

*L'impressionnant moteur General Electric/Snecma CFM56-5C nacelles ouvertes, 1988. (CFM International).*

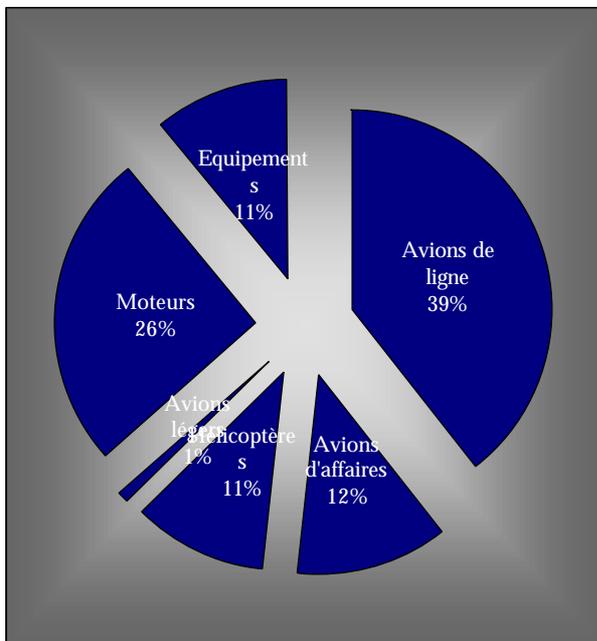
# Essor des marchés civils (1986-1996)

## Le groupe SNECMA en 1986

La réussite du lanceur « Ariane », le récent succès des avions « Airbus » et des moteurs CFM56 portent le chiffre d'affaires aérospatial de la France en 1986 à son plus haut niveau depuis quinze ans, ce qui permet au gouvernement de financer en partie les nationalisations voulues en 1981<sup>1</sup>.

En 1986, les exportations de matériel aérospatial français se portent très bien, 43 milliards de francs (un niveau jamais atteint) contre 20 milliards de francs en 1980, au point que l'Etat demande à la Snecma de participer au capital de la SEP (motoriste d'Ariane) en juin 1984. Après la création en 1989 du « GIE Rafale », groupant Dassault Aviation et Thomson devenu Thales en février 1987, les regroupements industriels se poursuivent, la Snecma absorbe le motoriste belge FN Moteurs<sup>2</sup>.

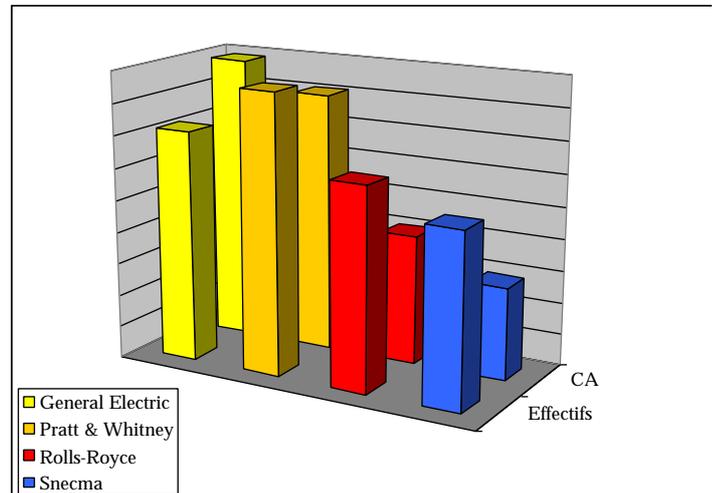
De 1986 à 1996, si plusieurs présidents se succèdent à la tête de la société nationale (politique oblige), tous gardent le cap et les orientations prises par René Ravaud : études et développement de moteurs militaires pour lesquels la Snecma a une parfaite maîtrise technologique, développement en coopération (à cette époque avec General Electric) de réacteurs civils de la classe 10 et 20 tonnes.



**Chiffre d'affaires 1988 des industriels français du secteur aérospatial consolidé, France et Exportations. Le groupe Snecma a réalisé plus du quart des 27 milliards de francs du secteur.**

- En 1980, le chiffre d'affaires aérospatial de la France n'était que de 35 milliards de francs. Six ans plus tard, il a doublé avec 72 milliards de francs.
- La société sera rebaptisée Techspace Aero en 1992. FN Moteurs participait au CFM56 depuis 1974.

En 1985, la Snecma a réalisé un chiffre d'affaires de sept milliards de francs, en croissance depuis dix ans, qui représente 26% du secteur aérospatial français.



**Les quatre grands motoristes mondiaux.**

*On voit que les effectifs européens sont importants en regard du chiffre d'affaires, Pratt & Whitney ayant une excellente profitabilité. C'est aussi le plus grand producteur mondial de turbines industrielles et marines, 18% de son chiffre d'affaires en dépend. (Source AvData).*

Le groupe emploie 27 000 personnes dont 14 000 à Snecma moteurs sur plusieurs sites, Corbeil-Evry (usine), Rungis, Gennevilliers (forges et fonderies), Le Creusot (Interforge), Montereau (direction après-vente civile), Suresnes, Istres (essais en vol), Melun-Villaroche (essais).

CFM International est représenté à Paris (siège social) avec une usine à Cincinnati dans l'Ohio (Etats-Unis).

Hispano-Suiza possède des établissements à Saint-Cloud (siège social), Bois-Colombes et Le Havre (usines).

La SEP détient des sites à Suresnes (siège social), Vernon et Villaroche (propulsion à liquides et espace) et au Haillan près de Bordeaux et Istres (propulsion à poudre et composites).

Messier-Bugatti possède des établissements à Velizy (siège social), Bidos (Pyrénées) Molsheim et Rungis.

La Sochata est installée à Velizy (siège social), Saint Quentin en Yvelines, Châtelleraut et Billancourt.

La Famer est située à Paris (siège social) et Givors (usines).

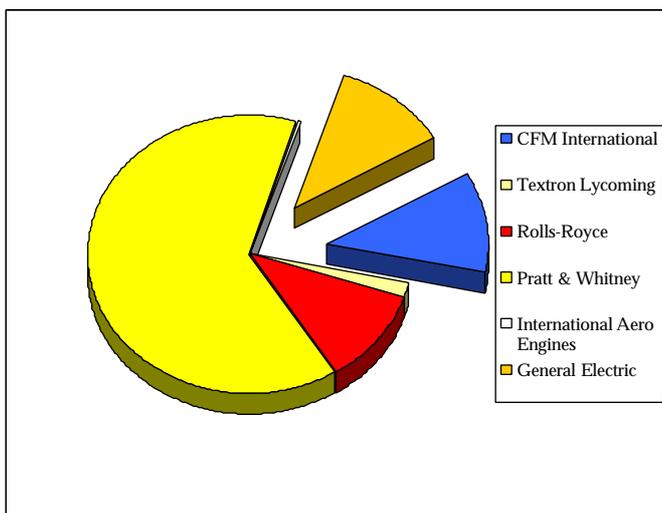
La Famat possède une usine à Saint-Etienne et Eram à Bobigny.

L'usine FN Moteurs est située à Milmort en Belgique.

Les revenus des ventes des moteurs civils (66 %) sont plus importants que ceux des moteurs militaires (34 %), phénomène qui se généralise dans l'ensemble du secteur aérospatial français<sup>3</sup> européen et mondial. Ceci a une incidence très nette et très positive sur la balance du commerce extérieur de la France, largement excédentaire avec 12 milliards de francs en 1986. L'industrie aéronautique génère 25 % de cet excédant en 1985 et près de 40 % en 1988.

Le marché civil pèse plus lourd que le marché militaire aussi chez Rolls-Royce (69 %), la même tendance étant observée plus faiblement aux Etats-Unis chez General Electric (51 %) et Pratt & Whitney (53 %).

développée comme chez Hispano-Suiza (inverseurs de poussée, systèmes de transmission de puissance, turbines industrielles, robots assurant la maintenance des centrales nucléaires) détenu à 99,9 % et Messier-Bugatti (trains d'atterrissages) détenu à 79,4 %, et Turboméca (turbines d'hélicoptères) dont les résultats financiers sont comptés séparément (tableau ci-dessous) car appartenant au groupe Labinal. Le groupe Snecma contrôle encore à 99,9 % la Famer (usines de pièces, outillage, équipements spéciaux), Eram (trains d'atterrissage), Famat (usinages de carters). La Snecma a pris des participations chez Hurel-Dubois (Meudon, inverseurs de poussée)<sup>4</sup> et au sein de la société norvégienne Norsk Jet Motor.

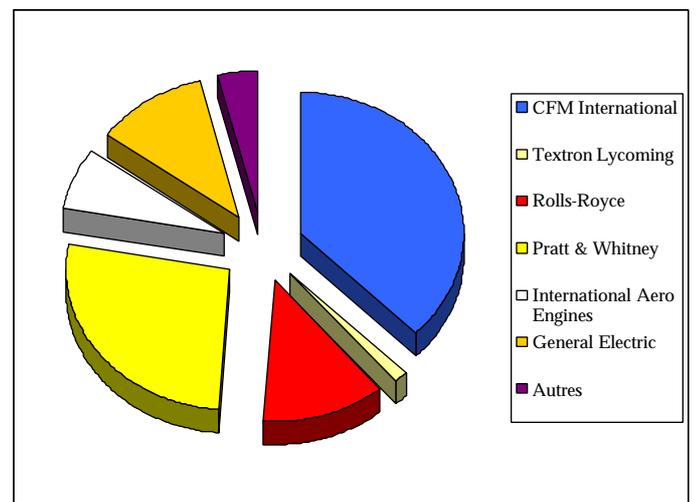


Part des motoristes mondiaux sur le marché civil, en nombre de moteurs vendus sur les avions en service, années 1986-1990.

La domination de Pratt & Whitney est colossale. General Electric et CFM International ne représentent ensemble même pas le quart des ventes en unités. (Source AvData).

La gamme des moteurs militaires comprend le 9K50, en fin de série, le M53 au début de sa carrière, le M88 au début de son développement, la gamme des moteurs civils les CF6-50, dont tout le potentiel n'a pas encore été exploité, les CFM56 (mille moteurs livrés fin 1985) et les gros CF6-80. Fin 1985, la Snecma (35 %) et General Electric (65%) ont signé un accord pour le développement d'un turboréacteur à hélices rapides (THR).

Snecma moteurs est détenu à 97,1 % par l'Etat, mais le groupe Snecma contrôle une grande partie de l'industrie aéronautique. Ces établissements et filiales disposent d'un potentiel important. A la SEP, détenue à 51,9 %, le moteur d'Ariane 4 est en développement, celui d'Ariane 3 en production. Chez Elecma, l'activité Electronique et simulateurs est très



Quand on examine en revanche les moteurs en commande (3559 avions de transport en commande pour 9962 en service sur la période 1991-1995), on voit immédiatement que CFM International, grâce aux Airbus, est en train de tout bouleverser. (Source AvData).

Motoriste	Chiffre d'affaires (millions de francs)	Effectifs
Turboméca (Labinal)	2 746	3 800
FN Moteurs (Snecma)	1 136	1 400
FIAT Avio (Fiat)	4 356	4 660
Alfa-Romeo Avio (Alenia)	1 219	1 720
MTU Munich (DASA)	5 694	7 450
BRR (BMW-Rolls-Royce)	745	950
Volvo Flygmotor (Volvo)	2 676	2 970
Norsk Jet Motor (Snecma)	425	442
Lycoming (Textron)	6 886	8 500
Garrett (Allied Signal)	2 822	3 900
Allison (General Motors)	4 509	6 950
IHI Motors (Japon)	4 809	5 500
MHI Aerospace (Japon)	14 100	15 000
KHI Aero Engines (Japon)	1 561	800

Les autres motoristes du monde, 1990. Source : GIFAS.

3. Le chiffre d'affaires de l'industrie aérospatiale française en 1985 est de 24,5 milliards de francs dont 60% à l'exportation.

4. Dans les usines du groupe Snecma en 1986, les ouvriers représentent 33% des effectifs, les techniciens autant, les cadres 14%, les employés 12% et la maîtrise 6%.

## Le moteur « UDF », 1986

Les recherches effectuées depuis vingt ans sur la technologie des moteurs, à savoir les matériaux<sup>5</sup>, l'aérodynamique, les régulateurs, la micromécanique, l'électronique, les lubrifiants, compte tenu de l'expérience acquise sur le terrain avec la famille des moteurs CFM56 permettent au milieu des années 1980 d'imaginer de nouveaux concepts de propulseurs.

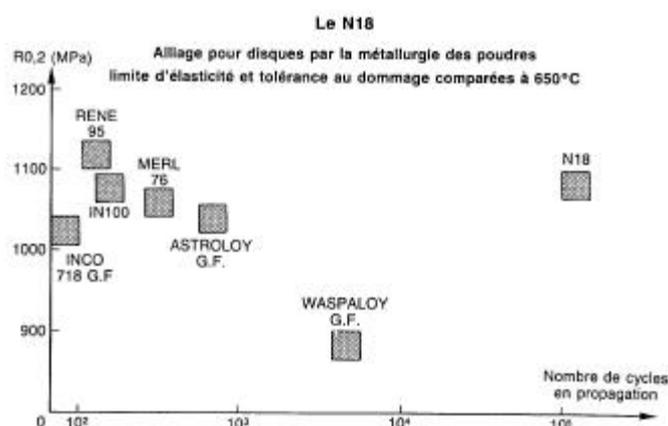
Matériaux classiques		
Matériaux	Densité	Module d'élasticité
Acier	7,74	20 000 hb
Titane	4,56	11 000 hb
Aluminium	2,70	6 890 hb
Magnésium	1,77	4 480 hb
Matériaux nouveaux (composites)		
Fibres de verre/Epoxy	1,71	4 820 hb
Kevlar 49/Epoxy	1,38	8 260 hb
Graphite/Epoxy	1,57	12 400 hb
Bore/Epoxy	1,93	22 700 hb
Bore/Aluminium	2,57	23 400 hb
BORSIC/Aluminium	2,62	23 400 hb

Les alliages nouveaux et les matériaux composites sont largement utilisés dans les soufflantes des réacteurs. (Source : ENSTA).

