

1.7. L'aviation militaire, depuis 1945

Les exemples du Gloster Meteor en Grande-Bretagne, du Heinkel He 162 et du Messerschmitt Me 262 en Allemagne, furent rapidement suivis : dès la fin de la deuxième guerre mondiale, l'avenir de l'aviation militaire, du moins celui de l'aviation de combat, était lié à la propulsion par turbo-réacteur.

En France, le premier avion à réaction qui prit l'air fut le SO 6000 Triton (1^{er} vol le 11 novembre 1946). Il était équipé d'un réacteur allemand Jumo 004. Les appareils suivants furent équipés d'un réacteur Rolls Royce Nene, de poussée supérieure (2270 daN). Parmi les autres réalisations françaises de l'immédiat après-guerre, il faut citer le Leduc 010 à statoréacteur, largué à partir d'un avion porteur Languedoc (à l'inverse du turbo-réacteur, le statoréacteur ne peut produire de poussée à vitesse nulle, car il ne dispose pas de compresseur mécanique).

Mais le véritable début de l'aviation de combat française après la deuxième guerre mondiale fut marqué par le premier vol, le 28 février 1949, du MD 450 Ouragan de Dassault. Cet appareil fut mis en service dans l'Armée de l'Air, en même temps que le Mistral SNCASE, version surmotorisée du DH Vampire britannique. Dassault fit évoluer la formule de l'Ouragan pour aboutir au MD 452 Mystère II, qui fut le premier avion d'armes français transsonique. L'utilisation de voilures de plus en plus minces, avec un angle de flèche de plus en plus grand, et l'emploi de turbo-réacteurs de plus en plus puissants, permirent à Dassault de passer de l'Ouragan au Mystère II, puis au Mystère IV et enfin au Super Mystère SMB-2. Celui-ci, équipé d'un turbo-réacteur Atar 101 G-3 de SNECMA, fut le plus rapide intercepteur d'Europe Occidentale (Mach 1,02 en palier).

En parallèle avec la propulsion par turbo-réacteur, l'aéronautique française étudia la propulsion par statoréacteur et par fusée.

Pour le statoréacteur, il faut citer, outre le Leduc 010 déjà mentionné, le Leduc 022 et les SFECMAS Gerfaud et Griffon. Ces trois appareils étaient équipés d'un turbo-réacteur auxiliaire Atar 101. Le nombre de Mach maximum en palier était de 2 pour le Leduc 022 et 2,1 pour le Griffon.

Parmi les projets français d'avions-fusées, un seul déboucha au stade du prototype, le SO 9000 Trident. Il était équipé de trois fusées SEPR de poussée totale 4500 daN et de deux turbo-réacteurs Marboré II, de 400 daN, de TURBOMECA. Le nombre de Mach maximum en palier du SO 9000 était 1,55.

Mais les progrès des turbomachines, d'une part, et ceux de l'aérodynamique et des structures de cellules, d'autre part, conduisirent à l'abandon des formules de propulsion autres que celle des turbo-réacteurs. Ce fut l'époque du Super Étendard de Dassault, puis du Jaguar de Bréguet et du Mirage III de Dassault.

Comme pour les avions civils, la conception d'avions par familles a prévalu pour les avions de combat. À titre d'exemple de famille d'avions militaires, on peut citer celle des Mirage III, avec les versions dérivées C, B, E, R et Mirage V. Toutes ces versions sont équipées de réacteurs très semblables (Atar 9 C ou 9 K) et des mêmes principaux éléments de cellule que le Mirage III d'origine.

