

# *PRENDRE L'AIR*

*Clap de fin des Boeing C-135 F/FR "Stratotanker"*



Boeing C-135 F avec motorisation Pratt et Whitney J57-P-59W (© Armée de l'air)



Boeing C-135 FR avec motorisation CFMI CFM56-2B1 (© Armée de l'air)



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

Hors-Série N°6

Mai 2024

## Contact

Rond-Point René Ravaud 77550 Réau

Tél : 01 60 59 72 58 Mail : [aams@museesafran.com](mailto:aams@museesafran.com)

# Sommaire

<i>Préambule</i>	4
Jacques Daniel	
<i>Le mot du Président</i>	5
Jean Claude Dufloux	
<b>PREMIERE PARTIE</b>	
<i>De Lamantin à Hamilton - " No Gas No War "</i>	
<i>Albert Grenier ancien technicien de l'Armée de l'air et représentant technique en compagnies aériennes chez Safran Aircraft Engines</i>	
<i>Introduction</i>	7
<i>Les opérations extérieures du C-135 F</i>	8
<i>Chantier de remotorisation des C-135 F</i>	10
<i>Les opérations extérieures du C-135 FR</i>	13
<i>Exercices et déploiements divers des C-135 F/FR</i>	22
<i>Conclusion</i>	24
<i>Annexe 1 : missions à longue distance et opérations extérieures menées par les Boeing C-135 F/FR entre 1964 et 2023</i>	26
<i>Annexe 2 : Album photo : avions ravitaillés, français et étrangers</i>	28
<b>DEUXIEME PARTIE</b>	
<i>Janvier 1980 : mesure des turbulences de jet du J57-P-59W / C-135F par le service des essais en vols SNECMA à Istres</i>	
<i>Monsieur André Cornue ancien ingénieur de chez Snecma</i>	
<i>Cadre des mesures</i>	31
<i>Introduction</i>	31
<i>Moyens d'essais</i>	32
<i>Conditions de l'essai</i>	32
<i>Déroulement de l'essai</i>	33
<i>Résultats de l'essai</i>	33
<i>Conclusion</i>	35
<i>Annexe 1 : Peignage du jet sur KC-135</i>	36
<i>Annexe 2 : Ordre d'essai</i>	37
<b>TROISIEME PARTIE</b>	
<i>Programme de remotorisation du KC-135/CFM56-2B1</i>	
<i>Document de la Société Boeing Military Airplane Company à Wichita, Kansas. Rédigé par Messieurs Paul Packer et Mark P. Goodman (Ingénieurs Propulsion). Édité dans la revue de l'American Society of Mechanical Engineers (ASME) en Mars 1985. Traduit de l'anglais par Albert Grenier</i>	
<i>Introduction</i>	40
<i>Contexte</i>	40
<i>La motorisation du KC-135 R</i>	41
<i>Les modifications du KC-135 R</i>	42
<i>Campagne d'essais en vol du KC-135 R</i>	44
<i>Considérations relatives à la sélection du moteur</i>	47

## **QUATRIEME PARTIE**

<i>KC-135A / C-135F - Injection d'eau dans le turboréacteur Pratt &amp; Whitney J57</i>	52
Albert Grenier	
<i>Historique et concept d'augmentation de poussée des turboréacteurs dans les années cinquante</i>	52
<i>Technologie de l'injection d'eau du KC-135A / C-135F</i>	53
<i>Conclusion et prospective</i>	55

## Préambule

Au mois de décembre 2023, l'Armée de l'air et de l'Espace française (AAE) s'est séparée de son dernier des douze exemplaires de l'avion ravitailleur Boeing C-135 " Stratotanker ", un quadriréacteur imposant tant par ses dimensions, avec ses 41,5 m de long, 12,80 m de haut et 40 m d'envergure, que par sa capacité d'emport maximal en carburant de 102 000 litres (81 tonnes). Acquis au début des années 1960 pour épauler les bombardiers nucléaires Mirage IV A, l'avion-citerne assure par la suite, à partir de 1966, le soutien de la quasi-totalité des avions de combats tactiques de l'Armée de l'air : F-100 D/F Super Sabre, Sepecat Jaguar A et E, Mirage F1 B, C200, CT, CR, Mirage 2000 C, B, N, D, -5F et Rafale B, C ainsi que les Super-Etendard et Rafale M de l'Aéronautique navale, sans oublier des appareils de fort tonnage comme le Boeing E-3F " Sentry ". Désormais, plus aucune opération aérienne de nature nationale, ou menée en coalition, ne se conçoit sans la présence d'avions-citernes, qu'il s'agisse de donner de l'allonge aux avions de combat ou de leur permettre d'augmenter leur temps d'attente sur un hippodrome de ravitaillement en vol.

En cinq décennies d'activité opérationnelle, entre 1964 et 2023, le premier ravitailleur des Forces Aériennes Stratégiques (FAS) qui a opéré dans des conditions parfois rudes et démontré toute sa versatilité et sa robustesse, a totalisé 391 000 heures de vol. Il s'agit, à ce jour, du record de longévité d'un avion militaire dans l'hexagone.

Au fil de sa carrière le Boeing fut régulièrement modernisé aux Etats-Unis et en France : renforcement de la structure, échange des panneaux d'intrados de la voilure, remotorisation, ajout de deux nacelles de ravitaillement en bouts d'ailerons. C'est le remplacement de la majeure partie des 120 m<sup>2</sup> des panneaux d'intrados de la voilure (ceux qui fatiguent le plus) générant un potentiel de 25 000 heures supplémentaires, qui justifie la remotorisation des appareils. Le quadriréacteur prit part aux opérations extérieures françaises et multinationales sur de nombreux théâtres, fournissant des centaines de milliers de litres de carburant aux chasseurs de l'Armée de l'air ainsi qu'à ceux des pays alliés, et transportant des milliers de passagers " pax " et de tonnes de fret sur palettes.

Surnommée la " péniche " par ses équipages ou encore la " bête " par ses mécaniciens, le quadriréacteur a cédé la place depuis l'automne 2018 au biréacteur Airbus A330-243 MRTT " Phénix ", commandé à quinze exemplaires. Cet appareil polyvalent et adapté aux missions en coopération avec les forces alliées offre une capacité de ravitaillement supérieure de 50% par rapport aux quadriréacteurs Boeing C-135 FR. À noter que la fin du C-135 FR ne signifie pas la fin des ravitailleurs de Boeing au sein de l'Armée de l'Air et de l'Espace. Les trois KC-135 RG " Stratotanker " qui disposent encore du plus grand potentiel, aux alentours de 8 000 heures de vol, devraient voler jusqu'à l'horizon 2026 en attendant leur remplacement par d'autres A330 " Phénix ".

Pour marquer cet évènement, " Prendre l'air " vous propose un dossier en quatre parties évoquant l'origine du choix de la remotorisation des appareils avec des moteurs double flux à fort taux de dilution F-108 - version militaire du CFM56-2B - qui a grandement amélioré les performances du quadriréacteur, les opérations extérieures (opex) menées entre 1977 et 2023 et le système d'injection d'eau minéralisée monté sur les moteurs Pratt & Whitney J57 afin de fournir une puissance supplémentaire.

Ce numéro hors-série a été rédigé par Albert Grenier, spécialiste du moteur franco-américain CFM56-2A et du GE90-115B et qui a notamment participé, en tant que technicien de l'Armée de l'air, à des opérations extérieures (opex). Mr André Cornue, un ancien ingénieur du département des essais en vol du motoriste au cours des années 1980 a également apporté sa contribution. En janvier 1980, il faisait partie des acteurs de l'essai de mesure de turbulence derrière un Boeing C-135 F au lâcher des freins ! Comme il le dit lui-même " cet essai a été un élément décisif pour la prise de décision de l'US Air Force concernant la remotorisation des KC-135 par des CFM56 ".

Jacques Daniel

## *Le mot du Président*

Au moment où le groupe Safran fête le cinquantenaire du CFM56 - la rotation du premier moteur s'est déroulée en juin 1974, à Evendale (Ohio), ce Hors-Série vous fera découvrir la longue et riche histoire des Boeing C-135 " Stratotanker " au sein des forces aériennes stratégiques et tactiques françaises, une épopée qui s'est déroulée sur plus d'un demi-siècle.

Pour la coentreprise franco-américaine CFMI, c'est surtout le programme de remotorisation des quadriréacteurs et de ses dérivés de l'US Air Force et de l'Armée de l'air, un marché de 470 avions et de 1966 moteurs CFM56-2, qui marque le début du succès mondial de la famille des moteurs double flux à fort taux de dilution et de leurs applications sur des avions de transport civils et militaires.

Outre le marché des pièces de rechanges, la production de CFM56 neufs n'est pas prête de s'arrêter.

Bonne lecture

Le Président  
Jean Claude DUFLoux

# PREMIERE PARTIE

# De Lamantin à Hamilton - "No Gas No War"

"Un avion a quatre dimensions :

La longueur, l'envergure, la hauteur et la... politique."

Sir Sidney Camm (1893 - 1966). Concepteur des Hawker Hurricane, Typhoon, Sea Fury et Hunter

## Introduction

Alors que les Forces Aériennes Stratégiques (FAS) fêtent leur soixantième anniversaire (Création par le décret 64-46 du 14 janvier 1964) simultanément, dans la nuit du 13 au 14 décembre 2023, après un ultime exercice "Poker" le 2023-4 (1), le dernier des douze Boeing C-135 FR, US Serial Number 63-12737 (F-UKCI) initiaux a quitté le service de l'Armée de l'Air et de l'Espace Française. Ces douze KC-135 A, convertis-en C-135 F (suffixe F pour France), avaient été achetés 25 milliards de francs, le 20 septembre 1962, à l'US Air Force, réglés d'un chèque signé de la main même du Général De Gaulle. Les modifications portent sur l'ajout d'un plancher renforcé, capable de supporter un système de transport de fret, jusqu'à neuf palettes de 3,6 tonnes unitaire, d'une centaine de sièges passagers, de la capacité d'évacuation sanitaire de quarante blessés sur civières. Un tuyau souple de 2,75 mètres (6 pieds) avec un panier type "Probe and Drogue" (BDA Boom to Drogue Adaptor) sont ajoutés à l'extrémité de la perche rigide "Flying Boom", qui est la configuration standard retenue par l'USAF. Toutefois, si le kit BDA permet, à la pression de 3,5 bars, le transfert du carburant dans la perche de ravitaillement en vol du Mirage IV A, la vitesse de transfert chute significativement, passant de 2725 kg/min à 1275 kg/min avec le BDA. Le TACAN (2) inclue un mode Air/Air qui communique la distance entre le ravitaillé et le ravitailleur, facilitant le rassemblement.