Les matériaux nouveaux permettent de développer des soufflantes à très grand taux de dilution, largement au-delà de 6, avec des facteurs de 30 ou 40, soit plus d'un mètre de diamètre, ce qui donne chez General Electric et Snecma le turboréacteur à hélices rapides (THR) ou *un-ducted-fan* (UDF), le 578-DX chez Pratt & Whitney - Allison, le CRISP et l'ADP chez Pratt & Whitney et MTU, le *Contrafan* chez Rolls-Royce. Ces réacteurs possèdent une soufflante non carénée constituée le plus souvent de deux hélices contrarotatives de grand diamètre, possédant un taux de dilution record, donc offrant une consommation record. Car pour les compagnies aériennes, le poste carburant en 1986 pèse deux à trois fois plus que le poste coût d'acquisition. Les matériaux nouveaux ne permettent pas seulement de diminuer la consommation, ils permettent de diminuer le poids des moteurs, d'augmenter leur longévité, de diminuer le nombre de pièces détachées sur le moteur, de simplifier la maintenance, et par suite de réduire les coûts de service.

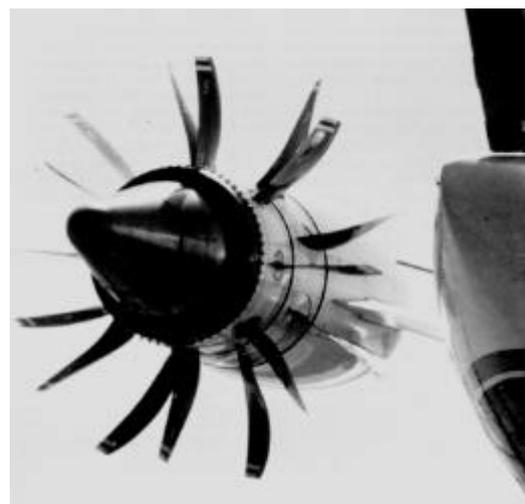
5. Citons en vrac les alliages d'acier à base de nickel et de chrome, l'Inconel découvert dans les années 1950, le Nimonic 80 A et l'Udimet 700 découverts dans les années 1960 utilisés dans le CFM56, les alliages de titane utilisés sur le M53, les alliages d'aluminium et de magnésium des réacteurs Atar, les matériaux composites (fibres) comme le Kevlar-époxy, les fibres de Bore-époxy, le Borsic, etc, découverts dans les années 1970, le N18 né de la métallurgie des poudres (céramiques) découvertes dans les années 1980.

« Le résultat est le N18 qui présente aujourd'hui à 650°C, température correspondant à des taux de compression supérieurs à 40, des propriétés mécaniques remarquables notamment en tolérance sur dommage. Sur la figure jointe, on constate que le nombre de cycles à rupture, à partir d'un défaut de référence, est supérieur d'un ordre de grandeur à ceux obtenus avec des alliages existants qu'ils soient élaborés conventionnellement ou par la métallurgie des poudres. »



Résistance du N18 comparée aux autres matériaux. (Source : Snecma).

« Le premier moteur à en bénéficier est évidemment le M88. L'application civile étudiée est bien évidemment le compresseur haute pression du THR dont la Snecma a la responsabilité de développement, car sur ce dernier, le taux de compression global atteint 42 en fin de montée. »<sup>6</sup>

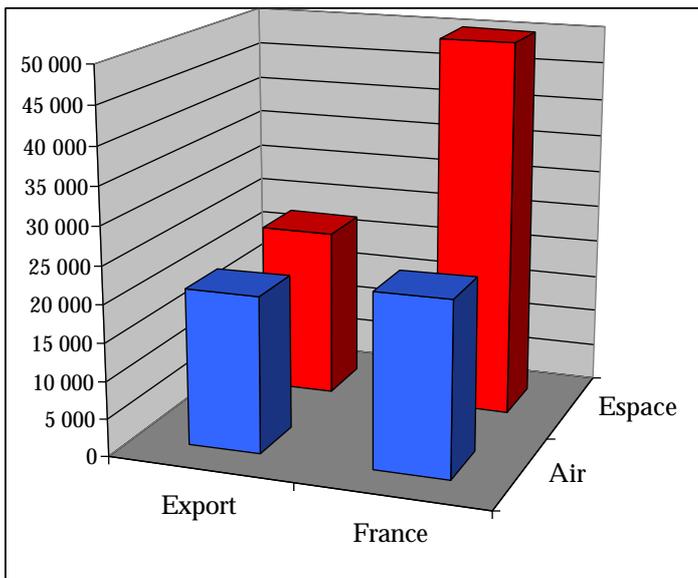


Le réacteur THR de la Snecma, une idée novatrice rejetée par les compagnies aériennes : trop dangereux au sol, il ferait fuir les clients !

6. Allocution de Pascal Sénéchal, directeur de la technologie à la Direction déléguée technique et production de la Snecma à Paris, 25 avril 1989, Congrès sur la construction aéronautique et le transport aérien à l'aube du XXIe siècle organisé par l'IHCC et le CHAE.

## Le moteur « Viking » d'Ariane 4, 1987

En 1987, les ventes militaires et spatiales cumulées (avions de combat, fusée « Ariane ») pèsent deux fois plus lourd en terme de chiffre d'affaires que les ventes de matériel aéronautique civil (hélicoptères, avions de transport « Airbus ») sur le marché intérieur, mais sont de même poids à l'exportation, 20 à 25 milliards de francs par an. La prévision des analystes du GIFAS est que les ventes de matériels civils dépassent en 1987 sur ce marché les ventes de matériels militaires.



Chiffres d'affaires des industries françaises aérospatiales décomposé en marché intérieur/exportations et civil/militaire. (Source : GIFAS).

En 1986, les industries aérospatiales françaises ont réalisé un chiffre d'affaires de 123 milliards de francs, 76 milliards (marché national) et 47 milliards à l'exportation. Ces chiffres de ventes, en forte augmentation entre 1980 et 1983, croissent encore depuis 1984. Le tableau ci-dessus montre l'importance du marché national militaro-spatial.

Les bons résultats enregistrés par les industriels français sont dus aux ventes des avions « Airbus » croissantes d'année en année et qui jouent maintenant un rôle extrêmement favorable en matière de balance du commerce extérieur de la France. Les commandes enregistrées en 1987 (livraisons dans 3-4 ans) laissent présager que la part civile devrait peser 60 à 70 % du chiffre d'affaires global de l'industrie aérospatiale française dans les années 1990. C'est une révolution : on est passé du tout militaire (80 % en 1970) au majoritairement civil en moins de dix ans, et elle cette révolution est due aux avions de ligne « Airbus » et aux moteurs CFM56 qui les équipent (graphique page 2).

Les analystes notent encore que les brillants résultats financiers des industriels français viennent du spatial civil (fusée « Ariane ») plus que du militaire (missiles, avions de combat, équipements). Le même constat est fait partout en Europe : depuis le début des années 1980 les coopérations européennes (lanceurs « Ariane », gros porteurs « Airbus ») font vivre les industries aérospatiales européennes, plus que les programmes nationaux. Quand s'engagent les pourparlers sur le financement des coûteux lanceurs Ariane 4 en 1981 et Ariane 5 en 1988, il n'y a aucune opposition.



Moteur « Viking » des deux premiers étages de la fusée Ariane 4 et des PAL (boosters) d'Ariane 42L, 44L et 44LP, à gauche, et moteur HM7-B du troisième étage, à droite. (Sneema Moteurs).



Explosion de la navette américaine Challenger, le 28 janvier 1986. (NASA).



*Le premier tir d'une fusée Ariane 4 a lieu le 15 juin 1988.*

Impliquée dès les débuts de l'espace français avec les propulseurs de la fusée Diamant, la Snecma participe au programme Ariane dès le début. Le département Snecma propulseurs en 1987 est responsable sur le programme Ariane 4 de la fourniture des moteurs des trois étages, le « Viking » qui propulse les deux premiers étages et le moteur « HM7-B » (abréviation de hydrogène moteur de 7 tonnes) qui propulse le troisième étage d'Ariane 4. En outre, Snecma Moteurs (ex SEP) développe le « Vulcain » d'environ 100 tonnes de poussée, destiné à la future Ariane 5.

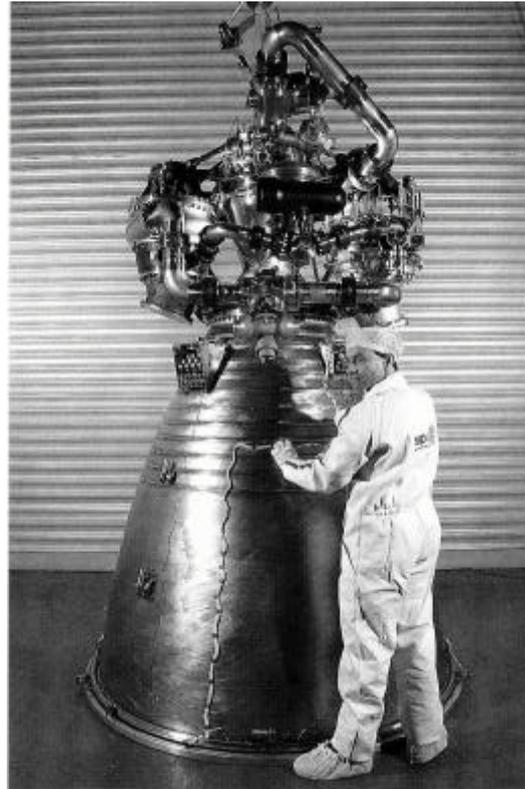
Outre ses boosters (Propulseurs d'appoint) à poudre (PAP) ou à ergols liquides (PAL), le 1<sup>er</sup> étage d'Ariane 4 comprend quatre moteurs « Viking » 5 (version C) de 82 tonnes de poussée, le second étage utilise pour sa propulsion un moteur « Viking » 4 de 77 tonnes de poussée. Le moteur « Viking » 6 anime le propulseur d'appoint à liquide (PAL).

Le « Viking » a été créé initialement par la SEP en 1973 et qualifié en 1979 pour les premières versions d'Ariane. Il développait alors 40 tonnes de poussée.

Créé par la SEP pour Ariane 1, le moteur « HM-7 » fonctionne à l'oxygène et l'hydrogène liquides, contrairement au

« Viking » qui brûle des ergols chimiques (peroxyde d'azote et hydrazine).

Autre création de la SEP (étude commencée en 1984), développé depuis 1988 par Snecma Moteurs propulseurs liquides, le « Vulcain » doit assurer la propulsion du second étage d'Ariane 5. La poussée d'une centaine de tonnes est obtenue par un débit de gaz de 250 kg/s à haute pression (110 bars) des ergols à la température de 3500°K au niveau de la chambre de combustion, laquelle nécessite une sidérurgie spéciale, technologie que maîtrise la société nationale.



*Moteur Snecma « Vulcain » visible aujourd'hui au musée des sciences de la Villette à Paris. Les premiers essais de mise à feu eurent lieu en 1990. (Snecma Moteurs).*

Le « Vulcain » est alimenté en hydrogène liquide et oxygène liquide par deux turbopompes, l'une tournant à 33 000 tours (hydrogène) et développant la puissance extraordinaire de 12 mégawatts, l'autre à 13 000 tours (oxygène) développe 3,7 mégawatts. Ces deux pièces de mécanique sont évidemment des prouesses technologiques.

Les moteurs des boosters à poudre PAP sont développés par Snecma Moteurs propulseurs à poudre et alimentés par un carburant solide produit par la SNPE, une retombée technologique de l'étude et la fabrication des missiles balistiques militaires SSBS et MSBS de la force de frappe nucléaire nationale.

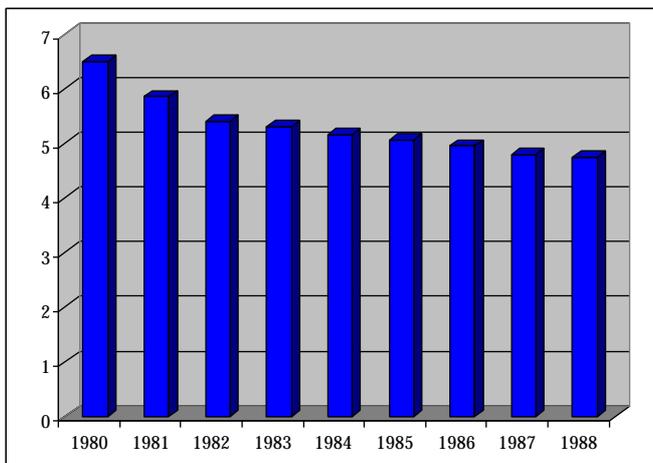
## La gamme des avions « Airbus », 1988

Les années 1980 sont marquées en matière de transport aérien par la guerre des tarifs due à la déréglementation, la saturation des aéroports due à la baisse du prix du billet, à l'extension du trafic, et sont marquées aussi par des accidents spectaculaires et dramatiques longuement relatés par la presse. Enfin, et on n'en parle jamais, par des progrès techniques importants.

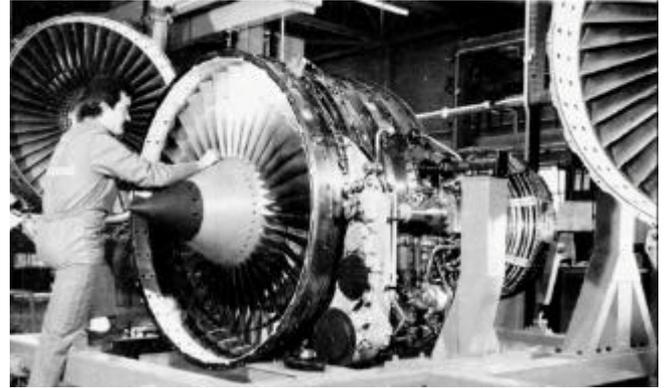
Ligne aérienne	Distance	Prix au Km
Paris - Nantes	346 Km	1,73 F
Paris - Londres	345 Km	2,73 F
Paris - Genève	394 Km	2,91 F
Paris - Quimper	491 Km	1,57 F
Paris - Bordeaux	494 Km	1,24 F
Paris - Francfort - Munich	1 151 Km	1,41 F
Francfort - Munich	300 Km	2,48 F
Paris - Stuttgart	501 Km	2,48 F
Paris - New-York	5 829 Km	0,73 F
Paris - Quito	9 344 Km	0,93 F
Paris - La Réunion	9 352 Km	0,71 F

*Les tarifs dépendent de plusieurs paramètres, fréquentation de la ligne, taux de remplissage de l'avion, prix des carburants, concurrence, etc. Ce tableau d'Air France met en évidence les disparités des prix.*

La guerre des tarifs commencée dans les années 1970 a conduit à calculer le prix du siège passager au plus juste, ce qui a donné les gros porteurs et une extension d'un marché de seconde main (Charters). Les machines sont maintenant sollicitées huit, dix, douze heures par jour ; l'aspect « économique » supplante l'aspect « respect des horaires », ce qui irrite le monde des affaires, lequel se tourne vers des avions spécifiques (Falcon). Les compagnies européennes qui manquent de pilotes qualifiés commencent à se regrouper (groupes ATLAS, KSSU). Marché unique, libre concurrence, voilà l'avenir du transport aérien en Europe.

