

PRENDRE L'AIR



SNCASO SO-4050 Vautour II N - ECTT 3/30 " Lorraine " (1960) (@ Jean Houben)



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

N°8

Juin

2022

Contact

Rond Point René Ravaud 77550 Réau
Tél : 01 60 59 72 58 Mail : aams@museesafran.com

Sommaire

<i>Editorial</i> Jacques Daniel	3
<i>Le mot du Président</i> Jean Claude Dufloux	4
<i>George Messier " inventeur de la suspension pneumatique : " De Messier à Safran Landing System "</i> Régis Ligonnet	5
<i>Pourquoi une automobile Messier au musée Safran de Villaroche ?</i> Gérard Laviec	18
<i>Les systèmes de démarrage Noëlle 150 et 180</i> Jacques Daniel	22
<i>La réglementation aéronautique - La sécurité des vols (2^{ème} partie)</i> Alain Lafille	25
<i>Certification des moteurs d'avions commerciaux</i> Albert Grenier	31
<i>Les Dassault MD-450 " Ouragan " Atar 01 et Atar 02 : bancs d'essais volants des Atar 101 B et C (1951 - 1955)</i> Jacques Daniel	35
<i>Le biréacteur Gloster Meteor Mk4 RA 491 : banc d'essais volant de l'Atar 101 B (1952 - 1953)</i> Jacques Daniel	46
<i>Ensemble moteur-fusée tri-chambres SEPR 481 - SO 9000 Trident I</i> Jacques Daniel	54
<i>Le train d'atterrissage du Dassault Falcon 20</i> Jacques Daniel	61
<i>Notes de lecture</i> Jacques Daniel	65

Crédits



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

Editorial

Notre revue semestrielle a pour ambition de vous faire découvrir l'histoire et le patrimoine aéronautique et spatial du groupe Safran.

Dans ce numéro, dont l'une des parties importantes est consacrée aux premiers bancs d'essais volants monoplaces dédiés à la mise au point des turboréacteurs Atar 101 de la Snecma, nous vous proposons différents sujets allant de l'histoire de George Messier " inventeur de la suspension pneumatique ", la raison de la présence de l'automobile Messier dans nos collections, aux derniers turbodémarreurs " Noëlle ", en passant par un groupe moteur-fusée tri-chambres, un train d'atterrissage d'avion d'affaires mais aussi deux articles sur la réglementation aéronautique.

Comme beaucoup d'autres sociétés aéronautiques, telles qu'Hispano-Suiza, Bugatti, Salmson ou encore, en Angleterre, Rolls & Royce, la société Messier puise ses origines dans l'industrie automobile. Cela méritait bien une rétrospective.

Chacun sait que le musée présente des moteurs aéronautiques et spatiaux, des équipements divers mais aussi un objet rare : un coupé Spider Messier MS-31, une automobile " sans ressort " datant de la fin des années vingt. Si le nom de Messier est très connu dans le monde des trains d'atterrissage, son travail dans celui de l'automobile est méconnu. Un article retraçant les travaux de restauration du coupé Messier complète le sujet.

Seule automobile exposée dans le Musée Safran depuis le début de l'année 2008, cette voiture a pour particularité d'être équipée d'une suspension pneumatique et d'avoir appartenu à Mme Lucien, veuve de George Messier. Elle fait partie des 150 voitures Messier " sans ressorts " livrées sous différentes carrosseries et motorisations Lycoming vers la fin des années vingt.

Dans la majorité des ouvrages consacrés à l'aéronautique française, l'histoire des avions bancs d'essais volants des années 1950 - 1960 est rarement abordée. " Prendre l'air " comble cette lacune avec deux articles consacrés aux deux premiers appareils à réaction monoplaces : les deux Dassault MD-450 " Ouragan " baptisés respectivement " Atar 01 et 02 ", le Gloster " Meteor " Mk.4 RA491, tous deux bancs d'expérimentation du réacteur Atar 101.

Ce dernier, qui fut le premier turboréacteur à compresseur axial de grande puissance construit en série en France, connut de nombreux développements jusqu'à la série G avec postcombustion et équipa les premiers Mirage III. Cet article propose une étude approfondie des deux MD-450 " Ouragan " bancs d'essais des réacteurs Atar 101 B et C avec quelques clichés inédits et profils couleur des deux appareils au cours de leur carrière, entre 1953 et 1955. Quant au bimoteur Gloster " Meteor " RA491 bien connu comme banc d'essais des réacteurs Rolls-Royce " Avon ", à la fin des années 1940, son passage au sein de la Snecma fut de courte durée - un peu plus de six mois - et son sort final inconnu.

Jamais un récit complet sur ces deux machines de présérie n'avait alors été entrepris.

Dernier volet de la série dédiée aux turbodémarreurs, les " Noëlle " 150 et 180 équipant respectivement les turbofans M53-5 et M53-P2 propulsant la famille Mirage 2000, sont issus de la lignée des Noëlle 60 et 80 étudiés et conçus pour les turboréacteurs Atar 8 et 9. Très fiables, ces turbodémarreurs se différencient par leur implantation sur la cellule de l'avion.

Après avoir évoqué la réglementation aéronautique dans une précédente édition, nous abordons cette fois-ci, dans un article générique, la sécurité des vols, et dans un autre, les principaux essais auxquels sont soumis les moteurs d'avions commerciaux et notamment ceux du plus puissant moteur mondial : le General Electric GE-90-115.

Le processus de certification des moteurs d'avions, sans cesse en évolution, est certes destiné à l'obtention du " bon de vol " mais surtout à assurer l'indispensable sécurité des vols qui fait souvent l'objet de discussions dans le monde aéronautique.

Ce numéro de notre revue s'arrête aux principaux essais qui permettent aux millions de voyageurs qui quotidiennement utilisent l'avion de le faire en toute sécurité.

Peu après la seconde guerre mondiale sont apparus, en France, les moteur-fusée d'appoint pour les avions de combat dont le groupe moteur-fusée tri-chambres SEPR 481 monté sur le prototype expérimental

SO 9000 " Trident ", au début des années 1950. C'est la fiabilité de la turbopompe du moteur-fusée bi-chambres SEPR 631 - dérivé du SEPR 481 - qui a permis de réaliser la turbopompe du moteur cryotechnique HM-7 utilisée sur toutes les versions des lanceurs de la famille Ariane.

Si, à ce jour, peu de matériels Messier, aujourd'hui Safran Landing Systems, sont exposés au musée Safran, cette collection s'enrichie cependant chaque année. C'est le cas d'une jambe d'atterrisseur avant du Dassault Falcon 20, l'emblématique bizjet des années soixante. 512 " Falcon 20 " de série, déclinés en plusieurs variantes, ont été produits entre 1963 et 1988. Vous trouverez dans ce numéro un bref historique du matériel.

Enfin, la rubrique " Notes de lecture " vous propose une sélection d'ouvrages parus cette année dont l'un sur l'histoire de la propulsion-fusée en Normandie " D'Ariane 1 à Ariane 4 ".

Nous vous souhaitons une bonne lecture de ce numéro 8 et nous vous remercions d'être toujours plus nombreux à soutenir et apprécier " Prendre l'air ".

L'équipe de rédaction de Prendre l'air

Le mot du Président

Après avoir passé les zones de turbulences sanitaires et malgré ces difficultés, l'équipage de " Prendre l'air " a maintenu le cap.

Ce nouveau numéro, j'en suis sûr, vous permettra de découvrir les fruits de recherches méthodiques et minutieuses sur différents sujets.

Le Président
Jean Claude DUFLOUX

George Messier " inventeur de la suspension pneumatique "

De Messier à Safran Landing System

C'est en 1927 qu'ont été posés les fondements de la " Société Française de Matériel d'Aviation " créée officiellement l'année suivante par George Messier en collaboration avec René Lucien Lévy, entreprise française devenue aujourd'hui Safran Landing System " Spécialiste des trains d'atterrissage et des freins ". En 1937, cette société va prendre le nom de son fondateur " MESSIER " disparu tragiquement le 23 janvier 1933. Au fil des années, et par le biais des alliances, l'entreprise ne va avoir de cesse de s'agrandir, associant son nom aux plus grands, tels Hispano-Suiza avec Messier-Hispano (accord signé le 22 décembre 1970), puis Bugatti en 1977 avec Messier-Hispano-Bugatti (passée sous contrôle de la Snecma), rebaptisée Messier-Bugatti en 1990 après l'absorption définitive de la branche atterrisseurs d'Hispano-Suiza.

En 1993, un projet de rapprochement est envisagé avec l'anglais Dowty qui aboutit en 1995 à la création de Messier-Dowty International composée de trois sociétés : Messier Dowty SA (France), Messier-Dowty Ltd (Royaume-Uni) et Messier Dowty Inc (Canada). En 1998, Messier-Bugatti et Messier-Dowty SA créent la marque Messier Services™. La fusion de Snecma et Sagem en 2005 est conclue avec la création du groupe Safran. Messier-Bugatti (fabricant de roues et freins pour l'aéronautique), Messier-Dowty (spécialisé dans les trains d'atterrissage) et Messier Services fusionnent le 2 mai 2011 pour ne former désormais qu'une seule entité : Messier-Bugatti-Dowty, qui, à l'occasion du changement de dénominations sociales des sociétés du Groupe Safran devient le 18 mai 2016 : Safran Landing Systems, leader mondial des systèmes d'atterrissage et de freinage pour aéronefs.

Le parcours de George Messier

George Louis René Jean Messier est né le 23 avril 1896 à Monts en Indre et Loire (37).

Il est le fils de André Hector Jean Louis Philippe Messier (1854-1936), industriel chimiste, ingénieur en chef des Poudres et salpêtres, ancien élève de polytechnique promotion de 1873 (classement : 8 - Passage : 25^{ème} en 1874 sur 242 élèves - Sortie : 31^{ème} en 1875 sur 226 élèves), puis élève ingénieur des Poudres et salpêtres (3^{ème} en 1875 sur 6 élèves), qui fut successivement directeur de la poudrerie nationale de Saint-Médard-en-Jalles (33) le 25 août 1881, de Marseille (13) le 1^{er} mai 1885, puis du Ripault à Monts (37) le 20 mars 1891, et qui se rendit célèbre par l'invention de la poudre sans fumée. Il fut également à l'origine de la découverte de la soie artificielle et promu chevalier (1892) puis officier (1898) de la Légion d'Honneur.



George Messier (1896 - 1933)

Après de brillantes études au lycée de Lille (59) où il obtient le baccalauréat Latin-Sciences, puis Mathématique et Philosophie, George Messier suit en 1913-1914 la première année de mathématiques spéciales hélas interrompue par une maladie de février à juin 1914, l'empêchant de passer le concours d'admission à l'Ecole Polytechnique. En septembre 1914, il reprend à Rennes (35) les mathématiques spéciales qu'il abandonne en novembre pour aller à Bordeaux (33) dans les laboratoires du Service des Poudres (comme son père trente ans plus tôt) afin d'effectuer des recherches en vue de découvrir de nouveaux procédés de fabrication du nitrate d'ammoniaque. En 1915, ces procédés étant trouvés et mis au point, il s'installe à Aubervilliers (93) sur la demande du Ministère de la Guerre et dirige une fabrique de ce nitrate pendant toute la durée de sa production.

En 1916, les stocks de matières premières étant épuisés, il effectue de nouvelles études en vue de l'obtention du même explosif en partant de nouvelles matières premières, puis après mise au point, prend la direction d'une usine à Bordeaux (33) où il s'installe, au 126 rue Fondaudège le 24 octobre 1917. C'est là qu'il passe le conseil de révision, numéro de matricule de recrutement 3048 (cote 1R 1565). Sa fiche indique qu'il est châtain aux yeux bleus, mesure 1,73 m et que son degré d'instruction est de 5 (bachelier et plus) et où il est déclaré " réformé temporaire " pour albumine, tachycardie et hypertrophie cardiaque. Cette réforme temporaire sera renouvelée à plusieurs reprises jusqu'à sa réforme définitive le 17 septembre 1919.

Le 27 novembre, il épouse à Bordeaux Yvonne Lucie Bonnamy.

C'est durant cette période qu'il met au point et dirige la fabrication du nitrate de soude chimiquement pur, les procédés connus ne permettant pas de satisfaire, avec les outillages disponibles, aux demandes du Service des Poudres. De 1915 à 1918, les quantités de nitrate d'ammoniaque et de nitrate de soude produites par le procédé de George Messier auront permis de charger au moins trois millions d'obus. Après la guerre, George Messier cherche sa voie installant des usines en plusieurs régions, avant de se passionner pour la recherche sur un dispositif révolutionnaire pour l'absorption des chocs.

Les prémices de la suspension pneumatique

Les années qui suivent la grande guerre 14-18 mettent en évidence que le réseau routier, adapté à l'origine pour les charrettes à bœufs ou à chevaux, n'a guère évolué, et n'est plus adapté aux automobiles dont la puissance et la vitesse ont fortement augmenté. L'état des routes demande alors d'avoir une bonne suspension. Or en général, le châssis d'une voiture automobile est à l'époque relié aux essieux par l'intermédiaire de quatre ressorts droits à lames qui ne paraissent plus pouvoir fournir une solution complète et suffisante à l'état des routes. Sans doute on a eu recours à certains palliatifs, comme d'imposer des feuilles de laiton entre les lames d'acier des ressorts, ou d'entourer les ressorts tout entiers d'une gaine en cuir qui les protège de la rouille et assure un graissage permanent. Ces modifications qui ne visent surtout qu'à assurer un meilleur glissement entre les lames, donnent de la souplesse à la suspension, mais sont loin de supprimer les inconvénients connus tels que le coup de raquette qui suit le passage sur un obstacle en relief ou en dénivellation. L'action seul du ressort à lames n'est plus suffisante et nécessite, en supplément, des amortisseurs, voire même de revoir complètement l'étude de la suspension des véhicules automobiles.

Ce problème est également présent dans l'aéronautique où les avions, qui ne possèdent alors qu'un train d'atterrissage fixe sous les ailes (et une simple roulette de queue), ont énormément de mal à décoller et atterrir sur des pistes qui ne sont pas encore bitumées. Le jeune George MESSIER va alors se consacrer à l'étude d'un dispositif pneumatique pour l'absorption des chocs et commencer à déposer ses premiers brevets en 1920, mis en application sur une Peugeot 201 transformée et essayée en 1921. Le Bulletin officiel de la direction des recherches scientifiques et industrielles et des inventions du Ministère de l'instruction publique et des beaux-arts publie régulièrement des articles sur les projets qui passionnent nombre de constructeurs et équipementiers. Le n° 30 d'avril 1922 annonce qu'une suspension pneumatique " pratiquement " réalisée par M. Mercier (article de MM. Mercier et Auclair) fait ressortir indubitablement la supériorité de la suspension pneumatique sur la suspension ordinaire à tous les régimes de flexion. George Messier n'est donc pas le seul à travailler sur cette innovation révolutionnaire.

Le " Circuit des Routes Pavées "

Les 24 et 25 Septembre 1922 est organisé dans le Nord (59), le premier " Circuit des Routes Pavées ", épreuve d'endurance pour voitures de sport, par le Club National d'Encouragement au Sport, l'Automobile Club du Nord et le Moto-Club du Nord, avec le concours du journal " L'Auto". Les épreuves se déroulent sur le circuit routier Pont-à-Marcq - Bessée - Capelle en Pévèle, long de 13 km, situé à quelques kilomètres de Lille. Pour cette première édition (un an avant les premiers 24 Heures du Mans), la course est à handicap. Selon leur classe, les voitures doivent parcourir de 16 à 31 fois le tour du circuit, dans le sens anti-horaire et dans un temps maximal imparti. Cette course a pour but de mettre en compétition des véhicules équipés pour certains de systèmes de suspension déjà sur le marché : le Hartford, le Derihon et le Houdaille, ce dernier monté sur deux puissantes Farman de luxe, en complément des ressorts à lames. Le journal " L'intransigeant " du mercredi 27 septembre 1922, dans sa rubrique " Vie sportive ", se fait l'écho de cette première :

" ...Il faut bien constater cependant que le vainqueur de la journée a été Hartford, qui remporta la plupart des catégories, et qui démontra une fois de plus ses qualités de robustesse et de simplicité déjà connues. Deux autres systèmes ont toutefois attiré l'attention : d'une part le dispositif dû à un ingénieur français Brouhiet et, d'autre part, une suspension entièrement originale qui fait disparaître les ressorts à lames, due également, à un jeune ingénieur français, George Messier ".

Pour la première fois, le nom de George Messier apparaît dans la presse, en faisant l'éloge d'une toute nouvelle invention révolutionnaire. L'article continuait en apportant des précisions sur les conditions extrêmes de cette course d'un tout nouveau genre :

" Ce circuit avait la particularité d'être exclusivement composées de pavés en granit, avec une multitude de fondrières piégeuses tout le long du trajet. De plus, les organisateurs avaient placé régulièrement des bandes de cailloux d'environ 25 centimètres de hauteur recouverts d'argile ou de terre battue comme ralentisseurs, sur lesquels venaient rebondir les véhicules. Les 37 pilotes encore en course arrivèrent tous hors délais sous une pluie battante. Bien qu'ayant passé le premier la ligne d'arrivée, André Lagache et sa Chenard-Walcker 3,0 litres à suspension Hartford, voiture la plus rapide avec 67 km/h de moyenne, ne fut pas déclaré vainqueur. Une épreuve finale (un sprint sur 500 mètres) fut alors décidée donnant deux vainqueurs ex-æquo sur Peugeot : André Boillot, futur directeur sportif de l'équipe Peugeot, et son équipier André Cabailot ".



24-9-1922 - Lille - Circuit des " Routes Pavées " - André Boillot vainqueur sur Peugeot © Agence Roll (BnF)

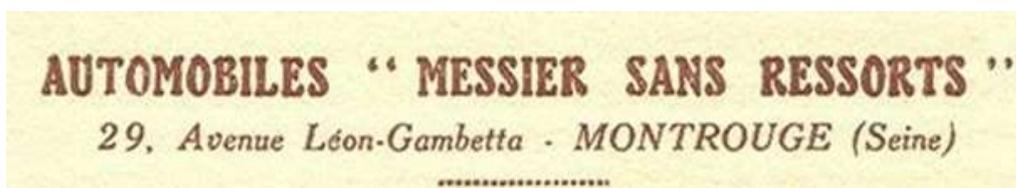
Mais l'article ne s'arrêtait pas là. En effet, un paragraphe entier intitulé " Sans ressorts " au Circuit des Routes Pavées était consacré à la suspension George Messier :

" Pour la première fois, on a vu des voitures, dont on avait supprimé les ressorts, prendre part à une grande épreuve créée spécialement pour la suspension. Ces ressorts étaient remplacés par la suspension pneumatique Messier, basée sur un principe entièrement nouveau. C'est par un gros succès que la suspension Messier a fait ses débuts. La Peugeot, la Pic Pic, la Slim, trois voitures de puissance et de poids différents, qui avaient adopté cette suspension, ont été fort admirées pour leur tenue de route. Elles franchissaient les obstacles, dos d'âne, cassis, rails, etc..., sans ralentir, sans heurts ni secousses, les roues ne quittant pas le sol. Avec cette suspension idéale, non seulement on ne casse plus de ressorts, mais, comme elle se règle automatiquement suivant la charge, on donne à la voiture un confort et une douceur infinis. Cette suspension, dont la valeur a été consacrée hier, est appelée à un grand avenir et nous sommes persuadés que les nombreux constructeurs qui l'ont admirée hier voudront en faire l'essai ".

En effet, le système Messier " sans ressort " avait été monté sur une des Peugeot, la Pic Pic (voiture Suisse Piccard & Pictet) dont les châssis étaient à l'époque fabriqués en France par Gnome & Rhône, et la SLIM - Société Lyonnaise d'Industrie Mécanique - marque d'automobile française qui a succédé en 1919 à la société François Pilain, appelé dans le passé SLIM - Pilain.

En avril 1923, George Messier remporte le 1^{er} prix dans la catégorie " Dispositifs remplaçant les ressorts " au Concours de suspension organisé par le Royal Automobile Club de Belgique. Fort de cette réussite, il décide de créer la Société **Messier automobiles** et s'installe au 29 avenue Léon Gambetta à Montrouge (92).

Au 1^{er} août, l'entreprise prend le nom de Société Anonyme de **Construction Mécanique de la Seine (C.M.S.)**. Il acquiert également les 2/3 de la **Société d'Etudes et d'Applications Pneumatiques (S.E.A.P.)**. Cette société reçoit toutes les redevances de la suspension pneumatique.



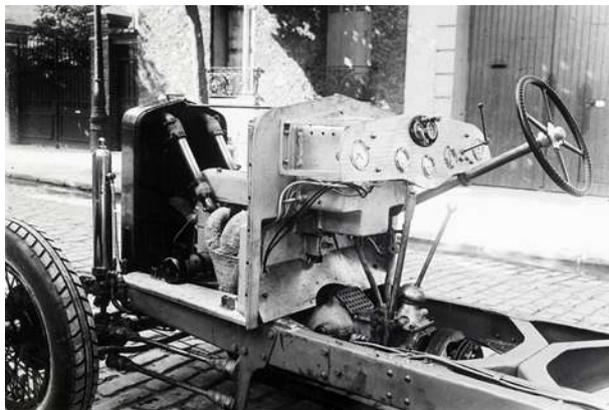
La nouvelle suspension pneumatique " sans ressort " passionne également la presse britannique comme en témoigne la revue MOTOR qui lui consacre plusieurs articles. Dans celui de juin 1923 intitulé " 3 000 Miles Riding on Air. A Stringent Test of the Messier Pneumatic Suspension ", soit en français " 3 000 milles à cheval sur les airs. Un test rigoureux de la suspension pneumatique Messier ". Le rédacteur sportif fait le récit d'une longue randonnée qu'il a faite dans une voiture munie de cette suspension. En voici la traduction :

"... La grande route de Namur, par Wavre, est, sur les premiers vingt milles, absolument ignoble ; c'est une succession de trous profonds, interrompue de loin en loin par un intervalle où l'on effectuait d'insuffisantes réparations. Sur cette affreuse surface, nous ne constatons aucun coup de raquette ; la traversée d'un passage à niveau avec rails en saillie ne comptait même pas grâce à la suspension pneumatique...

Pour rejoindre la route de Strasbourg au col du Donon, nous suivîmes, la nuit, un chemin de traverse, présentant sur 20 kilomètres une rampe continue de 45 mm, labourée de larges ornières, avec d'énormes galets, et des trous profonds, un sol tantôt argileux, tantôt rocheux, enfin d'innombrables caniveaux empierrés. Malgré tous ces obstacles, nous pûmes maintenir sur tout ce parcours une vitesse de 35 km/h, là où une voiture à ressorts aurait dû aller à l'allure du pas ".

Les premières automobiles MESSIER " sans ressorts "

En 1924, Messier se lance dans la fabrication de ses propres châssis avec une première grosse voiture expérimentale munie d'un 4 cylindres Janvier 80 x 150 à soupapes latérales. En 1925, apparaissent les modèles B et C proposés cette fois à la clientèle. L'ingénieur Messier ayant reporté toute sa " technicité " sur son extraordinaire suspension ne dessina pas de moteur pour ses voitures et choisit des moteurs puissants à haut rendement présent sur le marché. Son choix s'est porté sur ceux de la CIME à 1 A.C.T. en 1500 (modèle B) et 1600 (modèle C). Les freins étaient des Hersot-Lemoine et le châssis, très bas et droit, avait six traverses. La voie était de 1,30 m et l'empattement de 3 m. L'équipement de suspension était assez lourd car le châssis pesait 1 080 kg (extrait du Fanauto n° 188 " Le 1500 CIME A.C.T., un moteur peu connu pour marques confidentielles " par Serge Pozzoli).



Tablier avec ses appareils de contrôle - août 1925
(© Espace Patrimoine Safran)

Les ressorts à lames métalliques ont disparu, remplacés par les deux cylindres à air comprimé de part et d'autre de la calandre de cette Messier " sans ressort "



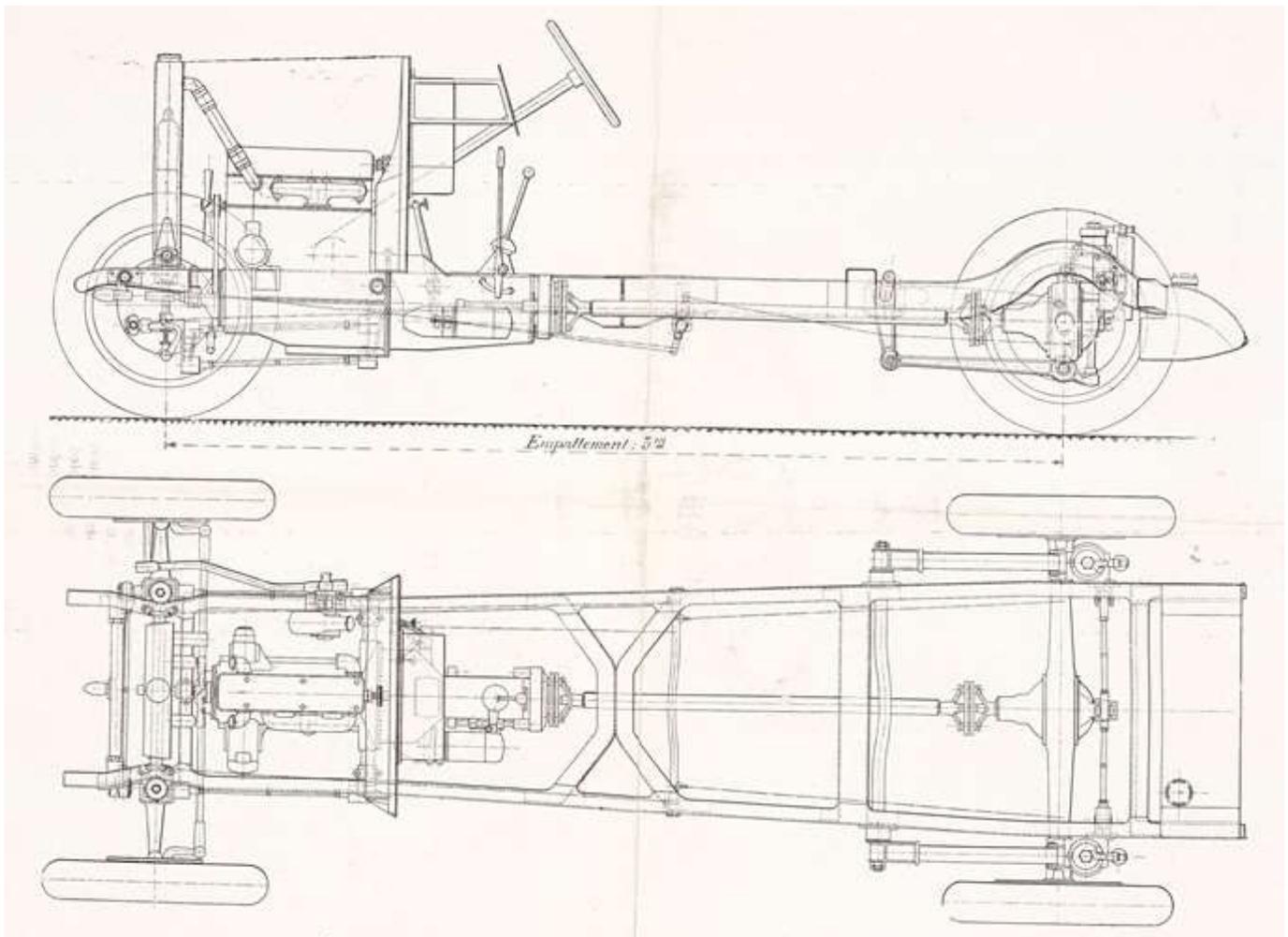
L'avant du châssis et sa suspension " sans ressorts " - août 1925 (© Espace Patrimoine Safran)

" ...Nous arrivons à la suspension pneumatique qui a fait l'objet de recherches et d'essais divers de la part de son inventeur M. Messier. Aussi, différents brevets ont-ils été pris pour sauvegarder les travaux de l'ingénieur précité. Les ressorts métalliques sont donc remplacés ici par quatre appareils de suspension pneumatique. Chaque appareil relié au châssis, se compose d'un cylindre dans lequel se déplace un piston solidaire de l'essieu. Un matelas d'air comprimé emprisonné dans le fond de chaque cylindre assure l'élasticité du système. D'autre part, une capacité auxiliaire a pour objet d'augmenter le volume de l'air sur lequel agit le piston et d'assurer en même temps une grande douceur de suspension pour les oscillations de faible amplitude. Toutefois, si le piston s'élève au-delà de sa position normale dans le cylindre, il soulève un deuxième piston qui comprime l'air dans une capacité où la pression peut croître sans limite assurant ainsi l'amortissement progressif des chocs, même les plus violents. Une section réduite des offices freine le passage de l'air et supprime les coups de raquette.



La Messier " sans ressorts " (non datée) (© Espace Patrimoine Safran)

L'air comprimé est fourni par une petite pompe actionnée par l'arbre supérieur commandant les soupapes : cet air, arrive tout d'abord dans un réservoir central et, de là, un système de distribution assure le réglage automatique suivant la charge et la compensation des pertes ou des fuites, aussi bien dans les cylindres AV que dans ceux AR. Par ailleurs, comme la pompe fonctionne constamment avec le moteur, une canalisation de retour permet la circulation en circuit fermé, et au moyen de clapets, cet air s'échappe, entraînant avec lui une petite quantité d'huile laquelle assure en même temps le graissage et l'étanchéité des organes. Les cylindres avant, de chaque côté du radiateur, ont un diamètre de 60 mm et permettent une course de piston (totale) de 180 mm. Pour un poids approximatif de la partie avant de la voiture (300 à 350 kg) la pression est de 5 kg par cm². A l'arrière, pour un poids de 500 kg environ, le diamètre des cylindres est de 70 mm, la course totale étant de 220 mm. La pression est plus forte, elle avoisine les 7 kg par cm². Toutefois, M. Messier a réalisé des dispositifs pour que la hauteur du châssis reste sensiblement constante par rapport au sol. Il va sans dire que tous les joints ou raccords des tuyauteries de cette suspension pneumatique ont besoin d'être montés minutieusement ; aussi, M. Messier a-t-il adopté des raccords et des joints spéciaux sanctionnés par l'expérience et par la pratique. L'expérience faite sur diverses voitures, lors de très longs parcours et répétée à maintes reprises, a montré que l'usure des cylindres était pratiquement nulle et que les canalisations bien établies ne pouvaient provoquer aucun ennui".



Elévation et plan du châssis Messier " sans ressorts " de 10 CV - août 1925 (© Espace Patrimoine Safran)

Première victoire de la Messier " Sans ressorts "

Du 10 au 15 mars 1925, un Torpédo du type B est engagé dans " Paris-Nice automobile, Critérium International de Tourisme ". Le 11 mars, le pilote René Raymond (n° 49) récolte lors de la deuxième étape Lyon-Grenoble une première pénalité de 1000 points pour avoir ouvert son capot avant le départ, et une seconde de 30 points durant la course (l'Auto-vélo du 12 mars 1925). Malgré ce handicap, il termine troisième de la catégorie 1 500 cm³ (pilotes professionnels) derrière Lamberjack sur Voisin (1^{er}) et Gendron sur Citroën (2^{ème}).

Cette première en course de la nouvelle voiture Messier a été saluée par le journal l'Auto-vélo du 17 mars 1925 sous le titre " L'apparition d'une nouvelle marque ".

La course Paris-Nice nous donne l'occasion de saluer l'apparition d'une nouvelle marque appelée à faire sensation dans le monde de l'automobile. La voiture Messier, pilotée par Raimond, très remarquée pendant le parcours et dans toutes les épreuves, est une des premières sorties des usines de Montrouge (29, avenue Léon Gambetta). Elle offre la première application de la suppression des ressorts et de la *suspension pneumatique*, qui avait déjà valu à M. Messier le premier prix au Concours de Suspension de Bruxelles en 1923. On peut dire qu'elle roule sur un matelas d'air; et elle réalise ainsi le summum du confort et de la souplesse.

Extrait de l'Auto-vélo du 17 mars 1925
(© Bibliothèque Nationale de France (BnF))

Cette première victoire pour Messier l'incite à inscrire cette fois deux voitures " sans ressorts " à la grande course de l'époque : Paris-Les Pyrénées-Paris. Cette course mythique, organisée en juillet 1925 par Moto-Revue avec le concours du Petit Parisien, mit à nouveau les " sans ressorts " à l'honneur. Cette course fût tellement dure que 25 concurrents, sur 43 qui avaient pris le départ, durent abandonner. La Messier sans ressorts pilotée par Soreau (ancien pilote de la marque Fiat) se classa première dans la catégorie 1 500 cm³ Sport.