À la différence des avions de la famille Mirage III, tous à voilure delta, le Mirage FI était à aile haute en flèche ; il entra en service en 1974. Mais, en 1975, Dassault revint à la voilure delta avec le Mirage 2000. Cet appareil faisait appel à de nouveaux concepts (stabilité artificielle), à de nouvelles techniques (commandes électriques), à de nouveaux matériaux (fibres de carbone et de bore) et à un nouveau réacteur (SNECMA M53). Le Mirage 2000 marquait donc une progression dans tous les domaines (basse vitesse, montée, vitesse maximale Mach 2,2, manœuvrabilité). Il fut réalisé en différentes versions : le 2000 E, polyvalent, équipé d'un radar multi-mode RDM ; le 2000 C, pour la défense aérienne, avec un radar d'interception RDI permettant d'engager plusieurs cibles à de très courts intervalles de temps ; le 2000 N, équipé d'un radar de suivi de terrain, armé d'un missile air-sol à moyenne portée ASMP, capable d'une charge thermonucléaire. Dassault réalisa aussi, sans commande de l'État, le Mirage 4000, biréacteur, Mach 2,2 destiné à être un bombardier capable de lourdes charges.

Outre les avions de combat, cités plus haut, l'aviation militaire française s'équipa :

- d'avions biréacteurs SO 4050 Vautour de la SNCASO en versions d'appui tactique, de chasse tout temps, de bombardement ;
- d'avions de transport Nord 2501 Noratlas, Bréguet 761 deux ponts Sahara, Bréguet 941 à décollage et atterrissage ultra-courts, Transall (Nord Aviation et firmes allemandes) ;
- d'avions de liaison MH 1521 Broussard de Max Holste, MS 760 Paris de Morane Saulnier ;
- d'avions d'entraînement Morane, Sipa, Fouga Magister, etc...

L'aéronautique navale, de son côté, fut équipée :

- d'Étendard IV et de Super Étendard, de Dassault ;
- de Bréguet 1050 Alizé et de Bréguet Atlantic (avion étudié, réalisé et utilisé en coopération avec l'Allemagne, les Pays-Bas, l'Italie).

Ainsi, grâce une action vigoureuse et continue depuis 1945, l'aéronautique française avait comblé le retard dû à l'interruption quasi-totale de ses activités pendant la deuxième guerre mondiale. Le mérite n'était pas mince, car dans tous les grands pays, les progrès n'avaient pas cessé.

À titre d'exemple, évoquons les efforts réalisés aux États-Unis, pour accroître la vitesse des avions militaires.

Avion	Masse à vide équipée (t)	Poussée au sol/masse à vide (daN/kg)	Mach	Moteur	Capacité	Observations
Ouragan (1952)	4,3	0,5	0,78	Nene, Tay, Verdon Hispano-Suiza (licence Rolls-Royce)	Canons roquettes	
Mystère IV A (1954)	5,8	0,5 à 0,6	0,9	-d°-	-d°-	
Mystère II (1954)	5,8	0,5 à 0,6	0,9	ATAR 101 SNECMA	-d°- +télémetre radar	
Vautour (1957)	10,5	0,7	0,9	-d°- bimoteur	-d°- +missiles	N (chasse tout temps) radar de tir A (attaque au sol) B (bombardements)
Super-Mystère B2 (1957)	6,9	0,6	1,35	ATAR 101 avec post-combustion	-d°-	

Tableau 9. Les avions de combat français - post 1945

Première génération : avions subsoniques (ou légèrement supersoniques) des années 50

Nota : La période des années 50 est marquée par la recherche d'améliorations de la vitesse, de la manœuvrabilité et des capacités d'emport. Les Mystère II, Vautour, SMB2 sont propulsés par des ATAR 101, conçus et réalisés par SNECMA.

Avion	Masse à vide équipée (t)	Poussée au sol/masse à vide (daN/kg)	Mach	Moteur	Capacité	Observations
Mirage III C (1960)	6,5	1,1*	2	ATAR 9	armement classique	*(avec fusée d'appoint) radar Cyrano pour tir missiles air-air
Mirage III E (1963)	6,5	0,9	-d°-	-d°-	classique et nucléaire	-d°-
Mirage IV A (1964)	15	0,9	-d°-	-d°-	classique et nucléaire	Système de navigation bombardement
Étendard IV M (1962)	6,2	0,7	1,3	ATAR 8	classique et nucléaire	avion embarqué, ravitaillé en vol

Tableau 10. Les avions de combat français - post 1945 (suite)

Deuxième génération : avions supersoniques des années 60

Nota : Les Mirage III et le Mirage IV sont caractérisés par l'aile delta et l'absence d'empennage horizontal. Ils sont capables d'atteindre Mach 2. En revanche, du point de vue des performances, l'Étendard IV Marine se compare plutôt aux avions de combat de la première génération.