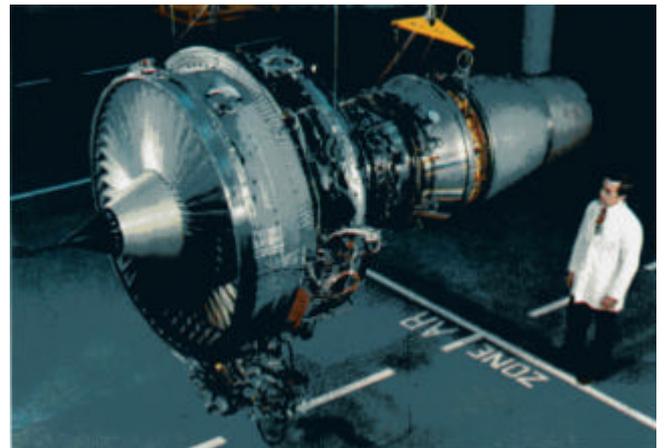


*Consommation de carburant par moteur, en litres par passager sur une distance de 100 Km. (Source : Air Inter).*



*Le CFM56-3 (dix tonnes), équipement standard du Boeing 737-300/400/500 en 1988. (Snecma Moteurs).*

Il existe environ 2 500 avions de ligne dans le monde ; la moitié vole chaque jour. Avec trois grandes compagnies (Air France, Air Inter, UAT), la France possède un sixième du parc mondial (16 %). En Europe, les grands aéroports internationaux, Londres, Paris, New-York, sont saturés. Londres compte en 1988 trois aéroports internationaux (Heathrow, Gatwick et Stansted) dont le nombre de pistes peut être augmenté, mais Paris (Orly, Roissy) ne peut en faire autant, pas plus que Rome et beaucoup d'autres villes du vieux continent. La charge de travail des contrôleurs aériens, devenue écrasante, constitue un point d'achoppement. Quand ils se mettent en grève, c'est tout le trafic aérien qui est paralysé.



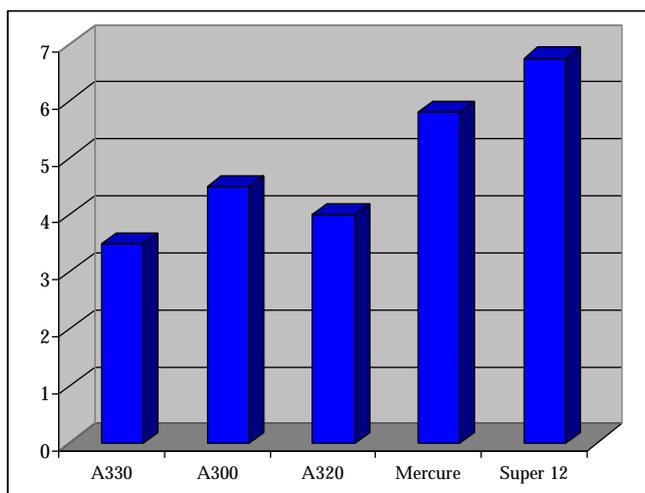
*CFM56-5A, premier moteur certifié ETOPS. (Snecma Moteurs).*

Chaque année, la presse fait écho de dé-tournements, d'attentats, d'accidents de plus en plus meurtriers. Le 27 août 1987, c'est un MD-80 des *Norwest Airlines* australiennes qui se brise au décollage à Detroit : 154 morts. En 1988, un Boeing 737 d'une grande compagnie se désagrège partiellement en vol ; les passagers sont projetés dans le vide, son équipage

de deux pilotes (dont une femme) réussit cependant à poser la machine ouverte son un bon tiers de son fuselage. Peu après, un 747 appartenant à l'une des deux plus grandes compagnies américaines se déchire en deux à l'aplomb du pont supérieur, les passagers étant aspirés à l'extérieur par la dépressurisation. Le 26 juin, un A320 d'Air France s'écrase près de Mulhouse, causant la mort de trois personnes.

Appareils	Nombre	
	Air France	Air Inter
Concorde	7	-
<b>Supersonique</b>	<b>7</b>	<b>-</b>
Boeing 747	27	-
Boeing 727	33	0
Boeing 737	19	0
Boeing 747 cargo	8	-
<b>TOTAL Boeing</b>	<b>87</b>	<b>0</b>
Airbus A300B	17	19
Airbus A310	14	0
Airbus A320	4	8
<b>TOTAL Airbus</b>	<b>35</b>	<b>27</b>
Mercure	0	11
Caravelle Super 12	0	12
<b>TOTAL Aérospatiale</b>	<b>0</b>	<b>23</b>

Flotte d'Air France et d'Air Inter à fin 1988. (Source : Air France).



Consommation spécifique (en litres par passager sur une distance de 100 Km) des appareils en service chez Air Inter en 1988. Une Caravelle (Super 12) consomme deux fois plus qu'un A330.

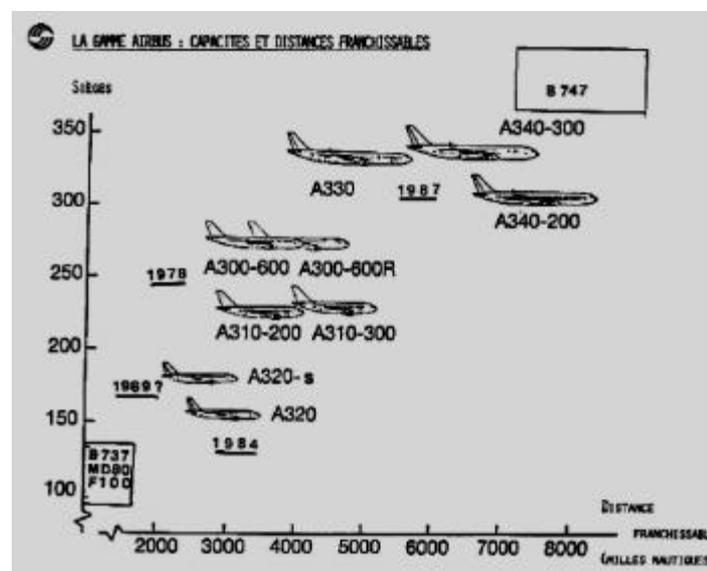
En 1988, la compagnie Air France, grâce à une flotte de 110 appareils, a transporté 14,8 millions de passagers et 636 100 tonnes de fret sur des dizaines de millions de kilomètres, avec un taux de remplissage moyen de plus de 70 %. Son chiffre d'affaires pour 1988 s'établit à 31,2 milliards de francs. 20 % des recettes proviennent du fret. Pour justifier ses achats d'avions Boeing (43 machines contre 33 Airbus), Air France rappelle que le coût au siège d'un A310 (ou d'un Boeing 767) est 15 à 20 % plus cher que sur un Boeing 747 combi ou passagers. Air France est aussi le 1<sup>er</sup> exporta-

teur français de services, la 2e compagnie dans le monde par le nombre de passagers transportés sur les liaisons internationales, la 3e compagnie mondiale par le tonnage du fret transporté sur les liaisons internationales.

Appareils	Achats	Intentions	Options
Boeing 747-400	16		12
Boeing 747-200 cargo	1	2	
Boeing 737-500		12	
<b>TOTAL Boeing</b>		<b>43</b>	
Airbus A320	22		25
Airbus A340		7	4
Airbus A320	4		
<b>TOTAL Airbus</b>			<b>62</b>

Flotte d'Air France, commandes en cours, 1988. (Source : Air France).

Pour sa part, Air Inter a transporté 13,75 millions de passagers en 1988, se situant en matière de productivité au cinquième rang en Europe. La société annonce que cette productivité a été obtenue par le remplacement des « Fokker » 27 et des « Caravelle » III par des « Airbus » A300. Sa flotte fin 1988 comprend 50 appareils, dix-neuf A300 (314 sièges), douze Caravelle Super 12 (131 sièges), onze Mercure (156 sièges) et huit A320 (172 sièges). La compagnie ne cache pas qu'elle désire acquérir des Airbus à moteurs CFM56, en raison de l'importante diminution de consommation de carburant.



La gamme des avions Airbus en 1988. (Source : Airbus Industries).

Sur dix ans, l'accroissement du trafic en passagers au kilomètre enregistrée par Air Inter a été de + 179 % contre + 109 % au trafic intérieur aux Etats-Unis, + 73 % en Europe et + 22 % par la SNCF sur les grandes lignes. En 1983, le trafic intérieur (Air Inter et Air France) a été de 12 millions de passagers en France, 9,2 en Espagne, 6,9 en Grande-Bretagne et seulement 5,4 en R.F.A.

Appareil	Moteurs possibles	Sièges	Km/h	Rayon d'action maxi
Dornier Do-228/328	2 Garrett AiResearch TPE 331	30	650	1 100 Km
De Havilland Canada Dash 7	2 PW Canada 120 de 1800 ch	50-54	400	1 300 Km
ATR-42	2 PW Canada 120 de 1800 ch	46-54	515	1 760 Km
ATR-72	2 PW Canada 120 de 1800 ch	66-74	520	1 800 Km
Embraer-120 Brasilia	2 PW Canada 115	24-30	550	1 800 Km
De Havilland Canada Dash 8	2 PW Canada 120 de 2000 ch	36-56	520	2 000 Km
Saab Fairchild SF-340	2 GE CT7-5A de 1700 ch	35	500	2 000 Km
Embraer-145	2 RR AE 3007A/3007 A1	50	850	2 400 Km
Fokker 100	2 RR Tay 620	107-119	850	2 500 Km
Fokker 50	2 PW Canada PW124 de 2150 ch	48-50	510	2 700 Km
British Aerospace BAé 146-200	4 Avro Lycoming ALF 502R-5	82-112	700	3 000 Km
McDonnell-Douglas MD-80	2 PW JT-8D 209	90-139	850	3 300 Km
McDonnell-Douglas MD-88	2 PW JT-8D 219	146-172	810	3 500 Km
Canadair Jet Challenger 601	2 GE CF-34 1A	48-50	860	3 600 Km
Boeing 727-200	3 PW JT-8D	100-180	850	3 700 Km
Tupolev Tu-154	3 Kuznetsov NK-82	146-172	900	3 800 Km
Boeing 737-300	2 CFM56-3 B1 2 CFM56-3 B1 (opt)	100-150	840	4 500 Km
Airbus A320	2 CFM56-5A	130-180	840	5 000 Km
Concorde	RR-Snecma Olympus 593	90-114	Mach 2,2	6 500 Km
Airbus A300-600	2 PW JT-9D 7R4H1 2 GE CF6-80 C2	266-360	860	7 500 Km
Boeing 757-200	2 PW JT-9D 7R4G2 2 GE CF6-50 E2 2 RR RB 211 524D4	155-224	800	7 600 Km
McDonnell Douglas DC-10	3 GE CF6-80 C2	250-380	900	9 100 Km
Illyushin 86	4 Kuznetsov NK-86 de 13 000 kgp	200-350	900	9 200 Km
Airbus A310-300	2 GE CF6-80 A1 2 PW JT-9D 7R4D1	160-280	860	9 400 Km
McDonnell-Douglas MD-11	3 PW 4460/4462 3 GE CF6-80 C2	250-405	900	10 200 Km
Boeing 767-200	2 PW JT-9D 7R4D 2 GE CF6-80 C2	168-218	850	11 500 Km
Airbus A330-200	2 GE CF6-80 E1 2 PW 4000 2 RR Trent 700	310-440	900	11 800 Km
Boeing 747-100	4 PW JT-9 D7 4 GE CF6-45 A2 4 RR RB 211 524C	397-500	967	12 778 Km (avec CF6-80 C2)
Airbus A340-200	4 CFM56-5C2/C4 4 RR Trent 500	230-440	860	13 500 Km
Boeing 747-400	4 PW 4062/2037 4 RR RB 211 524 4 GE CF6-80 C2	270-550	939	13 570 Km
Boeing 747-200/300	4 PW JT-9D 7R4G2 4 GE CF6-50 E2 4 RR RB 211 524 D4	260-450	990	14 000 Km

Les appareils de transport à réaction, toutes classes, courts-courriers, moyens-courriers et longs-courriers, classés par leur rayon d'action. (Source : Jane's 1989).

En réponse aux annonces d'Airbus Industries de 1985, le PDG de Boeing passe à la contre offensive et communique par l'intermédiaire des média le montant ses gros contrats. Le 27 mars 1986, la firme de Seattle annonce que *Singapore Airlines* a passé une

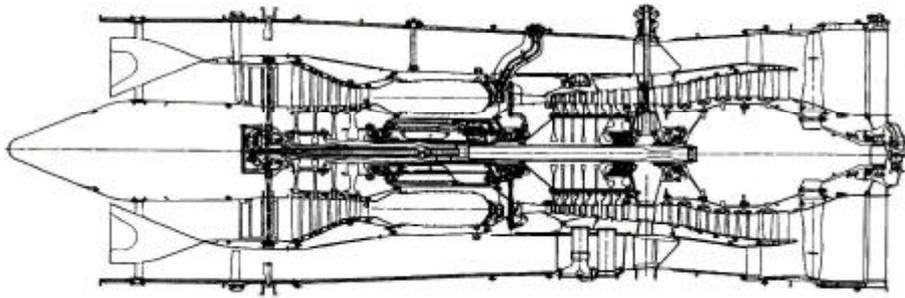
commande de 3,3 milliards de dollars. Le 15 août, on apprend par voie de presse que *British Airways* a commandé à Boeing pour 4,1 milliards de dollars de matériel. Le 18 décembre, le gouvernement de la Grande-Bretagne commande six Boeing AWACS pour une valeur de 8 milliards de dollars et abandonne son programme national « Nimrod », estimé à 6 milliards de dollars, suivi le 26 février 1987 par le gouvernement français qui achète à Boeing quatre AWACS. Le 17 mai 1988, Boeing annonce un nouveau record : *International Lease Finance* a commandé pour 4,6 milliards de dollars d'équipements à Boeing (124 avions).