Le Petit Parisien signale en ces termes ce succès dans son numéro du 17 août 1925 : " *La Sans ressorts a montré publiquement ce qu'elle pouvait sur les mauvaises routes qui, pratiquement n'existent pas avec le remarquable système qui fait son originalité* ". Le même jour, le quotidien Le Journal, dans son compte rendu de l'épreuve, signale que « *la tenue de la Messier sans ressorts sur les routes défoncées était stupéfiante* " et il ajoute : " *Voici une solution rationnelle d'un problème qui restait complètement à résoudre* ". Même le journal Le Temps du 18 août 1925 relate l'événement : " *La tenue de la Messier sans ressorts a été fortement remarquée notamment dans les virages et sur les mauvaises routes. Grâce à son originale suspension pneumatique, la Messier a pu facilement maintenir à tous moments la forte moyenne imposée* ".



16 août 1925 - Montlhéry - la Messier " sans ressorts " de Soreau vainqueur de Paris - Les Pyrénées - Paris
(© Agence Roll (BnF))

Le journal Moto Revue du 1^{er} septembre 1925 a publié un article intitulé : " *Pourquoi Paris-les Pyrénées-Paris constitue l'épreuve de tourisme capitale de l'année* " :

" ... *Les lames de ressorts de charrettes, nous en sommes encore là ! Bon pour des billards. Vienne la route avec ses imperfections et le magnifique racer, capable de dépasser le 100 à l'heure, doit se traîner à 50 et avec quelles secousses encore ! Aussi avons-nous considéré avec le plus grand intérêt la performance de la voiture Messier sans ressorts, munie d'une suspension pneumatique. Sa tenue sur de mauvaises routes est absolument stupéfiante ; il y a là enfin une voiture automobile homogène et non plus une œuvre d'art incapable d'être employée dans la majorité des cas* ".

Sa rencontre avec René Lucien Lévy

En octobre 1925, George Messier fait la connaissance de René Lucien Lévy, jeune Ingénieur de l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures, promotion 1924, venu le rencontrer dans son usine avenue Gambetta à Montrouge lors de la " *quinzaine de l'automobile, du cycle et des industries qui s'y rattachent* ". Tombé sous le charme de la voiture Messier sans ressort d'un de ses amis, il lui dit : " *Je rentre à Paris, je n'ai pas de situation en vue, je ne vous connais pas. Votre voiture m'intéresse, vous aussi et peut-être pourrait-on faire quelque chose ensemble. Ne pourrions-nous pas adapter à l'aviation ce que vous avez fait pour l'automobile* " ?

George Messier répondit : " *J'ai justement un cousin, le Commandant Lartigue, qui est le chef de l'Aéronavale qui m'a dit la même chose* ".



René Lucien Lévy, dit René Lucien

Mais les moyens financiers de George Messier ne lui permettent pas d'embaucher René Lévy. Pendant un an, René Lévy va alors travailler le jour à vendre des machines comptables, et de 9 heures du soir jusqu'à minuit, voire même quelquefois jusqu'au au petit matin, faire des essais de suspension sur la route avec George Messier jusqu'à la Belle-Épine, au croisement des routes de Versailles et de Fontainebleau où il n'y avait pas encore les grands magasins ni la circulation que nous connaissons aujourd'hui. Car c'est une époque où, George Messier n'a pas d'argent, fait des voitures qui le ruine, essayant de vivre en fabriquant deux objets tout à fait différents l'un de l'autre : des cuves à graver pour les imprimeurs et des pompes à vin en cuivre pour les vigneron du Bordelais dont il disait parfois : " *Si j'étais plus raisonnable, avec ces deux produits là, je pourrais vivre tranquille* ". Mais il préférerait perdre de l'argent et poursuivre son idée de mettre au point ses voitures à suspension pneumatique (extrait de Messier-Hispano Informations - n° spécial " Départ de M. Lucien " - 1974).

De nouvelles victoires en perspectives

Dans la Coupe de Noël, courue à Reims le 13 décembre 1925 sur de très mauvaises routes enneigées, deux voitures Messier, pilotées respectivement par Raimond et Soreau, sont classées première et troisième dans la catégorie 1.500 cm³. (Voir le classement dans L'Auto du 14 décembre 1925). L'Éclaireur de l'Est du 14 décembre 1925 donne, dans un compte rendu de cette épreuve, l'appréciation suivante sur la suspension pneumatique Messier. " *Cette suspension, qui se règle automatiquement suivant la charge, a permis au pilote Raimond de réussir la meilleure moyenne sur la plus mauvaise partie de l'itinéraire, dépassant le 75 à l'heure de Soissons à Château-Thierry* ".

George Messier va confirmer, durant l'année 1926, la suprématie de ses voitures à suspension sans ressorts. Après la participation de Soreau (N° 28) au III^{ème} Rallye International de Monte-Carlo, puis celle de Raimond au Rallye d'Evreux le 25 avril, les Messier reparte à l'assaut des victoires le 20 juin 1926 avec le meeting d'Ostende et l'épreuve du kilomètre lancé où les " Sans ressorts " ont à nouveau brillé.

Sur 54 concurrents, Raimond s'est classé premier en 39 secondes, soit 90,940 km/h, devant Soreau qui réalisa le temps de 40 secondes et 5/10. Le lendemain, l'épreuve du 500 m départ et arrivée arrêtés a été quant à elle mitigée avec la 17^{ème} place de Raimond en 35 secondes et la 22^{ème} place de Soreau en 40 secondes. Au total de ses deux épreuves, Raimond se classe 14^{ème} avec 1 mn 14 secondes 6/10 et Soreau à la 18^{ème} place avec 1 mn 20 secondes 5/10. Mais c'était sans compter sur l'épreuve du Grand Rallye Tourisme où René Raimond, avec sa Messier strictement de série, a triomphé de tous ses concurrents sur un parcours de 768 km qu'il ne connaissait pas, et dans une région qui lui était étrangère. A noter qu'une troisième Messier était engagée dans l'épreuve du Petit Rallye Tourisme (350 km) pilotée par R. Dufour et qui finit 4^{ème}. (L'Auto-vélo du 23 juin 1926).



La Messier 10 cv " Sans ressorts " N° 73 de Soreau (© Espace Patrimoine Safran)

Inscrites au départ du Paris-Les Pyrénées-Paris, les Messier sont les seules à terminer le 22 août sans un point de pénalité, enlevant la Coupe des Pyrénées et celle de l'Automobile Club du Midi, confirmant ainsi leur succès de l'an passé dans cette même épreuve, choisie spécialement par ses difficultés pour effectuer la belle démonstration de leur remarquable suspension.

" Dans la catégorie voitures, le grand triomphateur est incontestablement " Messier sans ressorts ". Seules de toutes les voitures, les deux Messier terminent sans un seul point de pénalisation, ramenant intact à Paris le bagage de 1000 points qu'elles avaient reçu au départ. Si l'on songe que, il y a huit jours, dans la nuit du 14 au 15 août des véhicules, de dix marques différentes, parmi lesquelles les plus célèbres d'Europe, se sont alignés à Ville-d'Avray pour s'élancer à l'assaut du rude circuit de plus de 2.000 kilomètres que constituait la sévère randonnée " Paris-les Pyrénées-Paris ", que tous les uns après les autres, ont encouru des pénalisations, soit horaires, soit mécaniques, et que seules les deux Messier ont victorieusement triomphé des difficultés de ce terrible parcours, on ne peut qu'admirer la robustesse, l'endurance, la perfection de ces deux voitures de la jeune marque montrougiennaise. Décidément, la Messier est la " voiture qui vient " : après la Coupe de Noël, après le Rallye d'Ostende, Paris-les Pyrénées !... Le triomphe de Messier est une jolie victoire française.

Il faut féliciter aussi les deux pilotes de Messier, René Raimond N° 72 et Soreau N° 73 qui surent si bien mener leurs montures à la victoire " (L'Auto-vélo du 23 août 1926).

Le 28 juillet 1926 paraît dans l'Auto-vélo l'annonce de la constitution de la **Société Française de Location d'Automobiles** ayant pour objet la mise en location d'automobiles de toutes marques. Le siège est à Paris au 186 rue de Rivoli. Le capital est de 450.000 francs. Les premiers administrateurs sont MM. Maurice Coquet, à Hames-Bougres (Pas de Calais) ; Fernand Amiot, à Clermont-Ferrand ; George Messier, à Paris, 121 boulevard Brune, et Melle Odette Bonnamy (épouse de George Messier), à Bordeaux, rue Van-Vrasson.

Le 25 décembre 1926, la société de Construction Mécanique de la Seine annonce l'engagement de son pilote E. Soreau sur la Messier " Sans ressorts " pour le IV^{ème} Rallye International de Monte-Carlo prévu le 20 janvier 1927.

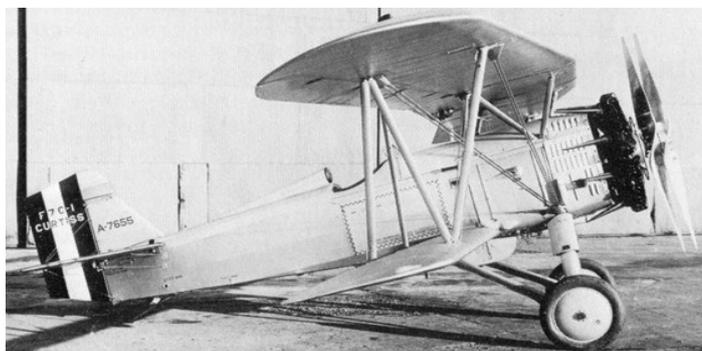
Les premiers amortisseurs dans l'aviation

L'année 1927 voit apparaître les premiers amortisseurs pour avions et trains d'atterrissage. Le supplément de la revue *L'Aéronautique* n° 95 d'avril 1927 présente sur sa fiche n° 11 un Wibault Type 7 C1 équipé d'un train d'atterrissage articulé, sans essieu, amorti par freins oléo pneumatiques. L'appareil est transformable en hydravion par substitution du train terrestre par un train à deux flotteurs.

Chasseur monoplace embarqué
Wibault 7 C1 de l'Aéronavale
(© Avionslegendaires.net)



Dans le n°98 de juillet 1927, elle nous présente cette fois le nouveau biplan monoplace de chasse Curtiss F-7 C-1 pour la marine, à moteur Pratt & Whitney " Wasp " de 400 cv, qui est le premier avion de chasse pouvant être lancé par catapulte. Sa particularité la plus remarquable est le train d'atterrissage, qui, une fois de plus, dénote le souci de l'Aéronautique navale américaine de perfectionner les méthodes d'atterrissage sur ponts de navire. Pour la première fois, chaque roue en disque sert de logement à un amortisseur à huile et à un frein hydraulique.



Curtiss F-7 C-1 " Seahawk " de l'U.S.Navy
(© Johan Visschedijk Collection)

L'amortisseur, qui évite le rebondissement, est une combinaison d'un système à huile à deux cylindres et de disques en caoutchouc. Le frein hydraulique agit par sabot sur le rebord intérieur du disque de la roue. La béquille est également et pour la première fois pourvue d'un amortisseur " oléo-disc ", pour éviter les bonds de la queue de l'appareil, sensiblement accrus par un curieux effet de compensation lorsque le train d'atterrissage est conçu pour éliminer le rebondissement.

George Messier voit, en l'industrie naissante du train d'atterrissage, l'opportunité de mettre à profit son expérience acquise dans la compétition automobile avec sa suspension " Sans ressorts ". Il pose alors les fondements d'une nouvelle société la **SFMA - Société Française de Matériel d'Aviation** avec son ami René Lucien Lévy pour co-administrateur délégué, conservant tout de même la marque automobile Messier " sans ressort " pour laquelle il a de nouvelles ambitions. Désormais, George Messier va mener de front ses recherches pour l'amélioration des suspensions pneumatiques de ses automobiles, et adapter cette technique sur les trains d'atterrissages.

Paris-Les Pyrénées-Paris – juillet 1927

Après les six heures de Bourgogne qui se sont déroulés sur le circuit de Dijon le 26 mai 1927 et où étaient inscrits Soreau et Raimond, la Messier " sans ressorts " participe à nouveau en juillet 1927, à la course Paris-Les Pyrénées-Paris, à la fois course de grand tourisme et d'endurance pour motos, cyclecars et voitures sportives de 750 cm³ et 1 500 cm³, longue de 2500 kilomètres réalisée en sept étapes, compliquées d'escalades de cols et de virages souvent plus que délicats. Le classement à l'arrivée le 24 juillet à la Porte Maillot est sans appel. Soreau est 1^{er} sur 1 500 cm³ avec 280 points et Raimond 2^{ème} avec 278 points. Tous les deux reçoivent la médaille d'or ainsi que la Coupe-challenge des Pyrénées (voitures) pour un total de 518 points, et en sont les détenteurs définitifs l'ayant gagnée deux années consécutives (L'œuvre n°4315 du lundi 25 juillet 1927). A noter lors de cette même épreuve la 1^{ère} place de Bernard sur sa moto Gnome et Rhône 500 cm³ avec 306 points (médaille d'or) ex-aequo avec Perrin sur Norton.

Extrait du journal L'Auto du 25 juillet 1927 : " *Les deux Messier, dont la curieuse suspension sans ressorts fait chaque année une victorieuse et probante démonstration, remportent, conduites par Soreau et Raimond, la médaille d'or, après un parcours sans histoires, les machines accomplissant impeccablement leur besogne* ".



L'une des deux Messier " Sans ressorts " grimpe un col (© Moto-Revue N° 230 - 6 août 1927)



Soreau et Raymond, sur les deux Messier " Sans ressorts " (© Moto-Revue N° 230 - 6 août 1927)

La société des automobiles Messier propose, au catalogue d'août 1927, deux châssis différents de leurs voitures de rallye. Il s'agit cette fois de châssis 6 cylindres de 15 et 17 CV, et de 8 cylindres de 20 et 24 CV. Les prix s'entendent avec 5 roues (mais sans pneus), équipement électrique complet, phares et lanternes arrière, avertisseur électrique, phare code et capot aluminium.

Automobil es
Messier
 " sans ressorts "

29, Avenue Léon Gambetta, 29
 MONTRouGE (Seine)
 R. C. Seine N° 218.988

PRIX DES CHASSIS

Chassis 6 cylindres 15 HP.	Frs :	52.000
• 6 • 17 • long.		62.000
• 8 • 20 •		78.000
• 8 • 24 •		98.000

Ces prix s'entendent pour chassis avec :

- 5 roues sans pneus.
- Equipement électrique complet.
- Phares et lanternes AR.
- Avertisseur électrique.
- Phare Code.
- Capot aluminium.

AOUT 1927 — Modifiables sans préavis

Publicités Automobiles Messier - août 1927

AUTOMOBILES MESSIER
 " Sans Ressorts "
 à Suspension Pneumatique
 Avenue Gambetta, MONTRouGE (Seine)

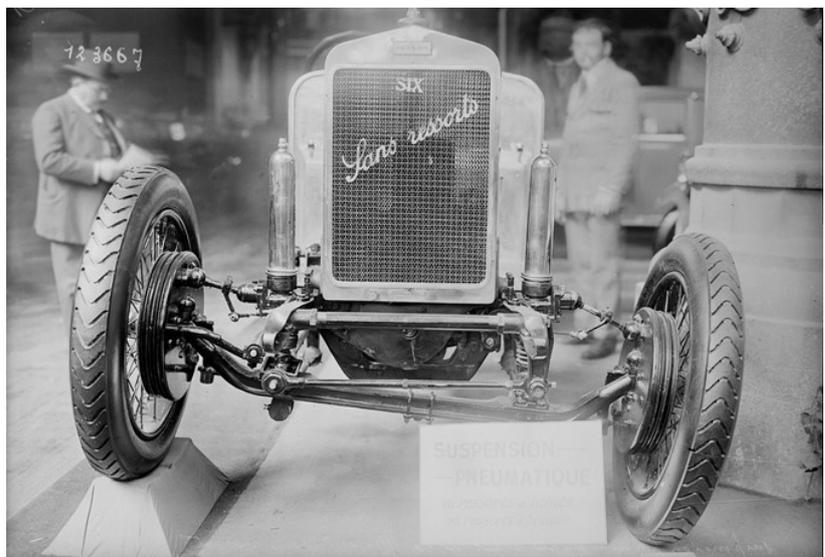


La 15 CV 6 cylindres

(© Espace Patrimoine Safran)

Du 6 au 16 octobre 1927 a lieu au Grand-Palais le XXI^{ème} Salon de l'auto. Messier Automobiles présente sa fameuse Six cylindres " Sans ressorts " dont les qualités de confort ne sont désormais plus à démontrer.

La suspension pneumatique avant de la Messier 6 cylindres " Sans ressorts " - XXI^{ème} salon de l'auto 1927 au Grand Palais (© Agence Roll (BnF))



Création officielle de la Société Française de Matériel d'Aviation

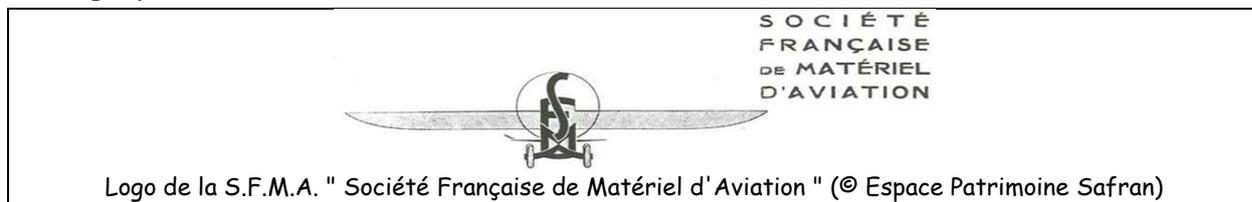


21 février 1928 - René Raimond sur Messier au départ du Concours de Tourisme Paris-Pau (© Agence Roll (BnF))

Le 29 février 1928, le classement définitif du concours de tourisme Paris-Pau voit à nouveau la consécration pour René Raimond sur la Messier n° 15, arrivé 1^{er} ex-aequo avec Roberts sur Bugatti n° 8. Au classement général, c'est finalement la Bugatti qui l'emporte avec un coefficient de 287,52 devant la Messier avec 265,24. Raimond remporte tout de même la 1^{ère} place des 1 500 cm³ devançant Pierrey sur Amilcar n°7 et Larroque sur La Licorne n° 14 (l'Auto-vélo du 7 mars 1928).

Le 25 mars 1928 a lieu la course de côte d'Argenteuil dans laquelle René Raimond sur Messier ne figurent plus dans la catégorie course 1 500 cm³, mais course 5 litres. L'épreuve se courre sur 1 800 m départ arrêté et arrivée lancée. René Raimond N° 112 termine premier de sa catégorie en 1 min 46 s 4/5 à la moyenne de 60,674 km/h établissant le record de la catégorie... où il est seul (L'Auto-vélo du 26 mars 1928). Cette course fut la dernière à laquelle participa une voiture MESSIER. Dorénavant, George Messier se consacrera à la production de ces voitures et à l'étude et la réalisation d'amortisseurs pour les trains d'atterrissage d'avions.

Le 27 juin 1928 est créée officiellement la **S.F.M.A. " Société Française de Matériel d'Aviation "**, au capital de 800.000 frs au 29 avenue Léon Gambetta à Montrouge (92) par George Messier et René Lucien Lévy, et qui prendra le 13 décembre 1937 le nom de son créateur disparu **MESSIER**, et depuis le 18 mai 2016 **Safran Landing System**.



Logo de la S.F.M.A. " Société Française de Matériel d'Aviation " (© Espace Patrimoine Safran)

Le XXII^{ème} Salon de l'automobile ouvre ses portes au Grand-Palais le 4 octobre 1928. Ce salon voit un accroissement marqué des applications du moteur 8 cylindres en ligne. Messier ne déroge pas à la règle en présentant sur son stand un 6 cylindres et un 8 cylindres sur châssis à suspension pneumatique, supprimant entièrement les ressorts.

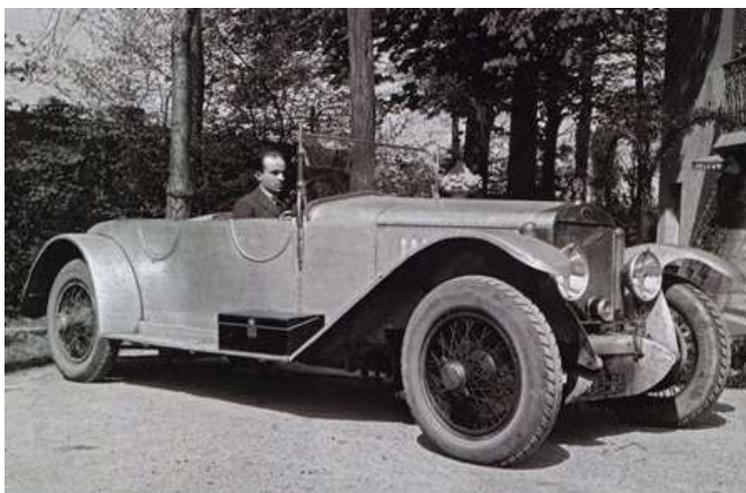
La Huit cylindres a délaissé la dénomination " Sans ressorts " pour " suspension pneumatique ". Le bouchon du radiateur est désormais orné de l'aigle qui sera le symbole de Messier.



Messier 8 cylindres 24 cv à " Suspension pneumatique " devant le 26 rue Gambetta à Montrouge (© Espace Patrimoine Safran)

Le 9 juillet 1929 s'est tenue une réunion de la SIA - Société des ingénieurs de l'automobile dans le grand Hôtel des Ingénieurs Civils de France, 19 rue Blanche. La discussion a porté sur la suspension des voitures automobiles présentée par Georges Messier, ingénieur constructeur en présence de Bethenod, vice-président de la SIA, Broulhiet, ingénieur ECP, Waseige, directeur général des Etablissements Farman, Grégoire, ancien élève de Polytechnique, docteur en droit. Ce long échange très technique a fait l'objet d'une publication (disponible sur Gallica).

George Messier au volant de sa Messier " sans ressort " (© Espace Patrimoine Safran)



Le catalogue "MESSIER Suspension pneumatique" de 1929 est intitulé "Le train bleu de la route". Les caractéristiques des modèles présentés sont :

Châssis tôle emboutie très robuste avec traverse centrale en X.
 Pont arrière Banjo, pignons à taille Gleason.
 Roues amovibles à rayons.
 Freins à pédale sur les quatre roues, type servo Perrot Bendix.
 Frein à main sur la transmission.
 Radiateur Maillechort.
 Refroidissement par pompe
 Graissage sous pression.
 Réservoir essence à l'arrière, alimentation par exhausteur.
 Réservoir de secours à l'avant.
 Allumage Delco avec avance automatique et correcteur à main.
 Éclairage et démarrage électrique.
 Épurateur d'air, essence et huile.

Planche de bord complète, comprenant manomètre de pression d'huile, ampèremètre, indicateur de vitesse, compteur bitotalisateur montre, manomètres de suspension, commutateur d'éclairage et d'allumage, Nivex, éclairneur.
 Embayage à disque unique.
 Direction par vis et écrou réglé,
 Boîtes à 3 ou 4 vitesses ces dernières avec 3^{ème} par engrenages à denture intérieure assurant une marche très silencieuse en troisième.
 Équipement électrique complet, lanternés, Klaxon.
 Phares Marchal Trilux sur les modèles 24 CV et 28 CV 8 cylindres.



Catalogue voitures Messier 1930 (© Espace Patrimoine Safran)



A noter que la 15 CV n'est plus au catalogue

Un seul modèle 6 cylindres de 15 CV figure au catalogue. Les 8 cylindres se déclinent désormais en 20 CV et 24 CV, ce dernier étant équipé avec une boîte quatre vitesses proposée avec deux empattements possibles de 3,40 m et 3,60 m, ainsi qu'une 30 CV (uniquement en 3,60 m). Enfin, un dernier modèle spécial ambulance de 4,10 m est proposé avec au choix le 8 cylindres de 24 CV, ou un 6 cylindres de 19 CV.



Coupé-spider Messier MS 31 (© AAMS)

Au total, on évalue la production des automobiles Messier, entre 1928 et 1931, à environ 150 voitures dans l'usine de 1000 m² du 29 avenue Léon Gambetta. Aujourd'hui, les voitures Messier ont quasiment toutes disparues. Il existe toutefois une exception avec ce coupé-spider Messier MS 31 à moteur Lycoming, 8 cylindres de 4850 cm³, développant 30 cv, et dont le poids de 2,5 tonnes entraînait une consommation de 30 litres d'essence aux 100 km, impensable aujourd'hui... Ce véhicule appartenait à Mme Yvonne Lucien, veuve de George Messier, remariée à René Lucien Lévy (René Lucien après la guerre), dirigeant de l'entreprise Messier-Bugatti jusqu'en 1973.

Remerciements : Espace Patrimoine et Dominique Prot

Pourquoi une automobile Messier au musée Safran de Villaroche ?

George Messier est un industriel connu depuis les années 1920 pour ses systèmes pneumatiques ou hydrauliques d'absorption des chocs. Comme de nombreux autres industriels à l'époque, Il se lance dans la production automobile et crée, en 1920, la Société des Automobiles Messier. Il dépose, dans le monde entier, de nombreux brevets de suspension dite " sans ressorts " entre 1921 et 1926. Une faible quantité d'automobiles sera produite, quelques centaines, dont seulement 6 équipées du moteur de 8 cylindres en ligne de 30 CV produit par l'américain Lycoming. Devant le peu de succès de ses automobiles et fort de sa spécialité des systèmes d'amortissement pneumatique ou hydraulique des chocs. Il crée en 1929 avec son associé René Lucien-Lévy la société SFMA, Société Française de Matériel d'Aviation, qui va devenir un des principaux constructeurs de trains d'atterrissage d'avions.



George Messier meurt accidentellement en 1933, à 36 ans.

Plus tard, la SFMA deviendra successivement Messier-Hispano Suiza, puis Messier-Bugatti puis enfin Safran Landing Systems aujourd'hui le leader mondial des trains d'atterrissage et freins d'aviation. La voiture exposée au musée SAFRAN est la seule voiture existante au monde qui témoigne du passé de constructeur automobile de la société Messier et fait donc partie du patrimoine industriel de Safran.

Les autres vestiges du patrimoine industriel automobile des sociétés qui composent Safran sont liés aux marques Lorraine, Voisin, Hispano Suiza et la fameuse marque automobile Bugatti. Laquelle marque Bugatti, longtemps associée au groupe SNECMA, est vendue en 1986 pour ne conserver au sein du groupe que les activités des domaines aéronautiques de la marque (roues et frein).

Historique de la voiture Messier MS31 du musée Safran

L'automobile présentée est historique ! Une photo, publiée dans la revue : " l'industrie automobile et aéronautique " n° 74 d'août 1925, montre un coupé roadster Messier " sans ressorts " portant la même immatriculation : 2870 - U4, que le coupé spider exposé au musée. Il semble que le châssis de cette voiture ait servi de prototype pour démontrer la validité du concept développé dans les brevets déposés par George Messier de 1921 à 1926. Ce châssis, carrossé en roadster, a participé à de nombreux rallyes à cette époque.

En 1927, ce roadster a été transformé en voiture conduite intérieure de luxe de type coupé-spider, dont la carrosserie a été conçue par le carrossier parisien R Cloché. Le moteur de 8 cylindres en ligne Lycoming de 4,85 litres de cylindrée développe 30 CV. Ce modèle a été baptisé Messier MS 31 " sans ressorts " et n'aurait été construit qu'à 6 exemplaires. Elle semble avoir été destinée à l'épouse de George Messier mais sa



transformation n'a jamais été terminée. En effet, à la mort accidentelle, le 21 janvier 1933, de George Messier, la voiture n'a pas de faisceau électrique, la carrosserie n'est pas percée pour passer la goulotte d'alimentation du réservoir d'essence, l'immatriculation qui était peinte sur le réservoir d'essence est masquée par la nouvelle carrosserie et par la roue de secours. Il est donc certain que ce coupé n'a pas roulé depuis 1927.

Chez Messier, cette voiture sera appelée la voiture de Madame Lucien car la veuve de George Messier se remariera avec René Lucien, son associé.

Elle restera dans cet état pendant 50 ans. En 1978, la société Messier la cédera au musée " Centre historique de l'automobile française ", collection Charbonneaux, de Reims pour terminer sa restauration et l'exposer. Elle restera dans l'état jusqu'en 2008 où Safran décidera de la racheter et de la placer au musée de Villaroche.

Travaux réalisés depuis l'arrivée au musée du coupé-spider MS 31

Le premier travail de restauration, organisé en 2008 par la direction du musée, consistera à doter la voiture d'une sellerie digne de sa ligne : un sellier local lui confectionnera des sièges club de cuir sans que la

voiture ne lui soit mise à sa disposition. Le résultat en est une très belle sellerie de cuir mais non fonctionnelle car trop épaisse.

Une première équipe de retraités va assurer la remise en état de marche du moteur, avec en particulier la révision complète de sa mécanique : bielles, pistons, segmentation, soupapes, réfection complète de la boîte à eau et mise en place d'un carburateur adapté, pompe à eau et dynamo. Les changements successifs de lieu de stockage de la voiture et l'absence de poste de travail adapté, proche d'elle, ne faciliteront pas la tâche !

Une autre étape sera franchie, en 2012, avec l'acquisition d'un pont élévateur dont il faudra d'abord en assurer la remise en état avant de pouvoir l'utiliser. Là encore, 3 implantations successives du pont seront rendues nécessaires pour accommoder la galerie spatiale, ce qui ne fera qu'augmenter encore la durée de restauration.

A cette époque, l'équipe de bénévoles n'est plus composée en 2012 que de deux retraités. Il va falloir, en attendant la remise en état du circuit pneumatique, placer des cales de bois entre les essieux et la carrosserie pour que les garde-boues ne frottent plus sur les pneus. Les premiers roulages sans suspension de la voiture sur le parking du musée seront assurés lors des journées du patrimoine de 2015. Les années suivantes vont être consacrées à la remise en service de la suspension. On déterminera, par l'utilisation de bouteilles d'azote sous haute pression, la pression minimum nécessaire pour soulever la masse suspendue : 16 bars. Or, le compresseur monocylindre qui équipe la voiture n'est pas capable d'assurer ce niveau de pression. Sa remise en état complète : réalésage du cylindre, remplacement du piston et fabrication de nouveaux joints cuirs ne permettra jamais d'atteindre les 16 bars nécessaires à assurer la levée des parties suspendues. Il n'est pas certain que le compresseur qui équipait alors la voiture soit celui d'origine, il paraît être d'une réalisation artisanale.

Au décès de Jean Pierre Trinquet, l'équipe de restauration se réduira à une personne : Gérard Laviec, jusqu'à l'arrivée d'un renfort temporaire en la personne de Jean Jacques Michel pendant une année. Grâce à Jean Jacques qui dénicherait un compresseur, par une annonce sur le Bon Coin en 2015, on pourra atteindre la pression de 16 bars requise au ralenti, voire 25 bars à plein régime. Les essais seront faits sur banc où le compresseur sera entraîné par un moteur électrique. Ce compresseur bicylindre, payé 70 €, est de marque Hispano Suiza, personne dans le groupe Safran ne sait quelle en était l'utilisation. Il permettra d'atteindre facilement la pression requise car le débit demandé est très faible. Seules les soupapes en clinquant nécessiteront d'être refaites.



Messier coupé-spider MS 31

En 2018, l'arrivée de deux jeunes retraités apportera un nouvel enthousiasme et permettra de relancer le chantier et, en particulier, d'adapter les systèmes de support et d'entraînement du compresseur en dissociant l'entraînement de la dynamo et du ventilateur de celui du compresseur. De nombreuses fabrications de poulies et l'achat de plusieurs courroies trapézoïdales permettront enfin d'accommoder les bons rapports de vitesses et les tensions de courroies adaptées dans l'encombrement disponible sous le capot, le réglage de tension des courroies étant très limité. A ce stade, la voiture est roulante mais il y aura lieu

d'intervenir sur les freins à tambour, à la suite d'un blocage de la roue avant gauche lors de l'exposition de la MS 31 au salon Rétromobile de 2019.

Les années 2020 et 2021 seront pratiquement neutralisées à cause des divers confinements. Toutefois, l'arrivée en 2021 de deux nouveaux membres dans l'équipe de restauration apportera une nouvelle dynamique et l'on pourra se lancer dans la réalisation du câblage électrique complet, la révision de la dynamo et la mise en place d'un régulateur sur le circuit de charge de la batterie. Simultanément, la réfection du tableau de bord est lancée de même que la mise en place d'un nouveau réservoir d'essence en inox à l'intérieur du réservoir existant.

La modification de la sellerie est lancée en 2022 afin d'abaisser l'assise du siège avant d'environ 10 cm pour que le conducteur ou son passager ne touchent pas leur tête au plafond. De même, afin de pouvoir fermer le coffre du spider et permettre une assise possible dans celui-ci, le siège arrière sera également abaissé.

Que reste-il à réaliser ?

Le but de la restauration étant de rendre la voiture capable de rouler sur de courtes distances et de pouvoir être présentée au public en état de marche, il reste maintenant à :

- monter et brancher le tableau de bord : jauges électriques, pneumatiques et hydrauliques,
- assurer la libre commande des systèmes de freinage : graissage des tringles et des articulations des mâchoires de frein,
- vérifier le bon fonctionnement du système électrique : dynamo, régulateur, et câblage d'éclairage et de sécurité,
- vérifier le bon fonctionnement des systèmes de mise en marche, de charge de la batterie, de montée en pression des divers circuits pneumatiques et hydrauliques,
- faire un essai sur parc, à l'extérieur.