Boeing C-135 F (F-UKCK) sn 63-12739 au décollage. La perche de ravitaillement empennée possède un débattement de + 10° et - 50° en élévation et + ou - 15° en latéral. (© AAE)



Boeing C-135 FR F-UKCE sn 63-8474 avant installation des nacelles de bout d'aile. La perche centrale est de type rigide "Flying Boom" (©AAE)

Le premier, US Serial Number N° 63-8471, est livré le 03 février 1964, le dernier, US S/N 63-12740, le 7 octobre 1964. Le retrait du "CI" marquant la fin de soixante ans d'opérations des C-135 F/FR dans notre pays, il nous a paru pertinent de retracer les activités des C-135F après leur remotorisation, avec le moteur CFMI, CFM56-2B1 (F108-CF-100 dans la nomenclature de l'USAF), installé entre 1985 et avril 1988 sur les onze C-135 F restants qui deviennent alors C-135 FR. Le premier C-135 F qui se pose en France sur la base aérienne de Istres le 5 février 1964 est équipé de moteurs Pratt et Whitney J57-P-59W (3) d'une poussée unitaire statique de 12 925 livres (moteur avionné), 13 750 livres (moteur au banc d'essais). La lettre "W" indique que ce moteur est doté d'un système d'injection d'eau utilisable, pour maintenir la poussée nominale pendant la phase du décollage. Le "P", que le moteur est fabriqué par la société Pratt & Whitney. Ils sont alors au service presque exclusif des Mirage IV A des FAS qui prennent l'alerte nucléaire, pour la première fois, sur la base de Mont de Marsan le 8 octobre 1964. Pendant la période de la "Guerre Froide", l'Armée de l'Air n'a d'autres avions dotés de la capacité de ravitaillement en vol que les North-American F-100 D "Super Sabre" de la 11<sup>ème</sup> escadre de chasse. Utilisables, hors zone Centre Europe, seulement après accord du gouvernement des États-Unis. Dans ces conditions, les ravitailleurs en vol sont essentiellement assignés au support de la mission nucléaire des FAS et à l'entraînement aux ravitaillements en vol des équipages de Mirage IV A. A partir de 1973, faisant suite à la réduction du niveau de la posture d'alerte des Mirage IV A, et de l'arrivée des Sepecat Jaguar A et E dans les escadres de chasse de la FATAC (Force Aérienne Tactique), des Mirage F1 C-200 dans les escadres du CAFDA (Commandement Air des Forces de Défense Aériennes) puis des Mirage 2000 et des Rafale, autonomisent les interventions hors Europe, la mission évolue significativement.

On observera qu'en 1964, quand les quadriréacteurs C-135 F arrivent dans les forces, que les armées de l'air disposant de ravitailleurs en vol dédiés et capables d'effectuer les complexes opérations de ravitaillement en vol à longues distances, en silence radio, se comptent sur les doigts d'une seule main. La période d'utilisation des C-135 F/FR en France sera marquée en 1972 par un unique accident grave. La perte d'un équipage, constitué de six personnes, et de l'avion US S/N 63-8472 (F-UKCC). Il est admis que la chute de puissance, simultanée et soudaine, qui affecta un ou plusieurs moteurs, pendant la phase de décollage depuis la base d'Hao, en Polynésie Française, fut causée par un phénomène de corrosion redevable à l'exposition à l'environnement salin dans ce secteur du Pacifique.



Boeing C-135 F : un appareil imposant par ses dimensions avec ses 41,5 m de long, 12,80 m de haut et 40 m d'envergure en flèche de 35°. La cabine présente de respectables dimensions : 24,60 m de longueur, 3,30 m de large pour 2,10 m de hauteur.

### *Les opérations extérieures du C-135 F*

Certes, les C-135 F utilisés pour supporter l'opération " *Lamantin* " conduite en Mauritanie, déclenchée le 22 novembre 1977 étaient encore, et pour quelques années, motorisés par le J57. Toutefois, cette opération qui préfigurait et servit de modèle à toutes celles qui allaient rapidement survenir sur le continent africain et qui d'ailleurs fut la première, après la longue pause qui suivit les opérations de maintien de l'ordre en Algérie, où des moyens d'assaut français eurent à ouvrir le feu, ne peut être occultée. Les moyens aériens étaient basés sur la base de Dakar-Ouakam au Sénégal. Parmi les trois-cent-cinquante militaires des trois armes impliqués, l'auteur avait la charge de la centrale de production de l'eau déminéralisée destinée aux C-135 F.

En novembre 1975, au moment de la décolonisation du Sahara Espagnol (Rio de Oro), bien que cosignataire de l'accord de Madrid, l'Espagne s'implique à minima. Le Maroc et la Mauritanie s'accordent à partager ce territoire de 300 000 km<sup>2</sup>, riche en gisements de phosphates en deux zones. Soutenu par l'Algérie, elle-même encouragée par l'URSS qui anticipe l'opportunité de pouvoir disposer des moyens portuaires qui lui font défaut et qui lui permettraient d'accéder librement aux eaux de l'Atlantique Sud. Constitué en 1973, le front de libération du Sahara occidental (*Front Polisario*) qui revendique la souveraineté sur ce territoire, depuis ses points d'appui situés dans la région de Tindouf, dans le sud Algérien, se lance alors dans des actions offensives, type raids de commandos, contre les intérêts du Maroc et de la Mauritanie. Typiquement, contre la ligne de chemin de fer qui relie le port de Nouadhibou aux immenses et riches mines de fer à ciel ouvert de la région de Zouerate exploitées par la SNIM (Société Industrielle et Minière de Mauritanie). A l'époque, ce train est le plus long du monde (200 wagons), incluant quelques wagons destinés à des passagers et plusieurs citernes qui alimentent en carburant les cinq locomotives qui le tire ! La France, qui a des accords de défense avec la Mauritanie et qui exploite les mines de fer, ne peut rester indifférente. Très puissamment armés, canons anti-aériens quadri-tubes ZSU de 23 mm, armes automatiques et même de missiles anti-aériens de type SAM-7, très mobiles et rapides utilisant des véhicules 4x4 de type Land-Rover, ces éléments qui se désignent eux-mêmes " *Sahraouis* " s'enhardissent. Ils parviennent à incendier des wagons et à endommager gravement la voie de chemin de fer puis finalement prendre huit otages Français sur le site de la mine. Les négociations menées à Alger n'aboutissent pas. La présidence de la République décide d'intervenir par la force. La Mauritanie étant un état côtier, initialement, il était envisagé d'utiliser les moyens de l'Aéronautique navale. Toutefois, le Super-Étendard n'étant pas encore en service, l'Étendard IV M n'ayant pas l'allonge suffisante (consommation d'huile du réacteur trop importante) et incapable de se ravitailler en vol sur les C-135 F, sa perche destinée aux " *Buddy refueling* " n'est pas compatible avec le réceptacle du C-135 F, la mission est confiée à l'Armée de l'Air épaulée par un détachement Marine constitué de plusieurs Breguet Br-1150 Atlantic chargés de la surveillance

des mines et de la voie ferrée qui joint le site minier de Zouerate au port de Nouadhibou. Quatre commandos d'une quinzaine de parachutistes, issus du 13<sup>ème</sup> RDP (Régiment de Dragons Parachutistes), disséminés sur quelques points stratégiques, ont la mission d'assurer, ce qui deviendra plus tard le Guet Aérien Tactique Avancé (GATA) et le guidage final des avions vers les objectifs. L'élément d'assaut est fort d'une dizaine de Sepecat Jaguar A et E (Biplace) de la FATAC, appartenant à la 11<sup>ème</sup> escadre de chasse normalement basée à Toul-Rosières, et de deux C-135 F des FAS. Après des vols effectués à grande vitesse et à très basse altitude, au-dessus des sites d'Atar et de Zouerate, tant pour " Montrer les cocardes ", et rassurer les employés de la SNIM et de la compagnie de chemin de fer, que de signifier au Front Polisario que les Jaguar étaient arrivés. Suivent plusieurs missions de combat, typiquement à un seul ravitaillement en vol, au cours desquelles l'accord de la Présidence de la République d'effectuer des tirs de destruction est donné, sont organisées. Les effets sont dévastateurs, beaucoup de Land-Rover et de canons de 23 mm sont détruits. Toutefois des tirs en retour de petit calibre touchent, sans effet significatif, plusieurs Jaguar dont l'un d'eux (A51, 11-RO), un réservoir

à carburant perforé, est contraint de faire un atterrissage forcé sur la piste de Nouadhibou. Les tirs sont tous effectués aux deux canons de bord de 30 mm avec des obus OPIT (Obus Perforant Incendiaire Traçant). Les roquettes de 70 mm (2,75 pouces) dont la dispersion est trop grande, peu efficace contre ce type d'objectif



Alignement de Sepecat Jaguar A et E durant l'Opération Lamantin (© AAE)

mobile et de petites dimensions, ou tout autres armes qualifiées " d'inhumaine " tel que rapporté par une certaine presse en France, ne sont pas utilisées.

Le soutien logistique est assuré par les C-160 Transall et les DC-8 du Commandement Opérationnel du Transport Aérien Militaire (COTAM). Des hélicoptères de l'Armée de Terre (ALAT) SA-330 " Puma " sont maintenus en alerte pour exécuter d'éventuelles missions de recherche de combat. Les consignes de tir (Règles d'ouverture du feu) étant contraintes l'un des Transall PC volant, l'Armée de l'Air ne dispose pas encore d'avion AWACS (Airborne Warning & Control System), assure les communications, à longues distances, en temps réel, avec la Présidence de la République. L'opération est un succès, le 14 décembre 1978 les dirigeants du front Polisario annoncent la libération des huit otages Français de la SNIM. Deux C-135 F avaient été engagés. Excluant les séquences de ravitaillement en vol pendant les transits entre la France et le Sénégal, ils ont effectué sur la zone des opérations, en dix sorties, trente-cinq heures cinquante de vol et cinquante-cinq ravitaillements.

Suivent, dans des conditions opérationnelles similaires, mais plus denses, au Tchad, toujours motorisés par des J57, " Tacaud " de février 1978 à mai 1980 et " Manta " d'août 1983 à novembre 1984. Cette opération est marquée par la mort, le 25 janvier 1984, au-dessus de la palmeraie de Toro-Doum, du capitaine Michel Croci de l'escadron 4/11 " Jura " basé à Bordeaux Mérignac. Pendant une passe de tir aux canons, son Jaguar A, n° 81 (11-MA), reçoit un tir heureux de petit calibre (7.62 mm ou 14.5 mm) qui détruit simultanément les trois systèmes hydrauliques. Hors de contrôle, l'avion percute aussitôt une dune de sable et explose au sol. Cette mission, comme toutes les autres, était supportée par des C-135 F basés à Libreville. Pour faciliter le rassemblement, ils font une verticale en altitude au-dessus du terrain de N'Djamena synchronisée avec le décollage des Jaguar et des Mirage F1, ils font une verticale en altitude au-dessus du terrain de N'Djamena.