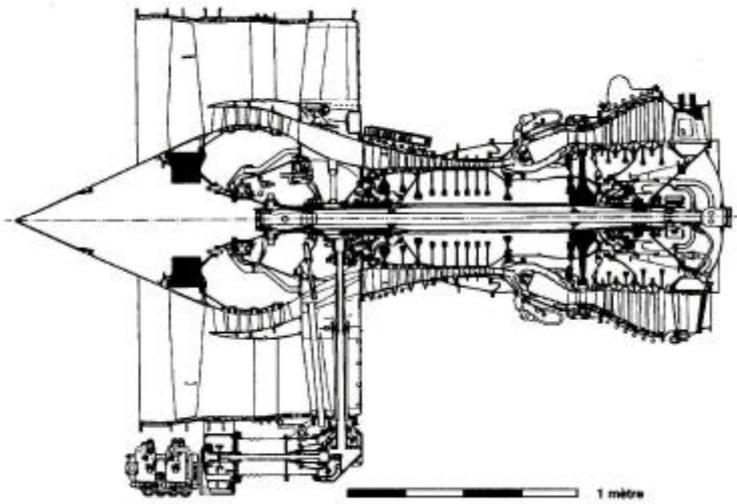
Frank Shrontz, le PDG de Boeing, 58 ans, interviewé en France.

Chez Airbus Industries règne la sérénité. Les ventes des anciens modèles progressent. Longtemps le point faible des Européens face à Boeing, la gamme est maintenant complétée par la commercialisation en 1988 de l'A310-300 (440 à 500 millions de francs l'unité), premier biréacteur à long rayon d'action, de celle de l'A300-600, vendu 550 à 600 millions de francs, successeur de l'A300B, et celle du révolutionnaire A320<sup>7</sup> vendu 280 à 350 millions de francs, un « mono couloir » dont le carnet de commande d'Airbus Industries se remplit jour après jour. Mieux, le 12 juin 1987, les gouvernements des pays concernés se sont mis d'accord pour financer le développement des longs courriers A330 et A340. Destinée à l'assemblage final des Airbus A330 et A340, la plus grande usine aéronautique d'Europe, 200 m sur 500 m est inaugurée le 10 octobre 1990 à Colomiers (Toulouse).

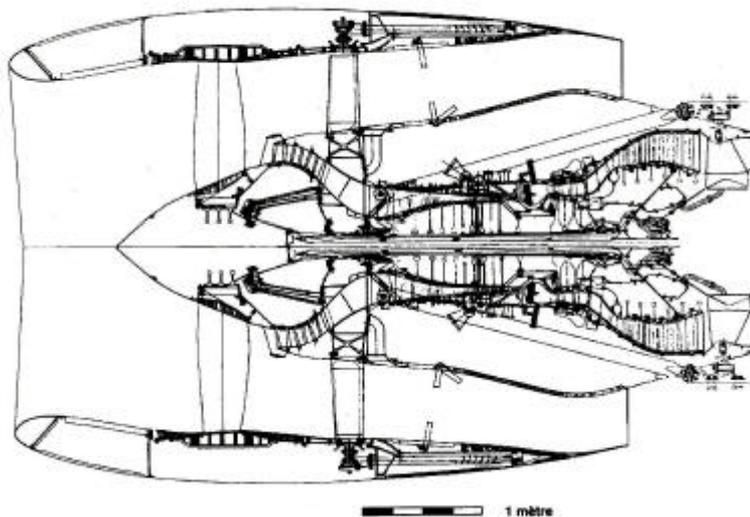
7. Le 13 février 1987 a eu lieu à Toulouse le 1er vol de l'Airbus A-320 (deux réacteurs CFM-56).



*Turboréacteur double corps double flux mélangé Pratt & Whitney JT8D-200 de 82 à 93 kN. Au 1<sup>er</sup> juin 1991, 2120 unités avaient été livrés. (Source : Snecma).*



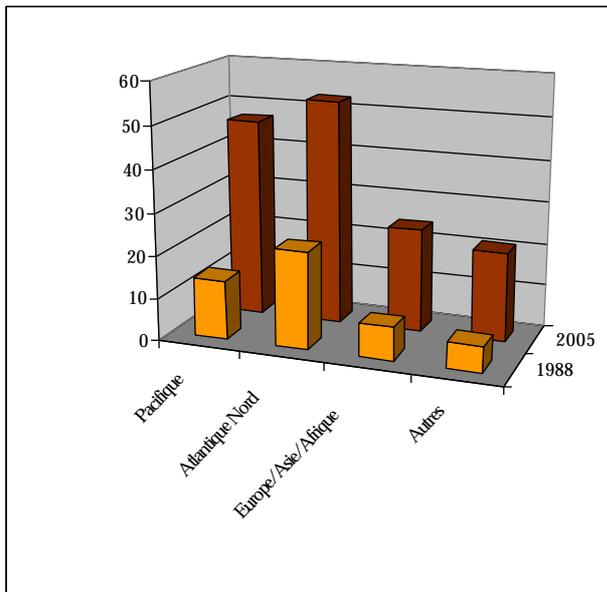
*Turboréacteur double corps double flux CFM56-5A de 111 kN de poussée. 477 unités étaient livrées au 31 décembre 1991. (Source : Snecma).*



*Turboréacteur double corps double flux GE90 de 340-420 kN. Lancement en cours, 1<sup>ère</sup> rotation prévue pour fin décembre 1992. (Source : Snecma).*

## Le moteur de l'ATSF, 1989

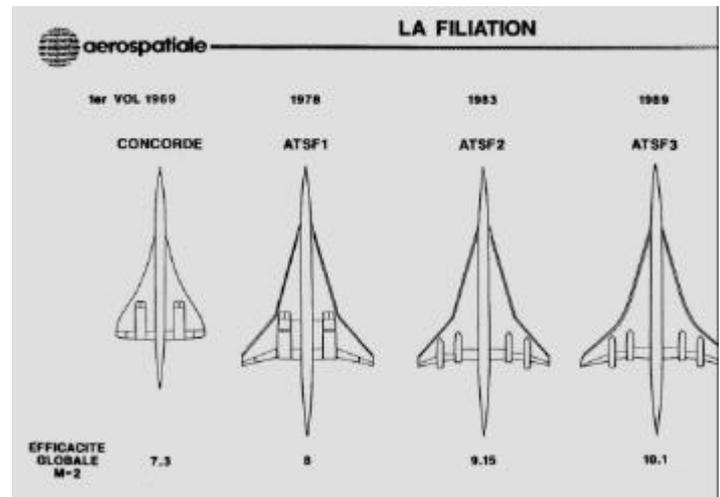
Dans les années 1980, pour les moteurs comme pour les cellules, les matériaux nouveaux ont apporté une véritable révolution au niveau des appareils subsoniques gros porteurs, au point de relancer des projets qu'on pensait irréalisables. C'est ainsi que l'Aérospatiale et la Snecma sont sollicitées pour étudier ensemble un successeur à Concorde. Baptisé « avion de transport supersonique futur » (ATSF), la machine devra transporter environ 200 passagers sur des étapes de 10 000 kilomètres à la vitesse de croisière de l'ordre de Mach 2 à Mach 2,4. L'étude de l'avion s'appuie sur une étude de marché réalisée en 1988 (ci-dessous).



Evolution du trafic long courrier 1988-2005. (Source : Aérospatiale).

L'étude montre que le trafic long courrier a doublé en quinze ans, et qu'il devrait au moins doubler entre 1988 et 2005, pour atteindre 50 millions de passagers par an vers chaque continent. Les passagers veulent des vols directs entre continents : ces vols long courrier sont passés de 331 liaisons en 1975 à 683 lignes régulières en 1988. Sur ces longs vols, le supersonique est un atout. Les études montrent que le nombre d'avions qu'on pourrait vendre atteint 300 à 600 unités<sup>8</sup>. La principale difficulté concerne les propulseurs.

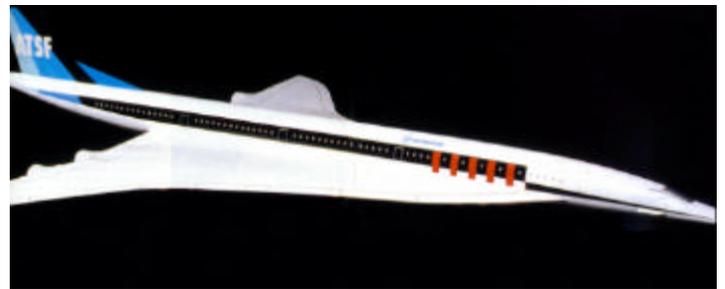
8. Allocation de Jean Marquize-Pouez, chef du département avant-projets et recherche de la division avions de Aérospatiale au cours du colloque « La construction aéronautique et la transport aérien à l'aube du XXI<sup>e</sup> siècle », IHCC/CHAE, p.65.



Les différentes études sur l'ATSF (1879-1989) sont des optimisations et extrapolations basées sur l'expérience industrielle du Concorde. (Source : Aérospatiale).

PDG de la Snecma depuis 1987, le général Bernard Capillon (1929-1993), au début de l'année 1989 commente les excellents résultats commerciaux de l'année passée : un carnet de commandes qui a augmenté de 109%, un chiffre d'affaires pour la seule maison mère de plus de dix milliards de francs, en augmentation de 7,5% par rapport à 1987. La société nationale a maintenant les moyens de ses ambitions.

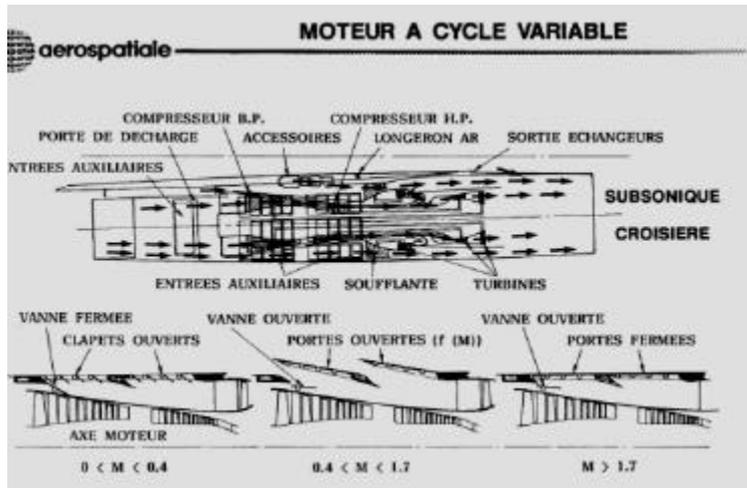
Au Salon du Bourget 1989, Snecma et Rolls-Royce, qui ont accumulé 350 000 heures de vols commerciaux avec « Concorde », font savoir publiquement qu'ils sont prêts à développer un successeur à l'Olympus 593. Ces deux industriels sont plus crédibles que les Allemands (projet Sänger) et les Américains (projet HSCT<sup>9</sup>) qui n'ont aucune expérience du supersonique.



Le projet ATSF-3, maquette Aérospatiale, 1990.

9. Porté par la NASA, alors en pleine dégringolade après l'abandon de nombreux programmes spatiaux, agitée par des remous politiques à sa tête, le projet High Speed Commercial Transport (HSCT) devait s'étendre de 1990 (études) à 2014 (premier vol du prototype). Les deux motoristes américains, General Electric et Pratt & Whitney « requis » (on ne leur a pas demandé leur avis), se sont cependant mis d'accord fin 1990 pour étudier des solutions viables.

A la fin de l'année 1989, les deux motoristes signent un accord de coopération pour deux ans qui couvre l'étude des moteurs de l'ATSF, étudié par Aérospatiale en France (projet ATSF) et par British Aerospace (projet AST) en Grande-Bretagne. En avril 1990, ces derniers signent à leur tour un accord de coopération sur la cellule. Les motoristes sont évidemment au premier plan : la validité du projet repose sur la qualité du moteur.



*Moteur Snecma MCV99 proposé pour propulser l'ATSF-3, 1990.*

Plusieurs études sont menées (page 9). Le projet ATSF-3 s'appuie sur une version « modernisée » de l'Olympus 593. Si la vitesse de croisière est limitée à Mach 2,0 le nombre des passagers à 200 et la distance franchissable à 10 000 km, le projet est réalisable à condition de diminuer la consommation des moteurs de 20%, leur masse de 30%, leur niveau de bruit de 40%.



*Projet AST de British Aerospace, 1990.*

Autre projet européen, plus ambitieux, l'AST - vitesse de croisière de Mach 2,4, 280 passagers et 12 000 km franchissable - nécessite un nouveau réacteur, un double flux plus efficace en vol subsonique, un moteur simple flux à cycle variable (MCV) ou encore une solution hybride turboréacteur et statoréacteur. Le double flux a les faveurs de Rolls-Royce qui démontre qu'entre Mach 2 et Mach

2,5, la température de surface des entrées d'air n'augmente que de 20%, alors que la Snecma étudie un moteur à cycle variable, le MCV99.

En raison de ses bonnes performances supersoniques (potentiellement 85% du temps de vol entre deux continents) les ingénieurs de la Snecma sur le MCV99 proposent un turboréacteur à simple flux doté d'une soufflante auxiliaire, un compresseur basse pression logé entre le compresseur et la chambre de combustion et chargé d'augmenter par deux le débit d'air sans augmenter la vitesse d'éjection des gaz, source du bruit des moteurs.

Alimenté par des entrées d'air à géométrie variable ouvertes au décollage et pendant le vol subsonique, le réacteur ne possède pas l'imposant diamètre des double flux et garde une traînée supersonique acceptable. Le meilleur cycle est caractérisé par un fort taux de dilution, un taux de compression et une température entrée turbine élevés, autant de paramètres qui entament la longévité mécanique du moteur, tuent la rentabilité et le coût d'exploitation de l'avion (maintenances répétées).

Dans tous les cas, pour que le futur avion de transport supersonique réalise son devis de poids, le moteur doit gagner 30% en masse, 40% en bruit, 80% en longévité par rapport à l'Olympus 593, ce qui semble néanmoins possible aux deux motoristes, mais après des années d'efforts, estimées en 1990 à quinze ans, donc beaucoup d'investissements et de « constance politique » dans le financement du projet. En supposant que tous les problèmes soient résolus, le successeur de « Concorde » ne volerait au mieux que vers 2005 ou 2010.