Il ne restera alors qu'à procéder à une restauration de la peinture, c'est-à-dire : ponçage et enduit au sein du musée, peinture avec vernis chez un peintre professionnel.

Date prévue de fin de restauration : fin 2022.

En conclusion, 14 années de travail de restauration et de finition de l'automobile Messier MS 31 dite " sans ressorts permettront au musée SAFRAN de présenter un bel exemple du passé industriel automobile du groupe sans avoir à investir dans des modèles onéreux comme ce serait le cas pour l'acquisition d'une Lorraine, d'une Voisin ou d'une Hispano Suiza.

C'est un travail de plus de 10 000 heures de main d'œuvre qui a aura été nécessaire pour arriver à ce résultat mené par une douzaine de retraités aidés par les équipes de mécanique, de chaudronnerie, de menuiserie et de restauration des motos.



Eric Patou, Gérard Laviec, Patrick Momier, Patrick Coutelier

Il s'agira maintenant de décider du meilleur emplacement d'exposition de la Messier MS31, une belle dame dont le châssis fête son centenaire en cette année 2022 :

- soit, près de trains d'atterrissages Safran Landing Systems, comme aujourd'hui,
- soit à l'entrée de la galerie des moteurs, devant la fresque de l'avion Blériot,
- et de maintenir ou non le pont élévateur qui sera nécessaire pour les maintenances ultérieures.

Remarque importante sur le type de suspension inventé par Georges Messier en 1921 :

Nous tenons à rectifier ici une idée très répandue dans plusieurs revues et articles, à savoir que cette automobile est équipée d'une suspension pneumatique et non oléopneumatique ou hydropneumatique. Dans notre cas, la suspension est assurée par de l'air comprimé qui alimente quatre vérins placés à chacune des roues. L'huile utilisée dans ce système ne sert qu'à la lubrification et ne participe en rien à la suspension comme ce sera le cas, 30 ans plus tard, avec la suspension oléopneumatique de Citroën.

L'invention de George Messier est justement basée sur l'effet d'absorption et d'amortissement des chocs par l'élasticité de l'air et la fuite contrôlée de l'air de suspension, au travers de diaphragmes.

Dans le cas de la suspension hydropneumatique de Citroën, ces effets d'absorption des chocs et leur amortissement sont assurés dans des sphères placées à chaque roue qui possèdent en leur milieu une paroi élastique séparant, d'un côté l'huile de suspension, et de l'autre, de l'azote qui amorti les variations de pression de l'huile liées aux chocs.

Ce n'est que récemment, sur les voitures de luxe ou sur les camions de transport spéciaux, que la suspension pneumatique sera de nouveau employée mais les vérins seront remplacés par des boudins élastiques dont le grand diamètre permettra de réduire la pression d'air nécessaire.

Remerciements à ceux qui ont grandement contribué à cette réalisation, avec, dans l'ordre alphabétique :

Jean Lois Bauzou, Jean Pierre Berlotto, Patrick Coutelier, Didier Dupuis, Gérard Gouhic, Serge Hondemarck, Gérard Laviec, Jean Jacques Michel, Patrick Momier, Eric Patou, Jean Pierre Trinquet.

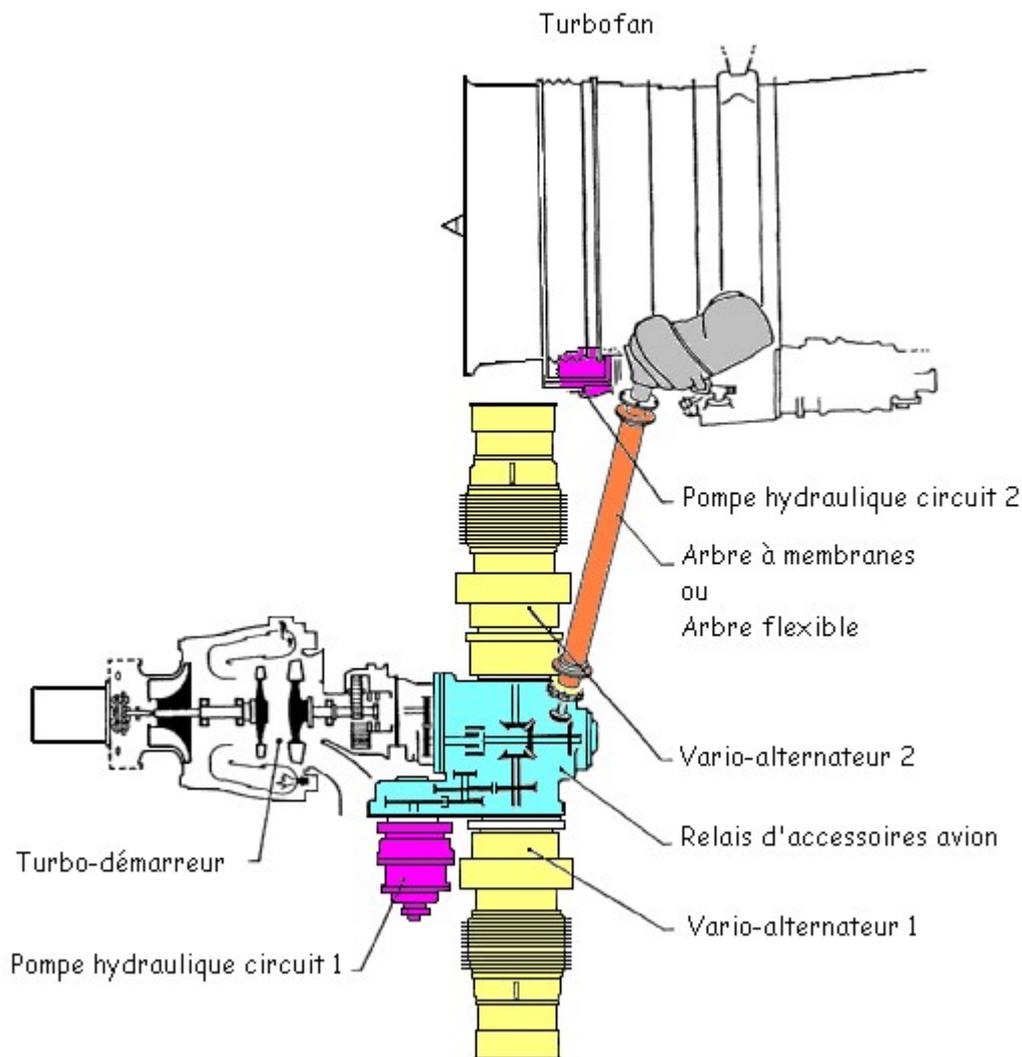
Les systèmes de démarrage Noëlle 150 et 180



Issus de la lignée des Noëlle 60 et 80 étudiés et conçus pour les turboréacteurs Atar 8 et 9, les turbodémarrateurs Noëlle 150 et 180 assurent respectivement le démarrage des turbofans M53-5 et M53-P2.

Se différenciant par leur implantation sur la cellule de l'avion, les turbodémarrateurs Noëlle 150 ch et 180 ch fournissent l'énergie mécanique au réacteur par l'intermédiaire du relais d'accessoires avion et d'un arbre (à membranes ou flexible).

Leur rôle est de fournir au réacteur l'énergie mécanique nécessaire, soit à sa mise en route, soit à sa ventilation, au moyen de sources d'énergie embarquées, ou éventuellement par des sources extérieures. A noter que le temps s'écoulant entre l'appui sur le bouton de démarrage et l'obtention du ralenti stabilisé du réacteur n'est que de 30 secondes.



Le turbomoteur entraîne le réacteur, par l'intermédiaire d'une boîte relais, jusqu'à sa vitesse d'autonomie. La séquence de démarrage a une durée d'environ 30 secondes.

Implanté sous le nez du réacteur le micro-moteur attend son tour, pour à chaque fois lancer le turbofan avec l'énergie de bord disponible ; l'énergie électrique des batteries de bord (0,2 à 2 ampères-heures) et les carburants classiques. La séquence de démarrage va demander une trentaine de secondes, pendant lesquelles, selon sa puissance, la turbine va avaler quelque 6 kg d'air par seconde et 680 centimètres cube (cm³) de carburant.

Définition

Le turbo-démarrreur se compose :

- d'un moteur électrique,
- d'un générateur de gaz,
- d'un démarreur.

Il permet d'assurer l'entraînement du réacteur, en vue d'un démarrage ou d'une ventilation.

Le moteur électrique de lancement est alimenté par l'intermédiaire du contacteur (2K), sur ordre du boîtier électronique turbine (BET). Il entraîne le générateur de gaz par l'intermédiaire d'un système multiplicateur.

Le générateur entre en rotation, dès la mise sous tension du moteur de lancement. Après un allumage, il crée un débit de gaz chauds sous pression, qui sert à entraîner en rotation la turbine du démarreur.

Le démarreur (turbine, réducteur), entraîne le réacteur par l'intermédiaire du relais d'accessoires avion et de l'arbre flexible ou à membranes.

Caractéristiques générales Noelle 180

Domaine d'utilisation

Température - 40 à + 50 °C

Altitude de démarrage 0 à 3 000 m

Alimentation

Carburant tous carburants réacteur

Circuit d'huile autonome toutes huiles réacteur

Performances (conditions standard)

Puissance nominale 133 kW (180 Ch)

Vitesse de rotation de l'arbre de sortie 7 000 tr/mn

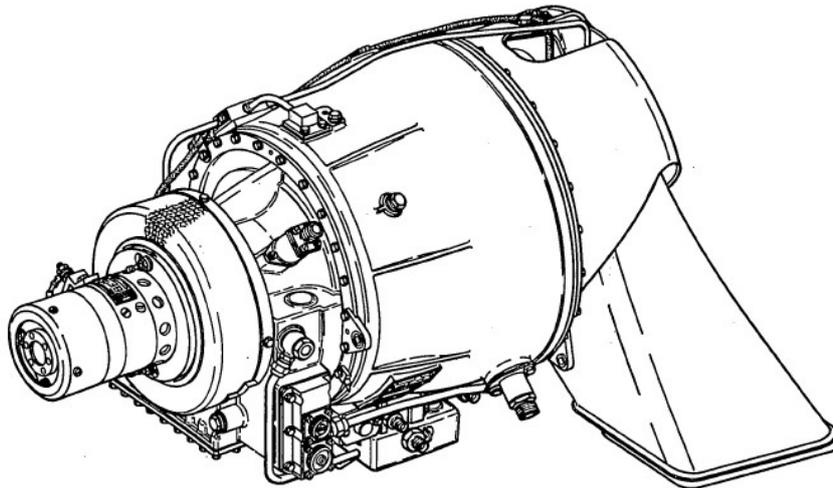
Encombrement et masse

Longueur 613 mm

Diamètre maximum 312 mm

Largeur 464 mm

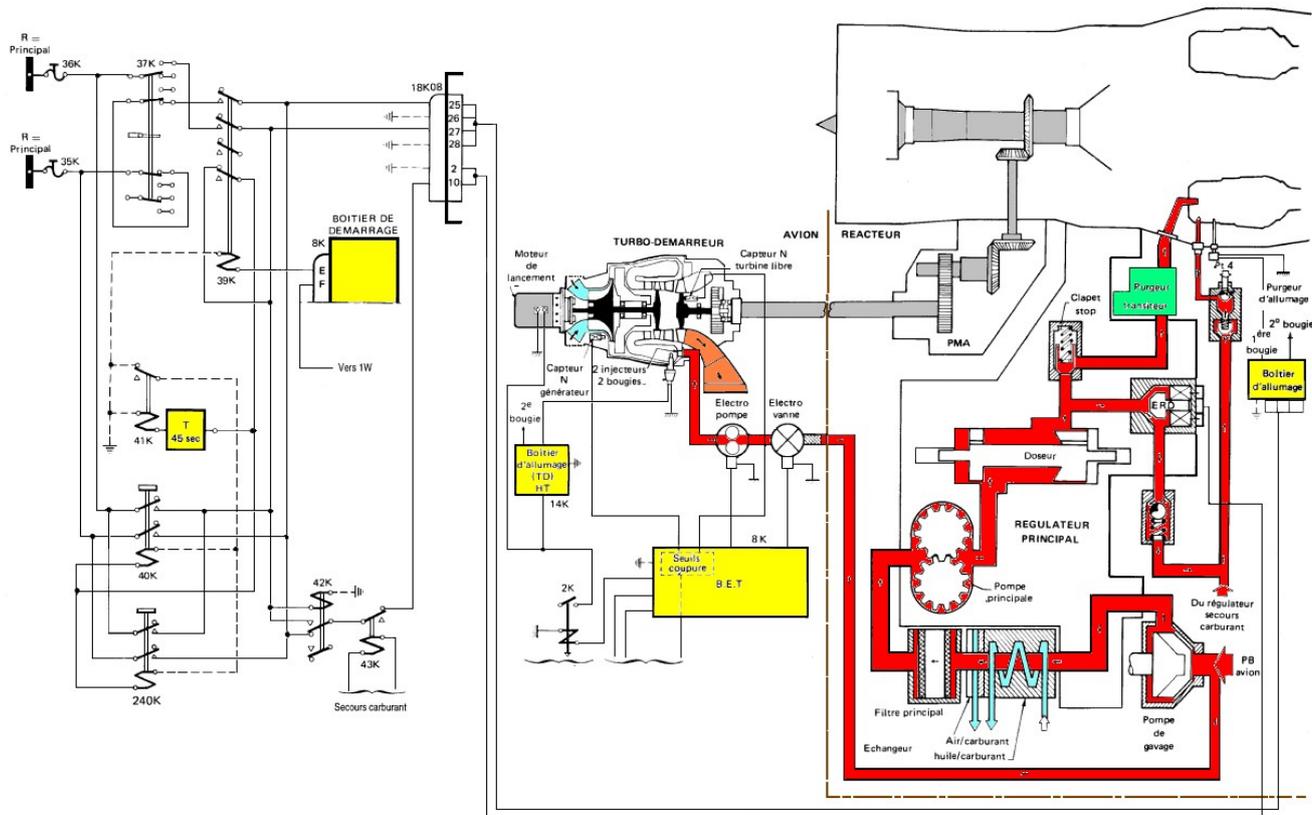
Poids 40 kg



La Noëlle 150 ou 180, petite turbine à deux étages avec des pelles mobiles de régulation de volume double flux, est intégrée à l'avion, un relais faisant la jonction avec la prise d'accessoires fixée au réacteur, qui entraîne le compresseur du réacteur pour la mise en route. Le turbodémarrreur est capable d'assurer plus de 500 démarrages.

Au final, le démarreur lance le réacteur entre 1800 tr/min et 6500 tr/min selon les modèles. Pour y parvenir, c'est-à-dire pour lancer à ce régime sa turbine libre, Noëlle devra elle-même tourner à 40 000 tr/min. Et cette opération se répète des milliers de fois, le TBO (Time Before Overhaul, l'entre deux visites) est de 2000 heures.

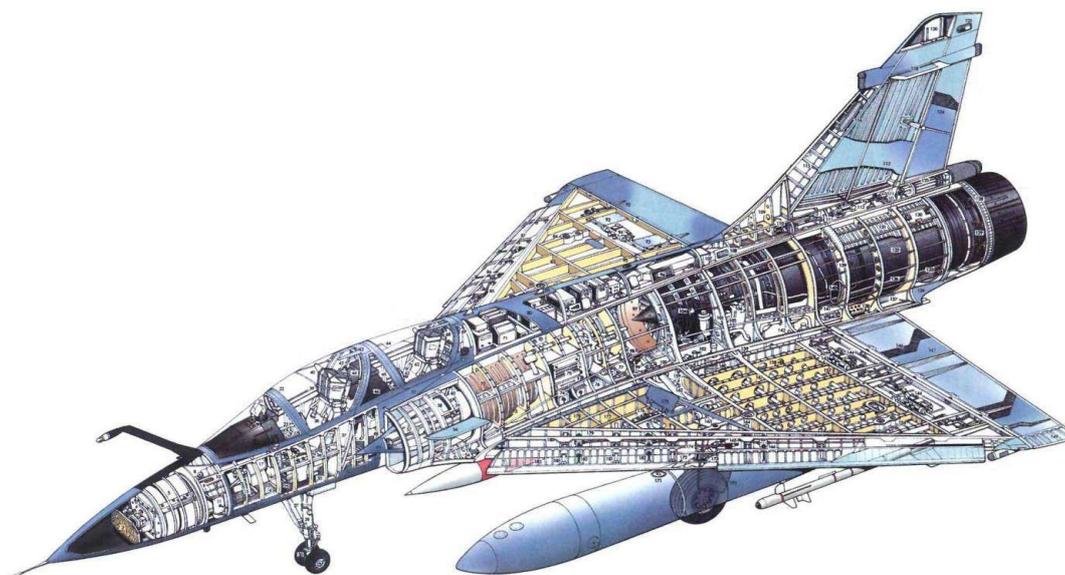
L'architecture des démarreurs Noëlle est simple : un petit moteur électrique de lancement, un générateur de gaz (un compresseur centrifuge et une turbine, montés sur deux paliers avant avec une chambre de combustion annulaire dans laquelle l'air suit un trajet en épingle à cheveu) enfin une turbine de puissance qui attaque la pignonerie de la boîte relais. L'ensemble pèse 39 kg et loge sous un volume pratiquement invariable.



Circuit de démarrage du M53-P2

Tous les systèmes de démarrage des M53 export sont identiques hormis quelques fonctionnalités.

Sur les Mirage 2000 indiens H/TH et I/TI ainsi que sur les péruviens P et DP, le système de démarrage du turboréacteur (s'étendant jusqu'à 3 200 ft) a été modifié pour permettre une utilisation des avions sur terrains en altitude (jusqu'à 8 400 ft voire 11 000 ft) en augmentant le régime de ralenti sol de 250 tr/mn.



Ecorché du Mirage 2000 N (@ DR)

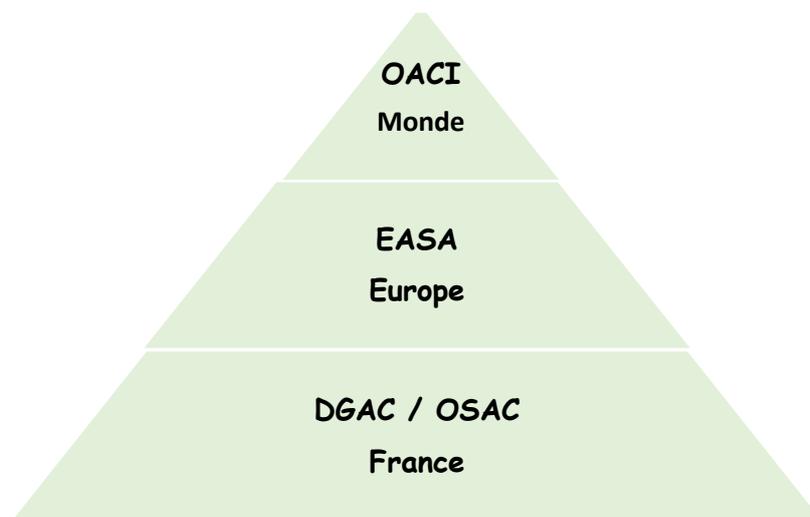
Sources : Documentation Microturbo

La réglementation aéronautique - La sécurité des vols (2^{ème} partie)



La réglementation EASA dans le cycle d'un moteur

L'EASA (Agence Européenne de la Sécurité Aérienne), organisme Officiel ou de Surveillance est dans le domaine civil la clé de voûte de la stratégie de la sécurité aérienne de l'Union Européenne.



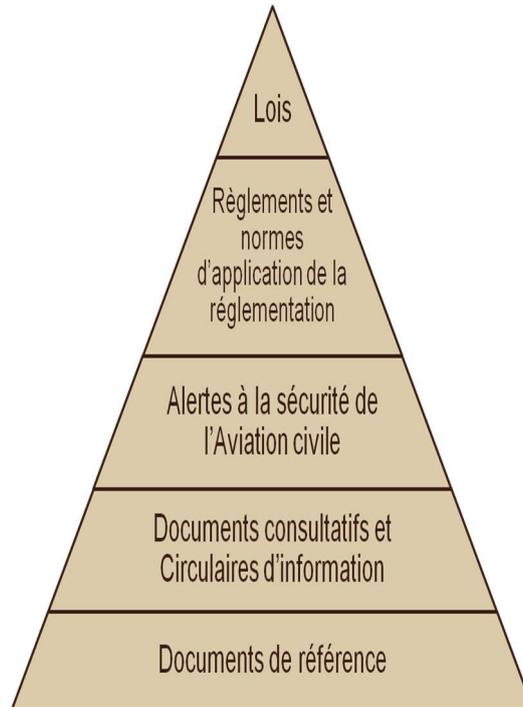
OACI : Organisation Internationale de l'Aviation Civile recommande

EASA : European Aviation Safety Agency réglemente

DGAC : Direction Générale de l'Aviation Civile / **OSAC** : Organisme pour la Sécurité Civile : surveillent



Les instances réglementaires



La sécurité des vols

La mise en service d'un moteur requiert pour le motoriste, de nombreux essais et démonstrations. Certains d'entre eux sont du domaine de la mise au point du matériel ou de l'acquisition du comportement en essai :

► **essais de démonstrations**

D'autres sont du domaine de la démonstration de sécurité de fonctionnement imposée par la réglementation :

► **essais officiels**

La sécurité des vols est démontrée au travers d'essais de :

- Certification pour les moteurs civils,
- Qualification pour les moteurs militaires.

L'ensemble du processus de la certification/qualification à l'exploitation est sous la responsabilité de Safran Aircraft Engines.

La Certification, moteur civil

La certification est l'ensemble des actions permettant à Safran Aircraft Engines concepteur de produit aéronautique de démontrer le niveau de sécurité cohérent avec les exigences réglementaires de l'EASA.

➤ **Le livrable est une définition certifiée (Type design)**

Il valide les démonstrations, il est la reconnaissance légale de la conformité d'un produit, d'une organisation à des exigences réglementaires applicables.

Il autorise la fabrication, l'exploitation commerciale, la maintenance

➤ **Le processus de certification couvre la durée de la vie du moteur**

Phase de certification : Obtention du Certificat de Type.

Maintenir la définition certifiée : valider les changements à la définition pour les pièces nouvelles, valider les réparations, les évolutions de la documentation de maintenance.

➤ **Le Maintien de la navigabilité :** Après-Vente, suivi et maintien de la navigabilité, publications techniques et service bulletin ainsi que le suivi et le traitement des événements en service.

Cette certification est obtenue à l'issue d'un plan de certification sanctionné par un certificat type donnant l'autorisation de navigabilité en service commercial.

Garantir la sécurité des personnes transportées et survolées, c'est faire la preuve par des essais (sol, vol) que le moteur est conforme aux spécifications et à la réglementation.

Ces démonstrations sont essentiellement mécaniques :

Vibrations d'éléments de structure,
Fatigue lente sur pièces majeures, vitales, Survitesse,
Ingestion de corps étrangers (eau, grêlons, glace, oiseaux, sable...),
Givrage, feu, essais d'endurance,
Rétention d'aube fan.

Auxquelles s'ajoutent des exigences contractuelles de :
Performance, Poussée, Temps de remise des gaz.

Ces démonstrations sont également liées à l'environnement : Bruit, Pollution... Elles répondent aux normes CAEP (Committee of Aviation Environmental Protection) de l'OACI.

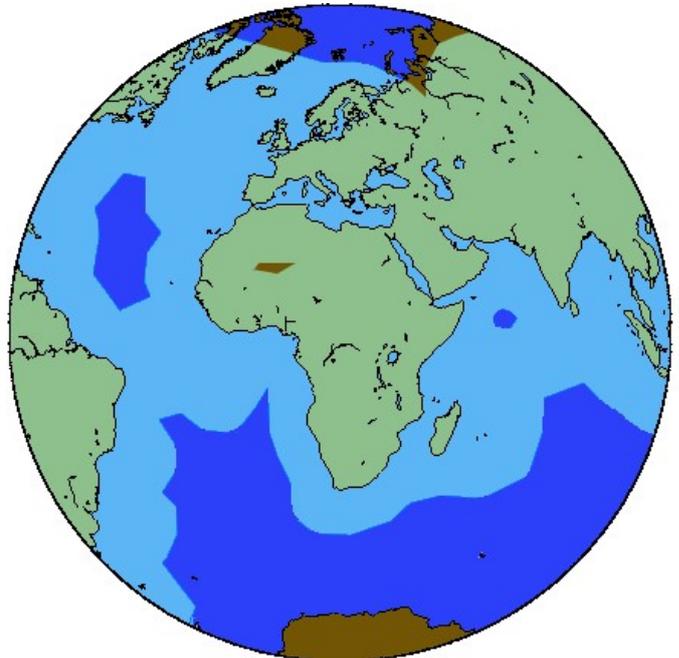
Elles sont réalisées par quatre moyens classiques :

- ▶ Simple déclaration (référence aux dessins)
- ▶ Essais partiels d'éléments ou modules
- ▶ Essais de moteur complet

La Qualification ETOPS, du règlement de l'OACI : Extension du rayon d'action

Dans le cas des avions civils biréacteurs, le survol des océans, déserts, pôles est réglementé par la Qualification ETOPS (Extended- Range Twin Engine Operation Performance Standards). C'est la capacité d'un biréacteur de voler avec un moteur en panne au moins à 180 minutes pour rejoindre un terrain de dégagement. Cependant la limite ETOPS peut varier d'une compagnie à l'autre, selon la qualité de ses équipages et de sa maintenance.

En fonction d'une certification théorique puis de la fiabilité constatée des appareils et de leurs moteurs, un certificat ETOPS-180 est délivré. L'ETOPS-180 permet l'exploitation d'un avion sur 90% des destinations au prix, parfois, d'une route plus longue qu'avec un quadrimoteur. Cette certification permet aux biréacteurs de faire des vols de longue distance au-dessus de zones inhabitées. Au cas par cas, sur des lignes définies, la limitation peut être portée à 240 ou 330 minutes.



La Qualification, moteur militaire

Les démonstrations imposées sont essentiellement les performances stabilisées, les temps d'accélération, la masse du moteur, l'encombrement et les frontières avec l'avion, la maintenance et l'aptitude de la définition de base à satisfaire les spécifications techniques de besoin. Cette dernière peut être démontrée par analyse, supportée éventuellement par des essais de développement selon le plan de qualification moteur et le plan d'analyse et essais.

▶ Epreuve de Puissance - EPREUVE P

But : Mesurer en termes de performance l'écart par rapport à l'objectif, réalisé au banc sol.

▶ Epreuve de Qualification pour vol - EPREUVE Q

But : Démontrer une sécurité fonctionnelle et une endurance limitée pour permettre une autorisation de vol, réalisé au banc sol.

▶ Epreuve d'Identification à la définition - EPREUVE T

But :

- Vérifier que la définition de base du moteur satisfait aux spécifications techniques, en particulier sous les aspects Tenue Mécanique et Performances,
- Permettre de définir la configuration du moteur de série, réalisé au banc sol et banc d'altitude.

► Epreuve de qualification du moteur - BON de VOL

But : Vérifier le bon fonctionnement du moteur en vol, dans une définition correspondant au cas le plus défavorable prévu pour la série. Définir les consignes d'utilisation du moteur.

► Essais de définition série

Si nécessaire, ces essais sont effectués sur des moteurs de série, choisis parmi les premiers moteurs réceptionnés.

La FIABILITE = Le BON FONCTIONNEMENT du MOTEUR dans le TEMPS

La fiabilité se démontre (anticipation/mise en service) par :

- Une analyse fonctionnelle des pièces principales
- Une méthode d'Analyse des Modes de Défaillance, de leur Effets, et de leur Criticité

L'Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) est un outil de sûreté de fonctionnement et de gestion de la qualité :

- Une analyse de risques

La fiabilité se mesure (constat à postériori) par :

- Taux d'essais de réception série interrompus ou annulés,
- Nombre de plaintes clients,
- Taux d'arrêt en vol imputable moteur pour 1 000 heures,
- Taux de dépose moteur non programmé pour 1 000 heures.

Par le maintien de la certification / qualification et le suivi de la navigabilité, Safran Aircraft Engines préserve le niveau de sécurité démontré à la certification / qualification et satisfait les exigences de la réglementation applicable aux moteurs en utilisation.

Une défaillance primaire du moteur ne doit pas :

- Mettre en danger des vies humaines (passagers, équipages ou personnes survolées),
- Être catastrophique pour l'avion.

Les Opérateurs et les Compagnies Aériennes sont responsables à partir des données du constructeur, du suivi de navigabilité des moteurs dont ils sont propriétaires, avec le soutien des Organisations de Maintenance /Entretien en suivant leurs instructions pour le maintien de la navigabilité (Manuels et Services Bulletins).

La sécurité est l'objectif permanent de tous, aucun compromis n'est acceptable entre la sécurité et les contraintes de conception et de fabrication.

La Qualité et la Démarche Facteur Humain

La Qualité est l'ensemble des caractéristiques d'un bien ou d'un service qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire de manière continue les besoins et les attentes des clients (utilisateurs, usagers et de façon plus générale toutes les parties prenantes).

La Démarche Facteur Humain

L'erreur est humaine ! ... cherchons à la prévenir. Dans les procédés de fabrication Aéronautique il y a de nombreuses interventions humaines.

Les analyses menées suite à la non qualité (rebuts, retouches) mettent en évidence un nombre significatif d'erreurs liées au facteur humain, la conception et l'industrialisation doivent avoir pour objectif de rendre les erreurs impossibles (détrompage).

Foreign Object Damage (FOD)- Domestic Object Damage (DOD)

Tout élément étranger ou domestique demeuré dans une pièce, un équipement, un module et susceptible de dégrader les exigences applicables aux caractéristiques de sécurité et/ou de performances associées au produit :

FOD : Foreign Object Damage,

DOD : Domestic Object Damage.

L'erreur humaine est également majoritairement à l'origine des FOD-DOD. Deux types d'AMDEC sont les plus fréquemment utilisés :

- l'AMDEC produit : évaluation des risques que le produit n'atteigne pas les performances voulues.
- l'AMDEC process : évaluation des risques que le procédé de fabrication produise des produits non conformes

La réglementation EASA



La navigabilité en conception et la sécurité

La CERTIFICATION de l'organisation de conception et du moteur est l'ensemble des actions permettant à l'Industriel Concepteur de produit aéronautique que nous sommes, de démontrer le niveau de sécurité cohérent avec les exigences réglementaires de l'EASA.

❖ L'application du règlement Part 21J pour le domaine civil / FRA 21J pour le domaine militaire

Ce règlement établit les règles d'application pour l'Agrément des organismes. Les services officiels ou de surveillance reconnaissent l'aptitude à SAFRAN AIRCRAFT ENGINES à concevoir, produire, maintenir des matériels navigables.

L'Organisme de production, détenteur de l'agrément de production. Il assure que le Manuel d'Organisme de Production et les documents associés sont utilisés comme documents de base. Il maintient l'organisme en conformité avec les données et procédures approuvées dans le cadre de l'agrément. Il établit que les conditions permettant d'attester de la conformité ou de la navigabilité sont remplies.

L'Organisme de Maintenance, il assure que la documentation de référence est disponible : un Manuel de Spécifications (MOE) approuvé et ses procédures d'amendement, que les dossiers d'enregistrement des travaux sont réalisés et certifiés. Il garantit la conformité au règlement et à la commande du client.

L'Organisme de Conception : Les acteurs, les principales missions :

Les Bureaux d'Etudes, Maître d'œuvre à la conception.

Le Bureau de Navigabilité, Interface de l'Autorité pour la certification, l'évolution de la définition technique, le suivi de navigabilité. Ils valident la cohérence des documents de conformité aux règlements sous l'aspect navigabilité.

Le directeur technique, Chef du Bureau de Navigabilité, chef du système indépendant de surveillance de l'organisation de conception, il a la pleine autorité hiérarchique et fonctionnelle sur toutes les fonctions de conception, il est l'interface pour tous les sujets techniques et de navigabilité avec l'EASA.

L'Ingénieur Assurance Système a une Fonction de Surveillance indépendante, Interface officielle entre l'Organisme de Conception et l'Autorité de Surveillance de l'Agrément de Conception. Il est le garant du référentiel Manuel d'Organisme de Conception et des procédures. Il organise la surveillance indépendante en interne Safran Aircraft Engines et avec les Partenaires de Conception au travers de la réalisation des programmes d'audits et d'actions de surveillance, pilote les actions correctives associées et propose la clôture des actions à l'Autorité.

Les Délégué Interne de Navigabilité vérifient la cohérence technique des données supportant la démonstration de conformité. Ils vérifient que la conception du produit répond aux exigences des règlements de certification.

Les Marques Techniques spécifient et vérifient, toutes les définitions techniques produites par l'Organisme de Conception.

La **Direction de la Qualité** audite, qualifie et surveille les processus.

❖ *Les essais*

Les essais sont la dernière étape incontournable du processus de développement d'un nouveau moteur.