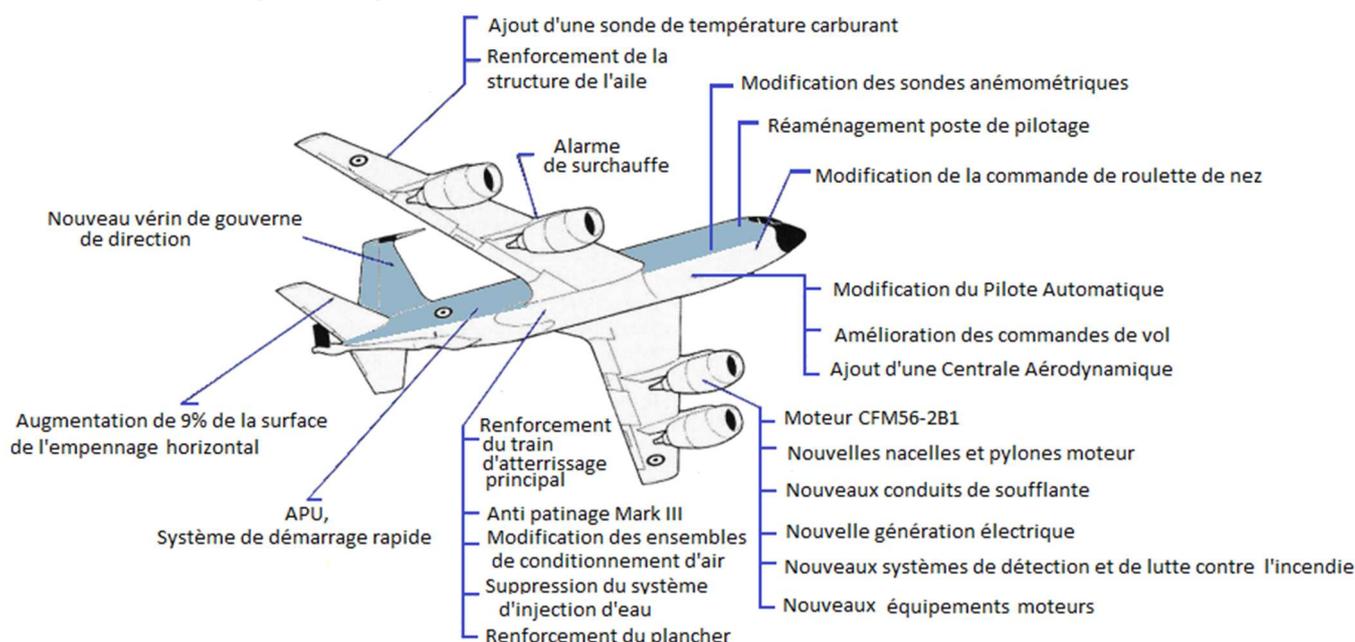


Boeing C-135 F en compagnie de Sepecat Jaguar A et E durant l'Opération Lamantin en 1977 (© AAE)

La France prévoyant d'utiliser les avions dans un double rôle de ravitaillement et de transport, ils ont été désignés sous le nom de C-135F, ce qui leur a valu le surnom de " sous-marins " en raison de l'absence de hublots.

## Chantier de remotorisation des C-135 F

Dès la fin des années soixante-dix, l'USAF conduit des études relatives à l'avenir de sa flotte de ravitailleurs en vol (4). Plusieurs options sont envisageables. Concluant une phase d'analyses techniques et financières détaillées, il est décidé de remplacer le vénérable J57-P-59W, premier turboréacteur occidental à avoir dépassé les dix-mille livres de poussée, sans la post combustion, par le moteur CFM56-2B1 de CFM International (CFMI). CFM International est une coentreprise, détenue à parts égales, par la SNECMA, en France et General Electric Aviation aux États-Unis. Le CFM56-2B1 est plus lourd, 2 139 Kilogrammes que le J57 (1 960 Kg). Auquel il faut ajouter la masse plus élevée de la nacelle et de la buse d'entrée d'air ainsi que son diamètre plus important, presque doublé : 1,7 mètres, contre 0.9. Toutefois, la robustesse de la structure de l'aile et la garde au sol, même au niveau des moteurs internes, sont suffisantes, pour permettre l'installation du CFM56-2B1, qui offre deux avantages décisifs : la poussée statique très significativement augmentée passe de 13 750 à 22 000 livres. En d'autres termes, trois CFM56-2B1 poussent plus, 66 000 livres, que quatre J57, 55 000 livres ! Alors que la consommation carburant, pour une mission type est réduite de pratiquement 30% ! La course au décollage est largement diminuée.

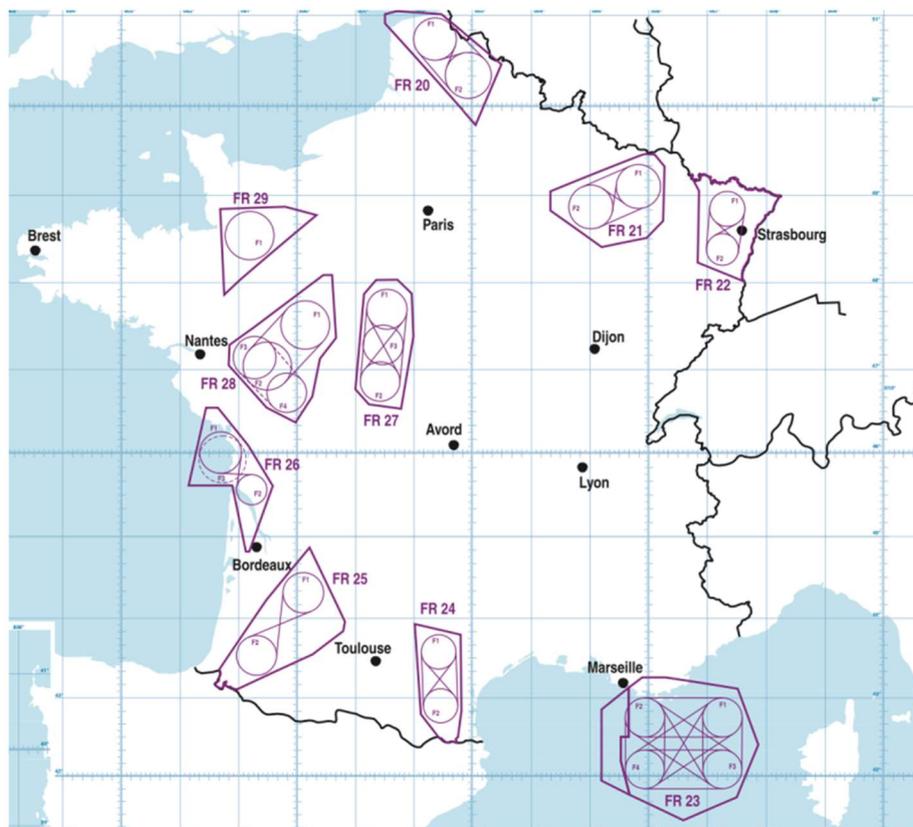


Modifications apportées au C-135 F pour le transformer en C-135 FR (© Boeing)

Terminés les décollages sur une piste nécessairement de 3900 mètres où l'avion commence son envol aux 300 mètres restants. La distance critique de décollage, au poids maximum autorisé, passe de 4420 à 3400 mètres. Beaucoup de terrains jusque-là, inaccessibles, pour cause de longueur de piste insuffisante, le deviennent avec la possibilité de décoller à pleine charge en condition de température extérieure élevée. Le temps de montée, toujours au poids maximum autorisé, de 3500 à 40 000 pieds de 19 à 13 minutes, nécessitant 50% de kérosène en moins. Ces chiffres qui parlent d'eux-mêmes permettent une plus grande dispersion des avions augmentant leur survivabilité en temps de crise. La diminution de la consommation carburant, jointe à l'amélioration des performances au décollage et pendant la phase de montée augmentent de façon notable la quantité de carburant transférable. Dans certaines conditions, alors que deux " A " eurent été nécessaires, il est possible à un unique " R " d'accompagner un raid d'assaut, d'attendre en zone de sécurité, et d'assurer le ravitaillement de la patrouille de chasseurs bombardiers pour le vol retour.

Au plan des opérations et de la maintenance, le CFM56-2B1 apporte deux progrès significatifs. Le système d'injection d'eau, qui impose de disposer, sur les bases des moyens nécessaires pour produire de l'eau déminéralisée est supprimé, s'associant à la disparition des imposants panaches de fumée noire du jet des réacteurs. Au-delà de la réduction du bruit et de la disparition des fumées, l'injection d'eau est une lourde charge pour les équipes de maintenance et cause de tension pour les équipages. Utilisée, dès que la température extérieure est supérieure +6°C, alors que les moteurs sont à la puissance maximale, après avoir ressenti l'effet de poussée additionnel, qu'accompagne la baisse de l'éclairage en cabine que cause la chute de tension dans tout

le système électrique quand les deux puissantes, (16 kilowatts), pompes à eau sont mises sous tension. Elles délivrent 590 litres/minutes sous huit bars. Les yeux rivés sur les indicateurs moteur l'équipage doit s'assurer du fonctionnement nominal des quatre moteurs pendant toute la course au décollage. Un disfonctionnement total équivaldrait à la perte de puissance d'un moteur, voire la cause d'une dissymétrie de poussée, si le disfonctionnement ne concerne qu'un des moteurs. Dans les deux cas, le temps de la décision d'abandon du décollage est très bref... Au moment de son arrêt, quand les 2536 litres (670 Gallons US) d'eau ont été consommés, deux minutes après la mise en rotation des pompes, l'avion subit une perte de poussée brutale. A ce moment, les volets hypersustentateurs doivent être en position rentrée. L'avion, configuré pour prendre la vitesse de montée optimum. Le rôle du navigateur est essentiel. C'est lui qui déclenche son chronomètre au moment de l'engagement des pompes. A la 110<sup>ème</sup> seconde, il annonce " Eau depuis 110 secondes " simultanément le pilote s'assure que les volets sont rentrés. Dans le cas contraire il faut les rentrer sans délai, avant que l'injection d'eau ne s'arrête.