L'étude franco-anglaise du futur supersonique ne prévoit pas la participation de l'industrie allemande, pourtant la plus puissante en Europe à cette époque (1990-2000), ni celle des Russes, encore capables de prouesses techniques (pourtant intéressés par la machine), pas plus qu'elle ne prévoit qu'un grand pays acheteur (le Japon ou la Chine, par exemple) n'oblige la construction de tout ou partie de l'avion sur son sol, comme ce fut le cas pour le TGV français en Corée, décision fatale à son industriel, Alstom. Or, le financement d'un tel projet, estimé à 1 200 milliards de francs, nécessite une forte participation internationale, l'ombre de l'échec commercial du « Concorde » planant encore sur le projet du futur supersonique.

Dernière contrainte, les très lourdes infrastructures réalisées simultanément en Europe et aux Etats-Unis en matière de distribution de kérosène (par des pipe-lines dans le sol) interdit d'utiliser un autre carburant que celui distribué commercialement.

## Le moteur GE90, 1990

Au début des années 1980, la Nasa a mis en place et financé un programme d'étude de réacteur géant destiné aux avions gros porteurs du futur. Baptisé *Energy Efficient Engine*, ce programme a donné naissance en 1990 au réacteur General Electric GE90, concurrent du Rolls-Royce « Trent » et du PW4000 de Pratt & Whitney, les deux réacteurs les plus puissants du marché.

Développer une nouvelle technologie d'un réacteur est long et coûteux, c'est pourquoi la Nasa et General Electric (et ses nombreux partenaires, dont la Snecma) ont financé conjointement cette étude. L'idée est que la vente des avions de ligne se fait par des versions équipées de moteurs toujours plus puissants. Le développement d'un moteur n'avait jamais réuni autant de coopérateurs : Snecma, le plus important, participe à hauteur de 25%, Fiat (10%), MTU (8%) et Ishikawajima Heavy Industry (5%) n'ayant que des composants mineurs à produire, GE prenant à sa charge le reste des coûts après le retrait de Volvo.



Présentation du GE90 au Salon de Paris 1991. (General Electric).

Le GE90 est plus puissant de dix tonnes que le « Trent », alors le plus puissant réacteur du marché (30 tonnes). Son diamètre externe est phénoménal (3,12 m), son taux de dilution record (9 à 1) lui garantissant une consommation minimale (moins 9%). Le compresseur comporte dix étages. Un taux de compression record de 23 à 1 a été atteint, avec un rendement thermique de 86% sur plus de cent heures de test. Les chambres de combustion sont nouvelles, à doubles cônes imbriqués entièrement pilotées par électronique, allumées selon la puissance à délivrer. L'avantage de cette solution est la réduction des émissions polluantes, de l'ordre de 30% par rapport au CF6-80 C2.

La turbine haute pression est réalisée avec des aubes dites monocristallines obtenues par des procédés industriels utilisés pour les réacteurs militaires, une technologie que maîtrise bien la Snecma. La fabrication fait appel largement aux matériaux composites. La soufflante qui comprend 22 larges aubes est réalisée en carbone/epoxy, mais une soufflante en titane constitue une alternative en cas de problème aux essais de certification, prévue pour l'été 1992.



Le GE90, un nouveau standard de l'industrie des moteurs civils.

Pour réaliser les parties chaudes, la Snecma à Gennevilliers doit installer une forge spéciale afin de produire des aubes de très grande dimension (1,50 m). Quoique disposant de 24 bancs d'essais à Melun-Villaroche, aucun ne convient à ce moteur géant et il faut réaliser de nouveaux moyens de test.

Le moteur qui doit être vendu 60 millions de francs l'unité, adresse un marché estimé entre 1990 et 2010 à plus de 6000 exemplaires. General Electric et Snecma espèrent emporter de 30 à 100 % de ce marché, évalué en 1990 à 50 milliards de dollars sur la période. Le GE90 se place sur le créneau des opérations ETOPS, où se situent l'Airbus A330, le Boeing 777, le Lockheed MD-11, des bimoteurs à long rayon d'action, mais il vise aussi le marché des gros quadriréacteurs Boeing 747 dont les versions successives rendent une machine vieille de 25 ans encore très attractive commercialement.

La Snecma est responsable de la conception et de la fabrication de plusieurs modules, l'ensemble des compresseurs des dix étages, du système de régulation électronique FADEC, de la soufflante et de l'inverseur de poussée.

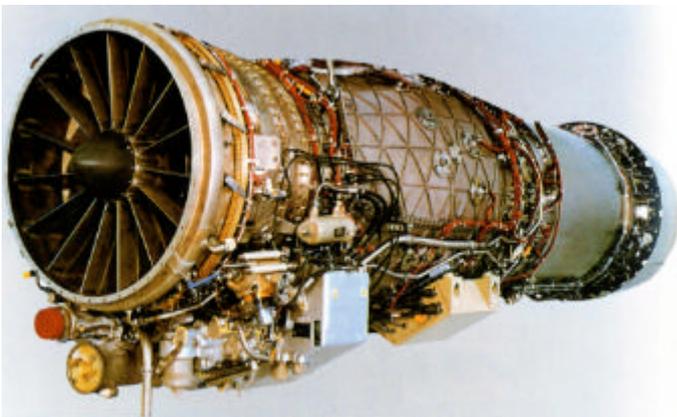
## Le moteur du « Rafale », 1991

La décision ayant été prise par un comité interministériel le 26 janvier 1988 de lancer le programme « Rafale », Dassault, la Snecma et les industriels concernés sont passés en phase de réalisation des matériels de présérie (qualification) en 1988. Un groupement d'intérêt économique baptisé ACE (Avion de Combat Européen) a été précédemment créé par Dassault Aviation, Snecma, Thomson-CSF (radar) et Dassault Electronique.



*Premier vol du démonstrateur « Rafale » A avec un réacteur Snecma M88 a eu lieu le 27 février 1990. (Dassault Aviation).*

Les essais au banc du réacteur définitif Snecma M88-2 commencent le 27 février 1989. Un an plus tard débutent les essais en vol sur le « Rafale » A (démonstrateur). Le 29 octobre 1990 est effectuée par Guy Mitaux-Maurouard la présentation du « Rafale » C 01 (commandé le 21 avril 1988) dont le 1<sup>er</sup> vol a lieu le 19 mai 1991 à Istres, suivi le 12 décembre du vol inaugural du Rafale M 01 (version marine, commandée le 6 décembre 1988) piloté par Yves Kerhervé.



*Le moteur M88-2 dont le contrat de fabrication a été signé à la Snecma le 31 décembre 1992, après la certification. (Snecma Moteurs).*

En 1991, l'avion de combat français biréacteur Dassault « Rafale » est donc entré dans une phase de production (ou de préproduction, la nouvelle arme étant tellement sophistiquée qu'une longue formation des pilotes est prévue). Cette phase de production concerne le moteur, le Snecma M88-2, et aussi des équipements, radars, armement, systèmes.

Performances	Atar 9K50	M88-2
Poussée plein gaz avec PC	71 kN	75 kN
Rapport de pression	6,15	24,5
Température entrée turbine	1220°K	1850°K
Massé	1 582 kg	897 kg
Rapport poussée/masse	4,5	8,5
Longueur	5,94 m	3,54 m
Etages compresseur	9	9
Etages turbines	2	2

*Comparaison du M88-2 avec le meilleur Atar, le 9K50, 1991. Le M88-2 est le moteur militaire le plus performant jamais réalisé en France.*

En 1991, les budgets de l'armée de l'Air et de la marine permettent de mettre en fabrication 336 unités, soit 700 moteurs<sup>10</sup>, 250 avions en version terrestre, Rafale monoplace et biplace et 86 appareils pour la Marine nationale. Le premier M88-2 de série doit être certifié en 1995, le premier M01 de série doit être livré à la marine en 1996 (porte-avions nucléaire Charles de Gaulle), l'armée de l'Air devant être dotée du C01 en 1998.



*Le Rafale C01, en 1991, sans sa perche de ravitaillement.*

10. La qualification du M88-2 sera obtenue le 30 septembre 1992, après 500 heures de vol sur « Rafale ». Après 1992, les besoins seront révisés à la baisse et les commandes fermes, confirmées en janvier 2006, sont de 294 avions, 234 pour l'armée de l'Air et 60 pour la marine, ce qui représente sur 20 ans un marché de 5,6 milliards d'euros, valeur janvier 2006.

## La gamme des moteurs CFM56, 1992

Après 18 années d'existence et des débuts industriels difficiles (rappelons-le, aucune commande entre 1974 et 1979) avec la mévente des premiers moteurs liée à celle des « Airbus », le complexe CFM International connaît des années fastes.

Grâce aux succès des ventes des biréacteurs Boeing 737-300/500 (CFM56-3 de 10 tonnes) et 737-600/900 (CFM56-7 de 12 tonnes), et surtout aux commandes très importantes enregistrées pour l'Airbus A320 (CFM56-5A de 12 tonnes) et à la commercialisation imminente des longs courriers A330 et A340, le carnet de commande est plein.



Moteur CFM56-3 du Boeing 737-300. (CFM International).

Début 1991, CFM International a reçu des commandes pour 6 873 moteurs. Le 5 000<sup>e</sup> moteur fut livré le 28 octobre 1991. Le carnet de commande à cette date s'élève à plus de 2 000 unités. Plus satisfaisant encore, plus de 3 000 moteurs CFM56 sont en service chaque jour dans le monde sur plus de 1 000 avions. Devant ce succès, les cadences de fabrication sont portées en 1992 de 65 moteurs par mois à cent.



CFM56-5 en cours de montage à la Snecma, 1992. (Snecma moteurs).



Boeing C-135FR de la FAS, 1991.

Les premiers succès commerciaux des moteurs CFM56 remontent à 1982. Premier de la série, le CFM56-2 qui équipe le Douglas DC-8 Super 70 depuis 1982 et remotorise les Boeing 707 devenus KC-135 depuis 1984 a démontré sa valeur technique et commerciale. Premier CFM56 de plus de dix tonnes de poussée, le moteur passe les certifications FAA et DGAC en 1982. Plus de 1 800 moteurs CFM56-2 ont été vendus depuis 1982, propulsant avec succès 450 « tankers », l'US Air Force étant devenu un gros client de CFM International<sup>11</sup>.



Logo de CFM56 en haut et nouveau logo de la Snecma en bas, 1992.



Certifié FAA et DGAC en janvier 1984, le CFM56-3 dont 84% des pièces sont communes avec le CFM56-2, couvre une gamme de poussée de 9 à 11 tonnes, et connaît sur le Boeing 737-300/400/500 (dont il est le seul moteur) un destin glorieux, avec plus de 1 500 moteurs en commande, plus de 1 000 en service en 1992, démontrant une excellente fiabilité et assurant aux compagnies utilisatrices un très bon niveau de service.

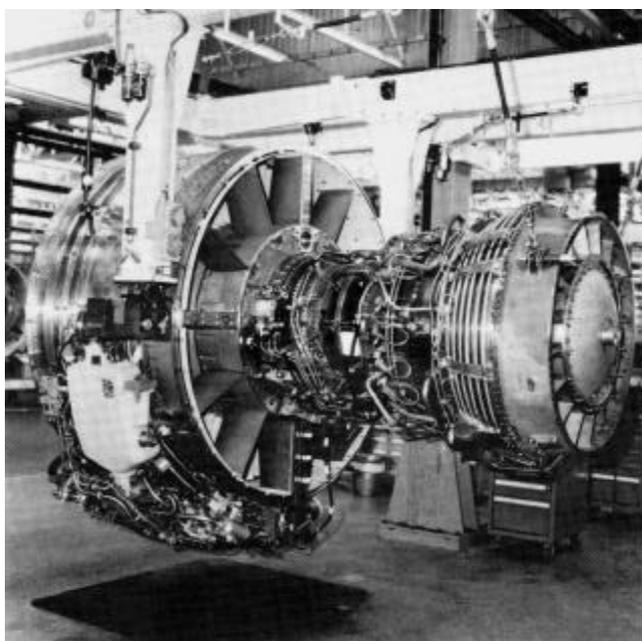
11. Parmi ses utilisateurs militaires sur KC-135, on compte l'US Air Force, l'US Navy, la Royal Air Force britannique, l'OTAN et l'armée de l'Air française.

Prévu pour motoriser l'A320, le CFM56-4 fut annoncé pour 1985, avant de céder la place au CFM56-5<sup>12</sup>.



CFM56-5A de l'A320, 1992. (CFM International).

Basé sur la technologie des matériaux nouveaux, le CFM56-5 est proposé en trois versions. Certifié en août 1987, le 5A qui propulse l'A320 semble parti pour suivre le même destin commercial que le CFM56-3, les ventes et options prises en 1992 sur l'A320 étant très bonnes. Airbus Industries songe à donner à cette gamme basse des variantes, ce qui donnera naissance plus tard aux Airbus A319 (un petit A320), commercialisé en 1996, à l'A318 (un petit A319) et A321 (un gros A320) commercialisés en 1999.



Moteur CFM56-5A en cours de montage à la Snecma, 1992. (Snecma moteurs).

12. Les lectrices de la revue Jours de France en date du 16 au 22 avril 1983 ont sans doute été surprises de lire : « Adopté pour équiper la version initiale du projet d'avion de transport court-courrier pour le transport de cent cinquante passagers A320 actuellement proposé par Airbus Industrie aux compagnies aériennes, le turboréacteur CFM 56-4 développé par General Electric et la SNECMA à partir des CFM 56-2 et 3, dont quelque sept cents exemplaires sont déjà commandés, commencera à tourner au banc dans deux ans : au début de 1985 ».

Plus puissant que le 5A, le CFM56-5B destiné originellement à l'A321 puis proposé sur toutes les grosses versions de la gamme A320 est lui aussi certifié ETOPS. Il motorisera les A318, A319 et A321. Ce moteur est le seul de la gamme CFM56-5 à posséder une chambre de combustion annulaire à double brûleurs (technologie DAC) réduisant considérablement les nuisances polluantes et le niveau de bruit du moteur. Le contrat initial de développement entre Snecma et General Electric est signé en novembre 1989, les essais commençant en octobre 1991. La certification est prévue pour mai 1993.



CFM56-5B développe jusqu'à 15 tonnes de poussée. (CFM International).

Type	Date certif.	Puissance décollage	Date fabrication	Usage
CFM56-2A	Sept 1979	11,5 t	1974-1989	Boeing E-3, E-6 (AWACS)
CFM56-2B	Juin 1982	+ 10 t	1982-1990	Boeing KC-135, RC135
CFM56-2C	Jan 1984	+ 10 t	1984-1988	DC-8-70
CFM-56-3	Jan 1984	9,5 à 11,5 t	1984-1999	Boeing 737-300/400/500
CFM56-5A	Août 1987	10,5 à 13 t	1987-1996	A319, A320 (ETOPS)
CFM56-5B	Mai 1993	10,5 à 16 t	1992-2006	A318, A319, A320, A321
CFM56-5C	Dec 1991	15 à 17 t	1991-2006	A340-200/300
CFM56-7B	Oct 1996	9,5 à 13,5 t	1993-2006	Boeing 737-600/700/800/900

Caractéristiques des moteurs CFM56 (Source : CFM International).