Pour obtenir la certification qui va permettre sa mise en service, le moteur doit subir de nombreux essais au sol et en vol, dans toutes les phases d'utilisation : roulage, décollage, croisière, atterrissage...

On distingue deux catégories d'essais :

Les essais partiels : Ce sont des essais de résistance aux sollicitations statiques et dynamiques, des essais d'équipements, de composants et de système carburant, lubrification...

Les essais moteurs : essais d'endurance, essais d'ingestion de corps étrangers (oiseaux, eau, grêle, glace ...) des essais de surchauffe, des essais de mesures vibratoires d'ensemble et de contraintes vibratoires, des essais d'inverseur de poussée, des essais de rupture d'aubes mobiles.

Essais de puissance (P) : Le but est de démontrer que le moteur peut fournir la poussée annoncée, la durée est d'environ 1 heure.

Essais de qualification pour vol (Epreuve Q) : Il permet de valider en endurance la définition du moteur avant le premier avionnage sur banc volant d'environ d'1 heure à 50 heures. Il est réalisé suivant des cycles définis dans le contrat.

First Engine To Test (FETT) : Premier moteur prêt à passer au banc d'essai, au sol et en vol.

Notons que l'installation du moteur et de son intégration sur l'avion ne relève pas de la certification moteur, c'est l'avionneur qui certifie cette installation conformément au règlement avion (CS-25).

Essais de certification (moteurs civils) : Le but est d'obtenir le certificat de type moteur en conformité avec les règlements de navigabilité applicables. Validation des limitations appliquées en service, vitesses de rotation, température de turbine, température d'huile, la durée est d'environ 150 heures.

Essai d'homologation ou épreuve T (moteurs militaires) : Il valide les performances, la technologie, le dimensionnement et les réglages des équipements, la durée est d'environ 150 heures. Ce test se réalise au banc sol et en caisson d'altitude.

Essai d'endurance mission-type : L'objectif est de reproduire les contraintes imposées en cycle réel d'utilisation sur avion.

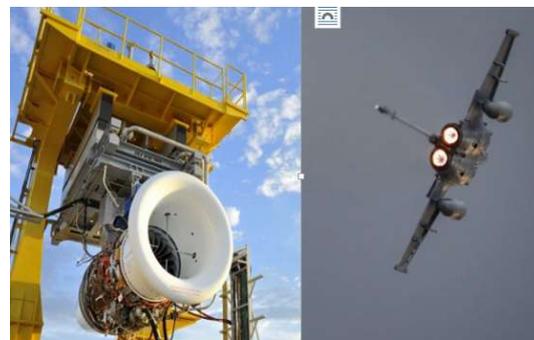
Essai de Réception Série : Essais au cours desquels les Autorités de certification s'assurent que la définition du moteur de série est identique à la définition type. Un certificat de conformité est délivré aux moteurs conformes.

Chaque moteur réalise un essai d'endurance d'une durée environ de 40 mn, si une particularité était découverte après examen, un essai final d'une durée environ de 20 mn serait réalisé.

Essai de Définition Série ou épreuve D : D'une durée d'environ 150 heures, Il valide les performances, la technologie, le dimensionnement et les réglages des équipements.

Bancs d'essais volants (Flight test) : Le banc volant permet d'approcher les conditions réelles du vol sur avion. Exemples de Bancs d'essais volants turboréacteurs :

- Larzac 04 sur Dassault Falcon 10,
- M53 sur Caravelle puis Mirage F1 E,
- CFM56 sur prototype de l'avion-cargo militaire YC-15 et sur Caravelle,
- LEAP 1 de CFM International sur Boeing 747 modifié,
- SaM 146 de PowerJet sur Iliouchine II-76.



Banc à l'air libre

Essai en vol

Sites français / Safran Aircraft Engines pour essais :

Melun-Villaroche pour les essais au sol.

Istres au sein de la base aérienne 125 pour les essais au sol, banc à l'air libre, et en vol.

Certification des moteurs d'avions commerciaux

A l'embarquement dans un avion de ligne pour un vol, qu'elle qu'en soit la durée, la compagnie ou le modèle d'avion, le plus vif souhait des passagers est bien d'arriver à " bon aéroport ".

Nous avons tous entendu parler des essais préalables à la mise en service : projection de " poulets ", moteurs poussés aux limites, libération d'aube de soufflante etc... Arpète de l'Armée de l'Air - École de Saintes et ayant eu la chance de participer au processus de certification du couple Boeing 777-300 ER/GE 90-115 B, je me fais un plaisir de partager cette expérience pour essayer d'y voir plus clair et également de renforcer notre confiance en la robustesse des réacteurs.

En pratique, ils existent deux grandes catégories de tests : ceux, aussi divers et variés que nécessaires, conduits par le fabricant pour acquérir de la connaissance de son moteur. Ces essais continuent bien après l'obtention de la certification et ceux imposés par le certificateur pour l'obtention " du bon de vol ". Cet article ne s'intéressera qu'à ces derniers. Les essais additionnels relatifs à l'obtention de la qualification ETOPS à l'entrée en service ne seront pas non plus abordés. Ils pourraient l'être à l'occasion d'un document à venir.

Pour obtenir l'autorisation d'exploiter commercialement un avion de ligne il faut obtenir pour les moteurs l'approbation de la FAA CFR14 Part 33 ou son équivalent EASA CS-E. Pour l'avion " complet " ce sont les CFR14 Part 25 (EASA CS-25). Ces règles de certification, finalement assez proches des deux côtés de l'Atlantique, imposent pour le moteur que divers tests soient effectués et... réussis !

Ces essais relatifs aux moteurs sont conduits au sol en bancs d'essais utilisant des moteurs de test dédiés, fortement instrumentés (un de nos moteurs avait plus de 1400 points de mesure) dont le standard est représentatif à ceux de la série.

Rupture d'une aube de soufflante



Vue de la soufflante avant libération

Commençons par la " libération " d'une aube de soufflante. Pour être bref, cet essai n'en n'est pas moins très spectaculaire. L'intention du certificateur étant que la libération accidentelle d'une aube de la soufflante en service ne conduise pas à une cascade d'évènements incontrôlables. A titre de référence, une aube de soufflante du General Electric Aviation GE 90-115 B (le -115 indique que ce moteur délivre, à pleine puissance, 115 000 livres soit environ 52,1 tonnes, le B indiquant la variante destinée à un avion Boeing) pèse 22 kilogrammes ! Alors que la vitesse de rotation

maximale autorisée (Ligne rouge) de la soufflante dont le diamètre est de 3,35 mètres est de l'ordre de 2600 tr/mn. Ces essais partiels accomplis, on passe à la libération en utilisant un moteur complet.

Cet essai impose que le corps basse pression soit amené à la vitesse de rotation limite, au niveau de la ligne rouge. Quand la vitesse de rotation est stabilisée, une rangée de dispositifs explosifs, positionnés dans des alvéoles percées, pour la circonstance, juste au-dessus de la racine de l'aube activés. La partie de l'aube située au-dessus de la ligne d'explosif se libère alors en entier et brutalement. Il en résulte un balourd soudain et très important qui ne doit pas conduire à l'endommagement des dispositifs qui attachent le moteur à l'avion. Que les dommages causés au moteur soient tels qu'il n'est constaté aucun incendie, et qu'il puisse continuer à tourner pendant au moins 15 secondes. Évidemment, la libération de l'aube et ses conséquences ne doivent causer aucune perforation des carters. Dans leur jargon, les motoristes parlent " d'évènement contenu ". La " ferraille étant inévitablement autorisée à sortir par devant et par derrière ". Dernier critère, la commande d'arrêt du moteur doit rester fonctionnelle. Une dérogation est admise aux 15 secondes si le moteur dispose d'un dispositif d'arrêt automatique. Cette exigence d'intégrité, à la suite de cet événement majeur, est particulièrement contraignante en termes de robustesse des structures du moteur en conséquence de poids additionnel. Pour y palier, autant que faire se peut, certains moteurs, dont le GE 90-115 B, disposent d'un dispositif de réduction des charges, trop souvent faussement appelé " découpleur ". En fait

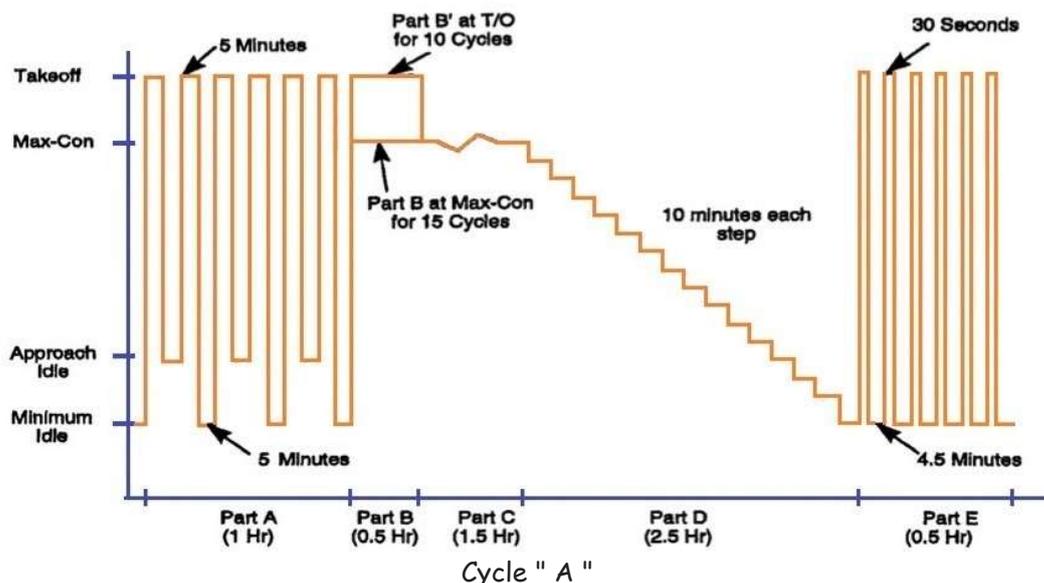
une technologie astucieuse permet, en cas de balourd extrême, au disque soufflante, tout en restant lié à l'arbre de liaison avec la turbine basse pression, de se désaxer de quelques degrés. L'ensemble orbite, le sommet des aubes vient alors en contact avec une bande, constituée d'un matériel abrasable, située à l'intérieur de la périphérie du carter de la soufflante et en face des aubes, arrête la rotation de l'ensemble du rotor basse pression presque instantanément.

De façon à valider cet essai, qui impose la disposition d'un moteur dédié et qui ne sera plus utilisable, du " premier coup " est conduit en séquences successives. D'abord dans une cuve où l'on fait le vide. A l'aide d'un puissant moteur électrique, le disque sur lequel n'est monté qu'une seule aube est mis en rotation. Ce premier test partiel outre la validation des calculs et l'acquisition de données techniques, permet de valider que le disque reste intègre, que le dispositif de fragilisation de l'aube lui permet d'atteindre la bonne vitesse de rotation sans se rompre et que le plan de rupture soit conforme. Ensuite toujours en cuve, une soufflante complètement aubagée. Ce test permet de vérifier que la libération d'une aube n'entraîne pas une cascade de dégâts incontrôlés aux aubes adjacentes et que le carter ne subit aucune perforation ou déformation. Dernier test partiel. Toujours en cuve, sous vide, avant de passer sur le moteur dédié à l'essai complet, la soufflante est associée à son compresseur basse pression, cet ultime test partiel permet de s'approcher au plus près des conditions réelles et de vérifier le bon fonctionnement du dispositif de réduction des charges s'il existe. Ces essais partiels, quand ils sont validés, confortent les ingénieurs et permettent de minimiser significativement le risque d'échec avec le moteur complet.



Rupture d'une aube de turbine haute pression

Autre libération, moins médiatique, celle d'une aube de la turbine haute pression. Toujours juste au-dessus du dispositif de rétention de l'aube dans le disque. Les turbines hautes pression étant le plus souvent constituées de plusieurs étages, les certificateurs requièrent de sélectionner une aube d'un étage en considérant que l'aspect amplitude du balourd et la robustesse du carter faisant face à l'aube " libérée " soient le plus critique possible. Ce test étant très complexe à réaliser avec un moteur fonctionnel, il est admissible de l'exécuter en fosse en utilisant un module de turbine de série. Tel que pour l'aube de soufflante, le carter ne doit subir aucune perforation. Les autres critères restants identiques. L'énergie libérée par une aube de turbine haute pression dans une telle condition est significative. Une aube de turbine haute pression premier étage du moteur Engine Alliance GP7000 de l'Airbus A380, pèse environ 300 grammes alors que la vitesse de rotation de son rotor, à la ligne rouge, est de 13 000 tr/mn.



Test d'endurance

Test d'endurance, désigné " block test " par les Anglo-Saxons ou " trois lignes rouges " en France. Les spécifications de ce test sont très complexes (voir graphique descriptif). Il consiste en plusieurs phases dont 150 heures d'utilisation réparties en 25 cycles, dit cycles " A ". Retenons que le cycle type " A " inclut 25 séquences de 30 minutes au régime de décollage stabilisé incluant des décélérations et accélérations brutales en alternant les régimes de ralenti sol et vol. Ici, il est utile de rappeler qu'en utilisation commerciale, sauf nécessité impérative, la période autorisée à la puissance de décollage est limitée à 5 minutes.

Ajoutons que les 30 minutes au régime de décollage doivent être effectuées à 100% des vitesses de rotation maximales autorisées des rotors, hautes et basses pressions, et à la température tuyère limite. Évidemment, les 30 minutes commencent quand les trois conditions sont présentes et stabilisées. 5% de ces cycles doivent être exécutés à prélèvements d'air maximum. On parle ici de l'air prélevé au compresseur haute pression et utilisé pour les servitudes avion. Une partie de ces cycles doivent être effectués aux températures et pressions carburant et huile en alternant valeurs maximales et minimales. La décélération lente, de quatre heures trente minutes, et par paliers permettant de faire fonctionner le moteur à la totalité du spectre de ses modes vibratoires potentiels.

A l'issue de ce test, le moteur est entièrement désassemblé. La totalité des pièces inspectées. Toutes doivent pouvoir être remontées en l'état sur un moteur qui serait déclaré bon pour le service. Pour atteindre ces limites, il est nécessaire de " tricher " avec les réglages optimums des dispositifs de la régulation. Il est donc nécessaire d'utiliser des régulateurs électroniques ou mécaniques dont les lois ont été " ajustées " pour l'occasion. Inutile d'écrire que ce test est le plus difficile à réussir.



Boeing 777-300 ER au décollage (@ General Electric)

Ingestion de pluie et de grêlons

Ingestion de pluie et de grêlons. Le moteur doit être capable, sans effet sur son bon fonctionnement et son intégrité, d'ingérer en rapides successions de façon à simuler au mieux de véritables conditions atmosphériques de la pluie et des grêlons. La spécification étant un grêlon de 25 millimètres de diamètre par 645 cm² et simultanément, encore un de 25 millimètres, plus un de 50 millimètres par 968 cm². Les grêlons sont projetés dans l'entrée d'air, 50% au hasard et 50% dans la zone estimée la plus critique à différents régimes pendant

3 minutes consécutives suivis d'accélération et de décélération qui doivent rester satisfaisantes. D'autres tests de givrages seront conduits par l'avionneur pendant la phase de certification de l'avion. Ils devront démontrer qu'en conditions givrantes extrêmes, les moteurs continuent à fonctionner nominalement.

Tests d'ingestions d'oiseaux, d'eau et de blocs de glace

Terminons avec les ingestions d'oiseaux. Tel que pour l'essai de " libération " d'aube de soufflante, des tests partiels sont conduits en cuve avant de passer au moteur complet. Pour les âmes sensibles, je commencerai en disant que les fabricants de moteurs d'avions élèvent différentes espèces d'oiseaux. Quand ceux-ci atteignent les poids requis ils sont euthanasiés à l'aide de gaz asphyxiants, dûment répertoriés, et

congelés en l'état. Pour ces essais, ils sont évidemment décongelés puis placés à l'intérieur d'un cylindre en polystyrène expansé dans des canons à gaz qui les projettent dans la soufflante à la vitesse et aux positions d'impact sur les aubes de soufflante souhaitées. Un dispositif d'ajustement de la pression du gaz dans le canon permet d'obtenir la vitesse d'éjection requise. Des séquenceurs permettent le tir en conformité avec les spécifications. Cet exercice qui fait beaucoup parler, est divisé en trois tests : oiseaux de grande, moyenne et petite tailles. Un oiseau de grande taille, déterminé comme pesant 1,8, 2,7 et 3,6 kilogrammes doit être projeté, à la vitesse de 200 kt (370 km/h), en trois essais distincts, un par poids, dans la zone de la soufflante estimée la plus critique, pendant qu'elle tourne à au moins 90% du régime de décollage. La manette de puissance est maintenue en position pendant 15 secondes. Après chaque collision, typiquement, les mêmes critères d'acceptabilité que ceux déterminés pour la " libération " d'une aube de soufflante s'appliquent. Une chute du régime, inférieure à 50% est acceptable. Le moteur doit rester fonctionnel et pilotable dans la fenêtre située entre le régime de ralenti et les 50% de la puissance maximale requise post collision. Pendant l'évènement, le moteur ne doit, en aucun cas, s'arrêter ou dépasser ses limites d'utilisation. La commande d'arrêt doit rester fonctionnelle. Les critères de collision avec des volatiles de moyenne et petites tailles sont très complexes. Il serait fastidieux de les lister tous ici. Retenons que les projections doivent simuler un vol d'oiseaux, que le nombre d'oiseaux projetés simultanément, est fonction du diamètre de l'entrée d'air. Qu'en terme d'acceptabilité, la chute de puissance acceptable est limitée à 25% de la puissance nominale. La masse d'un oiseau de petite taille étant établie à 85 grammes alors que celle d'un oiseau de moyenne taille fluctue entre 85 grammes et 1,15 kilogramme.

D'autres tests moins médiatiques sont requis tels qu'ingestion d'eau et de blocs de glace, ce test spectaculaire, impose pour les moteurs les plus puissants d'être capables d'ingérer un bloc de glace allant jusqu'à 12 mm (Epaisseur), 300 mm (Longueur), 500 mm (Largeur). Vents traversiers, fonctionnement aux vibrations et températures limites aux critères complexes également difficiles à exposer ici.



Oiseau euthanasié dans le cylindre en polystyrène
(@General Electric)



Batterie de canons prêts au tir (@General Electric)

Je souhaiterais conclure en deux points : Qu'au moment de l'embarquement, nous pouvons être tout à fait rassurés. Les moteurs d'avions sont robustes ! Les certifications d'avions étant peu fréquentes, je réalise la chance qui fut la mienne et à l'Arpète que je suis, d'avoir, pendant deux années, le temps de notre passage à Saintes, participé en tant qu'ingénieur d'essais avec les équipes de General Electric Aviation puis de Boeing, au développement et à la certification du couple Boeing 777-300 ER/GE 90-115 B. Cet avion, qui implique très largement l'industrie Française (Safran Aircraft Engines, Safran Landing Systems, Safran Cabin, Thales et beaucoup d'autres PME...) est un succès incontestable. Plus de 1000 exemplaires (-300 ER / -200 LR / -200 LRF) vendus à 70 clients. Il se prépare une nouvelle, et sûrement longue carrière, après modifications comme avion-cargo. Preuve s'il en est qu'il fut très bien certifié !

Bibliographie : document de la FAA CFR14 Part 33 (Certification du moteur)

Les Dassault MD-450 " Ouragan " Atar 01 et Atar 02 : bancs d'essais volants des Atar 101 B et C (1951 - 1955)



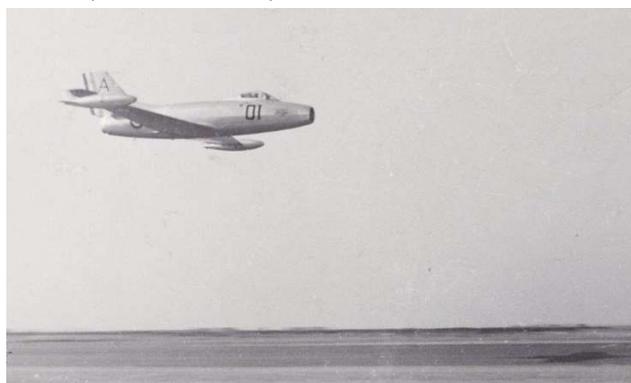
Si le début des études et fabrications des prototypes des turboréacteurs Atar 101 a commencé fin 1945, ce n'est qu'en 1951 que leur développement a été lancé avec les homologations de la version Atar 101 B à 2 400 kgp, puis, rapidement, de celle de la version Atar 101 C, à 2 800 kgp.

La même année la Direction des Constructions Aéronautiques avait décidé, en complément du Martin B-26 G " Marauder " banc volant de l'Atar 101, que les avions n° 13 et 14 de la présérie des MD-450 " Ouragan " soient modifiés et aménagés pour recevoir un Atar 101 B ou 101 C. Ces deux avions furent rebaptisés MD-450 / " Atar 01 " et " Atar 02 ", pour mener les essais en vol du réacteur, en complément au Martin B-26 G " Marauder ", transformé en banc d'essais volant et en service à la SNECMA depuis le 6 octobre 1950. Les deux monoréacteurs subsoniques ayant pour rôle d'élargir le champ d'expérience et d'identifier les problèmes d'utilisation du réacteur dans un domaine de vol élargi en altitude et en vitesse.

Les réacteurs Atar étant en pleine évolution au cours de cette période, un bon nombre de vols furent effectués avec des moteurs à des stades de développement et en particulier de poussées intermédiaires.



MD-450 Ouragan " Atar 01 " (© AEVS)



MD-450 Ouragan " Atar 01 " en vol (© AEVS)

Le MD-450 Ouragan n° 13 alias " Atar 01 "

Essais avionneur. Première association d'une cellule Dassault et d'un réacteur Atar, le MD-450 n° 13 équipé d'un Atar 101 Bo (n° 1012) réglé à 2 400 kgp, effectua son vol inaugural le 5 décembre 1951, aux mains du directeur des essais en vol de l'avionneur, Constantin " Kostia " Rozanoff. Dépourvu d'armement, l'avion se distinguait des autres " Ouragan " de pré série par son fuselage arrière entièrement redessiné et une manche à air en deux parties qui se rejoignaient en un canal unique conduisant directement au compresseur. Si le diamètre du réacteur SNECMA Atar (0.886 m) est très inférieur au Rolls-Royce RB.41 Nene 104 de 2 270 kgp (1.25 m), sa masse était par contre, plus élevée de 130 kg d'où un centre de gravité plus arrière. Cela conférait une certaine instabilité au tangage donc un pilotage plus délicat et plus fin.

Rééquipé, par la suite, avec un Atar 101 B2 délivrant 2 600 kgp, dès les premiers vols des anomalies majeures survenaient avec plusieurs pompages et extinctions en altitude, vibrations. Malgré l'amélioration du système de régulation quelques vibrations persistent. Le moteur était lent à monter en régime et sa mise en route longue et délicate.



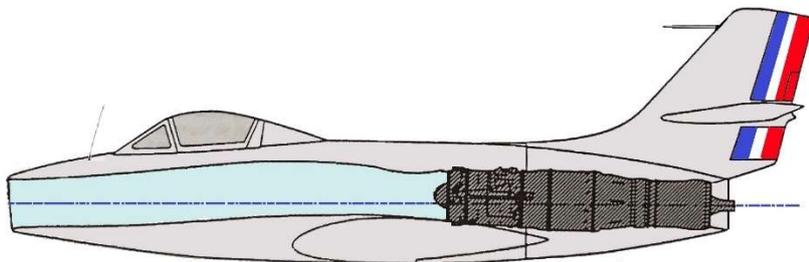
Franchement subsonique, la vitesse limite de l'Ouragan est de Mach 0.82. (@ DR)

Au 11^{ème} vol, des essais à Mach élevé, révélèrent à Mach = 0.78 un phénomène inhabituel sur " Ouragan " : des oscillations dans le plan horizontal que les britanniques nomment " snaking ". Ces mouvements en lacet de type " coups de queue " étaient attribuées au fait que le canal d'échappement du réacteur pouvait se déplacer

latéralement par rapport au croupion de l'avion. Après un nouveau calage du réacteur, le phénomène de "snaking" disparut. La meilleure performance réalisée fut un Mach 0.81 réalisé à 3 000 mètres, en juin 1952.

Défaut majeur, les extinctions de la chambre de combustion lors de manœuvres brutales du pilote sur la manette des gaz, ne sera résolu qu'en septembre 1952 avec l'intégration du dispositif dit de "double butée" sur le régulateur qui permettait de limiter le débit carburant en valeur minimum (extinction) et en valeur maximum (pompage) proportionnellement à la pression de refoulement du compresseur.

Après une première campagne d'essais menée par l'avionneur, le CEV effectua plusieurs tests et épreuves officielles : régulation, endurance, extinctions et rallumages jusqu'à 12 000 ft (3 600 m).



MD-450 Ouragan avec un Atar 101 B2. L'alimentation en air est dite de "plein vent". Le pilote est installé au milieu de la veine d'air qui est divisée en deux parties qui se rejoignent derrière pour alimenter le réacteur (@ Auteur)

Snecma Atar 101 B2. Masse : 910 kg ; longueur : 3.66 m ; diamètre : 0.886 m.

Essais motoriste. Réceptionné par la Snecma, au début de l'année 1953, l'appareil recevait en février un Atar 101 C1 avec une tuyère à aiguille de 2 750 kgp doté d'un compresseur modifié et d'un dispositif de démarrage autonome puis effectuait, le 1^{er} mars 1953, le premier vol du motoriste avec Auguste Morel aux commandes. Huit mois plus tard, en novembre, le moteur était équipé d'une tuyère à striction axiale (variation du diamètre de sortie des gaz par envoi d'air comprimé sur tout le diamètre en sortie de tuyère). Le phénomène de "snaking" réapparut alors.

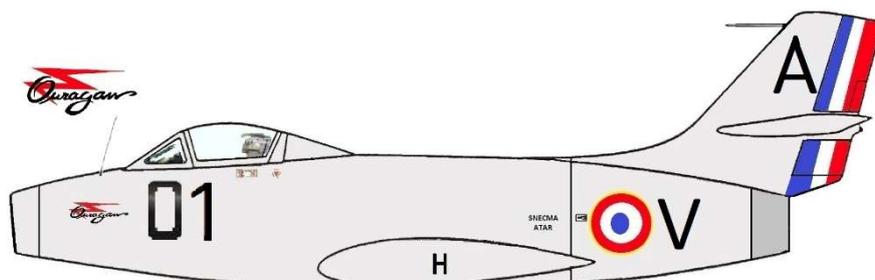
En deux ans et demi, l'appareil connaîtra cinq incidents majeurs.

En août 1953, c'est un "cheval de bois" à l'atterrissage, avec le célèbre pilote d'essais, André Turcat au manche et au gaz. Alors moniteur à l'Épner (Ecole du Personnel Navigant et d'Essais) et pilote de marque du réacteur Atar au CEV de Brétigny-sur-Orge il est chargé d'un vol comparatif de performances consommation carburant / vitesse avec un autre MD-450 Ouragan propulsé par un Rolls-Royce Nene. A l'issue du vol, atterrissant sur une piste inondée à la suite d'une averse et en présence d'un fort vent de travers, il bloque la roulette du train avant, perd le contrôle de l'avion qui part soudain en "cheval de bois" autrement dit une pirouette sur place de trois quarts de tour. Il est à noter que l'une des faiblesses de l'avion était l'étroitesse de son train principal (voie de 2.38 m) et ses pneus haute pression ce qui rendait les phases de décollage et d'atterrissage délicates par vent de travers supérieur à 16 kt (29 km/h). Il s'ensuivit une sortie de piste heureusement réalisée sur la piste transversale, en béton. L'appareil peu endommagé a nécessité quelques réparations.

En 1954, à trois reprises avec le même pilote du motoriste François Bourhis, l'appareil est victime d'atterrissages moteur éteint, une fois en septembre suite à une fuite carburant, deux fois en octobre et la même panne puis, en décembre, avec cette fois une panne électrique générale (perte de la génératrice et de la batterie).



Poste de pilotage (@ CEV)



MD-450 Ouragan " Atar 01 " codé " V " propulsé par un Atar 101 C2. Mach maxi 0.9. Les vols étaient effectués avec ou sans les réservoirs de bouts d'ailes ou tip tanks. Le bord d'attaque de la dérive comporte une perche anémométrique. (@ Auteur)

L'année suivante, en 1955, Armand Jacquet l'un des deux pilotes du CEV alors affecté sur MD-450 Ouragan Atar pour effectuer des essais en altitude ainsi que d'extinctions et de rallumages est victime d'une extinction inopinée à la verticale de Nice. Croisant à 40 000 ft (12 000 m), et situé à environ 200 km d'Istres il ne peut pas rallumer le moteur car, à cette époque, le rallumage ne peut se faire qu'en-dessous de 10 000 ft (3 000 m).

L'ensemble des paramètres étant correct, il réalise un vol plané jusqu'à Istres à la vitesse de finesse maximale soit 170 kt (315 km/h) et, arrivé à la verticale du terrain, sous la barre des 10 000 ft, la tentative de rallumage réussit.

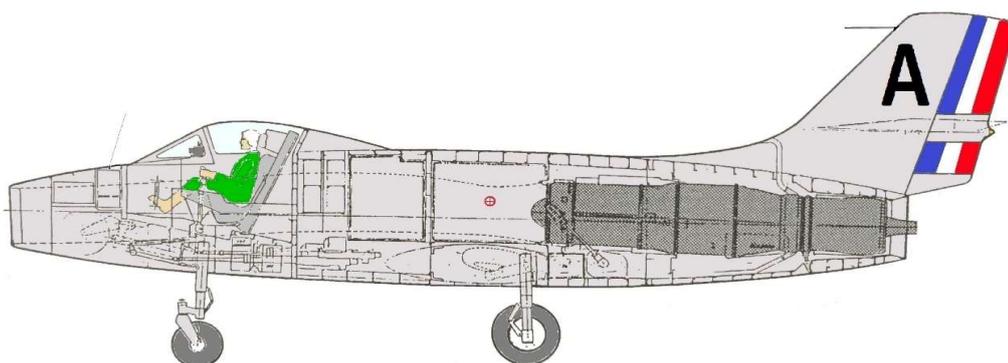
La mise au point du propulseur se déroula lentement. 107 vols furent réalisés soit 111 heures de vol entre mars 1953 et août 1955. Quatre pilotes de la Snecma participeront à la mise au point du réacteur : Léon Gouël, Auguste Morel, François Bourhis et Roland Daney.

Sérieusement endommagé à l'atterrissage, en novembre 1957, le MD-450 Ouragan " Atar 01 " fut réformé par la suite, puis ferraillé en mars 1958.

Chronologie des vols Snecma MD-450 Ouragan " Atar 01 " (Mars 1953 - Août 1955)

Année	Nombre de vols	Temps de vol	Faits marquants	Pilotes
1953	44 vols (37 à 80)	42 h	Recherche de décrochage	Cne Blanc (*) Cne A. Turcat (*) A. Morel L. Gouël R. Daney F. Bourhis
1954	49 vols (81 à 129)	53 h 30	Régulation Atar 101 C avec tuyère à striction axiale et rallumage (torches)	R. Daney A. Morel F. Bourhis
1955	14 vols (130 à 143)	15 h 20	Rallumages	A. Jacquet (*) E. Sixdenier (*) F. Bourhis L. Gouël R. Daney A. Morel

(*) Pilotes du Centre d'Essais en Vol (CEV). Affecté aux à la mise au point des moteurs, Eugène Sixdenier, était reconnu comme étant l'expert des essais d'extinction puis de rallumage en vol sur les prototypes monoréacteurs de l'époque (Vampire, Mistral, Ouragan, Mystère II, Mystère IV...) sur lesquels il a effectué de l'ordre de 700 extinctions, dont 25 environ se sont terminées par un atterrissage réacteur éteint.



MD-450 " Ouragan " avec réacteur Atar 101 B2 avec sa tuyère à aiguille - Plan d'aménagement. L'entrée d'air frontale se divise en deux manches de part et d'autre du baquet pilote pour se réunir devant le réacteur. (@ Auteur)



Poste de pilotage

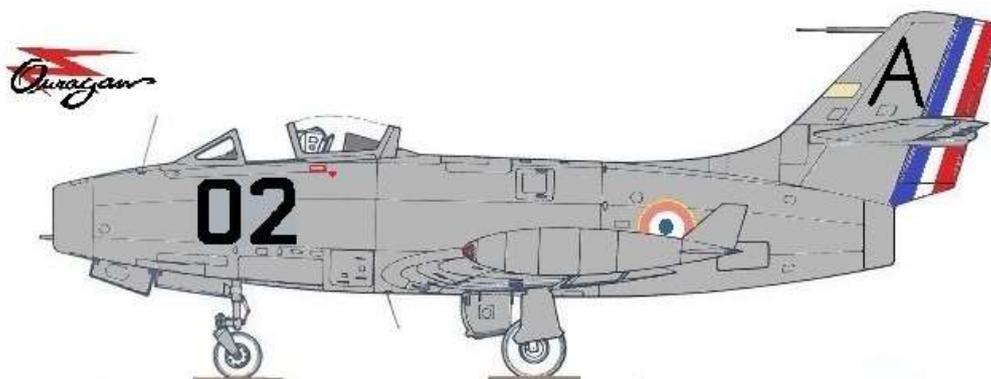
Le MD-450 Ouragan n° 14 alias " Atar 02 "

Essais avionneur. Le MD-450 / Atar 02, effectua son premier vol à Villaroche le 10 juin 1952, aux mains de Paul Boudier. L'appareil eut une carrière similaire à celle du MD-450 / " Atar 01 ". Equipé initialement d'un réacteur Atar 101 B2 fournissant 2 400 kgp, pour le début des vols, il connaîtra des problèmes d'extinctions sur réduction de régime vers 11 000 mètres d'altitude mais pas de " snaking ", le calage du réacteur étant différent.



