des réservoirs, mais plus éloignée des moteurs, limiterait l'emploi de tuyauteries calorifugées, mais une source de chaleur spécifique devra être utilisée. L'installation dans le moteur, quant à elle, permet d'utiliser l'air de veine à l'aval des turbines comme source de chaleur, mais le circuit des tuyauteries sera plus complexe. Si pour l'évaporation un échangeur interne au moteur est utilisé, se posera alors le problème du démarrage quand cette chaleur n'est pas encore disponible. Une autre source temporaire (électrique ?) devra alors être trouvée. L'injection directe de l'hydrogène liquide dans la chambre de combustion évite évidemment le problème du démarrage. Dans toutes les configurations d'évaporateur (intégrée au moteur ou extérieure) il y aura intérêt à ce que les moteurs soient près des réservoirs, ce qui rendra difficile leur installation classique en " pod " sous les ailes et peut également expliquer la configuration présentée sur le projet d'aile volante d'Airbus.



A380 modifié comme banc d'essai volant d'Airbus pour un moteur à hydrogène (© Airbus)

Se pose alors une troisième question qui est d'imaginer ce que pourrait être la configuration du moteur à hydrogène. Ma réponse à cette question ne peut être que pure spéculation, rien des travaux de Safran n'ayant filtré jusqu'à moi.

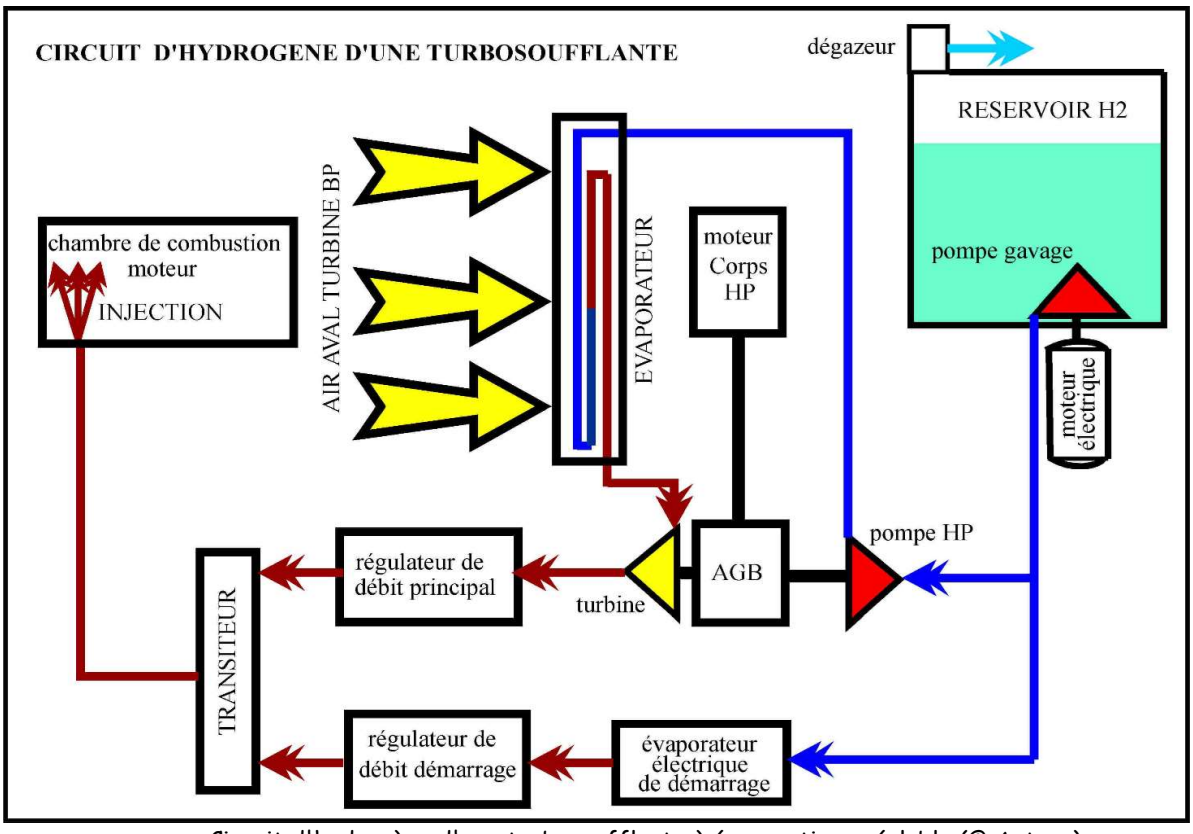
Si l'hydrogène est injecté sous forme liquide, c'est à dire à -253°C, dans la chambre de combustion, la configuration générale du moteur restera celle des turbosoufflantes que nous connaissons aujourd'hui. La