Hippodromes de ravitaillement au-dessus du territoire Français. Ils sont désignés par un prénom féminin : Gisèle, Marie, Diana, Irène, Judith, Cécile, Agathe, Simone, Olivia, Yvette, Edwige.

(Extrait du document public Manuel d'Information de la Circulation Aéronautique Militaire en date de Mars 2022)

Second progrès, d'importance, dans le contexte de la " Guerre froide " pour prévenir toutes possibles oblitération de ses moyens de " frappes en retour ", le SAC (Strategic Air Command) met en place sur toutes ses bases un dispositif d'alerte permanente destiné à faire décoller la totalité de ses bombardiers et ravitailleurs en vol en moins de quinze minutes. La procédure régulièrement testée au cours d'exercices aussi spectaculaires que risqués, inclue le " Minimum Interval Takeoff " (MITO). Après une " marche des éléphants ", du parking de stationnement au seuil de piste, les ravitailleurs en vol décollent espacés de douze secondes ! La consigne aux commandants de bord, en cas de problème, quoiqu'il arrive, est de dégager la piste ! Malgré la poussée supérieure du CFM56-2B, la disparition des fumées, associée au niveau des turbulences de jet, équivalentes à celles du J57, sécurisent la procédure. Utilisant le C-135 F US N° 63-12740 (F-UKCL), mis à disposition par les FAS, la mesure des turbulences de jet du J57 avait fait l'objet d'une campagne d'essais au CEV de Istres, en janvier 1980.

Le programme de remotorisation s'est accompagné de modifications additionnelles. Lié à l'installation des CFM56-2B1, le système d'injection d'eau est supprimé. Ceux de détection et de lutte contre le feu sous nacelle sont renforcés. Un dispositif d'enregistrement des paramètres moteur (TEMS Turbine Engine Monitoring System), destiné aux analyses de maintenance préventive est installé. Le panneau central des instruments

destiné au contrôle du fonctionnement des moteurs est remplacé, adapté aux nécessités du CFM56-2B1. Les générateurs électriques du type CSD (Constant Speed Drive) sont remplacés par des IDG (Integrated Drive Generator) plus compacts, plus puissants et plus stables. Prenant en compte les plus grandes capacités du CFM56-2B1, le système de prélèvement d'air, optimisé est plus efficace. Deux turbines auxiliaires de puissance APU (Auxiliary Power Unit), dont la séquence de démarrage est complètement automatisée, sont installées. Un contact est mis à disposition dans la porte d'accès de l'équipage, il permet de démarrer les APU pendant qu'il monte à bord. Les APU dont les C-135 F n'étaient pas équipés se substituent aux cartouches pyrotechniques ou aux groupes de parc, autonomisent l'avion qui n'a plus besoin de support externe pour le démarrage des moteurs. Pour préserver la stabilité longitudinale de l'avion, liée à des tuyauteries hydrauliques d'un plus grand diamètre, la commande de direction, prenant en compte la puissance accrue des moteurs, est renforcées par l'ajout d'un nouveau dispositif amortisseur et d'un vérin de commande plus puissant, permettant d'accélérer la vitesse de déplacement de la gouverne de direction. Le contrôle de la direction des roues du train avant est maintenant commandé par le palonnier. Le train d'atterrissage principal est renforcé. Le système d'anti-blocage au freinage des roues et les disques de frein sont remplacés par un type plus efficace à cinq disques, nécessité par la poussée résiduelle au ralenti plus élevée des moteurs à fort taux de dilution et la décision de ne pas doter les KC-135 R d'inverseur de poussée.

En juillet 1984, le premier Boeing KC-135 A modifié en KC-135 R (R pour re-engine) est retourné à l'USAF, qui avait invité l'Armée de l'Air française à participer à ce programme. C'est entre 1985 et 1988 que les C-135 F se succèdent sur la base de Wichita (Kansas) pour le remplacement des moteurs J57 par des CFM56-2B1. Depuis la base aérienne d'Istres, la dernière mission de ravitaillement en vol d'un C-135 F, est effectuée par le F-UKCI (US N° 63-12737) le 25 janvier 1988. Tous les C-135 F avaient déjà fait un passage à Wichita, une première fois, entre 1977 et 1979 pour une importante opération, impliquant le remplacement du panneau inférieur de l'aile par un nouveau réalisé avec un type d'aluminium plus résistant à la fatigue cyclique.

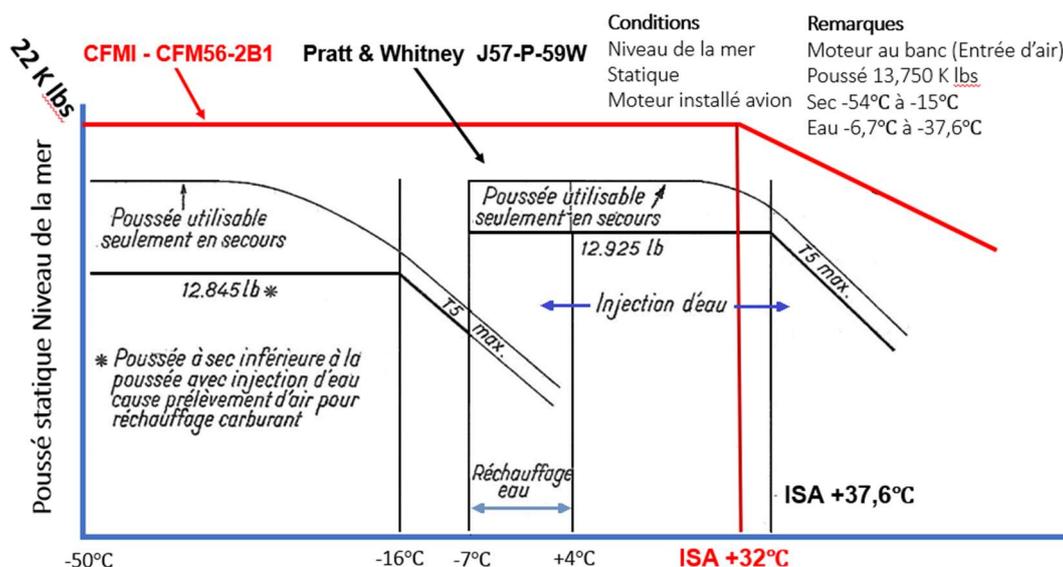


Diagramme des flats rate (température de cassure) : Pratt & Whitney J57-P-59W et CFM56-2B1

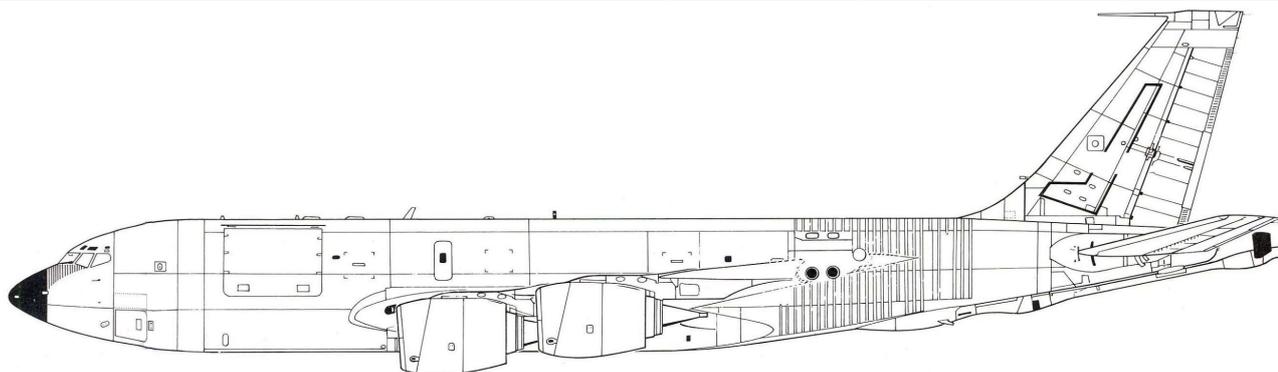
La technologie du CFM56-2 permet de conserver la puissance nominale (22 000 livres) au niveau de la mer en conditions standards, jusqu'à 32 °C (ISA + 17) alors que si le Pratt & Whitney J57 conserve sa puissance maximale disponible (pénalisée par les prélèvements ce qui n'est pas le cas du CFM56-2B1) jusqu'à 37,8 °C (ISA + 22,8 °C) elle n'est que de 12 925 livres. L'injection d'eau déminéralisée est typiquement utilisée quand la température extérieure est > -6 °C.

En 1993, l'Armée de l'Air décide d'ajouter une nacelle autonome de ravitaillement souple Cobham Mk 32B-551 (Probe and Drogue), capable de transférer jusqu'à 1275 kg/min, à chacune des extrémités de l'aile. La longueur du tuyau souple, entièrement déroulé, à la commande de l'ORV (Opérateur de Ravitaillement en Vol) est de 23 mètres. Cette modification s'accompagne du remplacement des pompes de transfert du carburant par un type plus performant. Ces dispositifs qui facilitent le ravitaillement en vol d'avions lourds tels que nos AWACS E-3F "Sentry" par la perche centrale en configuration rigide (Flying Boom) capable de délivrer entre 18 et 27 tonnes de carburant en une quinzaine de minutes. Les nacelles Cobham doublent les points de carburant simultanément disponibles en l'air, accélérant le processus de ravitaillement des patrouilles. Selon le vocable de l'USAF, ainsi reconfiguré, le C-135 FR, augmente significativement ses capacités de "Force multiplier".

## Spécifications techniques majeures des Boeing C-135.

Tableau des principaux paramètres comparatifs. Le KC-135 E est une version motorisée par le Pratt & Whitney JT-3D (TF-33-PW-102 norme USAF).

	KC-135 A	KC-135 E	KC-135 R
Poids maximum au décollage : (Tonnes)	132,400	134,700	146,280
Distance de décollage au poids maximum (Mètres)	3415	2925	2470
Emport carburant à masse maximale (Tonnes)	86,00	86,00	91,90
Carburant transférable à 2,500 miles nautiques (Tonnes)	28,600	33,400	42,600
Réduction de la consommation carburant (%)	Base	12	25
Respect normes commerciales (Janvier 1985)	Non	Non	Oui
Pollution par fumée (Réduction en %)	Base	74	82



Boeing C-135 FR. Le CFM 56-2 amène une réduction du bruit au décollage non négligeable. La zone affectée par le bruit au décollage ou à l'atterrissage d'un C-135 FR est réduite de 98% par rapport au C-135 F, soit 8 km<sup>2</sup> contre 520 km<sup>2</sup> ; le C-135 FR respectant ainsi les normes de bruit civiles les plus sévères (99 décibels maxi contre 126 enregistrés lors de décollages). La pollution visuelle (fumées noires si caractéristiques des C-135 F) est très en dessous des limites OACI, voire pratiquement nulle.