Atelier de montage des CFM56 à Villaroche. (Snecma moteurs).

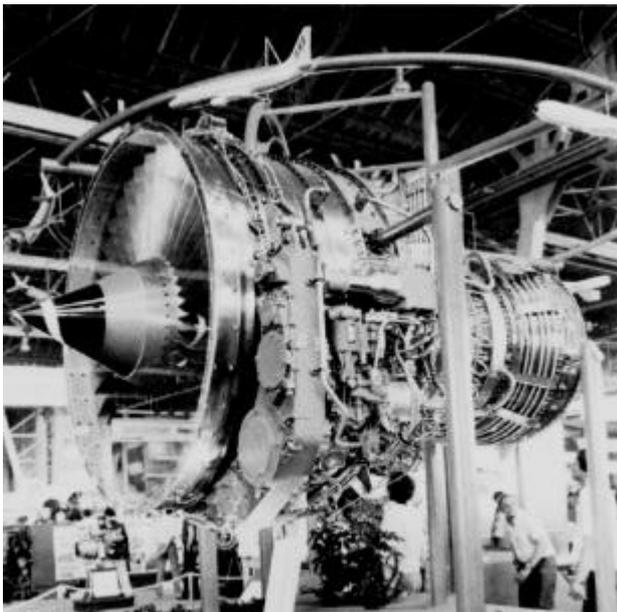
Encore plus puissant, sobre et fiable, le CFM56-5C est exclusivement destiné à la propulsion de l'A340. Le contrat de développement est signé entre General Electric et la

Snecma fin 1987. Les tests au banc commencent en décembre 1989. Le premier essai en vol sur un Boeing 707 a lieu aux Etats-Unis en août 1990. La certification à 15 tonnes de poussée est obtenue en décembre 1991. Par la suite, le moteur sera certifié à 17 tonnes (octobre 1994).



*CFM56-5C, moteur exclusif du long courrier A340. (CFM International).*

Ce moteur qui possède bon nombre d'éléments communs avec le CFM56-5B, particulièrement sobre et silencieux, possède un dispositif FADEC de seconde génération<sup>13</sup>.



*CFM56-7 en cours de montage à la Snecma, 1992. (Snecma moteurs).*

Le régulateur électronique FADEC et les matériaux nouveaux conduisent le consortium à proposer avec le CFM56-7 un CFM56-3 de nouvelle génération, plus puissant, plus léger, plus fiable que le précédent. Certifié ETOPS, sa poussée atteint 14 tonnes. Il intéresse Boeing qui veut l'utiliser pour motoriser le

13. Les multiples capteurs fournissent au calculateur du FADEC des centaines d'informations par moteur de régime, pression, température des organes moteur, par un réseau numérique. Ces informations sont consultables depuis le poste de pilotage (télémetrie, télémaintenance).

Boeing C-40 «Clipper», un 737 de nouvelle génération destiné aux militaires américains (US Navy) et une version «musclée» du 737 civil, baptisée série 600,700 et 800, capable de traverser les Etats-Unis d'est en ouest et du nord au sud avec de nombreuses rotations dans la journée. Ces versions du 737 intéressent en 1992 la compagnie *Southwest Airlines*.



*Publicité Snecma parue dans la presse en 1987 et 1988 (Aviation magazine).*

Concepteur principal des moteurs CFM56 et responsable de leur intégration, General Electric réalise dans ses usines près de Cincinnati (Ohio) le système HP, corps principal du moteur, et le système central d'alimentation en carburant. La Snecma produit le système BP, ce qui inclut les étages du compresseur, la turbine BP, la boîte de vitesse et les accessoires, et réalise le montage final des moteurs pour l'Europe à Villaroche.



*Inaugurée fin 1987 par le président de la République Français Mitterrand, l'usine Snecma du Creusot produit des pièces spéciales comme des disques de turbine pour toute la gamme CFM56. (Snecma Moteurs).*

## Les grands turboréacteurs civils

Type de moteur	Poussée	Consommation spécifique (1)	P/P global	Taux dilution	Température entrée turbine	Diamètre soufflante	Longueur	Masse	Architecture	Avion
P&WC JT15D-5	12,90 kN	0,562	12,6	2,8	1015 °C	0,533 m	1,400 m	287 kg	1F+1-c-1-1-2	Falcon 20
Garrett TFE-731-5	20,00 kN	0,478	19,4	3,15	1105 °C	0,755 m	1,389 m	400 kg	1F+R+4-C-1-1-3	Falcon 900
Lycom. ALF502R	31,00 kN	0,419	12	5,6	1070 °C	1,030 m	1,440 m	587 kg	1F+1+R-7+C-1-2-2	Bae146
Lycom. LF507	31,10 kN	0,413	13,1	5		1,030 m	1,440 m	628 kg	1F+2+R-7+C-1-2-2	Bae146
RR RB183 Tay-650	67,15 kN		16,4	3,1	1097 °C	1,138 m	2,405 m	1 515 kg	1F+3-12-10T-2-3	Fokker 100
Progress D-436	73,50 kN	0,382	21	5,5	1277 °C	1,373 m	3,030 m	1 250 kg	1F-6-7-0-1-1-3	AN-72/74, TU-334
P&W JT8D-217	90,00 kN	0,520	18,6	1,73	1134 °C	1,250 m	4,283 m	2 037 kg	1F+6-7-9T-1-3	MD-80
CFM56-2B1	97,90 kN	0,364	23,7	6	1287 °C	1,735 m	2,430 m	2 119 kg	1F+3-9-0-1-4	KC135
CFM56-3B2	97,90 kN	0,392	23,9	4,9	1337 °C	1,524 m	2,365 m	1 951 kg	1F+3-9-0-1-6	737-300
CFM56-3C1	104,50 kN	0,399	25,3	5	1373 °C	1,524 m	2,365 m	1 951 kg	1F+3-9-0-1-4	737-400
IAE V2500-A1	111,00 kN	0,333	29,4	5,42	1264 °C	1,600 m	3,102 m	2242 kg	1F+3-10-0-2-5	A320
CFM56-5A1	111,20 kN	0,326	26,5	6	1264 °C	1,735 m	2,422 m	2 257 kg	1F+3-9-0-1-4	A320
IAE V2530-A1	133,40 kN	0,392	31,4	4,6					1F+4-10-0-2-5	A321
CFM56-5B2	137,90 kN			5,5		1,735 m	2,504 m	2 380 kg	1F+4-9-0-1-4	A321
CFM56-5C2	138,80 kN		32,6	6,6	1360 °C	1,836 m	2,616 m	2 560 kg	1F+4-9-0-1-5	A340
Soloviev PS-90	156,80 kN	0,385		4,6	1330 °C	1,900 m	2,80M m	3 250 kg	1F+2-13-12T-2-4	IL-96, TU-204
P&W PW2037	170,10 kN	0,332	27,6	6	1281 °C	1,994 m	3,592 m	3 311 kg	1F+4-12-0-2-5	757
RR RB211-535 E4	178,40 kN		26,8	4,3	1227 °C	1,895 m	2,995 m	3 295 kg	1F+-6-6-0-1-1-3	757
Progress D-18T	229,60 kN	0,377	25	5,6	1327 °C	2,330 m	3,240 m	4 100 kg	1F+7-7-0-1-1-4	AN-124, AN-225
P&W PW4358	258,00 kN		29,6	5,2	1265 °C	2,375 m	3,370 m	4 173 kg	1F+4-11-0-2-4	A300-600
RR RB211-524G	258,00 kN		33	4,3	1275 °C	2,192 m	3,175 m	4 286 kg	1F+7-6-0-1-1-3	747, 767, MD-11, A300/310
GE CF6-80 C2	262,40 kN	0,356	30,9	5,1	1335 °C	2,362 m	4,036 m	4 058 kg	1F+4-14-0-2-5	747, 767, MD-11, A300/310
GE CF6-80 E1	300,20 kN		32,4	5,3		2,444 m	4,114 m	4 173 kg	1F+4-14-0-2-5	A330
P&W PW4084	376,00 kN		34,4	6,4		2,845 m	4,869 m	6 210 kg	1F+6-11-0-2-7	777
RR Trent 884	382,80 kN		39,7	5,9		2,795 m	4,370 m	7 325 kg	1F-8-6-0-1-1-5	777
GE GE90	389,00 kN		45	9		3,124 m	4,520 m	5 900 kg	1F+3-10-0-2-6	777

(1) consommation spécifique en kg de kérosène par décaNewton par heure

## Les grands turboréacteurs militaires

Type de moteur	Poussée à sec	Consommation spécifique (1) sans PC	P/P global	Taux dilution	Température entrée turbine	Diamètre soufflante	Longueur	Masse	Architecture	Avion
GRTS Larzac 04-06	13,20 kN	0,730	10,5	1,13	1130 °C	0,452 m	2,100 m	332 kg	2F-4-0-1-1	Alphajet
Progress DV2	21,60 kN	0,595	15	1,46	1190 °C	0,642 m	1,711 m	474 kg	1F+2-7-0-1-2	L-39 tchèque
Adour Mk 811	24,55 kN	0,730	11,5	0,75	1140 °C	0,564 m	2,894 m	741 kg	2F-5-0-1-1	Jaguar, Hawk
GE TF34-GE-100	40,32 kN	0,378	21	6,20	1215 °C	1,082 m	1,975 m	653 kg	1F-14-0-2-4	A10
TU RB199 Mk 103	40,70 kN	0,650	23,5	1,06	1325 °C	0,734 m	3,232 m	1 061 kg	3F-3-6-0-1-1-2	Tornado
GE F404-GE-400	47,20 kN	0,828	23,4	0,34	1330 °C	0,672 m	3 891 m	983 kg	3F-7-0-1-1	F-18
Snecma Atar 9K50	49,20 kN	0,990	6,15		935 °C	0,786 m	5,944 m	1 582 kg	9-0-2	Mirage F1
Klimov RD-33	49,50 kN	0,785	21,7	0,40	1407 °C	0,746 m	4,130 m	1 217 kg	4F-9-0-1-1	MiG 29
Snecma M88-2	50,00 kN	0,890	24,5	0,25	1577 °C	0,696 m	3,540 m	897 kg	3F-6-0-1-1	Rafale
Eurojet EJ2000	60,00 kN	0,830	26	0,40	1477 °C	0,715 m	4,000 m	990 kg	3F-5-0-1-1	EFA
Snecma M53P2	64,00 kN	0,920	9,8	0,35	1260 °C	0,792 m	5,070 m	1 500 kg	3F+5-0-2	Mirage 2000
P&W F100-PW-200	65,25 kN	0,730	23,3	0,63	1280 °C	0,884 m	4,855 m	1 375 kg	3F-10-0-2-2	F-15, F-16
GE F101-GE-102	75,30 kN	0,563	26	2,00	1340 °C	1,135 m	4,456 m	2 043 kg	2F-9-0-1-2	B-1B
GE F110-GE-400	75,60 kN	0,670	30,3	0,87	1370 °C	0,905 m	5,080 m		3F-9-0-1-2	F-14
GE F110-GE-129	76,00 kN			0,81			4,620 m	1 769 kg	3F-9-0-1-2	F-16
P&W F100-PW-229	79,20 kN	0,754	32	0,40	1350 °C	0,884 m	4,855 m	1 681 kg	3F-10-0-2-2	F-15, F-16
RR Pegasus Mk 105	97,00 kN		12,9	1,34	1223 °C	1,220 m	2,510 m	1 475 kg	3F-8-0-2-2	Harrier, AV-8

(1) consommation spécifique en kg de kérosène par décaNewton par heure

## Le moteur d'Ariane 5, 1993

Les 9 et 10 novembre 1987 à La Haye, malgré les critiques formulées par la Grande-Bretagne, les treize pays membres de l'ESA<sup>14</sup> se sont mis d'accord pour donner à l'Europe un futur spatial. Basé sur un lanceur, « Ariane » 5, la navette « Hermès », la station spatiale internationale (ISSC), les modules « Columbus »<sup>15</sup> et les satellites de relais de données DRS, ce grand projet coûtera au citoyen de chaque pays membre 100 ECU par an (685 francs) pendant douze ans. Trois phases sont prévues, la première étant engagée dès le 1<sup>er</sup> janvier 1988.



*Sociétés participant à la construction du lanceur Ariane 5, 1993.*

A cette époque, rendus euphoriques par le succès d'« Ariane » 4, les européens veulent égaler Américains et Russes. Ces derniers, le 15 novembre 1988, ont procédé au 1<sup>er</sup> vol de la navette « Bourane » lancée par une fusée « Energia ». En juin 1989, « Bourane » est présentée au Salon du Bourget, portée par un Antonov 225.

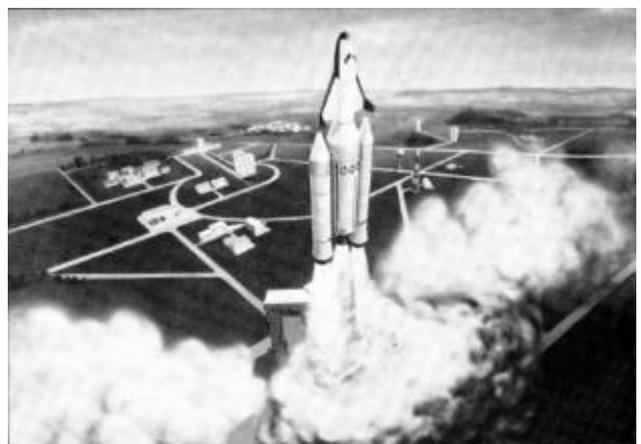
Par rapport à « Ariane » 4, le nouveau lanceur « Ariane » 5 est capable de placer sur orbite des charges beaucoup plus lourdes, jusqu'à 10 tonnes à 300 km de la Terre et 40 tonnes en orbite basse. Le lanceur « Ariane » 5 doit supporter avec la navette spatiale européenne « Hermès » la mise en orbite d'un équipage entier (trois cosmonautes), ce qui augmente considérablement son coût de développement.