seule différence notoire avec celles-ci sera le système de régulation du débit d'hydrogène qui devra être de technologie cryogénique. Une telle technologie est maintenant bien maîtrisée grâce à l'expérience dans les moteurs fusée.

Il n'en sera pas de même si le choix se porte vers une injection sous forme de gaz de l'hydrogène, et surtout si la vaporisation est faite par la chaleur récupérée à l'aval des turbines du moteur. Cette approche ne semble avoir d'intérêt que si on profite de la vaporisation pour en extraire de l'énergie mécanique qui viendra s'ajouter à celle des turbines du moteur. Cela implique de porter l'hydrogène liquide à très haute pression dans une pompe centrifuge entraînée par la chaîne cinématique du moteur, puis de le vaporiser dans un échangeur de chaleur placé dans la veine de gaz chauds entre l'aval de la turbine BP et la tuyère primaire du moteur. L'hydrogène sous pression et vaporisé sera alors détendu partiellement dans une turbine connectée également à la chaîne cinématique du moteur puis sera envoyé dans un régulateur de débit, analogue à un régulateur de kérosène, avant d'être injecté dans la chambre de combustion. La particularité de ce circuit est de reprendre le principe de la machine à vapeur datant du XIX^{ème} siècle (cycle de Rankine) qui fait que la vaporisation profite au rendement du moteur, la puissance produite par la turbine à hydrogène vaporisé venant s'ajouter par effet d'hybridation à celle de la turbine HP du moteur et le refroidissement de l'air primaire dans l'échangeur de vaporisation placé dans la veine ayant un effet négligeable sur la poussée du moteur.

Un tel dispositif est cependant inopérant pour démarrer le moteur car l'échangeur de vaporisation nécessite une alimentation en air chaud, qui n'existe pas avec le moteur arrêté. Un dispositif auxiliaire doit donc lui être adjoint pour assurer le démarrage du moteur. Le dispositif de démarrage pourrait être un circuit alimenté en hydrogène liquide par les pompes de gavage des réservoirs et monté en parallèle (" boot strap ") avec le circuit principal qui vient d'être décrit. L'hydrogène liquide devra d'abord être vaporisé dans un réchauffeur électrique avant que le débit de démarrage soit dosé dans un régulateur de démarrage puis être injecté dans la chambre de combustion. Le moteur étant démarré et le vaporisateur principal devenant opérant, le circuit principal peut entrer en fonctionnement. Toute la difficulté sera alors de réaliser une commutation " douce " du circuit de démarrage vers le circuit principal. Une telle fonction hydraulique est très délicate et s'effectue au travers d'un composant appelé " transiteur ".

Le schéma ci-dessous représente ce que pourrait être le circuit carburant d'une turbosoufflante à hydrogène à vaporisation préalable.