Avion	Masse à vide équipée (t)	Poussée au sol/masse à vide (daN/kg)	Mach	Moteur	Capacité	Observations
Jaguar (1972)	7,2	0,75	1,35	biréacteur	armement classique	télémetre laser et armes guidées par laser
Mirage F1 C (1973)	7,8	0,9	2 ⁺	ATAR 9K50	-d°-	radar Cyrano IV tir air-air sans visibilité
Super Étendard (1978)	6,5	0,75	1 ⁺	ATAR 8K50	-d°- + nucléaire	avion embarqué système de navigation et d'armement à hautes performances

Tableau 11. Les avions de combat français - post 1945 (suite)

Troisième génération : avions supersoniques des années 70

Nota : À la différence des Mirage III, le Mirage F1C a une aile en flèche. Son moteur ATAR 9K50 lui permet d'emporter davantage de carburant. Il fut initialement destiné aux missions de défense aérienne, alors que le Jaguar était réservé à l'attaque au sol.

Avion	Masse à vide équipée (t)	Poussée au sol/masse à vide (daN/kg)	Mach	Moteur	Capacité	Observations
Mirage 2000 DA (1983)	7,5	1,25	2	M 53	classique	- radar RDM (1983) - radar RDI (1987) pour détecter et poursuivre les avions volant à basse altitude
Mirage 2000 N (1987)	-d°-	-d°-	2	-d°-	nucléaire	pénétration nucléaire survol de terrain à basse altitude

Tableau 12. Les avions de combat français - post 1945 (suite)

Quatrième génération : avions supersoniques des années 80

Nota : Les Mirage 2000 se distinguent des avions précédents par leur moteur M 53 (SNECMA) conçu pour Mach 2 à altitude élevée plutôt que pour les missions à basse altitude.

- Les commandes de vol électriques et le pilote automatique associé permettent un centrage très arrière (stabilité naturelle très faible), d'où une amélioration de la manœuvrabilité.
- Les équipements sont intégrés, par liaisons numériques, dans un système de navigation et d'armement.
- Le 2000 D est une version dérivée du 2000 N, adaptée à l'attaque au sol avec armement classique (non nucléaire).

Avions militaires Dassault

Atlantique 2 avion de patrouille maritime
(Dassault-Bréguet)



Alpha Jet de la Patrouille de France
survolant le Château de Versailles
(Dassault-Bréguet Dornier)

Mirage F1



Jaguar Marine à l'appontage
sur le porte-avions Clémenceau (Dassault-Bréguet)

Photos Dassault
(1945-1995) 50 ans d'aventure aéronautique

L'appellation « mur du son » (the "sound barrier") fut utilisée pour la première fois en 1935 par un journaliste britannique, lors d'une visite au National Physical Laboratory où on lui avait présenté une soufflerie à grande vitesse toute récente. En réalité, les spécialistes de l'aérodynamique, à cette époque, savaient pertinemment qu'il n'y avait pas de barrière physique impénétrable. Par contre, ils reconnaissaient leur ignorance concernant les conséquences des phénomènes de compressibilité de l'air sur les performances des profils d'ailes. Les souffleries réalisées dans le but d'obtenir des nombres de Mach voisins de 1 n'atteignaient ces valeurs qu'en l'absence de maquette dans la veine. De même lorsqu'une maquette était placée dans la veine d'une soufflerie supersonique Mach 2, il se produisait un blocage aux vitesses transsoniques.