La fusée comprend plusieurs étages, baptisés EAP (Etage d'Accélération à Poudre), EPC (Etage Principal Cryogénique) et EPS (Etage à Poudre Supérieur)/EPC/ESC (Etage Supérieur Cryogénique) selon les missions.



*Moteur « Vulcain » II produit par la SEP (Snecma Moteurs).*

Les deux boosters à poudre EAP qui entourent l'EPC (les trois sont mis à feu simultanément) assurent 92% de la poussée au décollage. Chaque EAP contient 237 tonnes de poudre et fonctionne pendant 120 secondes après quoi il est largué. L'EPC se compose du moteur « Vulcain » version II surmonté des 160 tonnes des réservoirs d'hydrogène liquide et d'oxygène liquide. L'ensemble fonctionne pendant 600 secondes. L'ESC comprend le moteur cryogénique « Vinci » brûlant de l'hydrogène et de l'oxygène liquide pendant 464 secondes. Ce moteur offre la particularité d'être réallumable en vol.



*Lancement de la navette Hermès par Ariane 5, vue d'artiste.*

14. L'ESA en 1987 compte treize pays : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, France, Grande-Bretagne, Irlande, Italie, Norvège, Pays-Bas, Suède et Suisse. La Finlande participe, de même que le Canada (accords de coopération).
15. Les modules Columbus sont la plate-forme polaire PPF, le module pressurisé s'arrimant à la station spatiale internationale APM, la plate-forme d'observation Eureca, et le module de service MTFP.



*La fusée Ariane 5 satellisant 10 tonnes. (ESA).*

Le « Vulcain » II est basé sur le « Vulcain » d'Ariane 4, sa poussée étant portée de 1140 kN à 1350kN, ceci grâce à des turbopompes dont la puissance est augmentée. Commencées en 1991, les études de ce moteur ont débouché en 1993 sur une mise en fabrication, Snecma Moteurs travaillant en coopération avec Astrium (Allemagne), Avio (Italie) et Volvo Aero Corp (Suède).



*Ariane 5 avant un tir. (ESA).*

En décembre 1990, Arianespace commande aux industriels 50 lanceurs Ariane 4 pour la période 1991 à 1999. Mais au cours d'une conférence européenne qui se tient le 19

novembre 1991 à Munich, est redéfinie l'activité spatiale européenne. Les pays divergent sur les modules du « Columbus » contribution des Européens à la station spatiale orbitale et surtout sur l'utilité de leur mission. Devant l'ampleur des coûts, certains préfèrent que de missions soient faites par du matériel américain. C'est ainsi que le 2 août 1992, la plate-forme « Eureka » (ESA) est mise en orbite par la navette américaine « Atlantis ».

L'utilité de la navette spatiale européenne est remise en cause par les européens eux-mêmes. Le 23 janvier 1992 est créé le consortium EHS Euro-Hermes-Space (Dassault) à qui est confiée la maîtrise d'œuvre du programme d'avion spatial européen « Hermès », mais dès le sommet interministériel de l'ESA à Grenade la même année, on décide de son abandon. Le 1<sup>er</sup> juillet 1993, la société EHS est dissoute. Les grands projets européens de l'espace ont du plomb dans l'aile.



*Ariane 5 porte les espoirs spatiaux des européens.*

Ariane 5 qui bénéficie théoriquement d'une très grande et maintenant inutile sécurité est redevenu un lanceur commercial et fait double emploi avec Ariane 4.

Le premier tir a lieu le 4 juin 1996 à Kourou dans l'allégresse générale, mais la fusée explose après 40 secondes de vol. Le second tir, le 30 octobre 1997 est un autre échec technique. Encore une fois, les revirements politiques ont détruit la validité technique d'un grand projet.

## La « mondialisation » en marche, 1994

Au niveau industriel, le monde est divisé en trois secteurs : il existe un marché local, concernant une province, une région, un pays, une culture, un marché continental, plus vaste, concernant par exemple l'Europe, l'Asie, ou les Amériques, et un marché mondial concernant tous les habitants de la planète. Le marché des avions de transport gros porteurs entre dans cette dernière catégorie.

Les enjeux économiques concernant les matériels volants, devenus très onéreux à l'achat et à l'exploitation, sont si grands que les compagnies de transport et les industriels doivent s'unir<sup>16</sup>. Le temps de la coopération est terminé, on est entré dans le temps des rachats, des fusions d'entreprises, les plus fortunés absorbant les plus faibles. C'est ainsi que des sociétés aussi importantes que l'Américain General Dynamics (dont le produit phare F-16 avait remporté le contrat du siècle, mais qui avait commis l'imprudence de délocaliser sa fabrication chez Samsung en Corée du Sud)<sup>17</sup>.

**Inventer le ciel**

Le ciel de demain sera différent du ciel d'aujourd'hui. Anticiper l'avenir, les besoins et les attentes de la société mondiale des aérospatiaux à travers le ciel des générations futures.

À la SNECMA, l'innovation protège vos objectifs premiers : efficacité, économie, écologie.

Voilà notre ambition, notre volonté bien à nous d'inventer le ciel afin de concevoir et fabriquer des moteurs toujours plus performants, plus économiques et encore plus respectueux de l'environnement.

14 000 1 000 0 10 000

Le 28/03/92, un moteur de turbopropulsion de 1000 CV, le plus puissant du monde, a été testé avec succès à la SNECMA.

**SNECMA**  
LES MOTEURS DU CIEL

Publicité SNECMA, 1992, « les moteurs du ciel ».

Le phénomène appelé « mondialisation » commence au début des années 1990, à la fin

de la « guerre froide ». Le 12 janvier 1990, Air France absorbe à la fois U.T.A. (lignes d'Afrique) et Air Inter (lignes intérieures), et devient du même coup la 3ème compagnie mondiale de transport aérien. Neuf mois plus tard, les deux Allemagnes se trouvent réunifiées par le traité de Moscou et font le bilan de leur flotte aérienne.



Atelier de montage de l'Airbus A340, 1994.

L'année 1991 est marquée par des guerres. Le 17 janvier 1991, en réponse à l'invasion du Koweït par les forces de l'Iraq, une menace des puits de pétrole alimentant les Etats-Unis, débute l'opération *Desert Storm*, des frappes aériennes américaines contre l'Iraq. Les vols transatlantiques américains sont suspendus et le resteront quasiment toute l'année. Cette interdiction provoque la faillite le 4 décembre de la très populaire compagnie aérienne américaine *Pan American World Airways*, (*Panam*), née en 1927. Alors que commence une guerre en Yougoslavie, le 25 décembre voit s'opérer la dissolution de l'URSS, née en 1922.

Les fusions industrielles se poursuivent de plus belle en 1992. Début janvier, la division hélicoptère de l'Aérospatiale s'unit à Messerschmitt-Bölkow-Blohm (MBB) donnant naissance à Eurocopter SA. Le 21 janvier, General Dynamics, en difficultés financières, vend Cessna à la société américaine Textron pour 600 millions de dollars. Le 7 février 1992 est signé le traité de Maastricht, amenant dans la CEE la monnaie unique, et aussi, croit-on, l'union politique et économique. Le 11 mars, General Dynamics vend ses activités missiles à Hughes Aircraft pour 450 millions de dollars. Le 5 mai a lieu une curieuse fusion entre

16. Les investissements mondiaux nécessaires au secteur aéronautique sont estimés entre 1993 et 2000 à 300 milliards de dollars, soit l'achat de 4 000 appareils gros porteurs (plus de 100 sièges).
17. Le 1er F-16 construit par Samsung en Corée du Sud sera livré à l'armée sud-coréenne le 7 novembre 1995.

l'éditeur Hachette et l'industriel Matra, deux sociétés détenues par « le plus gros contribuable de France », Jean-Luc Lagardère. Le 17 juillet, les accords du GATT signés entre les Etats-Unis et la CEE sont étendus au commerce des avions civils. Le 24 juillet, le constructeur des Pays-Bas Fokker, en faillite, est vendu à hauteur de 31% à l'Allemand Deutsche Aerospace (DASA). Le 5 octobre, General Dynamics, en faillite, vend sa division électronique au groupe Carlyle. Le 23 novembre, General Electric vend sa division Aerospace à Martin Marietta pour 3 milliards de dollars. Le 9 décembre, General Dynamics vend à Lockheed le reste de sa division avions de combat. La Snecma, qui a pris le contrôle en 1991 de la société belge FN moteurs, spécialisée dans la fourniture de pièces et sous ensembles de moteurs d'avion et la réparation, rebaptise la société Techspace Aero.

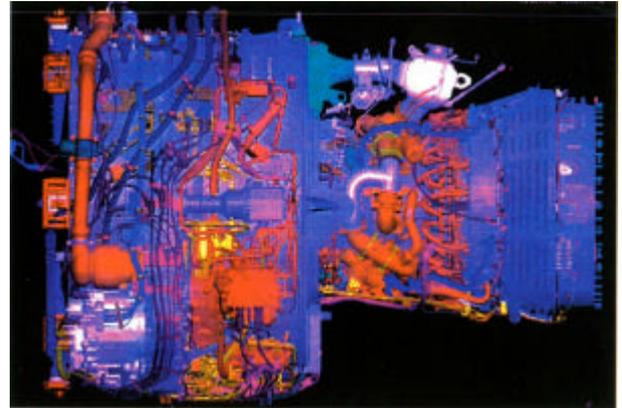


*Le Tupolev Tu-244, concurrent en 1993 de l'ATSF, survivrat-il à l'écroulement de l'URSS ?*

Le 1<sup>er</sup> janvier 1993 se mettent en place le marché unique, avec la suppression des barrières douanières, tandis que le ciel européen est ouvert à la concurrence. Les industriels européens dont les capitaux sont détenus par l'Etat doivent être privatisés afin que leurs concurrents n'aient pas à lutter contre des sociétés « subventionnées ». C'est la fin du « protectionnisme » tant décrié par les Américains.

Le 26 mai 1993, le gouvernement français annonce la privatisation d'Aérospatiale, d'Air France et de la Snecma, et l'Allemagne la privatisation de DASA. Le 1<sup>er</sup> juin 1993, la société industrielle américaine Raytheon, déjà propriétaire de Beechcraft, achète la division avions d'affaires de British Aerospace (BAe). Le 6 septembre, le gouvernement français annonce fièrement la fusion Renault - Volvo (qui échouera). Le 1<sup>er</sup> novembre, la CEE devient l'Union Européenne (UE). Le 17 novembre,

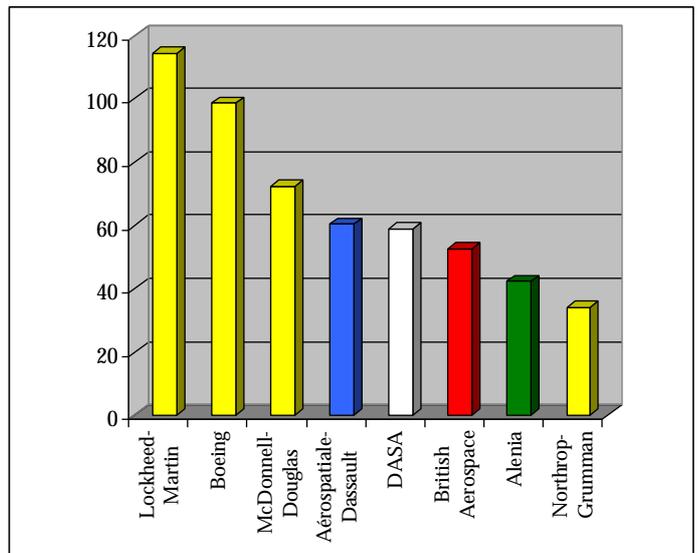
Air France qui a du adapter ses tarifs annonce un déficit de 7 milliards de francs, retardant sa privatisation de quatre années au moins.



*L'utilisation de CATIA en 1994 a permis d'améliorer la maintenabilité du moteur CFM56-7B. (CFM International).*

L'année 1994 est ponctuée d'annonces de fusions. Le 4 avril, Northrop rachète Grumman pour 2,17 milliards de dollars. Le 12 juillet, Northrop-Grumman rachète Vought pour 130 millions de dollars. Le 30 août, Lockheed et Martin Marietta fusionnent. L'industrie américains ne possède plus que quatre géants, Boeing, McDonnell-Douglas, Northrop-Grumman et Lockheed-Martin.

La Snecma qui a fêté le 25 février 1994 la sortie d'usine du dernier réacteur Atar, après plus de cinquante années de production et 5 000 unités produites, signe un accord avec TI Group dans le but de constituer une société d'importance européenne en matière de trains d'atterrissages. L'accord regroupe la filiale Messier-Bugatti de la Snecma avec Dowty Aerospace (TI Group), la nouvelle entité s'appelant Messier-Dowty.



*L'Aérospatiale rêvait d'absorber Dassault, ce qui aurait donné un groupe de rang mondial, devant DASA et British Aerospace. C'est finalement le nain Matra qui absorbera le géant Aérospatiale.*

## La gamme des Airbus s'élargit, 1995

Depuis son 1<sup>er</sup> vol à Toulouse le 13 février 1987, le succès de l'A320 ne se démentit pas, au point qu'il constitue en 1995 la moitié des ventes d'Airbus Industrie, en unités. Toutefois, entre 1984, date de la décision de financer son développement et sa construction et 1987, date du 1<sup>er</sup> vol, l'avion a connu des retards « politiques » dus à des divergences de vues entre Européens à propos de ses moteurs, sans parler du pilotage à deux et de la révolution présentée par les commandes de vol électriques et le mini-manche.



Premier vol des A330 et A340 ensemble, le 2 novembre 1992 à Toulouse. (EADS).

Deux motorisations sont proposées en 1984 : le CFM56-2C de 10 tonnes (ou le CFM56-3 de 8,5 à 11,5 tonnes) et le tout nouveau V2500 de même puissance du consortium *International Aero Engine* formé par Pratt & Whitney et Rolls-Royce dans lequel on retrouve l'Allemand MTU et le Japonais Japanese Aero Engine Corp. Evidemment, les pays acheteurs défendent leurs intérêts en choisissant un moteur auquel ils participent.



Du 16 au 18 juin 1993, un A340 a accompli le tour du monde, avec une seule escale ravitaillement en Nouvelle-Zélande. (EADS).



A300-600 « Beluga » destiné au transport d'éléments encombrants, à son 1<sup>er</sup> vol à Toulouse le 13 septembre 1994. (EADS).