A l'issue de son huitième vol l'avion fut remis au CEV, en fin octobre 1952, où il est soumis à des épreuves de montée et de vol à haute altitude ainsi que plusieurs essais d'extinctions/rallumages, de régulation et d'endurance. En mars 1953, il est remotorisé avec un Atar 101 C3 développant 2 750 kgp doté d'une tuyère à volets. A sa première sortie, après ce chantier, Gérard Muselli atteignait l'altitude de 12 000 mètres en 12 mn à $M = 0.65$ et 7 800 tr/mn, mais à $M = 0.77$ il vit réapparaître le "snaking" et le battement d'ailerons.

Essais motoriste. Livré à la Snecma en juillet 1953, il connaîtra également plusieurs incidents dont trois atterrissages moteur éteint, en octobre 1953 avec Roland Daney, le mois suivant avec François Bourhis puis l'année suivante, en mai 1954, suite à une panne électrique, avec Roland Daney, et une semaine plus tard, lors de son 142^{ème} vol l'appareil est détruit à l'atterrissage avec, aux commandes, un pilote du CEV, Mr Vesigot gravement blessé. L'avion est disloqué en trois grandes parties.



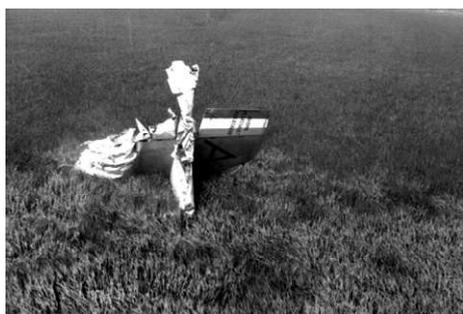
MD-450 Ouragan " Atar 02 " propulsé par un Atar 101 C (@ Auteur). L'appareil a été immatriculé F-ZXRF entre octobre 1952 et fin septembre 1953 puis F-ZABM d'octobre 1953 à juillet 1954.

Au total, les quatre pilotes de la Snecma (Léon Gouël, Auguste Morel, François Bourhis et Roland Daney) effectueront 85 vols soit environ 92 heures de vol entre les mois de juillet 1953 et mai 1954.

Chronologie des vols Snecma MD-450 Ouragan (F-ZABM) " Atar 02 " (Juillet 1953 - Mai 1954)

Année	Nombre de vols	Temps de vol	Faits marquants	Pilotes
1953	36 vols (58 à 93)	33 h 50	Régulation Atar 101 C, performances, champ caractéristique	B. Witt (*) A. Morel L. Gouël R. Daney F. Bourhis
1954	49 vols (94 à 142)	58 h 15	Régulation Atar 101 C performances et rallumages (pré-chambre)	R. Daney L. Gouël A. Morel F. Bourhis Vesigot (*)

(*) Pilotes du Centre d'Essais en Vol (CEV). Bernard Witt mena en particulier les essais en vol du Mystère II et effectua le premier vol officiel du Leduc 021 en avril 1955 puis celui, en 1957, du chasseur monoplace d'appui tactique léger Breguet Br 1001 " Taon ".



MD-450 Ouragan " Atar 02 "



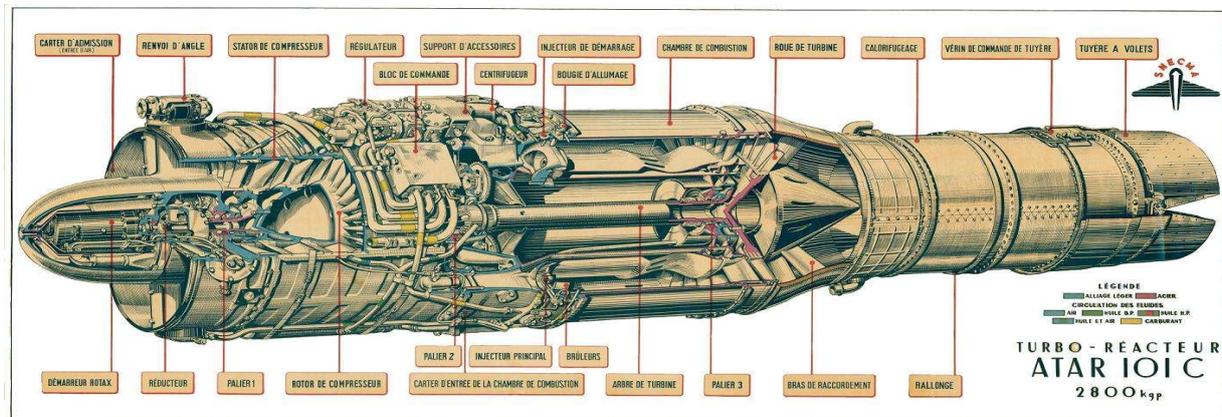
- Epave



(mai 1954) (© CEV)

Le Snecma Atar 101 C

De type simple corps simple flux, l'Atar 101 C comporte un compresseur axial doté de sept étages avec un taux de compression de 4,5, avec une chambre de combustion annulaire, dont la turbine monoétage travaille à une température de 845°C. Au régime maximum de 8 500 tr/mn, il absorbe 53 kg d'air par seconde, fournissant une poussée de 2 800 kg, au décollage. La consommation spécifique s'élève à 1,09 kg/kg/h. Sa masse est de l'ordre de 920 kg.



Ecorché de l'Atar 101 C (1952). Cette version diffère de la version 101 B2 par le carter d'entrée dont la section a été agrandie.

La majeure partie des organes, accessoires et équipements sont placés sur la partie supérieure et le démarreur monté dans le nez du compresseur. Mis à part les trois variantes de développement Atar 101 C2, C3 et C4 dotées de différents types de tuyères bi-volets (aussi appelées tuyères à paupières), la version Atar 101 C1, commandée à 140 exemplaires, sera finalement fabriquée à 30 unités, à partir de fin 1951.

Le moteur est homologué en juillet 1952.

Par rapport à l'Atar 101 B, les principales différences sont :

- compresseur à débit et rendement augmentés ;
- résistance au fluage ;
- chambre de combustion à redan et fentes sur mélangeur intérieur ;
- canal d'éjection allongé avec tuyère à aiguille pour avionnage en fuselage ;
- régulation améliorée, certains exemplaires de la version C3 comportent un bloc unique de régulation alors que précédemment il y avait deux blocs séparés ;
- démarreur électrique Rotax incorporé au turboréacteur et placé dans le moyeu à l'avant du compresseur.

Moteur	Mise en service	Poussée	Vitesse rotation	Température entrée turbine	Poids	Longueur - Diamètre	Production
Atar 101 B2	1952	2 600 kgp	8300 tr/min	845 °C	910 kg	3.667 m - 0.886 m	50 (série)
Atar 101 C1	1952	2 800 kgp	8500 tr/min	850 °C	920 kg	3.667 m - 0.886 m	140 *

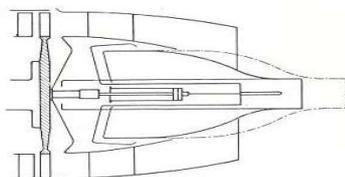
* Les Atar 101 C sont numérotés entre 1201 et 1340. Ultérieurement 110 exemplaires seront transformés en version Atar 101 D2A, c'est-à-dire présentant des possibilités d'emploi en altitude nettement plus étendues. Leur numérotation est comprise entre les n° 1226 et 1340.

Les différentes versions des Atar 101 C ont volé sur des bancs volants (Martin B-26 G " Marauder ", SE-161 " Languedoc ") et ensuite sur des avions expérimentaux comme les deux MD-450 " Ouragan " Atar de présérie (n°13 et n°14) et également sur les avions prototypes ou de présérie du biréacteur SO-4050 " Vautour ", SE-5000 " Baroudeur ", MD-452-Mystère II, Sfecmas 1402 " Gerfaut ".

Tuyères d'éjection.

Trois types de tuyères à section variable ont équipé les variantes de l'Atar 101 C : à aiguille, pour le C1, à striction aérodynamique, pour le C2, et à volets pour le C3.

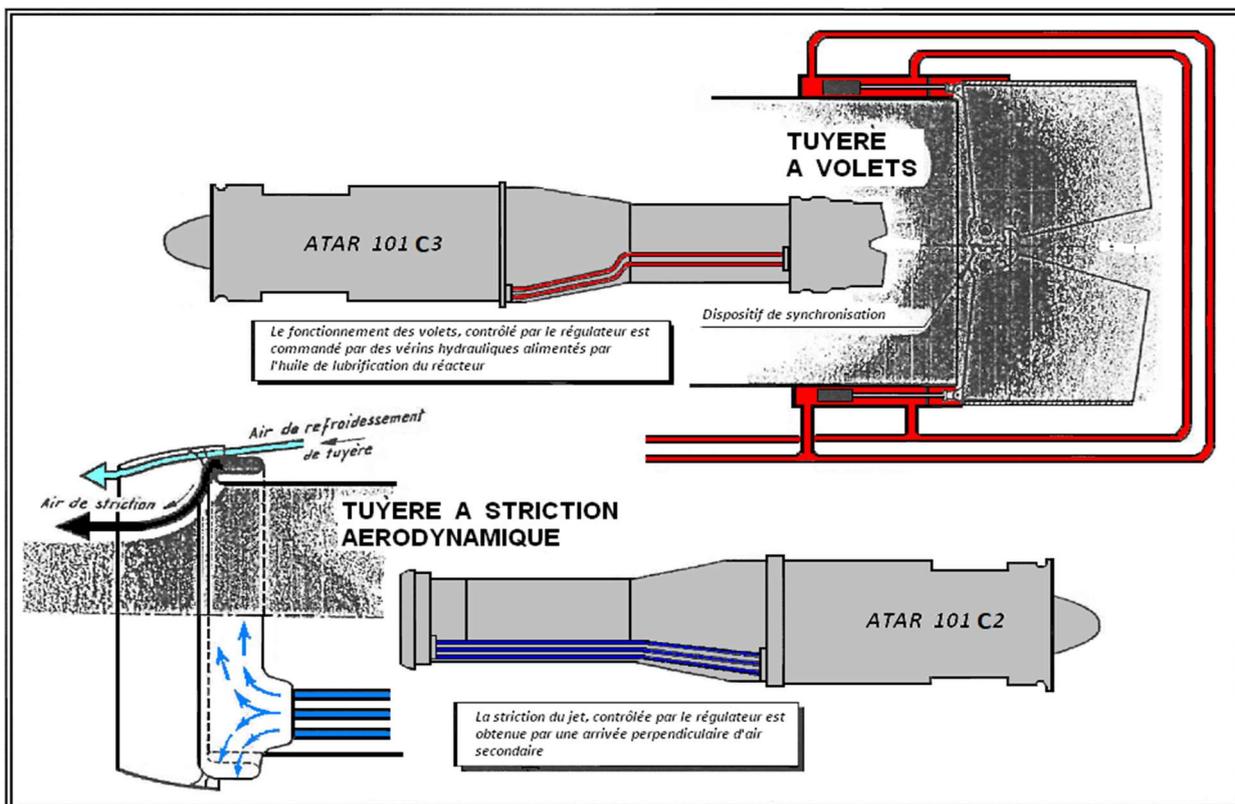
Tuyère à aiguille. La variation de section est obtenue par le déplacement longitudinal d'un corps central placé à l'intérieur de la tuyère. Cette forme de réalisation nécessitait une commande du corps central située à l'intérieur du canal d'éjection dans une zone à température relativement élevée. Elle exigeait donc des précautions particulières de refroidissement. La tuyère à aiguille a été abandonnée au profit de celle à volets parce qu'elle ne s'ouvrait pas assez en altitude. La chambre de combustion était tellement mauvaise que la flamme traversait la turbine et créait une postcombustion parasite lorsque la pression baissait.



Tuyère à aiguille

Tuyère à volets. Expérimentée à partir du début 1953, cette tuyère à section variable continue constitue un paramètre de réglage supplémentaire et permet, en particulier, d'obtenir une régulation automatique du turboréacteur dans des conditions de vol très variées. C'est l'Atar 101 C qui reçut la première tuyère à volets, qui était également indispensable au développement de la post combustion.

Tuyère à striction. La tuyère à striction pneumatique utilise un jet d'air auxiliaire pour faire varier la section utile de sortie. On peut prélever ce jet sur la chambre de combustion (solution autonome) ou prévoir un générateur séparé. On élimine ainsi tous les éléments mobiles, aiguille, volets, etc., en contact avec les gaz brûlants et gênant leur écoulement.



Tuyères : à volets et à striction

Installation réacteur.

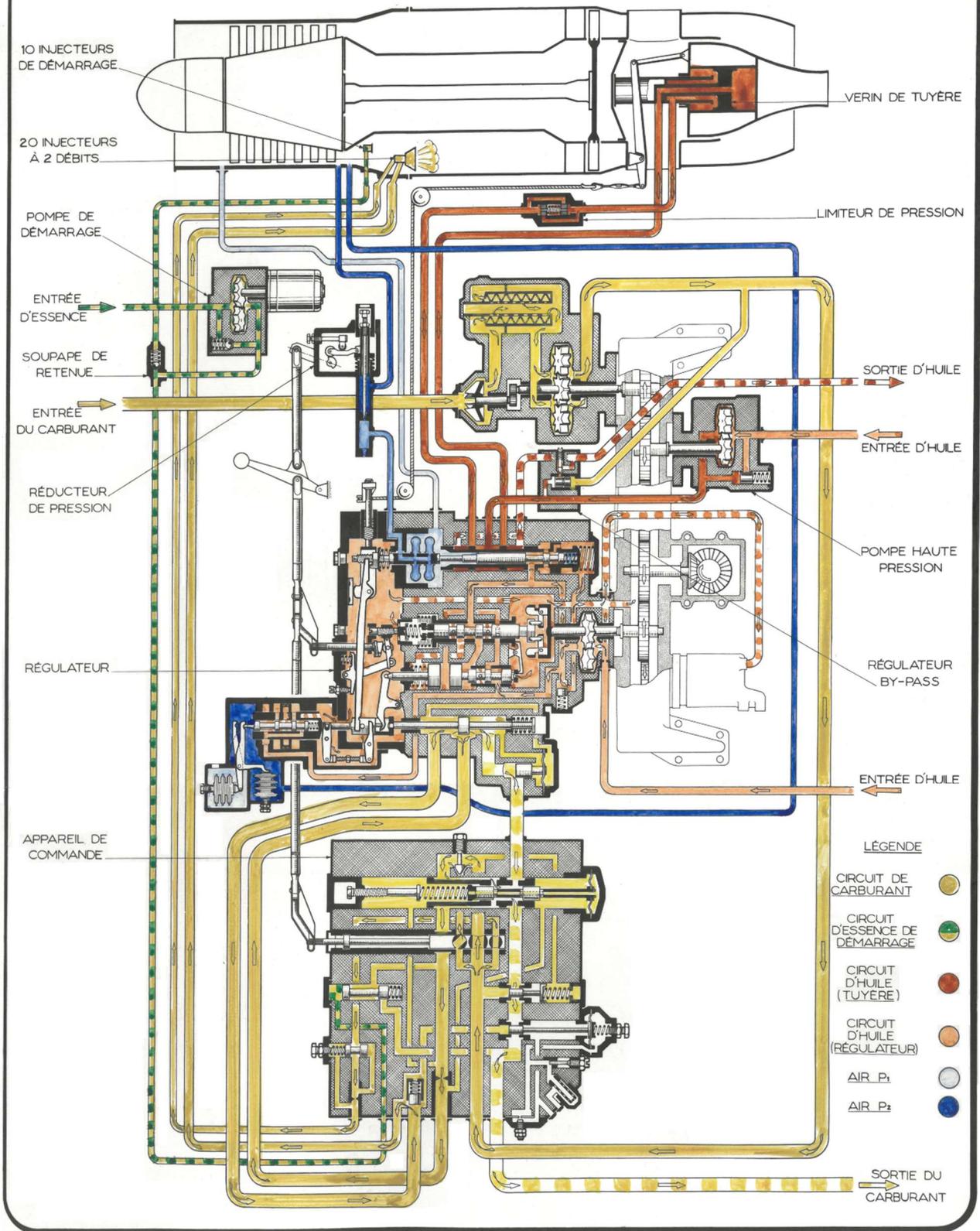
Comme sur tous les avions de combat des années 1950 conçus par Marcel Dassault (Ouragan, Mystère II, Mystère IV et Super Mystère B2), la mise en place et le démontage du réacteur qui se fait par translation horizontale de l'arrière vers l'avant, nécessite la dépose entière de l'empennage horizontal et vertical.



MD-450 Ouragan " Atar 01 " dépose réacteur Atar 101 B2



SCHÉMA DE RÉGULATION DE L'ATAR 101 C1



Atar 101 C1 - Schéma de régulation. Système de régulation avec commande à levier unique réglant automatiquement la vitesse de rotation et la température des gaz.

Un atterrissage en vol plané, à l'origine du système de " double butée "

L'anecdote suivante a été racontée par Pierre Odeyer, spécialiste régulation, attaché aux essais du moteur Atar 101 au début des années 50.



" L'Ouragan avec un Atar 101 B faisait des essais en vol aux mains de Constantin " Kostia " Rozanoff. Dans la filiation des moteurs allemands, l'Atar 101 B n'avait pas de double butées, d'accélération et de décélération. Son seul système était une limitation de la vitesse de variation du débit carburant par Delta C/C.

En approche finale, sur une mise au ralenti un peu brutale du pilote, le moteur s'est éteint et l'avion s'est posé en vol plané. Rozanoff, en sortant du cockpit aurait dit qu'il refusait de continuer les essais de cet avion tant que ce problème d'extinction n'aurait pas été résolu. La Snecma proposa alors d'installer un " dash pot " sur la manette des gaz pour éviter la conséquence de commandes trop brutales. Rozanoff serait entré dans une rage folle, refusant cette solution (et à mon avis il avait bien raison !).

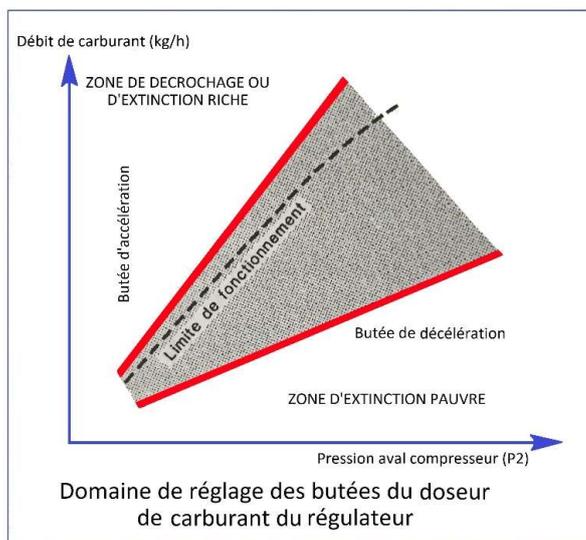
Durant la nuit, une solution fut bricolée par l'ingénieur Wilhem Jurish, le correspondant essais " systèmes " à la Snecma auprès des essais en vol Dassault, qui consistait à installer à l'extérieur du régulateur une butée mobile du doseur commandée en P2 (pression de sortie compresseur). Le régulateur s'y prêtait bien puisque, pour la régulation de tuyère, la position du doseur était proportionnelle à son débit. Le débit mini devenait ainsi proportionnel à la pression P2. Le concept de protection de l'extinction par un C/P2 mini venait d'être inventé et c'était une première mondiale.

Les vols suivants menés sur le MD-450 'Ouragan Atar 02 en septembre 1952 avec ce dispositif bricolé se déroulèrent sans extinction et cette solution a été étendue à la protection contre le pompage. De là est née la " double butée " qu'on retrouvera sur tous les réacteurs Atar, jusqu'au 9K50. C'est l'Atar 101 C qui, le premier, sera équipé en production d'une double butée interne au régulateur. Par la suite la pression P2 alimentant l'asservissement du vérin de la double butée a été modulée par des " correcteurs de butée ".

Tout d'abord la correction s'est faite par le seul régime N sur Atar 101 E puis, sur les Atar 9, par le régime N et la pression P2 pour compenser la perte de marge au décrochage avec l'augmentation du nombre de Reynolds à haute altitude, puis enfin sur Atar 9K50 par rajout d'une correction en P2/P1. Ces complications du système de butée proviennent du fait que la température T1 n'a jamais été mesurée, contrairement à Hamilton pour Pratt & Whitney et Woodward pour General Electric, ce qui fait que N/racine T1, n'a jamais été disponible.

En 1959 le développement d'un capteur de température T1 à dilatation d'une tige métallique dit " à arc-boutement " était pourtant en cours mais n'a jamais abouti.

C'était pourtant la bonne solution. "



Caractéristiques des turboréacteurs ATAR

1 ^{er} essai au banc	ANNEE	TYPE	SILHOUETTE	POUSSEE AU POINT FIXE	AVIONS EQUIPES	MACH MAXI	ANNEE DE MISE EN SERVICE
	1948	101 V		1700 kgp			
	1949	101 A0		2200 kgp			1950 (1 ^{er} vol)
	1950	101 B1		2400 kgp		0,8	1952 (1 ^{er} vol)
	1951	101 B2		2600 kgp		0,9	1953
	1951	101 C1		2800 kgp		0,95	1954
	1952	101 D2A		2800 kgp			1956

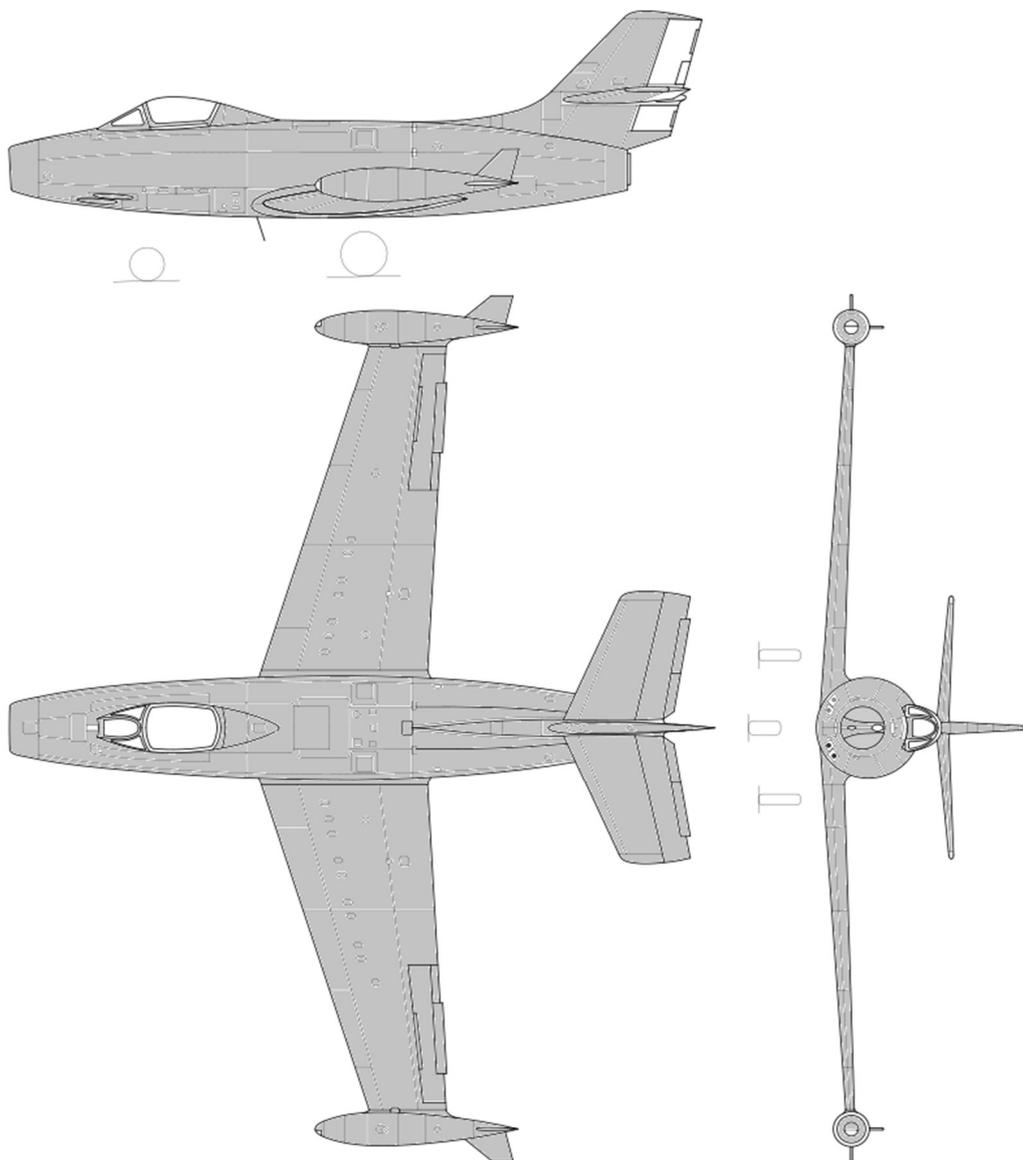
Décoration et marquages

Au cours de leur carrière, les deux MD-452 " Ouragan " Atar porteront une seule livrée, couleur aluminium naturel. Les deux avions conservent les traditionnelles cocardes tricolores à liseré jaune, marques habituelles de nationalité, apposées aux extrémités d'ailes, intrados et extrados, ainsi qu'à l'arrière du fuselage. Tout le bord de fuite de la dérive est agrémenté du drapeau tricolore usuel avec les marques du constructeur " **AVIONS - M. DASSAULT - 450 - ATAR - 0x** ".

De type grand format, le numéro individuel (**01** ou **02**) est répété de chaque côté de l'habitacle. A l'arrière du fuselage, près des entrées d'air latérales de ventilation du compartiment moteur, est apposé un marquage du motoriste " **SNECMA ATAR** ". Des marques de servitudes noires, propres au système de sauvetage, peintes sous la verrière ainsi qu'un triangle d'éjection rouge, complètent le tout.

A noter que seul le prototype 01 est identifiable extérieurement grâce à la dernière lettre " **V** " de son immatriculation prototype (**F-ZxxV**) de l'indicatif OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) et appliquée sur les deux côtés de la partie arrière du fuselage. Les deux appareils portent un " **A** " (pour Atar) de part et d'autre sur la dérive.

La désignation calligraphiée de " *Ouragan* " et les éclairs rouge sont peints sur la pointe avant du fuselage.



MD-450 " Ouragan " Atar " - Plan trois vues

L'avion peut manœuvrer jusqu'à 4 g avec réservoirs " tip-tanks " pleins et 7.5 g, en basse altitude ; sa structure est calculée pour un facteur de charge normal de 12 g. De par son aile droite à profil épais, l'appareil est limité en Mach. Les réservoirs de carburants de bouts d'ailes " tip-tank " ont une contenance de 425 litres.

Caractéristiques du MD-450 Ouragan avec Atar 101 C

Caractéristiques générales :

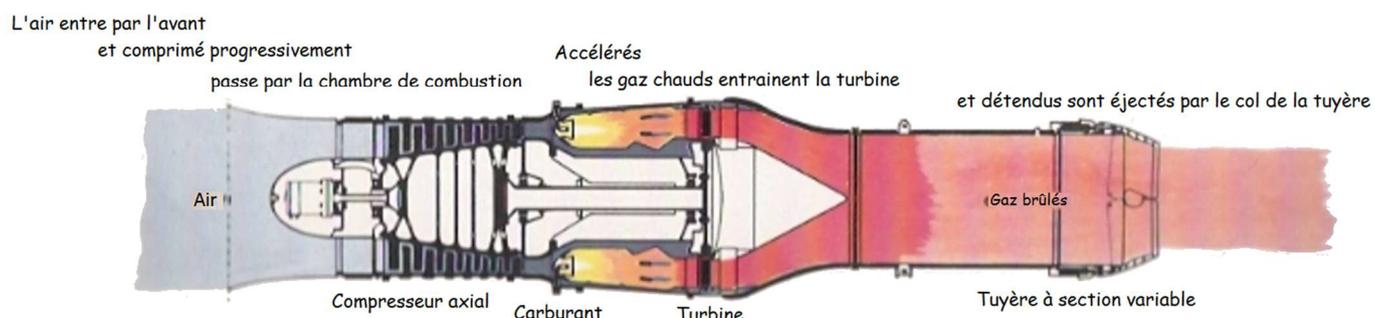
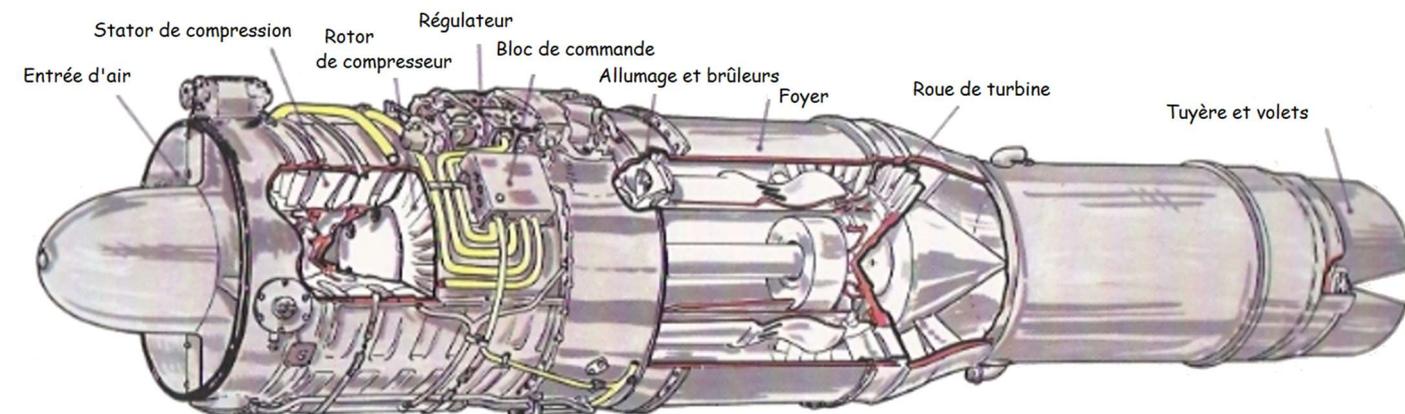
- Envergure : 12,29 ou 13,16 m avec réservoirs tip-tanks
- Longueur : 10,74 m
- Hauteur : 4,10 m
- Surface alaire : 23,80 m²

Masses :

- A vide équipé : 4 860 kg
- Carburant : 2 060 kg (2 650 litres)
- Maximale (plein interne seulement) : 6 880 kg

Performances :

- Vitesse maximale : 940 km/h au sol
- Mach 0.81 à 3 000 m
- Plafond stabilisé : 13 000 m
- Vitesse ascensionnelle : 12 000 m en 12 mn à Mach 0.65



Snecma Atar 101 C - Ecorché

Bilan

Les vols de mise au point de l'Atar 101 C qui ont totalisés 192 vols (203 heures), entre mars 1953 et août 1955, sur les deux monomoteurs MD-450 " Ouragan " de présérie n'ont guère été concluants malgré une poussée de 2 600 kgp au régime de 8 050 tr/min : en effet, le moteur générant des vibrations à certains régimes par suite d'une mauvaise adaptation du moteur à la cellule.

MD-450 " Ouragan " n° 13 alias " Atar 01 " - Melun-Villaroche.