## Les opérations extérieures du C-135 FR

Toujours dans les cieux du Tchad, c'est pendant la longue opération " *Épervier* ", de février 1986 à juillet 2014, que les C-135 FR et leurs CFM56-2B1, furent, pour la première fois, employés au combat. Mis en place à la demande de l'État Tchadien, en février 1986, le dispositif " *Épervier* " est destiné au rétablissement de la paix et au maintien de l'intégrité territoriale du pays. Cette opération, succédant à " *Manta* " outre de fréquents appui feux au sol au profit de forces armées Tchadiennes, se caractérise par deux raids majeurs.

A la fin de 1985, les services de renseignements Français ont connaissance, qu'à 150 kilomètres au nord-est de la préfecture de Faya-Largeau, dans nord du pays, sur le site de Ouadi-Doum, les forces armées Libyennes établissent un point d'appui incluant une piste longue de 3800 mètres, large de 30, qui met la capitale N'Djamena à portée des bombardiers Libyens. Il en va de la crédibilité de la politique étrangère de la France. L'utilisation de ce point d'appui, dont la construction est en contradiction formelle avec les accords passés entre les gouvernants Français et Libyen en 1981, doit être empêchée. Le premier raid est conduit, depuis Bangui, en Centre Afrique. Le 16 février 1986, escortés par des Mirage F1 C, des Jaguar A de l'escadron 1/11 " *Roussillon* ", supportés par des C-135 FR, bombardent la piste à la bombe classique de 250 kilos et à l'anti-piste BAP-100. Elle est rendue inutilisable pour quelques mois. En représailles, le lendemain 17 février, l'Armée de l'Air Libyenne envoie un Tupolev Tu-22 " *Blinder* ", bombarder le terrain de N'Djamena. Il largue quatre bombes freinées de 500 kilos qui endommagent légèrement la piste et un bâtiment de l'aéroport. Dès l'après-midi, le gouvernement Français réplique, en renforçant en et positionnant ses moyens aériens de Bangui à N'Djamena.

Le 18 février, c'est l'opération " *Tobus* ". Le Mirage IVA n° 31 (code BD) (6) du CIFAS 328 (Centre d'Instruction des Forces Aériennes Stratégiques) " *Aquitaine* " basé à Bordeaux Mérignac équipé de la nacelle photographique Hurel-Dubois CT-52, du lance leurres " *Phimat* ", des deux réservoirs pendulaires classiques de 2500 litres qui ramène d'excellentes photos des destructions, a effectué une des plus longues missions de reconnaissance jamais conduite par l'Armée de l'Air. Les deux réservoirs pendulaires avaient été largués en cours de mission au-dessus du Soudan. Précautions avaient été prises de retirer toutes les plaques d'identité, internes et externes. La mission qui dura onze heures et trente minutes, dont un passage à très basse altitude et à grande vitesse, au-dessus de l'objectif a nécessité douze ravitaillements en vol, impliquant quatre C-135

F/FR. Quarante-huit tonnes de carburant ont été transférées. Plusieurs missions de ce type avaient déjà été conduites, notamment en 1974, au-dessus de ce même secteur dans le cadre de l'enlèvement, par des rebelles, d'une ethnologue française, Françoise Claustre. Ces missions, au départ de la base d'Istres, duraient de l'ordre de huit heures avec cinq ravitaillements en vol.



Sepecat Jaguar A-67 3-XN en configuration suppression de défense aérienne missile Martel AS-37 ventral et deux réservoirs pendulaires largables de 1200 litres (© AAE).

Le second, le 7 janvier 1987, le raid initialement organisé le 6 est à recommencer. Les radars Libyens ne sont pas activés. Le Missile Franco-Britannique (Hawker-Siddeley/Matra) AS-37 "Martel" (Air Sol Matra Antiradar Télévision) qui doit détecter les émissions du radar cible, pour accrocher et se guider, ne le peut. Le lendemain 7, deux Mirage F1 CR, en formation offensive servent de leurre. Approchant ostensiblement du site de Faya-Largeau, aussitôt détectés ils virent brusquement vers la base de Oadi-Doum. Immanquablement, les Libyens allument le radar "Straight Flush" qui contrôle les batteries anti-aériennes SA-6 "Gainful" qui défendent le secteur. L'AS-37 d'un des trois Jaguar A, le n° 100 de l'escadron 3/3 "Ardennes", spécialisé dans la destruction des défenses aériennes, venu de Nancy-Ochey pour l'occasion, accroche. Le pilote le tire, depuis l'altitude de 300 pieds (90 m). Le radar est détruit. Les Libyens ripostent le lendemain en envoyant un Tu-22 "Blinder" bombardier le terrain de N'Djamena. Cette fois, la force "Épervier" est en alerte. Deux Mirage F1 C en vol depuis l'aube sont prêts à faire feu sur le Tu-22 qui louvoie longuement avec la frontière du Niger, mais courts en carburant, il leur est ordonné de dégager pour laisser la cible aux missiles "Hawk" d'une batterie du 403<sup>ème</sup> Régiment d'Artillerie de Chaumont, Haute-Marne, qui l'abat.



Mirage IVA train d'atterrissage sorti en ravitaillement en vol sur un C-135 F. En plus de leur numéro de série militaire, seules les deux dernières lettres de leur immatriculation nationale sont généralement peintes sur l'avion : F-UKCL comme "CL", "Charlie-Lima".

Sur la base d'Al Watia, au nord-ouest de la Libye, cette période fut pour le moins "compliquée" pour l'auteur et la poignée de militaires du groupe de coopération technique de l'Armée de l'Air. Certes, loin du théâtre des opérations, nous participions à l'assistance technique "Air" que la France devait à la Libye, gros client de nos Mirage III / V et F1. Nous ne pouvions manquer de voir le quadrimoteur Iliouchine IL-76 "Candid" quotidien aux couleurs de la Libyan Arab Airlines embarquer matériel et munitions dont du napalm, vers le sud... Même si le contact avec nos partenaires Libyens et la population restait correct, c'est avec circonspection que nous les observions préparer les redoutables Mirage F1 AD, version optimisée pour l'attaque au sol du Mirage F1. Insondables méandres de la diplomatie...

Après les épisodes Tchadien, voire concomitamment, débute la mission " *Daguet* ". Nom de code donné par le ministère de la défense aux opérations visant à la libération de l'émirat du Koweït. " *Desert Shield* " et " *Desert Storm* " pour les USA. D'août 1990 à janvier 1991, cette opération fut si médiatisée, qu'il n'est pas utile de s'attarder sur cette gigantesque opération pendant laquelle, les moyens air Français, Mirage 2000 C, Jaguar A et F1 CR, depuis la base d'Al Ahsa en Arabie Saoudite (300 kilomètres au nord de Riyad), ont effectué 2% du total des missions d'assaut de la coalition, soit 1200 missions, sans aucune perte. Les C-135 FR, basés sur l'aéroport international du roi Khaled à Riyad, qu'ils partagent avec des ravitailleurs de la RAF et de l'USAF, sont sollicités pour le convoi des chasseurs entre la France et l'Arabie-Saoudite. Dans la nuit du 27 au 28 février 1991, c'est un des C-135 FR, configuré en EVASAN (Évacuation Sanitaire) qui ramène à Orly les vingt-trois blessés du CRAP (Commando de Renseignement et d'Action dans la Profondeur) du 1<sup>er</sup> RPIMa surpris par deux mines qui explosent alors qu'ils explorent, dans les toutes dernières heures de " *Desert Storm* ", le fort d'Al Salman, en Irak lequel avait servi de PC à une division irakienne. Pendant " *Daguet* ", les C-135 FR sont crédités de 913 heures de vol en 272 sorties de combat. 185 au profit des Jaguar A, 437 pour les Mirage 2000 et 65 pour les Mirage F1 CR.



Au lendemain de la libération du Koweït, pour prévenir toutes mesures de rétorsion du dictateur Irakien contre les populations chiites au sud et Kurdes, au nord de l'Irak, deux zones d'exclusion aériennes sont créées. Elles représentent environ la moitié de la superficie totale du territoire Irakien. Pour l'état-major Français, peu connue du grand public, ce sont les opérations " *Alysse* ", " *Aladin* " en 1998 et " *Tarpan* ". " *Alysse* " d'abord au nord, à compter d'avril 1991, jusqu'au 36<sup>ème</sup> parallèle, puis à partir d'août 1992 au sud, jusqu'au 32<sup>ème</sup> parallèle. " *Northern et Southern Watch* " pour les forces Américaines. Cent-quatre-vingts militaires Français, depuis la base d'Al Khobar, proche de Dhahran, puis pour des raisons de sécurité d'Al Ahsa, mettent en œuvre cinq Mirage 2000 C, trois Mirage F1 CR et un ravitailleur en vol C-135 FR qui patrouillent quotidiennement le ciel de l'Irak. Le ravitailleur supporte les vols de Mirage 2000 C (Chasse) et F1 CR (Reconnaissance). Cette mission ne sera pas sans péripétie. Notamment en septembre 1996, bien que laissant ses avions dans la zone, la France arrête sa coopération lorsqu'unilatéralement, Washington et Londres, décident d'étendre la limite sud jusqu'au 33<sup>ème</sup> parallèle. Après " *Iraqi Freedom* ", " *Alysse* ", l'une des missions les plus anciennes de l'Armée de l'Air, perdant sa raison d'être, est démontée en juin 2003. Insérée dans " *Alysse* ", " *Tarpan* " dans le cadre de l'assistance que la France apporte à la Commission de Contrôle, de Vérification et d'Inspection des Nations Unies (CCVINU) qui avait la charge de vérifier le désarmement de l'Irak. Avec l'accord du gouvernement Irakien, des vols, en moyenne altitude et vitesse subsonique, de Mirage IV P de reconnaissance stratégique, sont effectués. Deux C-135 FR et deux Mirage IV P (n° 25 AX et 53 BZ), souvent illuminés par les conduites de tir de défense contre avion Irakienne, bien que portant les marquages de l'ONU sont impliqués. Les équipages de Mirage IV P, pilote et navigateur, volaient avec des passeports diplomatiques. En cas d'éjection, ils auraient ainsi pu fournir la preuve qu'ils n'étaient pas des espions mais des inspecteurs de l'ONU. Le Ministère de la Défense Français indique que pendant sa période d'activité, " 114 objectifs, couvrant 110 000 km<sup>2</sup> du territoire Irakien, ont été traités ". Sous le nom de code " *Héraclès* ", à partir de novembre 2001, des missions identiques, dans le cadre plus large " *d'Enduring Freedom* ", sont conduites par des Mirage IV P et des C-135 FR, cette fois, au-dessus de l'Afghanistan depuis la base d'Al Dhafra aux Émirats Arabes Unis.