Circuit d'hydrogène d'une turbosoufflante à évaporation préalable (© Auteur)

Si le circuit " avion " d'hydrogène est sans doute celui qui posera le plus de problèmes, l'hydrogène liquide devant être maintenu à température extrêmement basse pour limiter les pertes par dégazage des réservoirs, la complexité du circuit "moteur" va dépendre du choix de l'injection qui sera fait. Si ce choix se porte vers l'injection d'hydrogène sous forme liquide dans la chambre de combustion, la seule différence notable avec les turbosoufflantes actuelles sera l'utilisation pour les pompes, tuyauteries et régulateurs, d'une technologie " cryogénique ", dont les moteurs fusées nous ont fourni l'expérience. Cependant, les gains de consommation spécifique que pourraient permettre l'injection d'hydrogène sous forme gazeuse, en profitant de la phase de vaporisation pour fournir, par cycle de Rankine associé, une hybridation énergétique, peut se révéler très tentante. Ce choix conduirait cependant à rendre le circuit carburant du moteur beaucoup plus complexe.

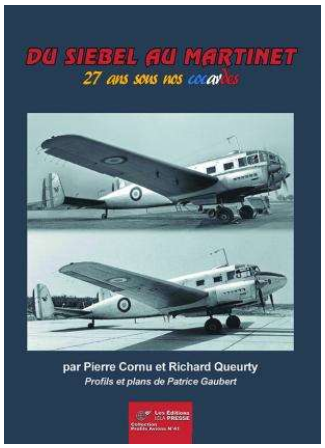
L'avion à hydrogène nous est promis pour demain. Des raisons " écologiques " sont invoquées pour justifier son choix. L'avion à hydrogène volera et même volera bien sans rejeter un gramme de CO_2 dans l'atmosphère. Mais le vrai débat ne se situe pas là. Sans remettre en cause (bien qu'il y aurait beaucoup à dire) la théorie que l'émission anthropique de CO_2 causerait un effet de serre, le désignant comme premier responsable du réchauffement climatique, j'ai de très sérieux doutes que l'avion à hydrogène soit une bonne solution. Je pense en plus qu'il pourrait même aggraver la situation. Je crois que nos "écolos " n'ont pas compris qu'il serait trop dangereux de stocker à bord des avions de l'hydrogène sous forme gazeuse à une pression supérieure à 800 bars et que seul, pour des raisons de sécurité, l'hydrogène liquide pouvait être utilisé. La fabrication de l'hydrogène demande beaucoup d'énergie, elle aussi génératrice de CO_2. La logistique associée à la liquéfaction de l'hydrogène, à son transport, à son stockage, à sa mise en place dans beaucoup d'aéroports, à l'avitaillement des avions et, enfin, au transvasement du carburant non consommé après le vol, ne pourront pas être des opérations " écologiques ". Le bilan CO_2 global de cette politique pourrait ne pas réduire les 2% d'effet de serre attribué au transport aérien. A mon avis, le transport aérien long courrier ne peut exister qu'en brûlant des hydrocarbures, ou alors il faudra l'interdire. Pour satisfaire les lobbies "écologiques" je pense que la seule action raisonnable consisterait à "rembourser" les émissions de CO_2 produites en vol par une quantité équivalente de CO_2 absorbée au sol lors de la fabrication d'hydrocarbures de synthèse. Pour cela je pense que le coût de développement de l'avion à hydrogène, et de toute la logistique qu'il implique, serait mieux investi dans les hydrocarbures de synthèse destinés à l'aviation et dont la fabrication se ferait à partir du CO_2 déjà rejeté par l'industrie et d'hydrogène.

Une étude sérieuse du bilan " écologique " de l'avion à hydrogène pour en confirmer l'intérêt réel devrait être rapidement menée car je crains que la décision des gouvernements français et allemands d'en financer le développement ait été prise à partir de la justification simpliste et subjective qui est que : *" Puisque l'hydrogène ne produit pas de CO_2, il n'y a qu'à brûler de l'hydrogène dans les avions, CQFD ".* Et il ne faut pas compter sur l'industrie aéronautique européenne, trop heureuse d'obtenir un financement permettant des activités de recherche, même si la production en série n'est pas assurée, de le refuser.