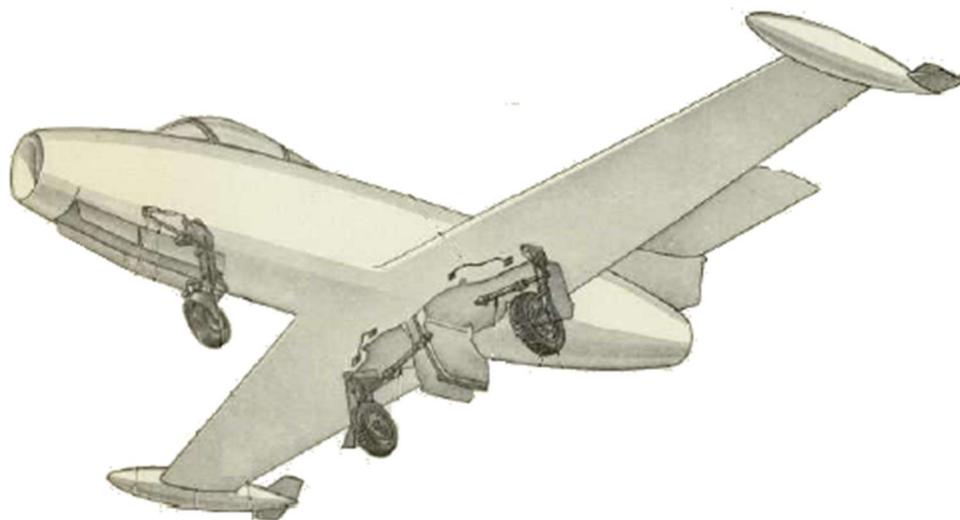
L'appareil est en configuration lisse avec les saumons d'extrémités d'ailes capables de réservoirs. Deux ouïes noyées sont disposées de chaque côté du fuselage.

(@ Espace Patrimoine Safran)



Délaissés en mai 1954 (" Atar 02 ") et en août 1955 (" Atar 01 "), les deux " Ouragan " seront remplacés par trois MD 452 " Mystère " II de pré série mieux adaptées à ce travail d'essais de développement : le n° 04 qui expérimentera, jusqu'au milieu des années cinquante, plusieurs modèles d'Atar 101 C et D ainsi que les systèmes annexes comme des tuyères à volets et à striction aérodynamique et équipements des circuits de carburant, les n° 014 et n° 015 pour la mise au point des Atar 101 D (tuyères, ventilation turbine, etc...). Le Mystère II n° 015 sera plus spécialement réservé à l'étude des déviateurs de jet de 1955 jusqu'en 1957.

Premier turboréacteur français à être fabriqué en série, la conception de l'Atar 101 C dû être revue immédiatement à la suite des difficultés et pannes révélées lors des essais. Malgré une première série de modifications, d'autres problèmes apparurent, en particulier celui du pompage du compresseur, probablement le plus effrayant pour les pilotes. Entraînant l'arrêt de la combustion, donc la perte de poussée du moteur, le pilote n'a d'autre solution que de tenter un atterrissage en configuration turbine coupée (ACONTUCOU), à moins que le moteur ne se remette en marche entre-temps.



MD-450 " Ouragan ". Placés en bouts d'ailes, les réservoirs sont dotés d'un empennage horizontal et vertical. Bien que largables en principe, ces réservoirs ne le seront pas car ils amélioreraient considérablement la tenue en lacet de l'avion, celui-ci ayant tendance, en leur absence, à s'engager en vrilles lors d'évolutions serrées.

Au début de l'année 1951, il avait été envisagé de commander un certain nombre de MD-451 " Ouragan " munis d'un réacteur Atar 101 B, pour équiper une unité de reconnaissance.

Remerciements : la rédaction de cet article doit beaucoup aux informations communiquées par l'Amicale des Essais en Vol Snecma (AEVS) et plus particulièrement son président, Mr Daniel François ; Dominique Prot (Espace Patrimoine Safran) ; Régis Ligonnet ; Luc Berger ; Patrick Vinot Préfontaine ; Jean Claude Fayer ; Pierre Mouton

Publications consultées : Snecma : La Lettre Snecma, Journal interne de Snecma Moteurs, Turbo Courier, Archives de l'AAMS et l'AEVS. A propos de l'Atar - Ouvrage collectif - Burovit (Octobre 1996). L'Atar et tous les autres moteurs à réaction français - Alfred Bodemer et Robert Laugier - Edition J.D. REDER (1996). " Les chasseurs Dassault Ouragans, Mystères et Super Mystères " de Jean Cuny chez Docavia-Éditions Larivière (1980). " Le MD-450 Ouragan " Nicolas de Lemos - Ysec Editions (avril 2021)

Le biréacteur Gloster Meteor Mk.4 RA 491 : banc d'essais volant de l'Atar 101 B (1952 - 1953)



Bien que disposant d'installations d'essais très limitées, la Snecma utilisera des avions mono et biréacteurs à hautes performances qui permettaient d'effectuer les essais dans les conditions réelles d'utilisation. Majoritairement de types monoréacteurs, exceptés le Gloster " Meteor " Mk4 et le SO-30 Atar, ces avions ont permis de définir les conditions d'emploi du nouveau turboréacteur : graissage, drainage, ventilation, refroidissement, dégivrage, maintenance. Le " Meteor " Mk4 a été choisi pour étudier les performances de l'Atar 101 B, à grandes vitesses et haute altitude.



Plateforme d'essais en vol Snecma - Villaroche
devant le Hangar Saint-Chamas, en 1953.

De gauche à droite :
Gloster " Meteor " Mk.4 serial RA.491 avec une paire
d'Atar 101 B2, Dassault MD-450 " Ouragan " Atar 01
propulsé par un Atar 101 C,
(© Archives AAMS)

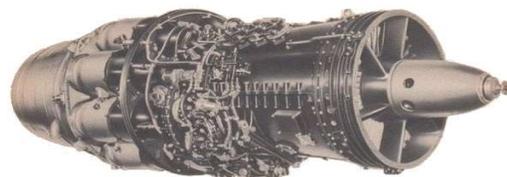
Banc d'essais volant du réacteur Rolls-Royce Avon

Vers la fin des années 1940, les Gloster " Meteor " monoplaces Mk4 étaient très demandés comme avion d'essai des nouveaux réacteurs britanniques à flux axial, simple corps simple flux, qui atteignaient alors un stade avancé de développement. Construit en automne 1948 par la firme Gloster Aircraft Company, à Gloucester, le " Meteor " G41 G Mk.4 (serial RA.491 ou matricule militaire britannique) fut sélectionné pour cet usage. Dépourvu du réacteur standard Derwent 5 de 3 500 lb de poussée et d'armement ainsi que des orifices des canons dans le nez, il est livré sans moteur à l'usine de Rolls-Royce d'Hucknall mais avec une section centrale modifiée et renforcée afin de participer à des programmes de tests de vol moteur.

L'un de ces moteurs était le Rolls-Royce ou RA.1 Avon, lancé en 1946. Connu tout d'abord sous l'appellation AJ.65 (pour Axial Jet, 6 500 lbf) il a tourné pour la première fois au banc, en janvier 1948. Mais ce réacteur était beaucoup trop long à loger entre les longerons de la section centrale de la voilure et trop volumineux pour être entièrement intégré. Le problème fut résolu en installant une section incurvée entre les longerons avant et arrière dans les nacelles afin que les moteurs puissent être surbaissés tout en conservant une garde au sol suffisante pour les trains d'atterrissage.



Gloster G41 G " Meteor " Mk.4 serial RA.491 propulsé par une paire de
Rolls-Royce Avon RA-2 de 2 730 kgp (1949). La lettre " P " de couleur jaune
apposée sur le fuselage signifie Prototype (© DR)

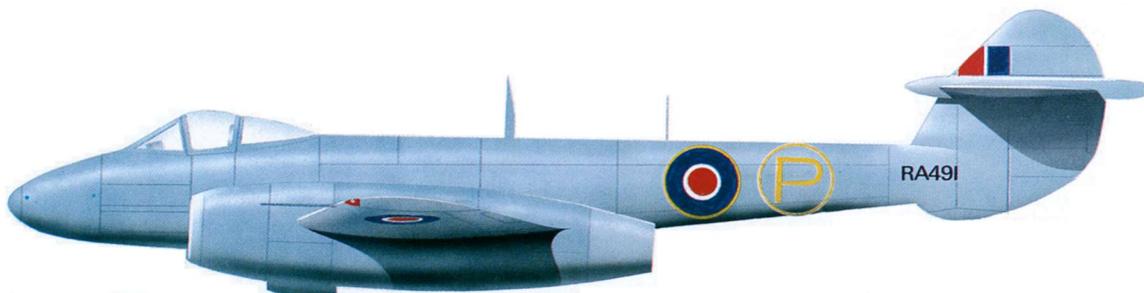


Rolls-Royce RA.2 Avon avec une turbine
monoétage. Moteur de pré-production
destiné aux essais.

Après avoir utilisé comme banc d'essais volant deux quadrimoteurs à hélice Avro 691 " Lancastrian " C Mk2, à partir du mois d'août 1948, le Meteor RA491 réalisa son vol inaugural en fin avril 1949 avec des Avon RA.2. Entre avril 1949 et novembre 1950, il accumula une quarantaine d'heures de vol. Délivrant 2 730 kgp au décollage pour une masse de 1 020 kg, la version RA.2 fut le premier moteur à compresseur axial doté d'un taux de compression de 6,3 conçu et produit par le motoriste britannique mais avec une chambre de

combustion tubulaire (8 tubes à flammes). Avec cette motorisation qui offrait un rapport, poussée sur poids élevée, l'avion pouvait monter " debout dans le ciel " jusqu'à 12 000 mètres en moins de 3 minutes et à 15 250 m en moins de 4 minutes. L'ensemble du domaine de vol ayant été exploré, Rolls-Royce aviona ensuite, à partir de novembre 1950, la version RA.3 équipée d'une turbine à deux étages et fournissant 2 750 kgp. Durant environ six mois, entre avril et fin octobre 1951, le biréacteur Avon-Meteor RA491 vola avec des Avon RA-3 en accumulant quelques 45 heures de vol.

Toutefois le développement du réacteur connut de sérieux problèmes avec notamment des extinctions intempestives et ruptures d'aubes du compresseur. Près de sept années furent nécessaires pour en achever la mise au point.



Gloster " Meteor " Mk.4 serial RA.491 propulsé par une paire de Rolls-Royce Avon RA-2 de 2 730 kgp (avril 1949). Les nacelles réacteurs 25% plus larges que celles des Derwent Mk.5, sont dotées, en parties inférieures, d'une écope de refroidissement du circuit d'huile (@ Barry Jones)

Le Rolls-Royce Avon.

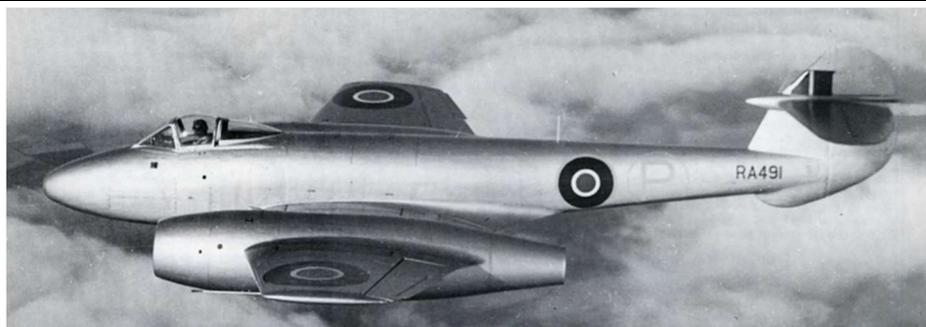


Conçu par Rolls-Royce, l'Avon fait partie des grandes familles de moteurs militaires de l'après-guerre. De type axial et monocorps, il couvre une gamme dont les poussées s'étagent de 2 700 à 8 000 kg avec rechauffe.

Lancé en 1947 et concurrent direct de l'Atar 101, il a été construit en grande série (plus de 5 000 moteurs fabriqués entre 1947 et 1955). Dans ses différentes versions, il a équipé les chasseurs Hawker " Hunter " et Super Marine " Scimitar ", l'English Electric P1 " Lightning " (RA-24R) en utilisation dans la Royal Air Force jusque vers les années 1970 et le bombardier Vickers " Valiant " (Avon 200 sans rechauffe). Sous la désignation Volvo RM5, il a été produit par les Suédois pour le Saab 35 " Draken ".

Décliné en versions civiles, le réacteur couvre une classe de poussée de 4 300 à 4 600 kg. Dans sa version RA-16 (4 300 kgp), l'Avon a équipé le quadriréacteur commercial De Havilland " Comet " III à partir de 1954. Dans sa version RA 29-1 (4 600 kgp), il a été développé pour la propulsion de la " Caravelle " de Sud Aviation dont le premier vol remonte à 1958.

Utilisé sur une grande variété d'aéronefs, à la fois civils et militaires, la production qui s'est étalée sur une période de 24 ans s'est achevée en 1974, après plus de 11 000 exemplaires construits. Le turboréacteur a terminé sa carrière opérationnelle dans la RAF sur l'English Electric " Canberra " PR.9, en juin 2006.

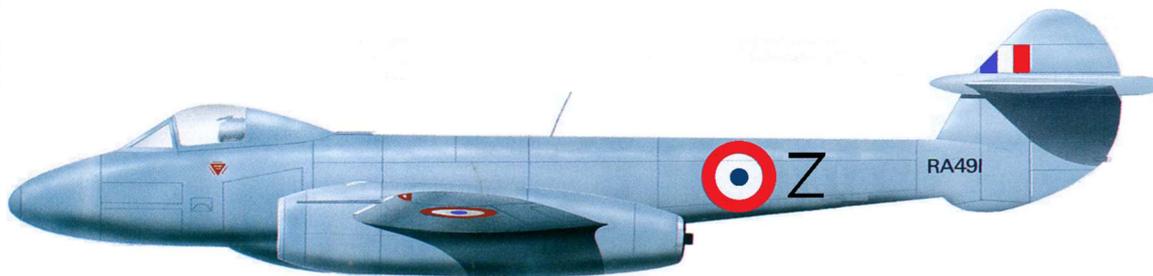


Gloster G41 G " Meteor " Mk.4 RA.491 propulsé par des Rolls-Royce Avon RA-3 de 2 750 kgp (1950). Très légèrement différentes en contour, les nacelles n'ont plus d'écopes de refroidissement du circuit d'huile (@ Aeroplane Monthly)

Banc d'essais volant du réacteur Snecma Atar 101 B

Après l'achèvement des vols de mise au point des Rolls-Royce Avon, le biréacteur était destiné à devenir une cellule d'instruction au sol, définitivement condamnée donc, puisque le matricule " maintenance " 6879M lui avait même été attribué. Racheté par la Snecma, l'appareil partit chez Air Service and Training Limited, à

Hamble le 27 mars 1952, pour recevoir deux réacteurs Atar 101 B2 de 2 400 kgp. Au cours de ce chantier, d'environ six mois, outre les modifications apportées aux longerons de voilure et aux nacelles pour loger l'Atar 101, l'appareil devint hybride avec la greffe d'une pointe avant d'un Meteor Mark.8. Plus longue de 76 cm, elle comportait un poste de pilotage avec une verrière modifiée et un siège éjectable Martin-Baker Mk.2 assurant une évacuation d'urgence jusqu'à une vitesse de 400 kt (720 km/h).



Gloster G41 G " Meteor " Mk.4 serial RA.491 propulsé par une paire d'Atar 101 B21 codé Z. A la croisée du carénage de la dérive et de l'empennage se trouve un parachute frein. (@ Barry Jones)

Achevée au mois d'octobre, l'installation des deux Atar 101 B21 (n° 1125 et 1126) fournissant chacun une poussée de 2 400 kg, était semblable aux réacteurs Avon sauf au niveau des fuseaux moteurs légèrement plus longs et effilés. En ordre de marche, le poids total du biréacteur avec le réservoir supplémentaire ventral (477 litres) s'élevait à 8 950 kg.

Le vol inaugural se déroula le 31 octobre 1952, aux mains du pilote d'essais Peter Fowler à partir du terrain d'Hamble avant de regagner celui de Boscombe Down, base historique d'essais en vol du ministère britannique de la défense, pour les essais suivants. Premiers vols qui nécessitaient quelques corrections mineures. Après avoir totalisé un peu plus de quatre heures de vol, le biréacteur fut livré à la Snecma à la mi-décembre 1952 où il recevait ses cocardes tricolores et la dernière lettre de l'indicatif OACI, " Z ".

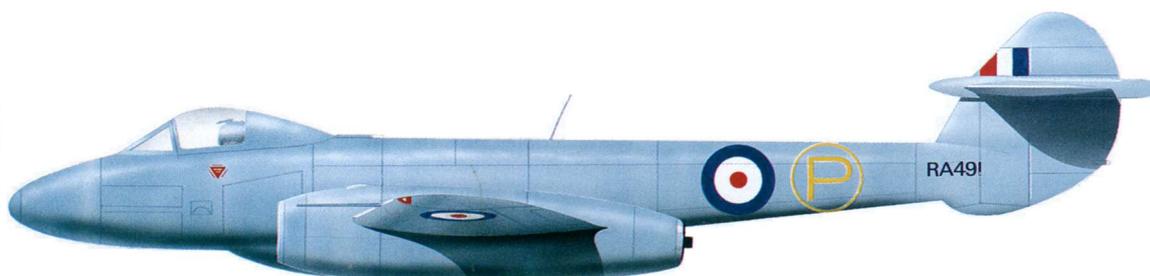
Malgré sa vocation de banc d'essais volant en Angleterre, l'adaptation de la cellule du " Meteor " au réacteur axial français posa de gros problèmes et le mariage s'avéra vite un échec. Au total, seuls 13 vols totalisant 8 heures et 25 minutes, consacrés essentiellement aux mesures de consommation carburant, furent réalisés en France par le pilote d'essais de la Snecma Auguste Morel. Les vols eurent lieu à partir de Villaroche puis à Istres en raison des conditions météorologiques plus favorables que dans la région parisienne.



Gloster " Meteor " Mk.4 serial RA.491 - Melun-Villaroche

Gloster " Meteor " Mk.4 serial RA.491. Mach maxi 0.8. (1953)

Premier et seul monoplace biréacteur banc d'essais volant des Atar 101, la Snecma n'utilisa son Gloster Meteor que durant six mois : de décembre 1952 à juin 1953. Le sort de l'appareil est inconnu.



Gloster G41 G " Meteor " Mk.4 serial RA.491 équipé d'une paire d'Atar 101 B21 (Hamble, novembre 1952).

Entièrement peint en gris moyen assez clair, l'appareil porte encore les marquages et cocardes britanniques (@ Barry Jones)

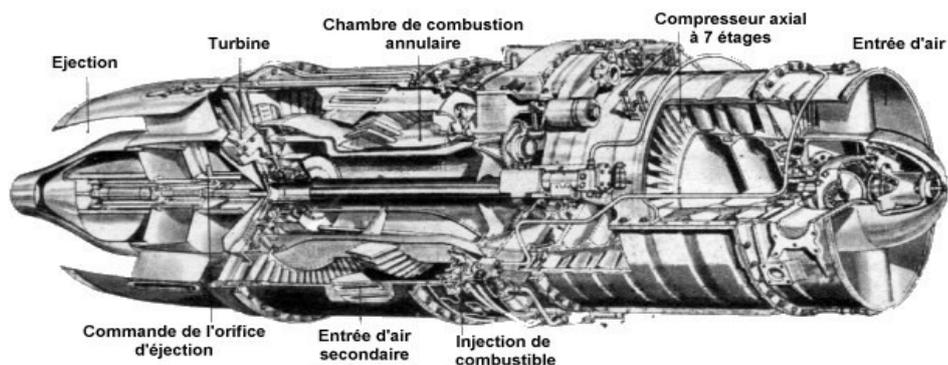
Le Snecma Atar 101 B



Faisant suite à l'Atar 101 A-0 à vocation expérimentale, la version de présérie 101 B1 qui tourne au banc à Villaroche en juin 1951 inaugure la première génération des réacteurs Atar.

De type simple corps simple flux, l'Atar 101 B comporte un compresseur axial doté de sept étages avec un taux de compression de 4,2, avec une chambre de combustion annulaire, dont la turbine monoétage travaille à une température de 845°C. La tuyère à section variable (2700 cm² maxi, 2700 cm² mini) est équipée d'une aiguille centrale à bulbe, mue axialement par un vérin hydraulique.

Au régime maximum de 8 050 tr/mn, il absorbe 48 kg d'air par seconde, fournissant une poussée de 2 400 kg, au sol. La consommation spécifique s'élève à 1,09 kg/kg/h. Sa masse est de l'ordre de 890 kg.



Atar 101 B - Ecorché (1952). Le diamètre maximum, à la bride de turbine, est de 886 mm.

Rallongée de 0,82 m, pour la variante Atar 101 B2, au régime maximum de 8 300 tr/mn, le moteur dont le taux de compression est de 4,4 absorbe 50 kg d'air par seconde, fournissant une poussée de 2 600 kg, au sol. La consommation spécifique s'élève à 1,09 kg/kg/h. Sa masse est de l'ordre de 910 kg.

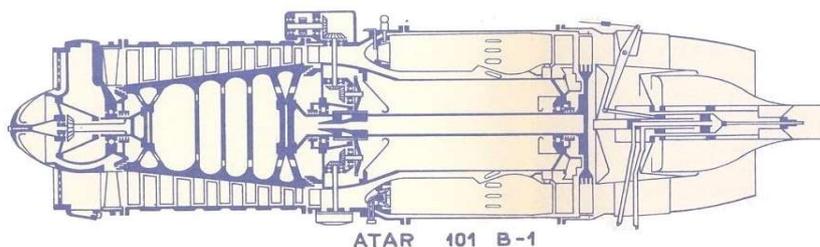
Moteur	Mise en service Snecma	Poussée	Vitesse rotation	Température entrée turbine	Masse	Longueur - Diamètre	Production
Atar 101 B1 *	1951	2 400 kgp	8050 tr/min	845 °C	890 kg	2.845 m - 0.886 m	11 exemplaires
Atar 101 B2 **	1952	2 600 kgp	8300 tr/min	845 °C	910 kg	3.667 m - 0.886 m	50 (série)

* Numérotés entre 1015 et 1025, les Atar 101 B1 ne sont utilisés que pour des essais spéciaux au banc.

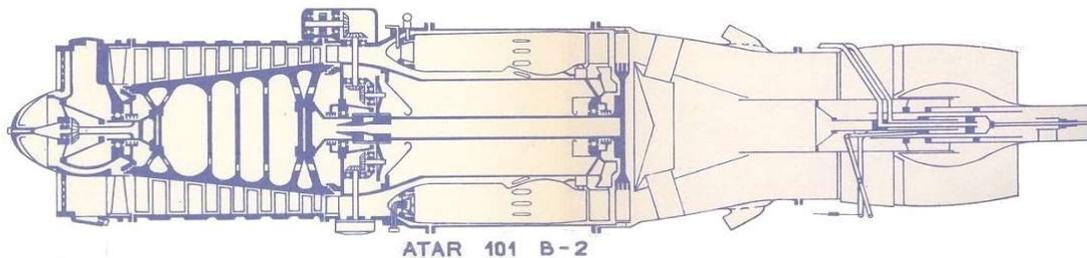
** Versions avionnables, les Atar 101 B2 sont numérotés entre 1101 et 1150. A noter que deux variantes ont été construites : les B21 et B22 se différenciant par leur cône de nez allongé.

La majeure partie des organes, accessoires et équipements qui épousent le contour du moteur sont placés sur la partie supérieure, le démarreur est monté à l'extérieur du corps du réacteur sur une boîte de relais d'accessoires.

Les turbo-réacteurs Atar 101 B sont les premiers à avoir volé tout d'abord sur des bancs volants (Martin B-26 G "Marauder", à partir de la fin 1950, SE-161 "Languedoc" à partir d'octobre 1951) et ensuite, quelques-uns sur des avions expérimentaux comme le Gloster "Meteor" Mk.4 (RA491), les deux MD-450 "Ouragan" de présérie (n°13 et n°14), sur le prototype n°001 du biréacteur SO-4050 "Vautour" et, pour ses six premiers mois d'essais, du biréacteur expérimental SNCASO SO-30 "Atar".



Coupe longitudinale Atar 101 B1. Les buses multiples de la chambre de combustion sont remplacées par un mélangeur à redan. La roue de turbine est dotée d'aubes pleines.



Coupe longitudinale Atar 101 B2. Moteur avant-série dérivé du 101 B1 avec rallonge et nouvelle tuyère à aiguille adaptée à son avionnage sur le MD-450 " Ouragan ".

L'Atar 101 B2 constitue la première production de la fabrication de série de la Snecma.

Essais d'endurance

En été 1950, un Atar 101 B de présérie a accompli, au Centre d'Essais des Moteurs et des Hélices (CEMH) de Saclay, un essai d'endurance correspondant au programme d'homologation de 150 heures. Cet essai comportait les épreuves suivantes :

- 15 heures à la puissance de décollage, soit à 2 200 kg de poussée,
- 75 heures à la puissance maximum continue de 2 000 kg de poussée,
- 45 heures dans les conditions de croisière,
- 8 heures 15 mn dans les conditions correspondant aux prises de terrain,
- 15 heures dans les conditions correspondant au ralenti sol,

Pendant la durée de cet essai, la machine a subi 79 démarrages normaux, 10 démarrages sans allumage et 157 accélérations. Pour passer du ralenti correspondant à la prise de terrain au régime de décollage, l'accélération est réalisée en 4.5 secondes tandis que dans le cas de l'accélération correspondant au passage du ralenti au sol pour atteindre les conditions de décollage, l'opération est effectuée en 9 secondes.

Les consommations spécifiques ont été sensiblement constantes pendant toute la durée de l'essai et ont permis de vérifier que, dans les conditions de décollage, la consommation était de 1,07 kg par kilo de poussée-heure, alors que dans les conditions de puissance maximum continue, elle n'était que 1,04 kg.

Ces essais n'ont donné lieu à aucun incident ni remplacement de pièce. La première visite sur table suivant immédiatement de désassemblage du moteur a montré le parfait état de toutes les pièces constitutives.



Gloster " Meteor " Mk.4 serial RA.491, à Hamble
(Novembre 1952)



Gloster " Meteor " Mk.4 serial RA.491
à Villaroche (1953)

Essais d'homologation

Parmi les nombreuses expérimentations qui ont été faites, figure l'essai d'homologation officielle (conditions OACI) réalisée en février 1951 avec un Atar 101 B à la poussée de décollage, au sol, de 2 400 kgp.

L'Atar 101 B2 fut qualifié en mars 1951 avec une poussée de 3 000 kg.

Conduite du moteur par manette unique. L'Atar 101 B comporte un régulateur hydromécanique commandé par une manette unique et réglant le débit de carburant qui agit sur la vitesse de rotation et la section de tuyère agissant sur la température des gaz, à la valeur choisie, indépendamment des conditions de vol : le pilote n'a plus à régler son réacteur en fonction des indications de plusieurs instruments, notamment en montée.

Seuls sont indiqués, pour le pilote, le régime de rotation (N) et la température d'éjection des gaz (T°), ce qui, en cas de dépassement des limites, permet un recul de la manette, pour rétablir un fonctionnement normal.

Ne disposant pas de protections automatiques protégeant le moteur du pompage et de l'extinction, le pilote doit cependant manœuvrer sa manette des gaz avec beaucoup de douceur. Sa main doit accompagner l'accélération et la décélération du réacteur, sous peine de l'éteindre. Il doit aussi anticiper, car plusieurs dizaines de secondes séparent le ralenti du plein gaz.



Régulateur



Pompe carburant



Les accessoires sont montés sur le carter d'entrée de la chambre de combustion : à gauche, le groupe des pompes carburant, puis le régulateur ; derrière, les pompes à huile

Principe. La régulation est basée sur le principe : un régulateur hydromécanique alimenté en huile sous pression et calculant essentiellement par transformation des paramètres en déplacements.

L'Atar 101 possède une régulation entièrement hydromécanique où sont utilisées des paramètres hydrauliques et mécaniques.

Composition. L'ensemble de régulation comporte trois parties :

- Systèmes de dosage et de puissance fournissant les actions de commande du moteur : débit carburant, section de tuyère,
- Equipements associés aux systèmes précédents : pompes, filtres, échangeurs,
- Ensemble de calcul des paramètres d'entrée du système de dosage et de puissance.

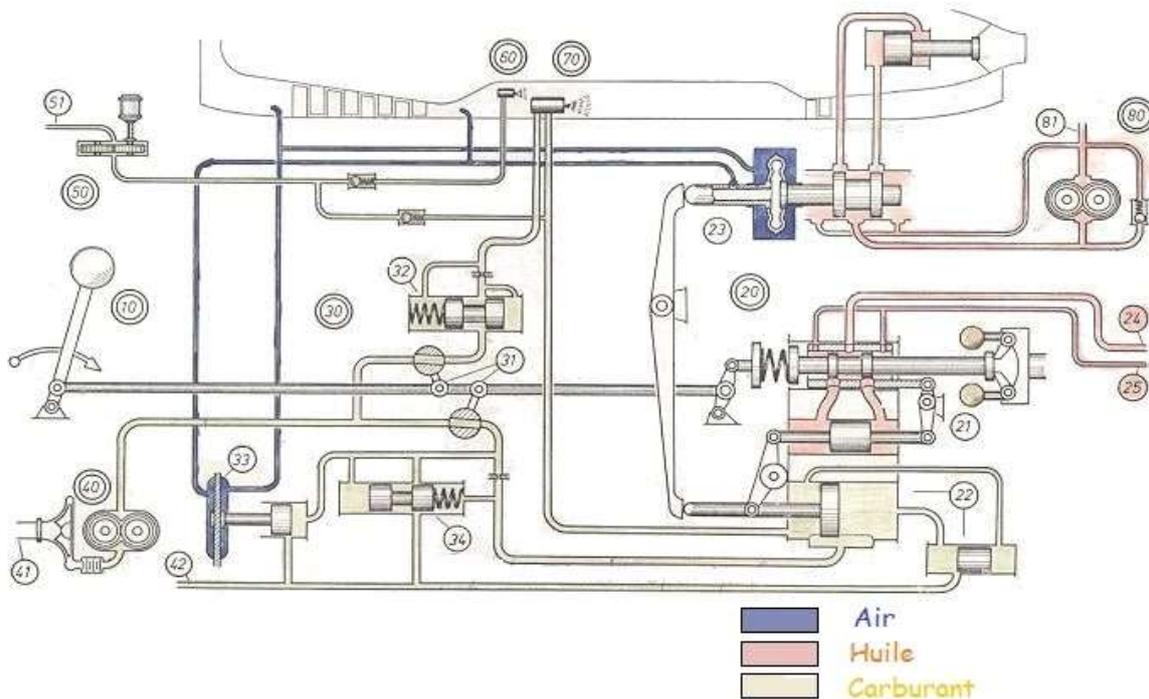
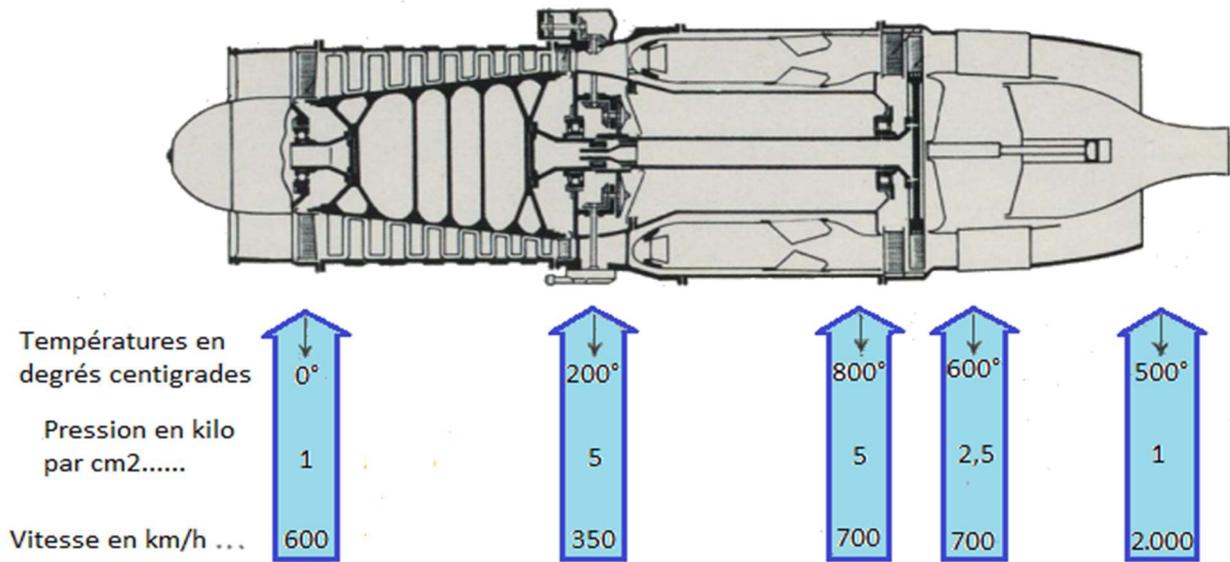


Schéma simplifié du système de régulation Atar 6000. Il comporte deux carters séparés.