De 1993 à la fin de 1996, l'opération " *Aconit* ", " *Provide Comfort* " pour les USA, est le pendant " *d'Alysse* " pour la surveillance au nord du 36<sup>ème</sup> parallèle. Depuis la base d'Incirlik, en Turquie, les C-135 FR

associés à leurs homologues Vickers VC-10 de la RAF assistent tous les avions de la coalition, dont les Jaguar A et les Mirage F1 CR de l'Armée de l'Air qui opèrent au nord de l'Irak.

Au cours de l'été 1994, alors que se déroulent les opérations du Moyen-Orient, au Rwanda, commence la lointaine, 8000 kilomètres de la France, et difficile opération " *Turquoise* ". A objectif humanitaire, essentiellement à composante terre " *Turquoise* " implique toutefois deux C-135 FR, qui après avoir assuré les transits



entre la France et la base d'opérations de Kisangani en République Démocratique du Congo, servent aux ravitaillements en vol des quatre Mirage F1 CT et des quatre Mirage F1 CR déployés depuis les bases de Colmar et de Reims. Les Mirage F1 participent à la sécurisation des populations déplacées. Bien que toujours controversée " *Turquoise* " a permis de sauver des milliers de vies humaines et d'éviter l'amplification d'une indicible catastrophe humanitaire en stabilisant dans la Zone Humanitaire Sûre (ZHS) plus de deux millions de personnes qui, sans cette intervention, auraient fui vers des camps au Zaïre ou au Burundi.

En 2001, supportées par les C-135 FR, les forces aériennes Françaises, Aéronavale et Armée de l'Air, participent au soutien aérien des opérations " *d'Enduring Freedom* " au-dessus de l'Afghanistan. Pour la France, se succèdent " *Serpentaire* " essentiellement Marine avec le porte-avions Charles de Gaulle dont c'est la première mission opérationnelle, embarquant Super Étendard, Rafale Marine et avion de guet aérien Grumman E-2 C " *Hawkeye* ". Pendant cette opération, les C-135 FR de l'Armée de l'Air ont conduit 270 missions de



Super Étendard (© AAE)

ravitaillement vol en 1656 heures de vol auxquelles s'ajoutent les 1643 heures de missions d'assaut accomplies par les Mirage 2000 D. Les Super-Étendard de l'Aéronautique Navale, pour leur part, effectuent 497 missions d'attaques au sol. Les Grumman E-2 C " *Hawkeye* " de guet aérien 111 heures, soit le total de 2367 heures de vol, 1872 en reconnaissance ou en assaut, 495 de guet aérien

auxquelles s'ajoutent 700 heures pour les Rafale Marine, 2000 heures d'hélicoptère et de nombreuses heures de Breguet 1150 Atlantique de patrouille maritime engagés pour la surveillance de la mer d'Arabie.

L'opération " *Pamir* " au-dessus de l'Afghanistan, désigne la participation Française à la Force Internationale d'Assistance et de Sécurité (FIAS), en application de la résolution No 1386 du Conseil de sécurité de l'ONU du 20 décembre 2001. Pour l'Armée de l'Air, débutant le 4 janvier 2002, elle implique quatre-cent-cinquante personnels. Sur la base de Kandahar, dans le sud de l'Afghanistan, d'où opèrent trois Super-Étendard et trois Mirage 2000 D. La composition de cette force évolue régulièrement. Des Rafale Air ou des Mirage F1 CT/CR, opérant depuis Douchanbé au Tadjikistan. Maintenus en alerte en vol CAP (Combat Air Patrol), ils apportent le soutien aérien rapproché d'urgence aux éléments au sol, quand ils sont en contact avec les talibans. Le dispositif est ensuite renforcé par deux avions de transport C-160 " *Transall* " déployés à Douchanbé et deux ravitailleurs Boeing C-135 FR, basé à Manas au Kirghizistan. Ils effectuent au-dessus de l'Afghanistan au profit de tous les avions de la coalition, sept jours sur sept, des missions de ravitaillement en vol d'une durée moyenne de six heures. Les Rafale de l'escadron de chasse 1/7 " *Provence* " se posent pour la première fois à Douchanbé le lundi 12 mars 2007. Ils avaient quitté la base de Saint-Dizier le dimanche 11 mars. Ils rejoignent le Tadjikistan, après une escale à Djibouti et deux ravitaillements en vol depuis la corne de l'Afrique sur un C-135 FR du groupe de ravitaillement en vol 2/91 " *Bretagne* " basé à Istres.

Suivent en secteur Méditerranée et Adriatique, quatre missions d'importance " *Crécerelle* ", " *Trident* " (1999), " *Harmattan* " (2011) et " *Hamilton* " (2018).

En décembre 2010, les émeutes qui éclatent en Tunisie marquent le début de ce que le monde retiendra comme " *Le printemps Arabe* ". De proche en proche, elles gagnent la Lybie. Dans un premier temps, jusqu'au 15 février 2011, le colonel Kadhafi, dictateur au pouvoir depuis 1969, parvient à contenir la contestation.

Ce jour-là, l'arrestation d'un militant des droits de l'homme enflamme la région de Benghazi, en Cyrénaïque. Le mouvement prend une telle ampleur que quelques jours plus tard, toute la Lybie est en état d'insurrection. A la suite de tractations diplomatiques compliquées, depuis l'aéroport de Tripoli, trois avions du COTAM, deux Airbus A-310 et un Airbus A-340, permettent d'évacuer en urgence, mais dans les plus grandes difficultés, environ sept-cents ressortissants Français et quelques diplomates étrangers. Toutefois, des milliers de résidents qui veulent fuir les violences restent sur le parking. Leur sort, ainsi que celui de la population Libyenne, que le dictateur menace de réduire dans " une rivière de sang " inquiète la communauté des nations. A l'initiative de la France, de la Grande-Bretagne et du Liban, le 17 mars 2011, le conseil de sécurité des Nations Unies émet la résolution No 1973. Laquelle, entre autres restrictions, décrète une zone d'exclusion aérienne au-dessus du territoire de la Libye.



Nacelle de ravitaillement en vol Mk.32B-551 (© AAE)



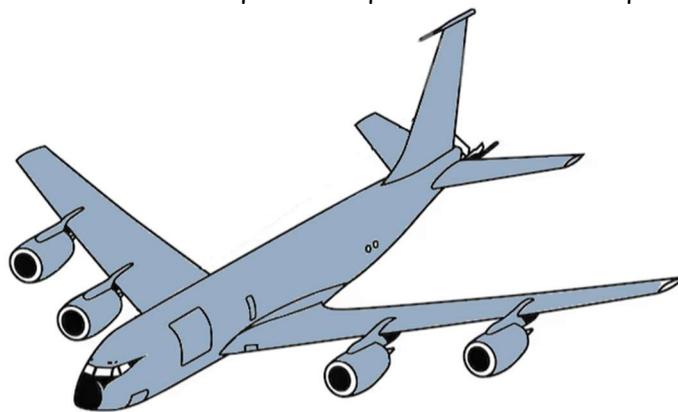
Nacelle de ravitaillement en vol Mk.32B-551 (© AAE)

Pour la faire respecter, la France déclenche l'opération " *Harmattan* ". Elle s'insère, sous commandement de l'OTAN, dans le cadre " *d'Unified Protector* " qui inclue la Belgique, la Bulgarie, le Canada, le Danemark, les Émirats arabes unis, l'Espagne, la Grèce, l'Italie, la Jordanie, le Koweït, la Norvège, les Pays-Bas, le Qatar la Roumanie, la Suède et la Turquie. Cent-cinquante avions sont engagés. Pour la France : Mirage 2000 D et N d'assaut, Mirage 2000-5F de défense aérienne, Rafale Air et Marine, Super-Étendard du porte-avions Charles de Gaulle. L'Armée de Terre engage divers types d'hélicoptère de combat pour l'assaut, d'éventuelles missions de sauvetage de combat et d'insertion et retrait de forces spéciales. La Royal Air Force est présente avec ses Tornado GR4, Eurofighter Typhoon et des avions de guerre électronique Nimrod R1. Les autres participants engagent des Mirage 2000, des F-16, F-18 et CF-18 Hornet. Les États-Unis assurent la conduite des opérations depuis Stuttgart, siège du commandement militaire des USA pour l'Afrique et le navire amiral *USS Mount Whitney* chargé de la supervision des opérations. Leurs F-16 basés à Trapani, la base sicilienne est mise à disposition de l'USAF par l'Italie, des bombardiers furtifs Northrop B2 " *Spirit* " qui opèrent depuis leur base à Whiteman (Missouri), des avions de surveillance aérienne Boeing RC-135 R, E-3 " *Sentry* " Britannique E-3D, Français E-3F et US, participent aux opérations. Les ravitailleurs Français C-135 FR supportés par les Vickers VC-10 de la RAF ne sont pas absents ainsi qu'un Boeing 707, converti en ravitailleur en vol, de l'Armée de l'Air Espagnole. Les éléments Français basés à terre opèrent depuis la base Italienne de Sigonella et de Sude en Crète. " *Harmattan* " qui devait être brève, " *Quelques semaines tout au plus* ", pour cause de résistance plus forte qu'anticipée des troupes fidèles au colonel de Kadhafi qui infligent des revers aux insurgés, s'éternise. A tel point, qu'il sera nécessaire d'envoyer des conseillers militaires au sol. L'opération se termine le 23 octobre quand, faisant suite à l'exécution du colonel Kadhafi, le 20 octobre, le président du Conseil National de Transition (CNT), annonce la " *libération du pays* ". Pendant " *Harmattan* ", les C-135 FR ont effectué 90 heures de vol en 11 missions.



Boeing C-135 FR avec perche rigide déployée (© AAE).  
Le diamètre du CFM56 plus important que les Pratt and Whitney J57 d'origine a imposé un positionnement des moteurs plus en avant et plus haut, avec des attaches renforcées de la nacelle sur l'aile et des mâts supports nouveaux. Cela donne à l'appareil une silhouette nouvelle, avec une garde au sol plus basse, apparente surtout au décollage et à l'atterrissage.