Notes de lecture

Du Siebel au Martinet - 27 ans sous nos cocardes

Par Pierre Cornu et Richard Queurty – Editions Lela Presse



Ainsi, les " Martinet " s'inscrivent dans la filiation des avions allemands Kl 104, Fh 104 puis Si 204 dont la version SI 204 D fut en service dans la Luftwaffe en 1940 pour la formation et l'entraînement des équipages de chasse et de bombardement. À Bourges, durant l'occupation, la Société Nationale des Constructions Aéronautiques du Centre (SNCAC) produira 168 Siebel 204 pour l'armée allemande. À la libération, la production est poursuivie sous l'appellation NC 700 puis NC 701, ces modèles se différenciant par des hélices et des moteurs francisés. Une version dédiée au transport de 8 à 10 passagers est également construite sous l'appellation NC 702, elle est reconnaissable à sa pointe avant non vitrée.

Sous le nom " Martinet ", les NC 700, 701 et 702 rejoignent les unités de l'armée de l'Air, mais aussi celles de l'Aéronautique Navale, quelques Siebel 204 pris à l'armée allemande y sont également affectés.

Pour des missions de reconnaissance photo ou d'appui, des NC 701 en version armée seront engagés en Indochine puis en Afrique du Nord. D'autres " Martinet " y effectueront de nombreuses évacuations de blessés et des transports de passagers. La formation des pilotes au vol bimoteur et celle des radionavigants feront partie des missions importantes assurées par les " Martinet ". Au quotidien, ce sont aussi les fréquentes missions de transport divers qui les rendront populaires dans l'Armée de l'Air où de nombreuses bases aériennes et de nombreuses unités en seront dotées.

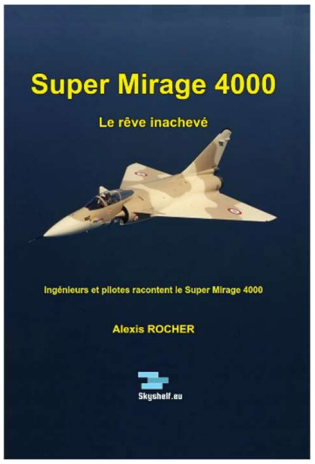
Parmi les 371 " Martinet " construits en France, plus d'une soixantaine sera également exploitée soit par des organismes d'état, tel le Centre d'Essai en Vol ou l'Institut Géographique National, soit par des compagnies aériennes civiles dont Air France et quelques compagnies étrangères.

Injustement oublié, le " Martinet " l'est peut-être aussi à cause de son appellation : en effet, même au sein des armées, les nombreux NC 701 ou NC 702 furent souvent et improprement dénommés " Siebel ". Pourtant ils servirent dignement sous nos cocardes, comme le prouvent les récits des équipages qui les mirent en vol et qui sont rassemblés dans cet ouvrage. Il était donc naturel de retracer avec autant de précision que possible l'histoire de ces 371 " Martinet " militaires et civils.

Le tout réuni dans 448 pages, avec plus de 600 photos, 80 profils couleurs, ainsi que des écorchés, des cartes et nombreux insignes.

" Super Mirage 4000 – Le Rêve inachevé "

Par Alexis Rocher – Éditions Skyshelf



Retour sur la trajectoire d'un projet d'appareil de combat hors normes signé Dassault Aviation, mais dont les capacités étaient sans doute trop avancées sur son temps. Un rêve inachevé…

Mars 1979, soit un an après la présentation du Mirage 2000, le Super Mirage 4000 effectue son premier vol et confirme tout son potentiel en volant à Mach 2 en moins de quatre minutes. Lancé à l'initiative personnelle de Marcel Dassault, l'appareil de combat est le dernier financé sur les fonds propres de son constructeur.

Tout d'abord perçu comme un successeur du Mirage IV, il est rapidement proposé à l'export dans une version chasseur-bombardier, l'Arabie Saoudite et l'Iran se montrant alors très intéressées par ses capacités extraordinaires pour l'époque.