- | | | |
|------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| 10 Manette des gaz | 30 Appareil de commande | 50 Pompe de démarrage |
| 20 Régulateur | 31 Tiroir de commande à main | 51 Entrée du carburant de démarrage |
| 21 Régulateur de vitesse | 32 Régulateur de débit de base | 60 Injecteur de démarrage |
| 22 Doseur de carburant | 33 Soupape d'accélération | 70 Injecteur à deux débits |
| 23 Régulateur de température | 34 Régulateur de débit principal | 80 Pompe à huile haute pression |
| 24 Entrée d'huile | 40 Pompe à carburant | 81 Entrée de l'huile |
| 25 Sortie d'huile | 41 Entrée du carburant | |
| | 42 Carburant en retour | |



Atar 101 B - Plans de référence

Comparaison technique entre le Snecma Atar 101 B et Rolls Royce Avon RA-2 :

L'Atar et l'Avon sont deux réacteurs différents dans leur conception. Le premier fonde ses qualités sur sa relative aisance de fabrication, son indépendance par rapport à certains matériaux rares et coûteux et son maître couple. L'autre est une machine à plus haut rendement, consommant moins et durant plus longtemps, mais plus complexe, plus coûteuse en fabrication et en matières premières spéciales (matériaux "nobles").

L'Avon convient aux avions commerciaux et ajoute aux qualités opérationnelles et logistiques des avions de combat qui en sont équipés. L'Atar vise à satisfaire les besoins militaires en conciliant performances, usage et coût de fabrication. Au début des années 1950, ces deux réacteurs sont les plus simples et avec des puissances à peu près équivalentes.

Snecma Atar 101 B	Rolls Royce Avon RA-2
Compresseur à 7 étages (830 aubes)	Compresseur à 12 étages (2000 aubes)
Chambre de combustion annulaire de conception simple	Chambre de combustion tubulaire à 8 tubes à flammes
Turbine monoétage (55 aubes)	Turbine à deux étages (145 aubes)
Masse 910 kg	Masse 1 020 kg

Le moteur de développement Atar 101 B n° 1125

L'Atar 101 B de développement n° 1125 est exposé dans le musée aéronautique et spatial du groupe Safran depuis sa création. Sorti des chaînes de montage en octobre 1952, le moteur a été exploité jusqu'en fin juin 1953. En six mois d'activité sur le Gloster Meteor Mk4 RA491, le moteur n° 1225 a réalisé environ 20 heures de fonctionnement.



Atar 101 B



Atar 101 B

Ce moteur permet de montrer ce qu'est un réacteur simple corps simple flux à compresseur axial. C'est un éclaté de turboréacteur, c'est-à-dire que le turboréacteur initial a été ouvert sur un secteur pour obtenir un aperçu interne. Cet éclaté illuminé permet ainsi d'étudier le compresseur, la chambre de combustion, la turbine et sa tuyère d'échappement.

Etapes clefs

Atar 101 B1

1950 Octobre - Essais de qualification Q de 15 à 50 heures à 2 400 kgp.

1950 Octobre - Essais de puissance P de courte durée à 2 800 kgp.

1950 Novembre - Début des essais en vol de l'Atar 101 B sur Martin B-26 G "Marauder".

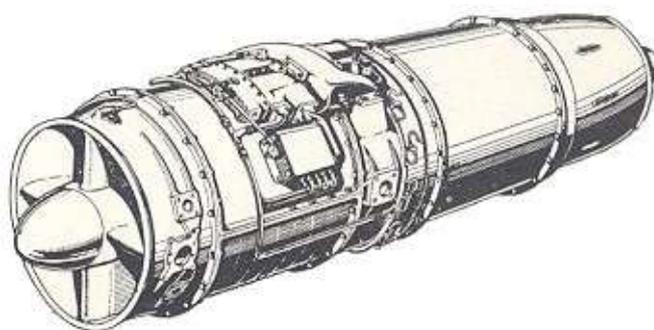
1951 Février - Essais d'homologation T de 150 heures à 2 400 kgp. Essais d'endurance au Centre d'Essais des Moteurs et des Hélices (CEMH) de Villeras. En trois semaines, le Martin B-26 G "Marauder" réalise 60 heures de vol d'essais à Istres.

1951 Avril - Premier réacteur à effectuer un essai avec rechauffe au banc avec une tuyère longue bi-volets.

1951 Mai - Homologation de l'Atar 101 B1. Franchissement du cap des 100 heures de vol.

1951 Octobre - Premier vol du SE-161 "Languedoc" avec un Atar 101 B placé sur le dos du fuselage, à Villacoublay.

1951 - Livraison des dix Atar 101 B1 (n° 1015 à 1024).



Atar 101 B

Atar 101 B2

1951 Mars - Essais de qualification Q de 15 à 50 heures à 2 600 kgp. Commande de 50 réacteurs Atar 101 B2.

1951 Novembre - Essais de puissance P de courte durée à 3 000 kgp. Réception au banc sol du premier Atar 101 B2 (n° 1101).

1952 Mai - Essais d'homologation T 150 heures à 2 600 kgp.

1952 Septembre - Mise au point du dispositif dit de "double butée" sur le MD-450 "Ouragan" Atar 02.

1952 Octobre - Vol inaugural du biréacteur Gloster Meteor Mk.4 RA491 avec deux Atar 101 B21 (n° 1125 et 1126).

1953 Janvier - Premier vol du biréacteur expérimental SNCASO SO-30 "Atar" avec deux Atar 101 B2.



Atar 101 B



Atar 101 B

Remerciements : Amicale des Essais en Vol Snecma, Mr Dominique Prot (Espace Patrimoine Safran), Régis Ligonnet, Pierre Mouton, Christian Ravel

Publications consultées : Snecma : La Lettre Snecma, Journal interne de Snecma Moteurs, Turbo-courrier, Aeroplane Monthly, Archives de l'AAMS. A propos de l'Atar - Ouvrage collectif - Burovit Octobre 1996. L'Atar et tous les autres moteurs à réaction français - Alfred Bodemer et Robert Laugier - Edition J.D. REDER (1996). The Gloster Meteor F.IV n° 78 Profile publications.

Photographies : sauf mention contraire toutes les photographies sont extraites de l'Espace Patrimoine du groupe Safran.

Ensemble moteur-fusée tri-chambres SEPR 481 - SO 9000 Trident I

Posé sur un atterrisseur très court et étroit, l'e Trident se distingue par une silhouette caractéristique : un pare-brise en forme d'étrave, un fuselage cylindrique effilé, une voilure surélevée (aile droite de faible envergure et à profil extrêmement mince) terminée par deux fuseaux abritant les réacteurs et un empennage surbaissé.

Le moteur-fusée SEPR 481 est le moteur principal du monoplace de chasse expérimental du SO 9000 Trident I dont deux prototypes - les 01 et - 02 - ont été construits. Après des études lancées en 1950 suivies des essais au sol en fin 1951, le propulseur réalise son premier vol en octobre 1954.

Complètement indépendant et autonome, le moteur-fusée SEPR 481 est pourvu d'une turbopompe qui assure l'alimentation en ergols d'un ensemble propulsif délivrant une poussée de 4,5 tonnes. La turbopompe, c'est pour l'essentiel un démarreur électrique, un générateur de gaz, une turbine tournant à 20 000 tr/mn, cinq pompes centrifuges. Les trois chambres de combustion de 1 500 kgp, non modulables, sont associées aux réservoirs de furaline (550 l), d'acide nitrique (935 l) et d'eau méthanol de refroidissement du générateur de gaz (115 l).



SNCASO - SO 9000 Trident I Yankee
(F-ZWRY).

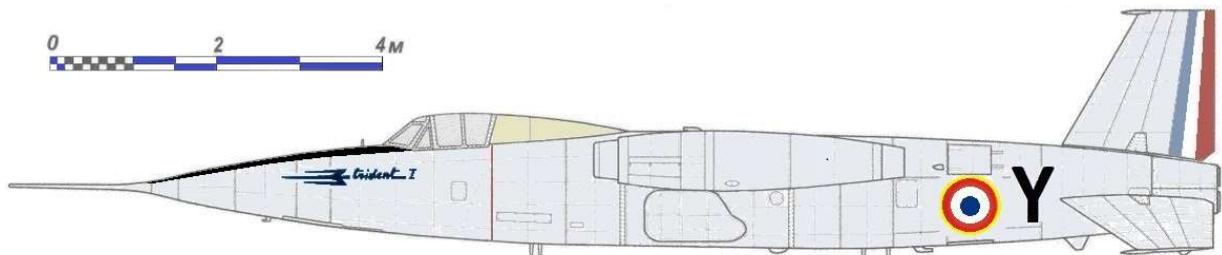
L'intérêt du moteur-fusée reside dans le fait que, sous un faible volume, on dispose d'une poussée importante qui, contrairement à celle des turboréacteurs, croit avec l'altitude avec un débit constant.
(@ DR)

Le SO 9000-01 Trident I

Conçu en 1948 par Lucien Servanty, le SO 9000 Trident était un chasseur capable d'intercepter des bombardiers à réaction volant à 1 000 km/h et à 15 000 mètres d'altitude. La formule choisie fut un moteur-fusée - qui assurait une très grande vitesse ascensionnelle, mais consommant beaucoup - combiné à des réacteurs auxiliaires - permettant un vol de retour économique.

D'une masse de 5 tonnes, la partie avant du fuselage (14,30 m de long) était largable ; la partie centrale portait le train d'atterrissage principal qui s'escamotait dans les flancs, ainsi que les réservoirs de carburant et aussi de comburant pour les trois fusées SEPR 481 de 1 500 kgp chacune, montées à l'arrière. L'appareil était doté d'une voilure haute rectangulaire, très courte (7,50 m d'envergure) et coiffée à ses extrémités de réacteurs Marboré II de 400 kgp.

Innovations importantes, les ailes étaient dépourvues d'ailerons et le gauchissement était obtenu par le braquage des surfaces de l'empennage horizontal qui étaient du type monobloc et entièrement pivotantes.



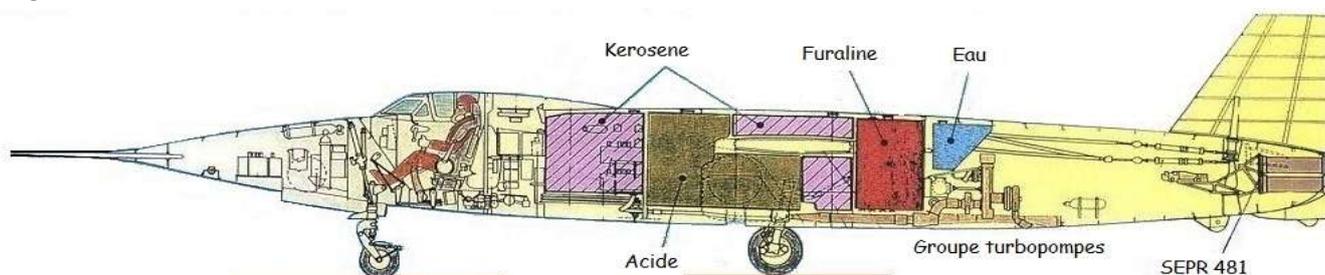
SO 9000-01 Trident I. L'appareil misait sur deux réacteurs légers Turboméca " Marboré II " de 400 kgp et sur un moteur-fusée lourd à trois chambres de 4 500 kgp totaux. Le pilote pouvait allumer une ou plusieurs chambres de combustion du moteur-fusée au décollage, (@ Auteur)

Si deux appareils ont été construits, seul le SO 9000-01 effectua l'essentiel des 93 vols, dont 24 vols avec fusées et 10 vols supersoniques, entre juillet 1955 et avril 1956. A l'inverse du - 01, le second prototype - 02 était doté de freins de piqué s'ouvrant en pétales autour de l'arrière du fuselage. Il ne réalisa qu'un vol très court, à Melun-Villaroche, en septembre 1953, se terminant par sa destruction, son pilote Jacques Guignard étant grièvement blessé.

Lors du vol n° 48 (cinquième vol fusée) du 26 octobre 1954, la fusée s'éteignit inopinément au décollage, l'avion pesant à cet instant 4 200 kg et la poussée des réacteurs étant de 740 kg environ, le rapport poussée/poids était de 0,175 ce qui n'était pas beaucoup. Le pilote réussit à vidanger les 750 kg d'acide restant, ce qui lui permis de sauter le rideau d'arbres du village de Réau. Ce fut le dernier vol avec Marboré II, l'appareil étant par la suite propulsé par deux MD-30 ASV-5 " Viper " de 745 kgp.

Premier avion à défricher le domaine supersonique en France, le SO 9000-01 Trident I réalisa son premier vol sans moteur fusée, en mars 1953 et avec fusée, en septembre 1954. En juin 1955, il passa Mach 1 en montée ce qui représente le premier passage français du mur du son en montée et atteint, fin décembre 1955, l'altitude de 14 500 mètres et Mach 1,53. Les essais au CEV montrèrent que l'appareil devait être amélioré au point de vue du pilotage aux vitesses transsoniques et de l'utilisation des fusées.

A l'automne 1956, plus de 1 000 fonctionnements du moteur-fusée ont été réalisé sur cet avion, au sol et en vol. Depuis la fin de l'année 1956, l'avion expérimental est exposé au Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget.

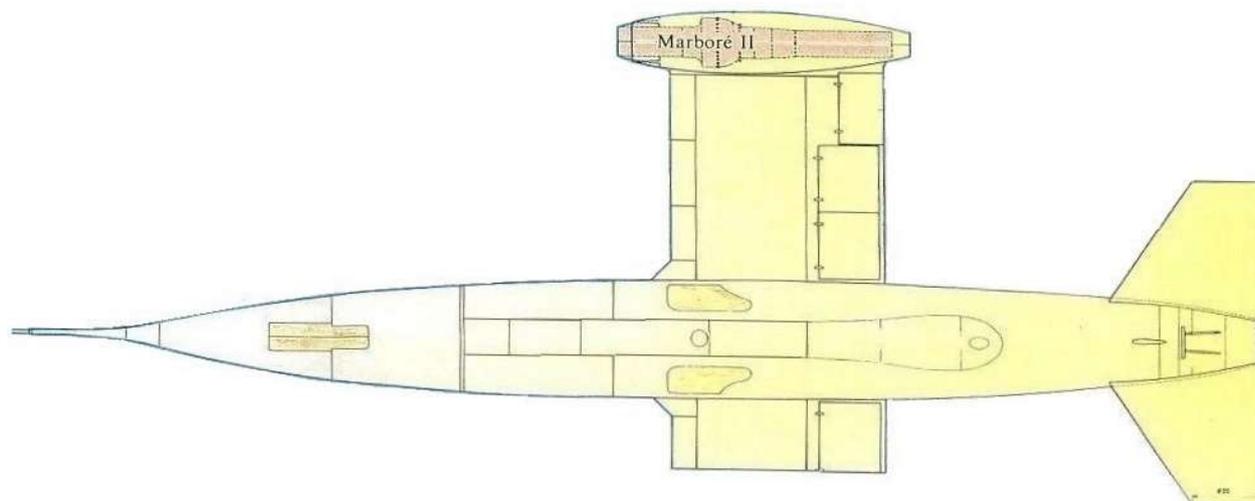


SO 9000-01 Trident I lors de son premier vol - Coupe longitudinale (@ DR)

Caractéristiques principales du SO 9000 Trident I

Motorisation : 2 Turboméca Marboré II de 400 kgp puis par
2 Dassault MD-30 ASV-5 " Viper " de 745 kgp
Envergure : 7,55 m
Longueur : 14,37 m

Masse à vide : 2 450 kg
Masse au décollage : 5 000 kg
Vitesse en altitude : Mach 1,7
Plafond : 15 000 m



SO 9000-01 Trident I en configuration réacteurs Marboré II à flux centrifuge de 400 kgp - Vue du dessus.
Monoplan aile médiane, il est de construction entièrement métallique. (@ DR)

Cœur du système, la turbopompe est l'organe qui fournit les ergols (acide nitrique - furaline) sous pression à la chambre de combustion. Une fois démarré (grâce à un démarreur électrique), le moteur-fusée devient autonome : un générateur de gaz assure la rotation de la turbine qui, elle-même, entraîne les pompes principales (vers le distributeur des chambres) et les micropompes qui alimentent le générateur de gaz.

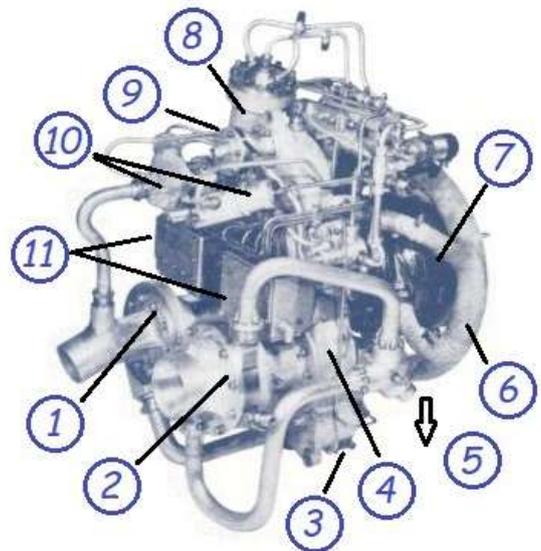
Le groupe turbopompes

Le groupe turbopompes est chargé de puiser les propergols dans leur réservoir et de les envoyer, sous pression convenable, vers les chambres de combustion. Ce groupe tire sa puissance d'une petite turbine, du même type que la fameuse fusée allemande V-2. Cette turbine tourne à 19 000 tr/mn et développe environ 400 ch. Elle est alimentée par un générateur de gaz qui n'est autre qu'une petite chambre de combustion dont les gaz sont projetés, par six injecteurs tangentiels répartis sur sa circonférence, sur les aubages de la turbine.

Cependant, le générateur fait appel à une injection supplémentaire d'eau-méthanol destinée à amener les gaz à une température acceptable pour la turbine, tout en augmentant la masse éjectée. Cette turbine fonctionne ainsi grâce aux liquides qu'elle est chargée d'acheminer vers les chambres de combustion. Elle entraîne, par l'intermédiaire d'un ensemble réducteur et de transmission enfermé dans un carter lubrifié sous pression, deux pompes et trois micropompes.

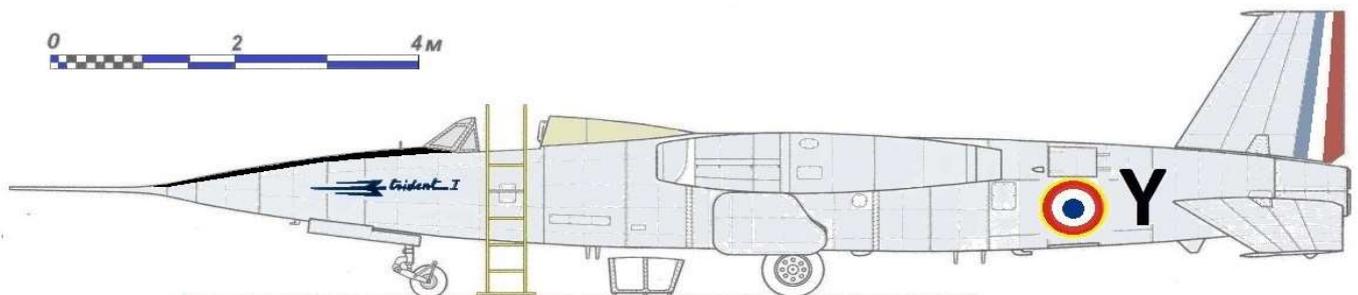
Les deux pompes principales (acide et furaline) sont du type centrifuge, à un seul étage, dont l'étanchéité est assurée à l'arrêt par un joint statique en matière synthétique et, en fonctionnement, par une contre-pompe et une série de joints étagés le long de l'arbre d'entraînement. Les trois micropompes (acide, furaline, eau-méthanol) sont chargées d'alimenter le générateur de gaz de la turbine.

- 1 Pompe furaline (carburant)
- 2 Pompe acide nitrique (comburant)
- 3 Filtre furaline et sortie vers les chambres
- 4 Carter de réduction
- 5 Sortie acide vers les chambres
- 6 Admission des gaz vers la turbine
- 7 Turbine
- 8 Générateur de gaz d'alimentation de la turbine
- 9 Micropompe eau-éthanol
- 10 Vannes de micropompes
- 11 Boite à bornes



Analogue à celui des chambres de combustion, le distributeur de générateur est destiné à régler l'admission des propergols dans ce générateur et les mano-contacteurs. Ces derniers sont des appareils qui comprennent des membranes manométriques dont les écrasements sous l'effet de pressions diverses sont transformés en déplacements longitudinaux utilisés pour actionner des micro-rupteurs. Le rôle des manocontacteurs est d'assurer une automaticité totale de la mise en marche et de l'arrêt du moteur-fusée.

Enfin, des vannes-trompes sont disposées à la sortie des réservoirs d'acide, de furaline et d'eau-méthanol, pour assurer une bonne alimentation des pompes à haute altitude. Grâce à ce dernier dispositif, une première mise en pression des liquides est effectuée par des trompes convergentes - divergentes munies d'injecteurs alimentés eux-mêmes par chaque pompe.



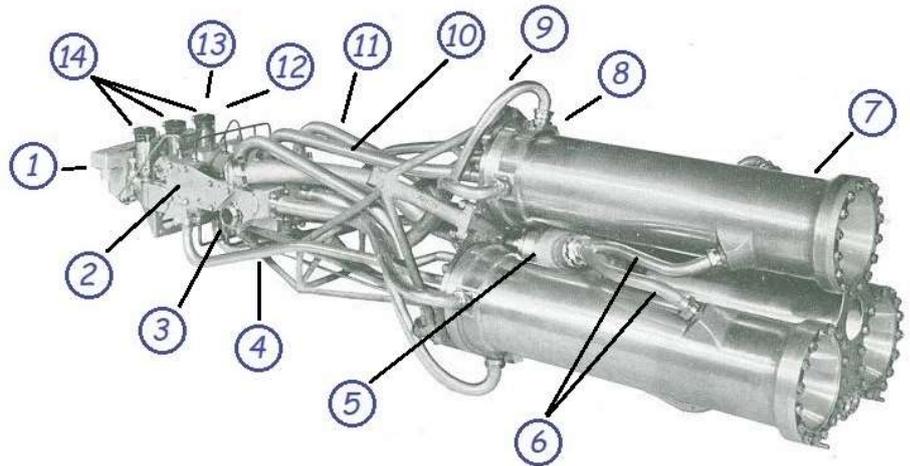
SO 9000-01 Trident I dans sa configuration finale avec réacteurs MD-30 ASV 5 " Viper " à flux axial de 745 kgp. Entre mars 1955 et avril 1956, l'avion réalisa 45 vols. (@ Auteur)

Les chambres de combustion

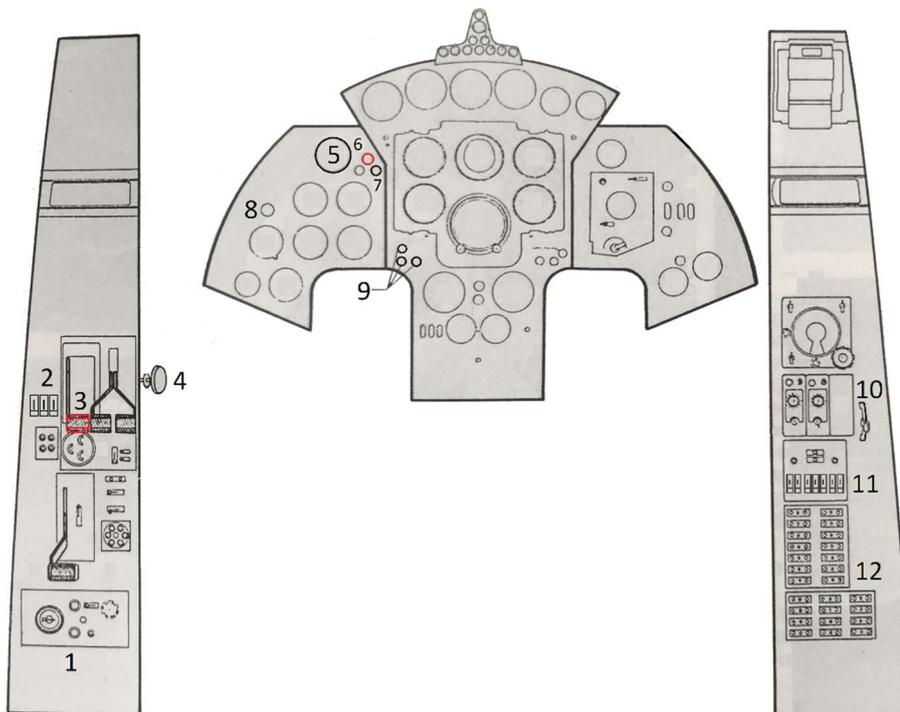
A l'arrière du fuselage, trois chambres de combustion sont disposées et maintenues en place sur un bâti tubulaire qui assure également la fixation de l'ensemble au fuselage, en même temps qu'il reçoit, à sa partie avant, le groupe distributeur. Deux tuyauteries amènent les propergols des pompes à ce bâti, cependant que deux autres, dites de recyclage, retournent l'excès de liquides en amont du groupe turbo-pompes à l'arrêt des fusées ou lorsque le débit est prohibitif.

Chaque chambre est à double paroi, cette double paroi étant parcourue par un liquide de refroidissement qui n'est autre, d'ailleurs, que l'acide nitrique lui-même. Les propergols sont admis par les fonds de chambres, sous forme de jets convergents et s'enflamment spontanément, et les gaz s'échappent ensuite à travers les tuyères qui terminent les chambres.

- 1 Boîtier électrique de distribution
- 2 Distributeur
- 3 Arrivée d'acide nitrique
- 4 Recyclage d'acide nitrique
- 5 Filtre d'acide
- 6 Circuit de refroidissement des chambres
- 7 Chambres de combustion
- 8 Fond de chambre
- 9 Alimentation furaline
- 10 Alimentation acide
- 11 Bâti
- 12 Arrivée de furaline
- 13 Recyclage furaline
- 14 Mano-contacteurs



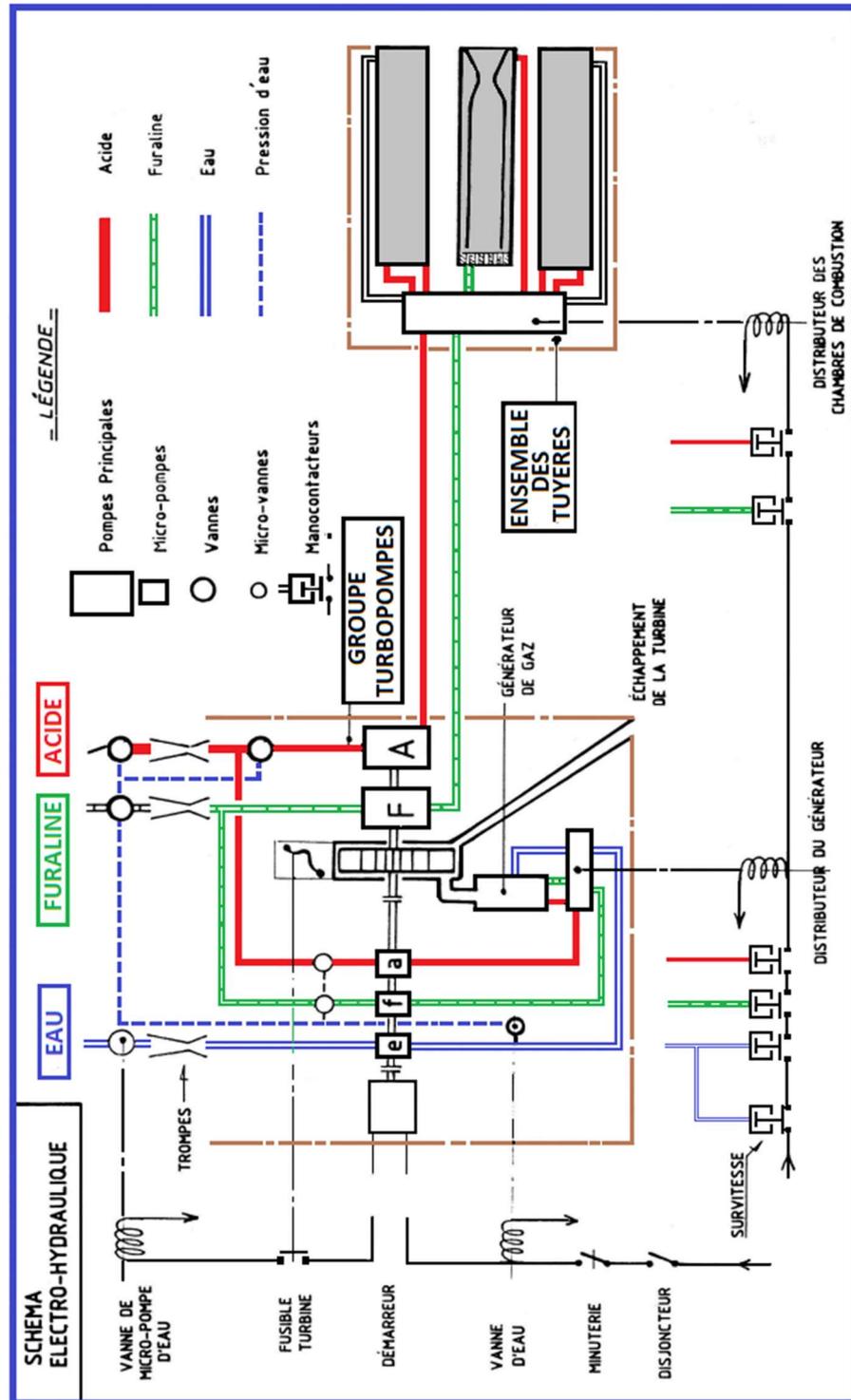
Commandes et contrôles dans le poste de pilotage.



- 1 Boîtier pilote SEPR commandes des fusées
- 2 Interrupteurs fusées
- 3 Commande des fusées
- 4 Blocage des commandes de puissance
- 5 Compte temps fusées
- 6 Voyants incendie
- 7 Pousoir test lampes
- 8 Voyant vidange
- 9 Voyants fusées
- 10 Robinet vide - vite
- 11 Tableau de démarrage
- 12 Tableau disjoncteurs

SO 9000-01 Trident I - Tableau de bord (@ DR)

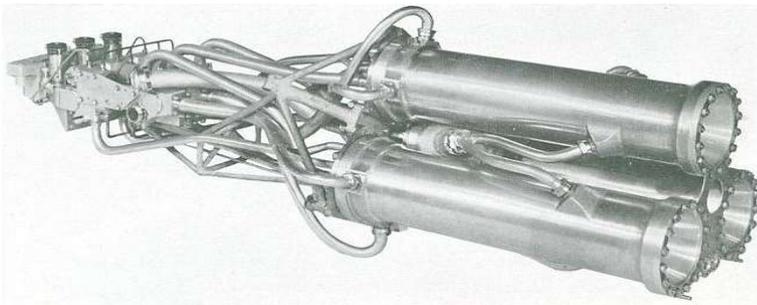
SEPR-481



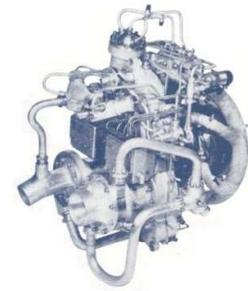
(@ Le Trait d'Union)

Fonctionnement de l'ensemble du moteur-fusée

Le premier stade consiste en le démarrage de la turbine. Ce démarrage est assuré par un démarreur qui entraîne les trois micro-pompes (acide, furaline, eau-méthanol) alimentant le générateur de gaz. Dès qu'une pression de refoulement est atteinte, trois mano-contacteurs ferment le circuit électrique excitant l'électro-aimant de commande du distributeur, celui-ci intervient et les liquides parviennent alors au générateur. Ce générateur rentre alors en fonctionnement et les gaz sont projetés vers la turbine qu'ils entraînent avant d'être expulsés par une sortie placée sous le fuselage de l'avion. En trois secondes, la turbine atteint un régime tel qu'elle peut entraîner elle-même les micro-pompes du générateur. A ce moment, un mano-contacteur se trouve là pour couper le courant au démarreur qui s'arrête, sa tâche accomplie.



Masse : 230 kg
Masse + accessoires : 258 kg



Puissance de la turbine : 500 ch
Largeur : 0,58 m - Hauteur : 0,62 m

Quand la pression de refoulement des pompes principales (acide et furaline) atteint un certain seuil, un mano-contacteur ouvre le premier circuit électrique du distributeur des chambres de combustion, placé devant elles sur le bâti tubulaire, et le feu se déclare dans la première chambre. Il reste au pilote, s'il le désire, à agir sur la manette de commande et à passer ainsi en position 2 ou 3 pour allumer les deuxième et troisième, chambres.