L'opération " *Hamilton* ", où six C-135 FR sont engagés, se caractérise par sa brièveté, une seule nuit, du 13 au 14 avril 2018 et la puissance de la frappe. Bien que des moyens Britannique et des États-Unis importants soient impliqués, elle est exécutée sous commandement Français. " *Hamilton* " est montée pour détruire le stock d'armes chimiques que le président Syrien, malgré ses dénégations et les multiples mises en garde de la communauté internationale, n'hésite pas à utiliser contre ses populations civiles, notamment contre la ville de Douma le 7 avril. L'intention est d'effectuer des frappes punitives dans la profondeur du territoire Syrien. Cette nuit-là, l'Armée de l'Air engage depuis la base de Luxeuil cinq Mirage 2000-5F, indicatif radio " *Maraud* ", de l'escadron 1/2 " *Cigognes* " en configuration de supériorité aérienne : deux missiles Mica IR, quatre Mica EM " *Fox 3* " de type tire et oublie et deux réservoirs de carburant supplémentaires de deux mille deux cents litres. Avec des F-16 de l'USAF, ils sont chargés de la protection du raid, " *Air Defence Package Leader* " (ADPL), et des " *High Value Air Assets* " (HVAA) ravitailleurs et AWACS. Les deux AWACS ont la double mission d'assurer la liaison et la mise à jour des informations avec le Centre National des Opérations Aériennes (CNOA) sur la Base Aérienne 942 de Lyon-Mont-Verdun et de la détection avancée en cas d'intervention hostile de l'aviation des forces armées Syrienne, voire Russe qui, en principe, ne s'opposera pas. Par le travers de la Corse, après le premier ravitaillement en vol, un des Mirage 2000-5F parti comme " *spare* ", pour faire face à une panne possible d'un des avions de la patrouille, fait demi-tour et regagne Luxeuil. Depuis la base de Saint-Dizier, en configuration lourde, des Rafale des 4<sup>ème</sup> et 30<sup>ème</sup> escadres de chasse, armés de deux missiles de croisière SCALP-EG (Système de Croisière Conventionnel Autonome à Longue Portée d'Emploi Général de missiles d'autoprotection Mica et trois réservoirs de carburant supplémentaires de deux mille litres, décollent pour une mission à plus de 3 700 kilomètres de leurs bases (7 500 kilomètres aller et retour en cinq ravitaillements en vol). Deux AWACS, de l'Escadron de Détection et Contrôle Aéroporté 00.036 " *Berry* " depuis Avord et de six ravitailleurs en vol C-135 FR, depuis Istres, accompagnent le raid. La mission est complexe. Mainte fois réalisée dont pendant " *Harmattan* ". De type entrée en premier " *Entry force* ", elle devra faire face à des systèmes défensifs sol-air (S-400 " *Triumf* " / SA-21 " *Growler* " et S-300 / SA-10 " *Grumble* ") et air-air de la dernière génération. Le segment aller est marqué par une petite frayeur quand pendant son premier ravitaillement " *Maraud 4* " contacte brutalement, mais sans conséquence, le bord du panier avec le cône du radar de son Mirage 2000. Les conditions climatiques sont qualifiées de " *colériques* ". La mission est, particulièrement longue, dix heures de vol. Les Rafale qui avaient décollé de Saint-Dizier à 21:00 heures rentrent tous le lendemain à 7:00 heures du matin, soit dix heures de vol. C'est un grand succès tactique. Le gouvernement Syrien n'utilisera plus ses d'armes chimiques contre ses populations. Les trois sites, dont le centre d'études et de recherches de Barzé, localisé dans un des quartiers nord de Damas, les deux autres, des dépôts d'armes chimiques, situés à Him-Shinshar au sud de la ville de Homs sont détruits.



Pour les pilotes, les mécanos et l'ensemble des personnels impliqués sur toutes les bases, présents ce soir-là, c'était l'aboutissement d'un travail débuté quelques jours plus tôt. Un moment fort qui marque la cohésion et la compétence de toutes les unités de l'Armée de l'Air et de l'Espace.

En mai 1980, après la mort du Maréchal Tito qui, depuis la fin de la seconde guerre mondiale gouvernait la fédération Yougoslave d'une main de fer, les très fortes revendications nationalistes ancestrales renaissent. Elles atteignent leur paroxysme en 1991 quand la Croatie et la Slovénie proclament leur indépendance. Le président Yougoslave riposte brutalement. Les Balkans, de nouveau, s'embrasent. S'en suivent des violences intolérables auxquelles la communauté internationale décide de mettre fin, par la force si nécessaire. Sous mandat des Nations-Unies, résolutions No 743 et 816, et sous le commandement de l'OTAN, le 30 août 1995, marque le début de l'opération, " *Deliberate Force* ". Pour la France, se succèdent alors " *Crécerelle* " (" *Deny Flight* " pour l'OTAN). C'est une mission d'interdiction et de surveillance aérienne au-dessus de la Bosnie-Herzégovine, depuis les bases aériennes Italiennes de Brindisi et d'Istrana où sont basés les Mirage F1 CR, Jaguar et Mirage 2000, Istres pour les ravitailleurs en vol. Puis de 1999 à 2014, " *Trident* " (" *Allied Force* " pour l'OTAN) qui comporte une forte composante Terre, au Kosovo destinée à mettre fin, à toute action

militaire, à la violence, à la répression, au retrait de toutes les forces de police et paramilitaires ainsi qu'à la mise en place d'une présence militaire internationale au Kosovo. Pendant " Trident " tous vols compris, l'Armée de l'Air effectue un peu plus de 950 sorties de combat dont 400 de Mirage 2000 D, Jaguar et Super-Étendard. Les C-135 FR participent au ravitaillement en vol de tous les avions de combat de la coalition dont les missions peuvent durer jusqu'à neuf heures.



Boeing KC-135 R 93-CN s/n 62 3525. (© AAE)  
L'ERV Sologne dispose de trois KC-135 R achetés à la fin des années 1990 dans le cadre du programme " Peace Armagnac ". Il diffère extérieurement du C-135 FR par son antenne filaire reliant la dérive et le

fuselage et, en raison de la suppression du poste de navigateur, de l'absence de deux hublots situés au plafond de la cabine.

Au profit de l'ONU, chacune des deux missions quotidiennes de reconnaissance effectuées au-dessus de la Serbie par les trois Mirage IV P, les réservoirs largables de 2500 litres ne sont pas installés et imposent trois ravitaillements en vol. Arrivant de la base de Solenzara, après le transit, entre Rome et Pescara, un premier ravitaillement est organisé à 25 000 pieds au-dessus de la mer Adriatique. Puis, après un premier survol à grande vitesse (Mach 1,8 / 45 000 - 50 000 pieds) de la Serbie ou du Kosovo, un second dans les mêmes conditions d'altitude et de vitesse, sur le même hippodrome, avant le deuxième passage, enfin, le troisième avant le retour vers la Corse. Il arrive, en cas de nécessité, que pendant la même mission, d'autres survols, évidemment nécessitant d'autres ravitaillements en vol, soient ordonnés.

Les missions au-dessus de l'ancienne Yougoslavie se déroulent dans un espace aérien contesté. Les forces de l'OTAN abattent une dizaine d'avions Serbes dont six Mig 29. Plusieurs avions de la coalition, dont un Lockheed F-117 A Nighthawk furtif, un de nos Mirage 2000 NK 2 (n° 346, 3-JD) de l'EC 2/3 " Champagne " et deux F-16 du 555<sup>ème</sup> escadron de chasse de l'USAF sont abattus par des missiles tirés à l'épaule de type SA-7 " Strela " (MANPADS *Man-portable Air-Defense System*). Les pilotes sont tous récupérés, soit après négociations, soit le résultat de longues et risquées missions de sauvetage de combat pendant lesquelles les C-135 FR en alerte en vol apportent l'allonge nécessaire aux avions participant à la récupération des équipages éjectés.

Terminons avec les longues missions " Barkhane " et " Chammal ". " Barkhane " qui débute le 1<sup>er</sup> août 2014 depuis la base aérienne projetée, créée de toutes pièces, à Niamey au Mali ou depuis N'Djamena au Tchad, est destinée à réduire les groupes terroristes et djihadistes qui terrorisent les populations dans la bande sahélo-saharienne (BSS). " Chammal ", " *Inherent Resolve* " pour les USA, contre les éléments de Daech du " Califat territorial " de l'État islamique qui sévissent en Irak et en Syrie se fait sous le commandement des USA, depuis la base d'Al Azraq, désignée base projetée au Levant, en Jordanie, dans le désert, à deux heures de route à l'est de la capitale Amman ou à d'Al Dhafra. Les missions consistent en des frappes presque quotidiennes, des missions de renseignement, ou de suivi de convois sensibles voire la lutte anti-drones. Les ravitailleurs en vol opèrent depuis la base d'Al Dhafra.



Ravitaillement de nuit d'un Mirage 2000-5F (© AAE)



Ravitaillement d'un Rafale B et Mirage 2000 N des FAS (© AAE)

" *Serval* ", opérationnelle en quelques heures, dès le 11 janvier 2013, à la requête des autorités Maliennes qui demandent à la France son appui immédiat pour arrêter l'avancée de groupes terroristes qui se dirigent vers Bamako et de les repousser vers le nord. Elle est suivie, avec les mêmes objectifs que " *Salamandre* ", en février 2022, toujours conduite par les armées françaises, mais en partenariat avec les pays du G5 Sahel. Elles précèdent " *Barkhane* ", laquelle repose " *Sur une approche stratégique fondée sur une logique de partenariat avec les principaux pays de la Bande sahélo-saharienne (BSS) : Burkina Faso, Mali, Mauritanie, Niger, et Tchad* ". Elle regroupe environ 4600 militaires des trois armes dont la mission consiste à lutter contre les groupes armés terroristes et à soutenir les forces armées des pays partenaires afin qu'elles puissent combattre cette menace.

Mise en place en juin 2003 " *Mamba* ", initialement Française, en application de la résolution No 1484 du Conseil de Sécurité de l'ONU, devient, sous le nom " *d'Artémis* ", Européenne un an plus tard. Des ravitailleurs en vol C-135 FR du détachement " *Épervier* ", basés à N'Djamena au Tchad et à Libreville au Gabon supportent le détachement chasse, composé de cinq Mirage 2000 D et de cinq Mirage F1 CR/CT, simultanément engagés dans " *Épervier* " il est chargé des éventuels appuis feux. " *Artémis* ", à forte composante Terre, est une première. Même si les moyens sont essentiellement Français, c'est la première fois que l'Union Européenne dirige une opération extérieure. Elle inclue : un État-Major de Force, le 3<sup>ème</sup> Régiment d'Infanterie de Marine, le 1<sup>er</sup> Régiment de Hussards Parachutistes, le 11<sup>ème</sup> Régiment d'Artillerie de Marine, le 6<sup>ème</sup> Régiment du Génie et la 9<sup>ème</sup> Brigade Légère Blindée de Marine qui mettent en œuvre deux-cents véhicules E : des RC 90 " *Sagaie* ", des Véhicules Blindé Légers (VBL), des mortiers de 120 mm et postes de tir anti-char " *Milan* " et " *Eryx* ". Après avoir sécurisé l'aéroport de Bunia dans l'est de la République Démocratique du Congo dans la région du lac Albert, elle servira de plateforme logistique. " *Artémis* " est au service de la force MONUC (Mission de l'Organisation des Nations Unies au Congo). Elle devra, en cas d'agression avérée, assurer la protection des populations dans la ville de Bunia et de ses abords immédiats.