Or, les accidents survenus lors de piqués d'avions américains, tels que le Thunderbolt P47 de Republic ou l'Airacobra P39 de Bell (qui avaient subi la perte de leurs empennages) soulignaient la nécessité d'un moyen d'essai pour l'étude des phénomènes de compressibilité au voisinage de Mach 1. Dès 1941, les Allemands avaient largué des bombes expérimentales portant des profils d'ailes. Le Royal Aircraft Establishment (RAF) développa cette méthode en utilisant des dispositifs de télémessure permettant d'obtenir les caractéristiques aérodynamiques des profils d'ailes placés sur le mobile largué en piqué. Aux États-Unis, le National Advisory Committee for Aeronautics (NACA), prédécesseur de la NASA, expérimenta ce procédé au centre de recherche de Langley, mais il mit également en œuvre une autre méthode qui consistait à monter un petit profil d'aile perpendiculairement à l'extrados d'une voilure d'un avion subsonique rapide tel que le Mustang P51 de North American. Lorsque le Mustang effectuait un piqué jusqu'à Mach 0,81, le profil passait d'une vitesse subsonique à un régime transsonique, puis supersonique pour atteindre Mach 1,4. Des capteurs miniaturisés mesuraient ces paramètres locaux de l'écoulement et les efforts sur le profil.

Le NACA-Langley, à partir de 1945, mit en œuvre une troisième méthode qui utilisait des fusées-sondes équipées de capteurs avec télémessure. Les essais effectués sur un grand nombre de profils d'ailes, de 1945 à 1951, furent à l'origine de grands progrès dans la connaissance des phénomènes de compressibilité.

Cependant, l'expérimentation en vol en vraie grandeur exigeait la réalisation d'un avion expérimental. Ce fut l'objet du programme XS1. Il s'agissait d'un avion-fusée lancé à partir d'un bombardier B29. Réalisé par Bell, suivant les directives du NACA-Langley,

le Bell XS1, piloté par Charles E. Yeager, dépassa pour la première fois la vitesse du son, le 14 octobre 1947. Une des caractéristiques du Bell XS1 était la relative minceur des ailes (épaisseur relative à la corde : 8 %). Par contre, ces ailes étaient droites ; le concept de l'aile en flèche n'avait pas encore prévalu. Grâce à ce concept, les phénomènes de compressibilité sont repoussés à des vitesses plus élevées ; en effet, ils sont liés à la composante de la vitesse perpendiculaire au bord d'attaque de l'aile, composante d'autant plus faible que l'angle de flèche est plus grand. Pour bénéficier de cet avantage, les avions de combat supersoniques (Mach 2+) furent réalisés, soit avec des ailes en flèche, soit avec une voilure delta : les avions Mirage III (à partir de 1956) de Dassault sont du type delta, formule intéressante à la fois par ses performances aérodynamiques à grande vitesse, ainsi qu'au décollage et à l'atterrissage (portance tourbillonnaire), et par ses qualités structurales.

Il est une autre découverte qui fut essentielle pour les progrès de l'aviation supersonique : la « loi des aires ». Richard T. Whitcomb, de NASA-Langley, découvrit, en 1951, que l'écoulement idéal autour d'un avion transsonique ne devait pas être déterminé en fonction du diamètre du fuselage seul (comme on le croyait par analogie avec les obus), mais en fonction de la section totale (fuselage, aile, queue) perpendiculaire à la vitesse. Cela exigeait de réduire la section du fuselage à l'emplanture des ailes, d'où le concept de « taille de guêpe ». Ce concept permet de réduire l'importance des ondes de choc qui conditionnent particulièrement les performances en transsonique. C'est « la loi des aires » qui a permis aux avions de combat d'atteindre et de dépasser Mach 2 en vol horizontal : le premier avion qui accomplit cette performance fut le Starfighter F104 de Lockheed en avril 1956.

La course aux grandes vitesses se poursuivit aux États-Unis et des avions Mach 3 opérationnels tels que le SR 71 (avion de reconnaissance stratégique), ou Mach 7 expérimentaux, tels que le X15 à moteur-fusée, furent réalisés.

Mais l'essentiel des progrès des avions opérationnels ne concerna pas la vitesse pure. Les avions de combat modernes ne volent pas beaucoup plus vite (Mach 2,2) que leurs prédécesseurs d'il y a 20 ans. Ce sont leurs performances en manœuvrabilité (évolution en combat), et surtout leur efficacité comme système d'armes (avec radar multimode et missiles à autoguidage infrarouge ou millimétrique) et leur furtivité (radar et infrarouge) qui ont considérablement progressé au cours des deux dernières décennies.