Avec le concours d'ingénieurs et de pilotes de l'époque, mais aussi une iconographie très bien fournie, c'est sur cette épopée avortée que revient Alexis Rocher. Ce dernier embarquant les lecteurs à bord de tractations et autres négociations qui précédèrent sa conception, mais aussi celles qui en décidèrent

l'abandon vers la fin des années 1980… pour laisser la place à un projet d'avion de combat tactique visant à succéder au Jaguar : ce qui allait devenir le Projet Rafale !

Précision pour celles et ceux qui voudraient apprécier les lignes du Super Mirage 4000 : un seul exemplaire est visible au Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget.

" Autour de l'Atar " - Du Mystère II C au Mirage IV P, en passant par les Etendard, toute l'histoire du turboréacteur ATAR au service de l'armée de l'Air et de l'Aéronautique navale

Par Alain Crosnier & Jacques Daniel – Éditions Skyshelf

Cet ouvrage, sous couverture rigide, aborde la genèse et l'histoire de la famille des moteurs Atar (101, 8 et 9), ses installations d'essais en vol (bancs volants) et ses applications sur les avions de combat français, entre 1953 et 2016, majoritairement construits par Marcel Dassault, du Mystère II au Mirage F1 sans oublier les Etendard.

Spécialiste photo et écrivain reconnu de l'aviation militaire française, de 1945 à nos jours, Alain Crosnier, qui a publié une quinzaine d'ouvrages sur les aéronefs de l'Armée de l'air, de l'Aviation légère de l'armée de terre (Alat) et de l'Aéronautique navale était singulièrement bien placé pour rédiger ce livre. Son idée de départ était d'être " *un simple album photo rappelant quels avaient été les appareils de l'Armée de l'air et de l'Aéronautique navale propulsés par des réacteurs Atar* " mais, au fil de la rédaction et de l'abondante documentation, l'album est devenu un ouvrage sur un sujet peu abordé dans le monde aéronautique : l'association d'un propulseur et d'une cellule.

L'initiateur du projet a été rejoint par un spécialiste, membre de l'association des Amis du Musée Safran, apportant son expertise sur les diverses versions des moteurs de la famille Atar, les essais en vol de la SNECMA et le décollage vertical.

Au moment de l'arrêt de la production, en 1992, plus de 5 200 moteurs Atar sont sortis d'usine, équipant les armées de l'Air de vingt-huit pays sur les cinq continents et totalisant à ce jour plus de 6,6 millions d'heures de vol. Construit en 20 versions, l'Atar a fait l'objet de cessions de licences, notamment à la Suisse, l'Australie, la Belgique et l'Afrique du Sud. Environ 400 moteurs (9C, 8K50 et 9K50) sont encore en utilisation opérationnelle dans le monde et leur retrait de service est prévu à l'horizon 2030.

Avec une période d'exploitation de près d'un demi-siècle, il peut être classé dans les familles de turboréacteurs ayant la plus grande longévité au monde.

Toutes les versions produites en série sont passées en revue, à grand renfort de dessins, écorchés, photos, plans, et profils des aéronefs équipés. Les évolutions techniques ainsi que les spécificités propres à chaque variante sont expliquées en détail.

S'y ajoutent la liste de production avec les références, les désignations, les opérations et les configurations, l'ensemble constituant l'étude la plus complète à ce jour sur la famille de la première génération de réacteurs militaires français, en service dans le monde.

Top Gun – La véritable histoire

Par Dan Petersen – Editions JPO

À l'occasion du 50ème anniversaire de la création de l'école de pilotage de l'aéronavale TOP GUN, son fondateur nous raconte de l'intérieur comment lui-même et huit autres pilotes ont révolutionné l'art du combat aérien.

Ce livre est hors du commun à bien des égards. Rare entité militaire à être entrée dans la culture populaire (il suffit de voir à quelle fréquence le film est rediffusé), Top Gun est un peu l'équivalent contemporain des Têtes...