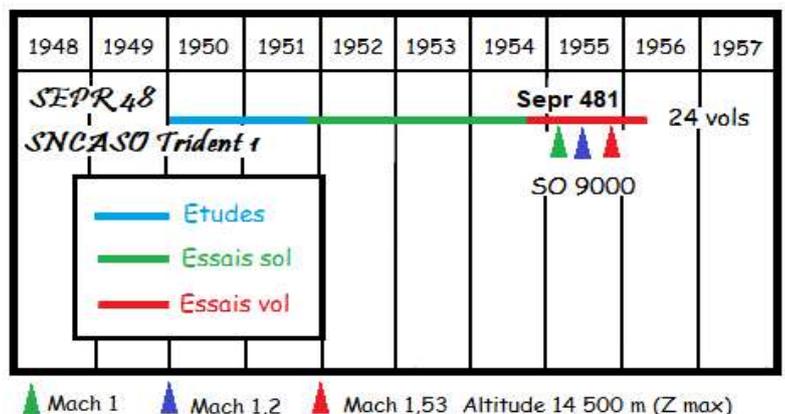
SO 9000-01 Trident I avec réacteurs MD-30 ASV 5 " Viper " à flux axial de 745 kgp (@ Heller)

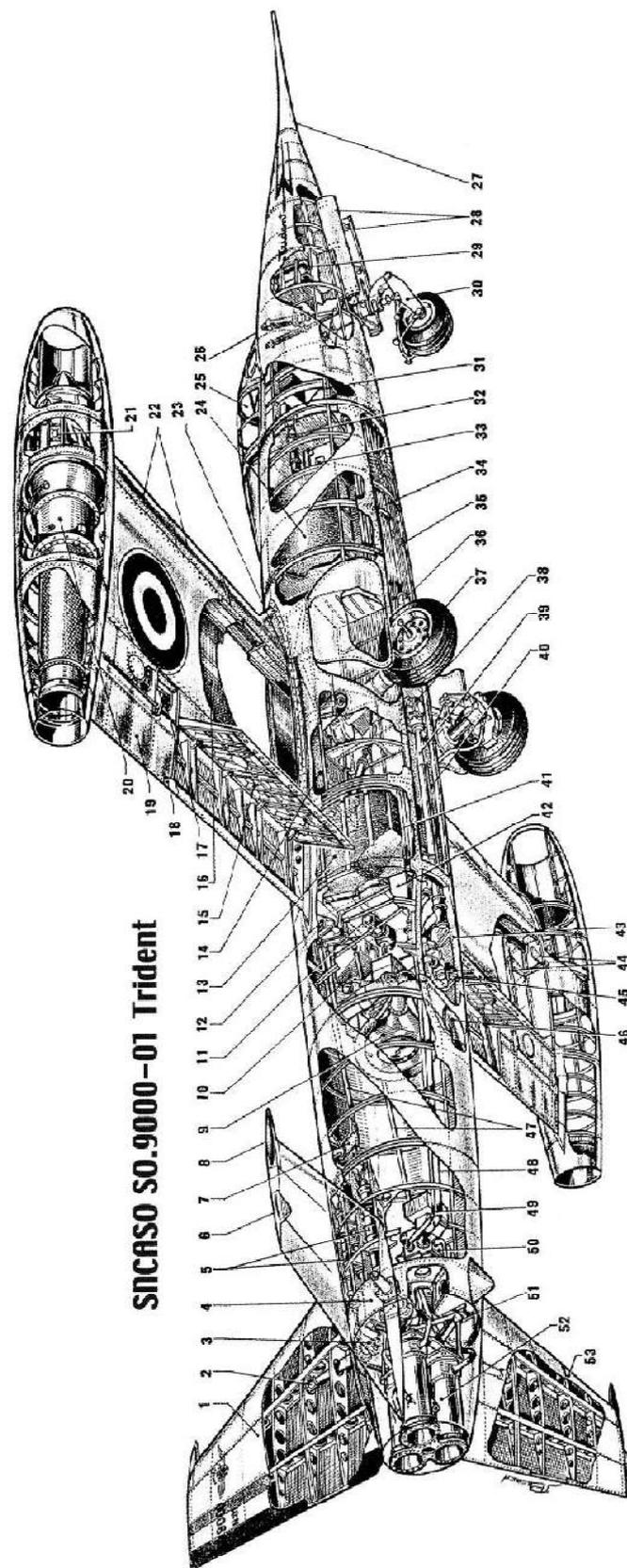


Version la plus évoluée des moteurs-fusées du SO 9050 Trident II, la turbopompe du SEPR 631 comporte : une turbine tournant à 28 000 tr/mn au régime nominal, des pompes acide et furaline qui tournent à 14 900 tr/mn, une micropompe acide tournant à 20 000 tr/mn et les micropompes furaline et eau (refroidissement de la turbine) tournant à 26 500 tr/mn.

C'est la fiabilité de la turbopompe du moteur-fusée bi-chambres SEPR 631 qui a permis de réaliser la turbopompe du moteur cryogénique HM-7 utilisée sur toutes les versions des lanceurs de la famille Ariane.

Tableau des vols SEPR 481 - SO 9000 Trident I





SNCASO SO.9000-01 Trident

Le SO 9000 Trident I a inauguré en France, en 1953, la propulsion mixte. Il décollait généralement avec ses fusées allumées pendant environ 7 secondes puis les réallumait en haute altitude. Le temps total de fonctionnement était de 4 minutes et 50 secondes. Les trois tuyères étaient quasiment parallèles à l'axe avion. (@ Aviation Magazine)

Remerciements : Mr Dominique Prot (Espace Patrimoine Safran), Régis Ligonnet,

Publications consultées : Le Trident - La quête du haut supersonique chez Sud-aviation Jean-Christophe Carbonel.
Dictionnaire fanatique du Trident par Paul Gauge, Aviation Magazine, Le Trait d'Union

Le train d'atterrissage du Dassault Falcon 20



Etudié au début des années soixante, ce train d'atterrissage tricycle escamotable a été conçu pour répondre aux exigences des avions de transport civils modernes des années 1960 : grande robustesse, malgré l'encombrement réduit nécessité par l'exigüité des logements disponibles ; sécurité et facilité d'entretien.

Ce train d'atterrissage équipe 476 " Falcon 20 " de série, produits en plusieurs variantes, et 38 Falcon 200 sur les 512 qui ont été vendus à l'exportation entre 1963 et 1988.

Répondant aux critères de robustesse et de sécurité, l'atterrisseur constitué de trois jambes à levier et à amortisseurs indépendants a été conçu pour obtenir une durée de vie égale à celle de l'avion y compris pour les versions les plus lourdes.

A cet effet toutes les pièces ont été dessinées pour limiter au strict nécessaire les opérations de maintenance. En outre, tous les éléments susceptibles d'intervention ou de démontage répondent aux standards américains.

La descente et le verrouillage train bas s'effectuent par action de la pesanteur, en complément aux dispositifs hydrauliques prévus à cet effet, offrant ainsi une grande sécurité à l'atterrissage.



Fan Jet Falcon

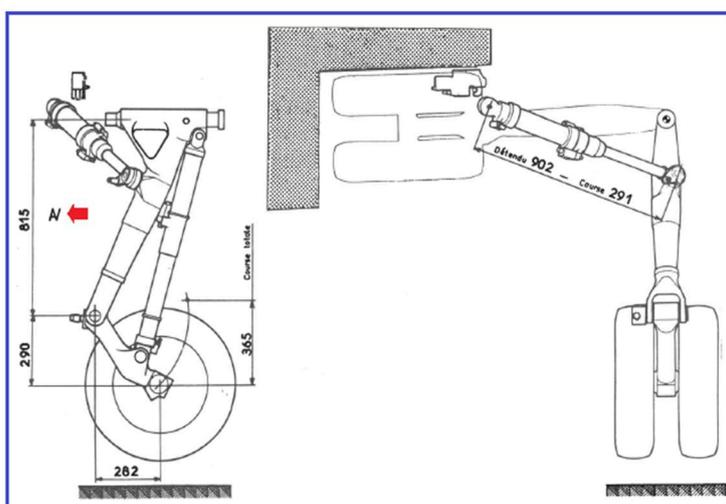
" Le roi des avions - L'avion des Présidents " selon la publicité de l'époque.

Désigné à l'origine, Mystère XX, le bizjet prend très vite le nom américain de " Falcon " (faucon) en raison essentiellement des débouchés de l'avion, en Amérique de nord. (@ Dassault Aviation)

Atterrisseur principal

Chaque atterrisseur principal comporte une jambe du type " à balancier " dont l'amortisseur est monté extérieurement. Cette formule permet d'avoir un caisson-support de faible encombrement et un bon accès à l'amortisseur. Le caisson et le balancier sont en acier traité.

Le balancier reçoit les deux roues montées en diabolo, leurs freins hydrauliques à disques et deux détecteurs de patinage.



Atterrisseur principal. Il est composé d'une jambe avec son amortisseur, d'une contrefiche et d'un vérin de relevage.



Atterrisseur principal gauche

L'escamotage s'effectue latéralement vers l'axe de l'avion, par action d'un vérin contrefiche. L'accrochage de l'atterrisseur en position haute s'effectue sur un verrou automatique fixé sur la structure. Un verrouillage mécanique à griffes interne au vérin de relevage maintient la jambe en position d'atterrissage.

Les roues sont en alliage de magnésium à l'argent M S R (Magnésium-argent-terres rares-zirconium). Ayant permis d'abaisser de façon importante la masse des roues, l'alliage MSR se caractérise par de hautes propriétés mécaniques, tout spécialement sa limite de fatigue, sa résistance à l'effet d'entaille et à la propagation de crrique.

Les blocs de freins " Tribloc " (trois rotors et quatre stators) sont à disques en acier et garnitures de frictions métalliques. Ces freins à haute énergie massique permettent un gain de masse de l'ordre de 35% par rapport au frein en cuivre, pour des conditions de service identiques. Ils sont capables d'absorber une énergie de 485 kJ/kg de frein.

Constitués de trois matériaux principaux, acier, caoutchouc et tissu, les pneus tubeless (sans chambre à air), des trains principaux sont gonflés à l'azote sous une pression de 10 bar.

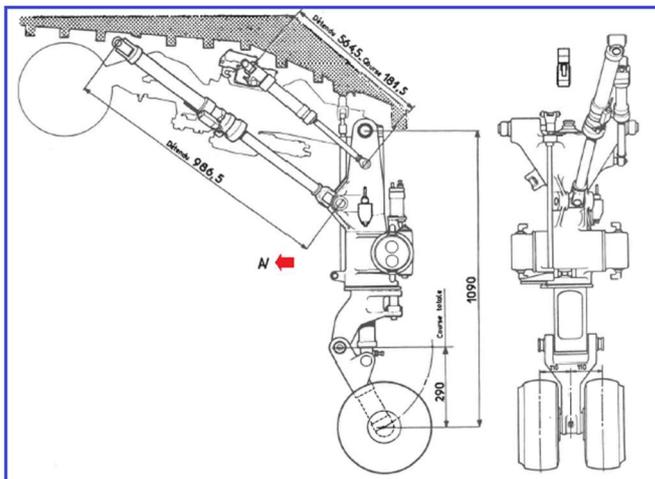
La structure des pneumatiques est à plis croisés, c'est-à-dire constituée d'une carcasse composée de nappes successives de tissu gommé qui s'étendent jusque sous les tringles et sont positionnées selon des angles alternés de moins de 90° par rapport à l'axe central de la bande de roulement.

Atterrisseur avant

L'atterrisseur avant, également du type " à balancier ", est constitué d'un caisson en alliage léger contenant un amortisseur indépendant. Le balancier supporte deux roues montées en diabolo. Ces roues sont orientables sur $\pm 50^\circ$ par action d'une commande de dirigeabilité hydromécanique, débrayable. L'ensemble pivotant est également muni d'un dispositif anti-shimmy.

Le relevage vers l'avant est assuré par action d'un vérin. Le contreventement " train bas ", s'obtient par le verrouillage mécanique à griffes d'une barre télescopique.

L'accrochage de l'atterrisseur s'effectue en fin d'escamotage, sur un verrou automatique fixé sur la structure.



Atterrisseur avant. Il est composé d'une jambe avec son amortisseur, d'une contrefiche et d'un vérin de relevage. Il est équipé d'un phare de roulage.



Atterrisseur avant

De type tubeless, les pneus du train avant sont gonflés à une pression de 9 bar. Comme les trains principaux, les pneus sont gonflés à l'azote (sec) pour éviter, entre autres, des problèmes de corrosion sous les jantes, Sur chacune de leur bordure extérieure ils comportent des déflecteurs moulés (" chine " dans le jargon aéronautique). Appelés également bavettes ou protubérances circulaires, ils projettent sur les côtés le jet d'eau ou de neige fondante émis par le contact des pneus avec la piste, afin de réduire la quantité d'eau absorbée par les moteurs.

Caractéristiques

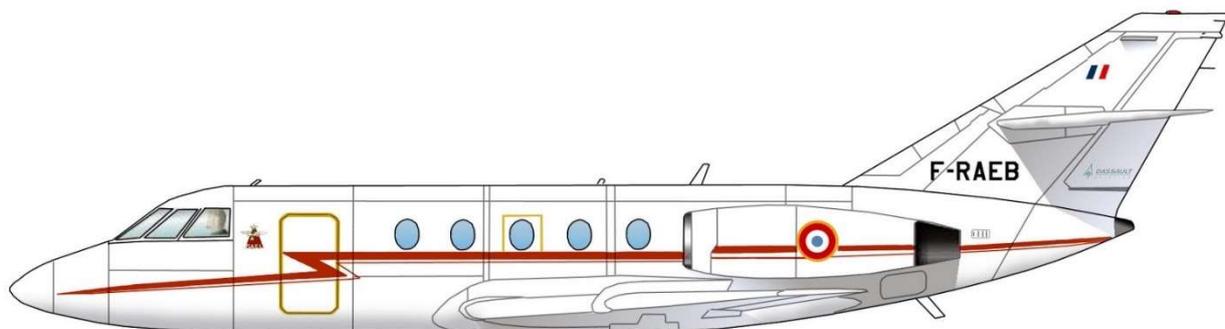
Suite à l'utilisation de l'appareil en version Falcon 20 G (US Coast Guard) toutes les pièces en alliage de magnésium ont été remplacées par des pièces identiques en alliage d'aluminium. Les caractéristiques géométriques restent inchangées.

Atterrisseurs principaux :

Masse (sans roue ni frein)	88,5 kg x 2
Course amortisseur (centre roue)	365 mm
Pneumatiques	26 X 6.6-14

Atterrisseur avant :

Masse (sans roue)	74 kg
Course amortisseur (centre roue)	230 mm
Pneumatiques	14.5 X 5.5-6

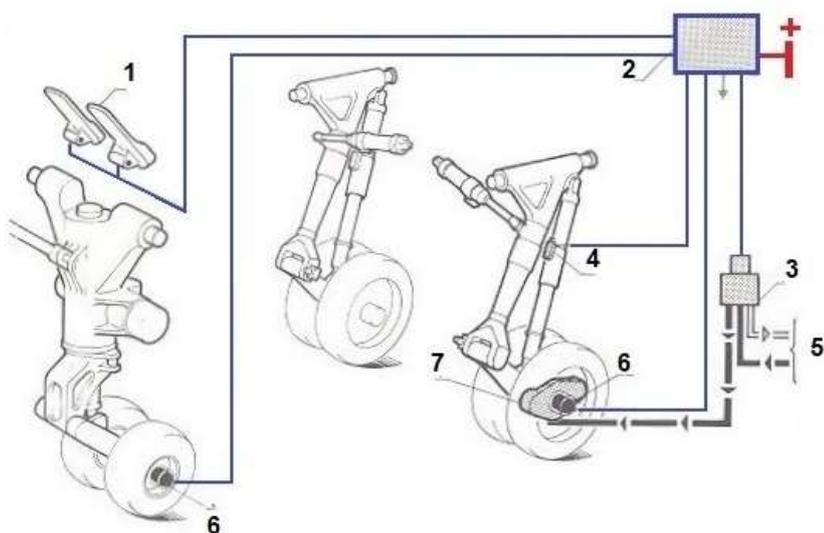


Mystère XX n° 167 - F-RAEB - Groupement Aérien d'Entraînement et de Liaisons (1966 -2007)
(profil Baptiste Aubertel)

Contrôleur de freinage

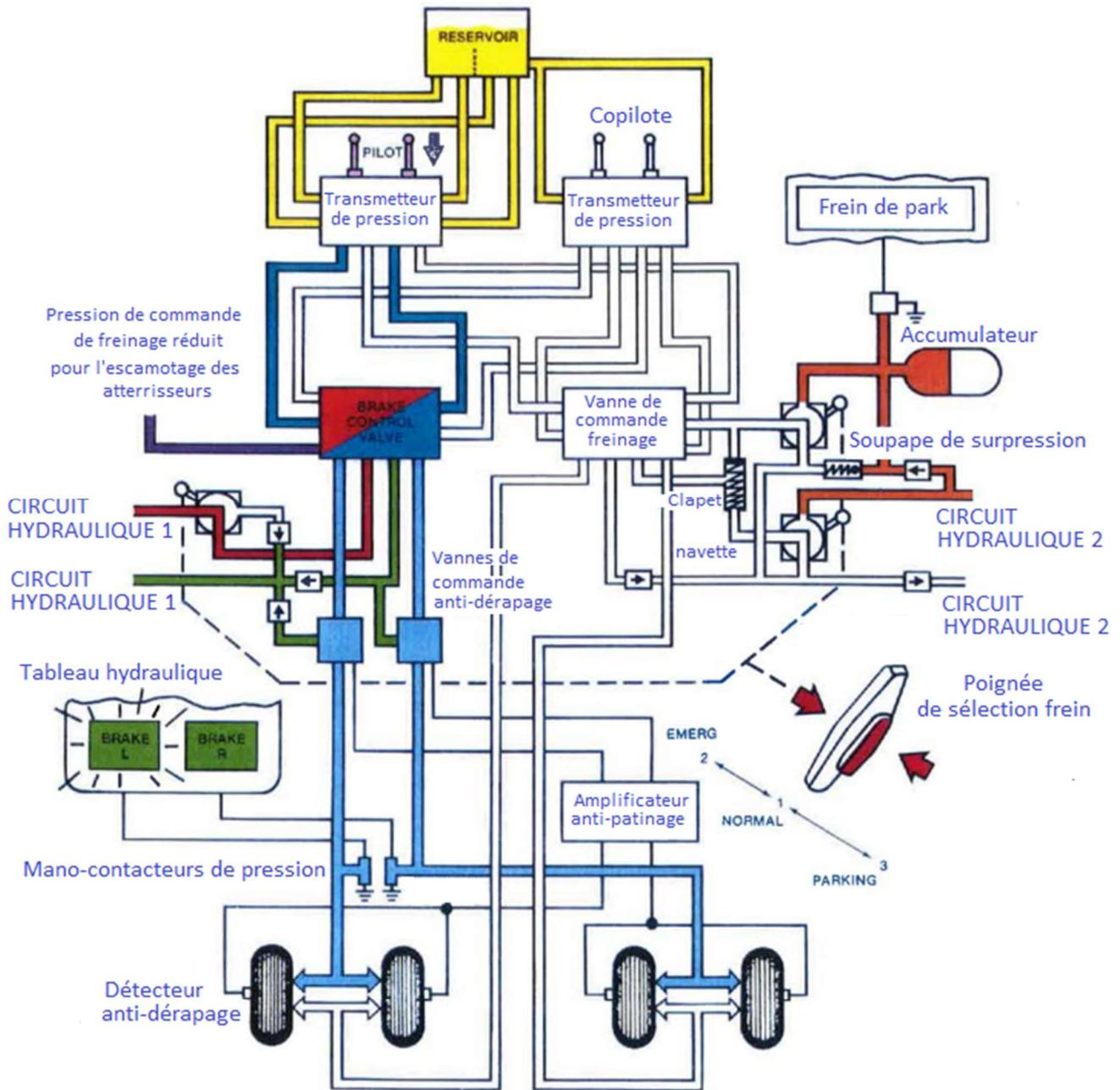
La commande de freinage est basée sur un circuit hydraulique muni d'un dispositif d'anti-blocage des roues et d'évitement du dérapage consécutif de l'avion en cas de freinage trop violent.

Du type " tout ou rien ", le Ministop est constitué d'un accéléromètre entraîné en rotation par la roue et commandant un contact électrique, lequel commande à son tour un électro-distributeur relâchant ou coupant la pression hydraulique de freinage, dès que la décélération dépasse une valeur définie. Monté sur chaque frein, ce dispositif permet, par détection accélérométrique, en agissant sur la commande hydraulique, un freinage maximum sans patinage ni blocage.



1. Pédales du poste de pilotage
2. Boitier de régulation
3. Servo-distributeur
4. Microrupteur sur jambe
5. Génération hydraulique
6. Génération tachymétrique
7. Bloc frein

Contrôleur de freinage Ministop



LEGENDE

ALIMENTATION	METERED PRESSURE	FREINAGE AUTOMATIQUE DES ROUES
CIRCUIT HYDRAULIQUE 1	RETOUR	COMMANDE MECANIQUE
TRANSMITTER PRESSURE	CIRCUIT HYDRAULIQUE 2	CIRCUIT ELECTRIQUE

Circuit de freinage - Dassault Falcon 20 E

Depuis sa mise en service, au début de l'année 1965, la flotte Falcon - toutes versions confondues - totalise à ce jour plus de 4 650 000 heures de vol. A ce jour, 325 appareils sont encore en exploitation, dans des compagnies civiles et forces aériennes. Le plus vieil appareil en service (le s/n 14 livré en décembre 1965) totalise 9 960 heures de vol ; celui accumulant le plus grand nombre d'heures de vol étant le s/n 13 avec 38 600 heures de vol.

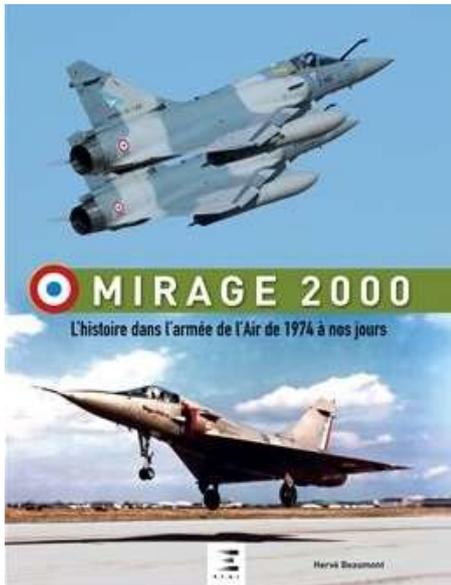
Sources : Documentation Messier

Remerciements : Edouard Campbell, Régis Ligonnet

Notes de lecture

Mirage 2000 l'histoire dans l'armée de l'air de 1974 à nos jours

Par Hervé Beaumont - Editions ETAI



La genèse du Mirage 2000 s'inscrit dans le prolongement du développement des derniers prototypes expérimentaux des avions Marcel Dassault, particulièrement du Mirage 4000. Le Mirage 2000, dont le premier prototype vola en 1978, forme depuis 1984 l'arête dorsale de l'aviation de combat française, avec cinq versions différentes, mises en œuvre par l'armée de l'Air. Ces versions du Mirage 2000 ont permis d'assurer de multiples types de missions, tant sur le territoire national que lors de nombreux exercices et théâtres d'opérations extérieurs. À partir du contexte géopolitique et militaire des différentes époques concernées, de l'évolution des doctrines stratégiques aériennes, des besoins de l'armée de l'Air et des demandes de l'État, ce livre de référence, paru aux Éditions ETAI, rassemble et retrace le développement et l'histoire des versions du Mirage 2000 dans l'armée de l'Air avec leur genèse, leur histoire, leur conception technique détaillée, leur utilisation, leur carrière opérationnelle et leurs escadrons d'affectation en se fondant sur un nombre important de photos et d'illustrations inédites.

L'auteur Hervé Beaumont est dirigeant d'entreprise et enseignant dans des grandes écoles de commerce. Depuis plus de vingt ans, en parallèle à ses activités, il écrit des articles pour d'importantes revues spécialisées en aviation, donne des conférences, participe à des documentaires filmés et a écrit plusieurs ouvrages de référence consacrés aux Mirage, aux Avions Nucléaires Français et aux Prototypes Expérimentaux Dassault. Hervé Beaumont est membre d'Honneur des Forces Aériennes Stratégiques, membre d'Honneur de l'Escadron de Chasse 1/4 " Dauphiné ", Administrateur et Secrétaire Général de l'Association Nationale des Forces Aériennes Stratégiques.

Le MD-450 Ouragan

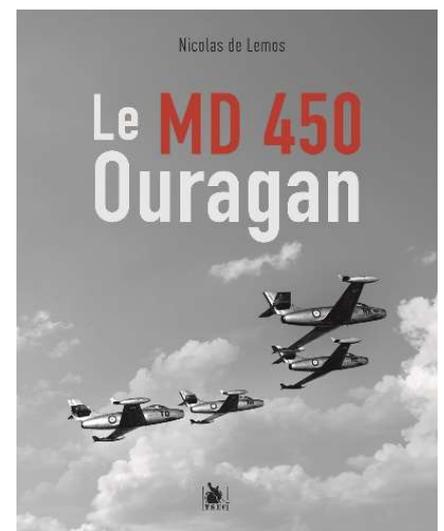
Par Nicolas de Lemos - Ysec Editions

Le MD-450 Ouragan est un avion de chasse et d'attaque au sol, produit de 1951 à 1954 par le constructeur aéronautique Dassault. Premier avion à réaction de conception française construit en série, il marque une étape importante dans l'histoire de l'aéronautique nationale.

Mis au point par les ingénieurs de Marcel Dassault à la fin des années 1940, le MD 450 Ouragan est le premier chasseur à réaction français construit en série. Le premier des trois prototypes décolle donc le 28 février 1949, avec aux commandes le pilote d'essai Constantin Rozanoff. À partir de novembre 1950, Dassault sort quatorze appareils de présérie. Le 5 décembre 1951, le premier exemplaire de série vole pour la première fois. Un total de 350 exemplaires sont construits, dont 185 financés par le programme d'aide militaire américain. Après une carrière opérationnelle dans l'armée de l'Air, il sert dans les écoles de chasse de Meknès (au Maroc) et de Tours. Il est exporté en Inde, et en Israël qui l'engage dans plusieurs conflits. Quelques survivants sont vendus en 1975 au Salvador.

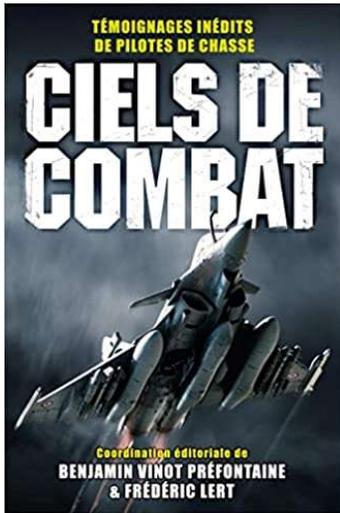
Cette monographie propose donc l'étude approfondie de l'Ouragan, avec de multiples photographies et des profils en couleur. De plus, elle évoque la carrière de chacun des 350 avions construits non dans l'armée de l'Air française. Et également dans les aviations : israélienne, indienne et salvadorienne.

Jamais une telle somme n'avait été consacrée au MD 450 Ouragan.



Ciels de combat : Témoignages inédits de pilotes de chasse

De Benjamin Vinot Préfontaine (Auteur), Frédéric Lert - Editions Nimrod



Afghanistan, Libye, Mali, Irak, Syrie... Nos pilotes et navigateurs de combat accumulent depuis vingt-cinq ans les missions de guerre sous les latitudes les plus improbables. Mais si l'environnement géostratégique a considérablement changé en l'espace d'une génération, les fondamentaux de la vie de ces équipages ont finalement peu varié, avec toujours comme ingrédients principaux le travail, l'abnégation, le courage, la recherche incessante de la perfection, le tout mêlé d'une bonne dose d'ironie grinçante et de traditions plus ou moins absconses... En rassemblant une centaine de récits très différents, portés par la personnalité et l'expérience de chacun de leurs auteurs, *Ciels de combat* offre un témoignage authentique et unique, vécu de l'intérieur, sur le quotidien de ces équipages de chasse et les opérations réelles qu'ils conduisent. *Ciels de combat* entraîne le lecteur dans les missions de guerre les plus récentes en levant le voile sur la technicité extrême qui caractérise aujourd'hui le métier de chasseur.

Carnets de sol : les mécanos ces héros de l'ombre

De Bernard Roux - Editions JPO

Le grand public a toujours été fasciné par l'aviation mais ne retient souvent que les récits et les exploits des pilotes. Ces derniers doivent pourtant s'appuyer sur un personnage essentiel, véritable héros de l'ombre souvent ignoré, sans qui aucun avion ne pourrait décoller ? : le mécanicien. Déroulant le fil rouge de la carrière de l'auteur, ancien officier mécanicien de l'Armée de l'air, ce livre lève un coin du voile et nous emmène au fond des hangars, là où les "mécanos" démontent et réparent les machines, ou encore sur les parkings, dans la spirale des "pistards" orchestrant le ballet des avions. On y découvre aussi les coulisses des opérations extérieures, de la première guerre du Golfe à l'ex-Yougoslavie en passant par l'Afrique ou celles plus feutrées des états-majors où sont prises des décisions majeures. On y découvrira enfin certains aspects fort méconnus de la fonction technique de l'Armée de l'air.



Rafale Marine – Essais en vol pour navaliser un chasseur

François Besse et Jacques Desmazures - Autoédition



Pensé dès sa conception comme un appareil à usages multiples, le Rafale a dû passer par une batterie de tests pour être adapté à la vie à bord d'un porte-avions. C'est sur cette période que se penchent François Besse, auteur du livre "Du Vampire au Mirage 4000, sous le signe de la chimère - les 20 000 heures de vol de Jean-Marie Saget", et Jacques Desmazures, ex-directeur des essais en vol chez Dassault et qui fut donc aux premières loges de cette "transformation".

Des premiers essais du Rafale à l'entrée en service de sa version Marine, le duo d'auteurs revient longuement sur les essais opérés à bord du "Charles de Gaulle", mais aussi aux États-Unis - plusieurs campagnes ont été menées outre-Atlantique, notamment sur les bases militaires de Lakehurst et de Patuxent River.

Pour expliquer l'ensemble de ce processus et en présenter les principaux acteurs, François Besse et Jacques Desmazures analysent les données recueillies lors des essais et tirent le portrait des ingénieurs, responsables techniques, pilotes ou encore officiers d'appontage concernés. Et relatent de nombreuses anecdotes qui ont accompagné les étapes majeures qui ont jalonné l'ensemble.

S'agissant de la mise en œuvre, l'ouvrage explicite aussi les changements techniques qu'il a fallu apporter au Rafale pour lui conférer un pied matin, comme une barre de catapultage en lieu et place de l'élingue ou encore un train avant sauteur visant à faciliter l'envol en sortie de pont. Sans oublier les changements apportés au niveau des commandes.

Illustré avec de nombreux documents d'époque et des photos pour la plupart jamais publiées, voici donc un livre de plus de 330 pages, pointu mais pourtant accessible au plus grand nombre, qui ravira tous les passionnés du Rafale et plus globalement d'aviation militaire - sur terre, en mer et ... dans les airs.

La propulsion-fusée en Normandie – D'Ariane 1 à Ariane 4

Ouvrage collectif

Parmi les nombreux ouvrages édités sur les fusées, en Europe et dans le monde, rares sont ceux qui mettent en avant les problématiques de la propulsion. Dans le genre, cet ouvrage fait un peu figure d'exception.

Le point de départ, en 1971, est le regroupement de la Société d'Etude de la Propulsion (SEP) avec la branche propulsion du Laboratoire de Recherches Balistiques et Aérodynamiques (LRBA) de Vernon, regroupement qui a fait de la ville le pôle incontournable de la grosse propulsion à liquides en Europe.

La dizaine d'auteurs qui ont participé à la rédaction de ce livre ont été en première ligne, dès le début d'Ariane. Ils vous livrent leur ressenti à l'aune des problèmes qu'ils ont dû affronter pendant la période d'Ariane 1 à 4, de la conception à la réalisation, puis aux lancements. Mais en dehors de la grosse propulsion, la petite propulsion pour satellites n'a pas été absente, elle s'est développée à Vernon et Melun-Villaroche et vit aujourd'hui, sous sa forme la plus aboutie, celle de la propulsion électrique, sur le plateau de l'espace, à l'emplacement de l'ancien LRBA.

Mais dans toute Société de fort niveau technologique, d'autres activités, décrites dans ce livre, furent développées en marge de l'activité principale. Pour n'en citer que deux :

- les paliers magnétiques, initiés au LRBA, transférés à la SEP puis enfin autonomes, à Vernon et Saint-Marcel près de Vernon.
- l'imagerie spatiale, où, à partir d'une utilisation des paliers magnétiques, la SEP est devenue un des leaders mondiaux dans la réalisation des stations de réception et de traitement des images des satellites d'observation de la Terre, avant de céder l'activité à Matra, aujourd'hui Airbus.

Ce sont de véritables experts qui ont réalisé ce livre, qui restera probablement le témoignage exceptionnel d'une époque aujourd'hui révolue, celle d'Ariane 1 à 4.

La technologie d'Ariane mêlait l'utilisation d'ergols classiques, dit " stockables ", résultant de l'expérience du LRBA et d'ergols dits " cryotechniques ", totalement novateurs en termes de performances, en développement à la SEP et qui n'étaient alors opérationnels qu'aux USA.

Les problèmes rencontrés sont largement décrits, les efforts consentis furent considérables, pour aboutir à des solutions qui, au bout du compte, ont permis de garantir au lanceur Ariane la fiabilité qui a fait son succès, ouvrant la voie aux générations suivantes : Ariane 5 puis Ariane 6.