Face à cette situation qui bloque à la fois les ventes de CFM56 et de l'A320, la Snecma est parvenue à convaincre General Electric de développer d'un moteur spécifique, le CFM56-5, un moteur brillant qui décroche rapidement sa qualification ETOPS. Au 1<sup>er</sup> janvier 1995, ce moteur équipe déjà 55% de la flotte des A320.

Les négociations avec les compagnies utilisatrices ont aussi mis en avant la nécessité d'offrir des versions plus adaptées au transport de fret et aux rotations rapides, soit un petit A320 (100-140 sièges) et un gros (150-220 sièges), situation qui va donner naissance aux A319 et A321 et plus tard à l'A318 (107-117 sièges), un A319 raccourci.



L'A321-200 décolle pour son 1<sup>er</sup> vol à Hambourg, le 12 décembre 1996. (EADS).

Outre les commandes de vol électriques et la disposition générale du poste de pilotage<sup>18</sup>, les quatre types d'avions possèdent des caractéristiques communes, en particulier la motorisation, la section du fuselage et la voilure.



L'usine d'assemblage à Toulouse des A330 et A340, 1995. (EADS).

L'année 1995 qui voit entrer en vigueur en Europe les nouvelles règles communautaires (accords de Schengen), entrer de nouveaux membres dans l'Union Européenne (Suède, Finlande et de l'Autriche) et s'appliquer les clauses de l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC). Pour bien marquer le fait de sa privatisation, Deutsche Aerospace (DASA) est rebaptisé en 1995 Daimler-Benz Aerospace.



Airbus A330 de la compagnie Yemenia. (EADS).

1995 est une bonne année pour l'industrie aéro-spatiale européenne. Le 10 juin, ArianeSpace commande à l'Aérospatiale 14 fusées Ariane 5 (pour 15 milliards de francs). Le biréacteur de transport Airbus A-319 (version 125 places) effectue son premier vol à Hambourg 25 août 1995. Après quatre années de

18. Un pilote qualifié sur A320 peut piloter un A319, A321 ou A318. Chez Air France, tout commandant de bord doit visionner une cassette. Comme on lui demande de la faire à son domicile, ce que les syndicats considèrent comme du travail au noir, cette transformation n'est pas faite la plupart du temps.

commercialisation, les ventes s'élèvent déjà à 489 unités. Le 1er vol de l'A321 a eu lieu à Hambourg le 11 mars 1993 par Karl Nagel, Pierre Baud, Armand Jacob, Manfred Birnfeld et Bernard Kamps. Après quatre années de commercialisation, les ventes s'élèvent à 237 unités. La décision de construire l'A318 est prise en 1995, son financement décidé en 1998, le 1<sup>er</sup> vol de l'avion étant effectué le 15 janvier 2002.



Airbus A340 vu au Salon du Bourget 1995. (EADS).

Produit	A320	A319	A321	A318
Longueur	37,57 m	33,84 m	44,51 m	31,44 m
Hauteur	11,76 m			12,56 m
Diamètre fuselage	3,96 m			
Envergure	34,09 m			
Surface portante	122,60 m <sup>2</sup>			
Masse maxi	77 tonnes	75,9 tonnes	93,9 tonnes	68,4 tonnes
Sièges	130-180	108-145	157-220	107-117
Kérosène	29 660 litres		29 500 litres	23 860 litres
Moteurs	2x IAE V2500 ou CFM56-5A			2x CFM56-5B ou PW 6000A
Autonomie	5 000 km	4 000 km	3 200 km	3 500 km
Prix indicatif	230-280 MF	190-220 MF	290-330 MF	150-190 MF

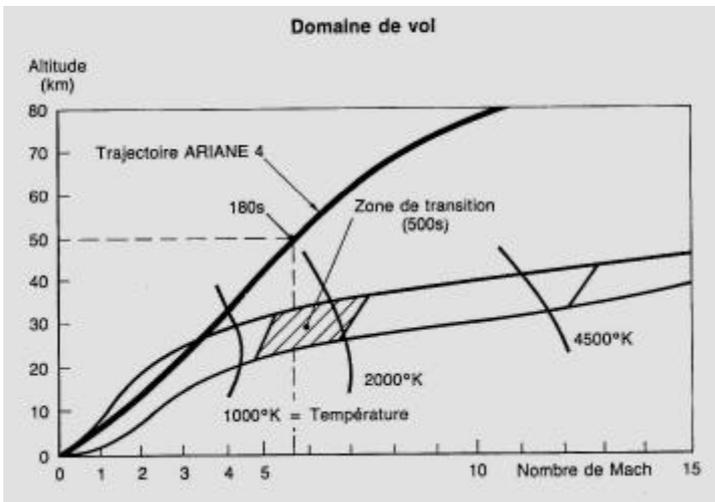
La gamme Airbus des courts-courriers dérivés de l'A320. (Airbus Industrie)



L'A340-600, demandé et financé en 1995, transportera 373 passagers sur 13 500 kilomètres. 1<sup>er</sup> vol prévu en 1997 et livraisons en 2002. (EADS).

## Le moteur de l'avion hypersonique, 1996

A la fin des années 1980, la Snecma, la SEP et l'Onera sont sollicités par l'Etat et le CNES pour étudier la faisabilité d'un moteur d'un type spécial, capable de propulser un avion largement supersonique (Mach 3 et plus), un avion spatial orbital, ou de servir dans les deux utilisations à la fois. Quand la question cruciale des moteurs sera réglée, l'engin sera fabriqué par l'Aérospatiale dont plusieurs études ont déjà été entreprises. Le but avoué est de capturer 15% des 364 millions de passagers qui franchiront chaque année après 2005 l'océan Atlantique et l'océan Pacifique (en première classe et en classe affaire), soit 5,4 millions de passagers/an.



Le domaine de vol d'un avion hypersonique versus un avion spatial. (Snecma, 1989).

L'avion spatial n'effectuant qu'une accélération rapide dans l'air (quatre minutes) et un vol en trajectoire hyperbolique dans l'espace, ses problèmes de refroidissement de structure dans le domaine de vol à Mach élevé sont moins critiques que ceux d'un avion hypersonique qui se déplace constamment et pendant une heure à ces vitesses dans l'air. Les structures (pointe avant, voilure, entrées d'air) et le moteur de ce dernier seront soumis à des températures très élevées.

En matière de propulsion, les ingénieurs de la Snecma affirment que « les technologies nécessaires à un avion de transport commercial seront issues des technologies développées pour un avion spatial. » De plus, l'avion spatial pourrait servir dans son principe quant à ses moteurs de lanceur de satellite récupérable, voire de base à un vecteur de « guerre des étoiles » européen, l'idée non avouée de la société nationale étant de retrouver les gros budgets militaires.

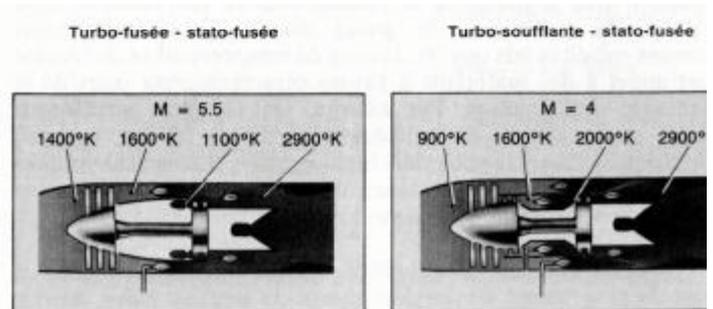
Sociétés	CA armement (en milliards de francs)	Part du CA total	Dépenses R&D
Aérospatiale	13,3	27 %	12,1
Dassault Aviation	6,4	55 %	3,3
Dassault Electronique	2,5	82 %	1,5
GIAT Industries	5,3	98 %	1,2
Matra	5,0	30 %	2,5
Sagem	3,4	23 %	2,2
SEP	0,9	18 %	2,6
Snecma	4,0	22 %	6,1
SNPE	1,5	35 %	0,6
Thomson-CSF	23,1	65 %	8,8
TOTAL	68,8		40,9

Indépendance des sociétés industrielles françaises à l'égard des programmes nationaux (militaires).

La Snecma ne réalise plus en 1996 que 4 milliards de francs de chiffre d'affaires dans l'armement, soit 22 % de ses revenus alors que 6,1 milliards de francs vont à la recherche et développement des programmes militaires, soit 28% de ses revenus. (Source : comptes de la nation, 1997).

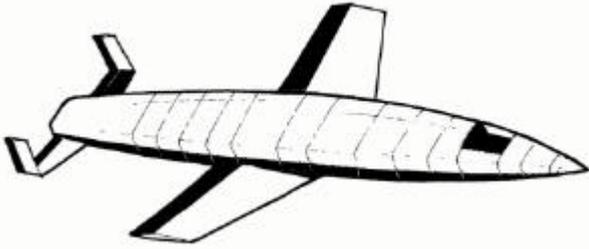
Les problèmes techniques posés au motoriste par les avions hypersoniques sont les suivants : une température dépassant la technologie des matériaux, un carburant autorisé existant inadapté et une masse incompatible avec l'avion, ses 200 passagers, sur un vol transocéanique (10 000 km).

« Un turboréacteur possède des limites en température : 1600°K en sortie de compresseur est la limite de la technologie en 1996 avec des aubages en matériaux composites spéciaux (thermorésistants et ventilés). La température de l'air ambiant étant de l'ordre de 900°K à Mach 4 et 1600°K à Mach 6, il faut oublier le compresseur haute pression, mais on peut envisager un moteur turbo-fusée dans lequel un générateur de gaz qui brûle un mélange carburant et oxygène liquide alimente et refroidit la turbine, entraînant la soufflante. Le problème est de réaliser des soufflantes en matériaux composites supportant les hautes températures, 2900°K. »



Les technologies autorisant des vitesses approchant Mach 6. (Source : Snecma 1989).

La suppression du compresseur haute pression permet d'approcher Mach 6 sous la limite des 1600°K à la sortie de la soufflante, la poussée requise étant possible par l'ajout d'une postcombustion ou d'un statoréacteur placé derrière. Mais avec quels carburants ?



Le concept d'avion orbital fut imaginé l'ingénieur Eugen Sänger et sa femme Irene Bredt en 1939 pour un bombardier supersonique capable d'atteindre les Etats-Unis, un projet pharaonique stoppé en 1942. (Dessin d'artiste).

Écoutons l'explication des ingénieurs de la Snecma<sup>19</sup> : « La masse volumique (poids au mètre cube) par calorie utile du carburant JP7 brûlé par les moteurs supersoniques ou le méthane (CH<sub>4</sub>) est moindre (le tiers dans le cas du méthane, le quart dans le cas du JP7) que celle de l'hydrogène liquide. L'utilisation de l'hydrogène pour un avion spatial semble donc être un bon choix. Pour un avion hypersonique, le volume des réservoirs devient un critère important, car il influe des paramètres essentiels : l'aérodynamique et le volume utile, donc la rentabilité. S'il était autorisé, le méthane serait un bon compromis. N'oublions pas que le carburant, comme sur « Concorde », pourrait jouer un rôle important dans le refroidissement des ailes et de l'habitacle. Mais comment réaliser des soufflantes en matériaux composites alors que la température dans le moteur d'Ariane 5, par exemple, dépasse 3500°K ? »

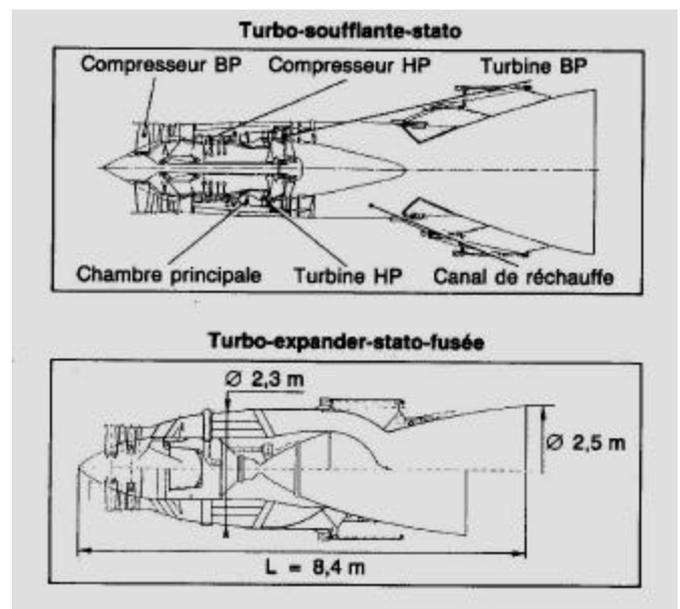


Le très secret avion spatial militaire américain Lockheed «Aurora», 1992. Il décolle sur piste à l'horizontale et accélère à la verticale. (Paru dans Science & Vie en 1993).

« La solution qui vient à l'esprit est d'installer un refroidisseur à l'entrée du moteur. Une turbo-soufflante pourrait pousser jusqu'à Mach 5,5 avec

des conditions de températures internes identiques à celles qu'on obtient à Mach 4 (1600°K) si elle était correctement refroidie. L'utilisation de l'enthalpie récupérée par le carburant dans les circuits de refroidissement avant injection dans le moteur pourrait être utilisée dans la turbine, en suivant la même idée. C'est le moteur dit Expandeur qui, appliqué au moteur thermo-fusée, permet de supprimer le générateur de gaz et permet de faire l'économie de l'oxygène de combustion améliorant la consommation dans un rapport proche de 2. Ces deux concepts nécessiteraient très probablement d'employer l'hydrogène comme combustible, qui offre des capacités calorifiques bien supérieures au méthane. »

Reste à déterminer comment il est possible d'intégrer des échangeurs thermiques complémentaires au système de refroidissement sans que leur masse n'annule le gain de performances obtenu dans un moteur compliqué possédant des entrées d'air à géométrie variable et une tuyère d'éjection également à géométrie variable, même s'il est possible de les commander totalement automatiquement.



Etude de moteur hypersonique, Snecma 1992.

Entre le début des études et la réalisation d'un avion commercial, les ingénieurs de la Snecma estiment les efforts à 15 ans pour l'avion hypersonique et 20 ans pour un avion spatial, ce qui représente au moins 440 milliards de francs d'investissements, pour la seule motorisation, sans parler de l'avion lui-même, soit deux fois le coût total réel du programme « Rafale ».

Cette somme dépassant largement les capacités financières de la France, la question de l'avion orbital ou de l'avion de transport hypersonique national est réglée.

19. Conférence de Michel Doublier, coordinateur des technologies et procédés avancés à la Direction technique de la Snecma, 25 avril 1898 à Paris.