Mirage 2000 C RDI



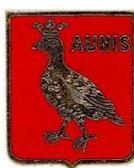
Panier impacté

Même si, compte tenu des tensions présentes, il est difficile de lever le voile, comment ne pas mentionner les opérations aériennes aux frontières orientales de l'OTAN et de l'Union Européenne. Les deux plus médiatisées : " *Baltic Air Policing* " (BAP) depuis 2004 puis, à partir de 2014, après " l'annexion " de la Crimée par la Russie " *Enhanced Air Policing* " (EAP) qui impliquent régulièrement les C-135 FR qui assurent le transit de patrouilles de chasseurs de défense aérienne Rafale ou Mirage 2000-5F en déploiement vers les bases aériennes de Šiauliai, en Lituanie, ou d'Amari, en Estonie. Sous commandement de l'OTAN, par rotation de quatre mois, en alternance avec ceux des autres nations participantes, les avions de l'Armée de l'Air garantissent l'intégrité et la souveraineté des cieux des trois états Baltes. Il n'est pas rare que, sous le commandement du " *Combined Air Operations Center* " (CAOC) basé à Kalkar, dans l'ouest de l'Allemagne, les avions en " *Quick Reaction Alert* " (QRA) reçoivent l'ordre de décoller pour exécuter des " *A-Scrambles* " ou interceptions réelles destinées à identifier et à raccompagner des avions Russes suspects ou trop curieux. Tel que ce 21 janvier 2023, où au cours d'une même mission, deux Rafale interceptent un Iliouchine Il-20 " *Coot* " (bimoteur de reconnaissance électronique) escorté par deux chasseurs Sukhoï Su-27 " *Flanker* ". Ils sont raccompagnés vers la frontière nord de l'Estonie. Alors qu'ils retournent vers la base aérienne de Šiauliai, les deux Rafale sont redirigés vers deux chasseurs Russe Sukhoï Su-30 " *Flanker C* " qui survolent, de trop près, les abords de l'espace aérien des pays Balte. Cette fois, ils sont escortés en direction de la frontière sud de la Lituanie.

## Unités de l'Armée de l'air ayant utilisé le Boeing C-135 (1964 - 2023)



ERV 4/91 " Landes "  
(1967 - 2012)



ERV 4/93 " Aunis "  
(1969 - 1988)



ERV 3/93 " Landes "



GRV 2/91 " Bretagne "  
(1994 - 2023)



ERV 3/93 " Sologne "  
(1983 - 2022)

Beaucoup plus discrètes sont les missions effectuées sous commandement de l'OTAN, au-dessus de la Mer Noire, surtout à partir de février 2014, après le début de " *L'Opération militaire Spéciale* " en Ukraine. Depuis 2022, sous le nom de code " *Air Shielding* ", l'Armée de l'Air et de l'Espace réalise chaque semaine deux missions de " *Combat Air Patrol* " exécutées par des Rafale, trois missions de ravitaillement en vol impliquant des C-135 FR, dont ce sont leurs ultimes missions opérationnelles avec l'Armée de l'Air et de l'Espace, et une mission de détection et de contrôle effectuée par les AWACS E-3F. Dans la cadre, plus ample des " *Flexible Deterrence Options* ", divers exercices aériens interalliés de niveau avancé, impliquant ces avions sont menés sur l'ensemble du flanc est de l'OTAN. Elles ne font l'objet que de rares communiqués du Ministère de la Défense. Typiquement en cas d'évènements singuliers. Tel que le 17 février 2021, dans le cadre d'une mission " *Intelligence, Surveillance, Reconnaissance* " (ISR) pour évaluer la menace Russe, deux Mirage 2000 D équipés d'une nacelle ASTAC (Analyseur de Signaux Tactiques) et accompagnés d'un C-135 FR exécutent, au-dessus de la Mer Noire dans l'espace aérien international, une mission de Renseignement Électromagnétique (ROEM). Ces missions n'ont rien d'anodin. La nacelle ASTAC permet l'établir l'ordre de bataille électronique ainsi que la désignation d'objectifs en temps réel. Le dispositif Français détecté par les radars Russes, est intercepté par deux Soukhoï Su-27 " *Flanker* " dont l'attitude est plutôt agressive. Ils procèdent à une escorte très rapprochée qui cesse quand, selon le ministère de la défense Russe : " *Les avions Français ont contourné la frontière nationale et ont quitté l'espace aérien au-dessus de la mer Noire. L'avion russe est rentré sain et sauf à son aéroport d'origine. Il n'y a eu aucune violation de la frontière de la Fédération de Russie* ".



Boeing C-135 FR avec les nacelles de bout d'aile Cobham Mk 32B-551 à tuyau souple et panier (*Probe and Drogue*) capables de transférer jusqu'à 1275 kg/min. Le premier avion modifié est arrivé en France en février 1994.  
(© AAE)

### L'Endurance des chasseurs démultipliée grâce au tanker

Appareil	Théorique	Démontrée en opérations ou entrainement
F-100 D/F Super Sabre	Plus de 5 heures	5 h 05 Convoyage Istres - Dakar (1969)
Jaguar A & E	Plus de 6 heures	7 h 40 Raids sur le Liban (1983) 10 h 20 (1983) Istres et Toul - les Iles Canaries
Mirage IV A & P	Plus de 10 heures	11 h 30 en février 1986, opération " Tobus " au Tchad, un Mirage IV A (n° 31/BD) effectue une mission de reconnaissance, douze ravitaillements
Mirage F1 C 200	8 heures	6 h 55 en janvier 1981, vol de convoyage Orange - Djibouti
Mirage F1 CR	8 heures	6 h 30 (mars 1984) trois ravitaillements entre la métropole et les îles Canaries
Super-Etendard	8 heures	5 h 30 (été 2008) en opération au-dessus de l'Afghanistan
Mirage 2000-5F	10 heures	Opérations au-dessus de la Syrie, en avril 2018, quatre Mirage 2000-5F ont réalisé le plus long vol de leur histoire : 9 h 40
Mirage 2000 N	10 heures	9 h 30 : exercices " Poker " vers une île située au centre de l'océan Atlantique
Mirage 2000 D	10 heures	9 h 00 (1990), vol de convoyage vers Singapour
Rafale C & B	12 heures	9 h 45 (mission sur Gao en janvier 2013, cinq ravitaillements) 10 h 35 (avril 2014, cinq ravitaillements, entrainement FAS) 12 h 00 (mission vers l'Ile de La Réunion en janvier 2019, cinq ravitaillements, entrainement)

## Exercices et déploiements divers des C-135 F/FR

Concluons, au-delà des fameux et récurrents "Poker", avec les très nombreux exercices, rendus le plus réaliste possible, tel qu'entre autres, "Yakari" en 2010. Prenant l'opportunité d'une relève simultanée d'avions de chasse à Djibouti et à Al-Dhafra. L'exercice implique deux Dassault Mirage 2000-5F de l'escadron de chasse 1/2 "Cigognes", deux Mirage 2000 RDI de l'EC 2/5 "Ile-de-France" et deux Mirage 2000 D de l'EC 3/3 "Ardennes". L'exercice qui implique un AWACS E-3F d'Avord et deux Boeing C-135 FR d'Istres, se termine par un tir simulé, de nuit, d'un missile SCALP. Les fréquents déploiements en Guyane dans le cadre des mesures actives de sûreté aérienne de protection de tirs du lanceur lourd européen Ariane 5 emportant des satellites de haute valeur ou encore les fameux exercices internationaux "Red Flag" aux États-Unis, Nellis (Nevada) ou Eielson (Alaska) et "Mapple Flag" à Cold Lake au Canada qui impliquent Jaguar, Mirage F1 et 2000. Plus rare, le ravitaillement en vol d'un Boeing B-52, comme ce 25 septembre 2017, où utilisant un hippodrome dédié au-dessus de la Mer Tyrrhénienne le C-135 FR US N° 63-8471 (F-UKCB) ravitaille un Boeing B-52 de l'Air Force Global Strike Command (AFGSC) déployé depuis la base Barksdale en Louisiane sur celle de Fairford en Grande Bretagne. Dans le cadre du programme "Bomber Assurance & Deterrence", des B-52, opèrent régulièrement depuis des bases en dehors des États-Unis. Ces missions sont destinées à démontrer la capacité et la crédibilité de l'AFGSC à effectuer des missions combinées partout à la surface du globe.



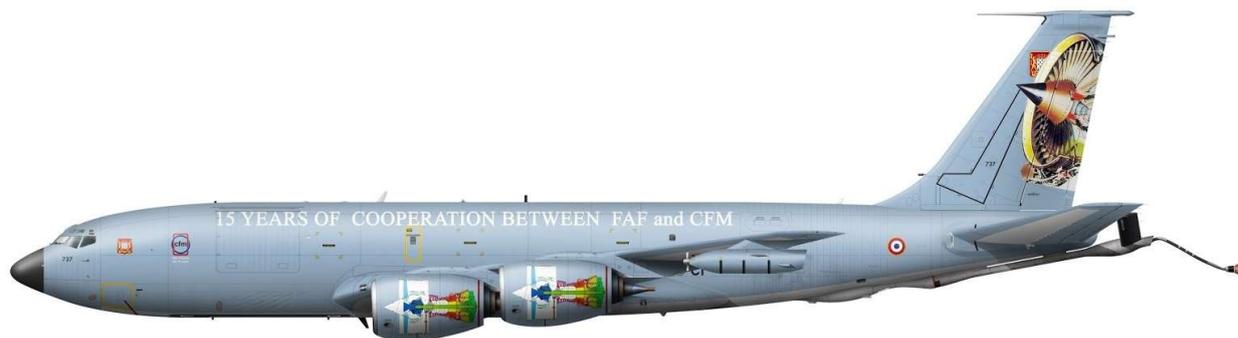
Boeing C-135 F s/n 63-8471. Grandes cocardes et aluminium poli : la première livrée des ravitailleurs  
(© Armée de l'air)

Autre "client" régulier des C-135 FR, l'Aéronavale Française et ses Super-Étendard pendant les opérations de combat au-dessus de l'Afghanistan ou pendant le conflit en ex Yougoslavie. En avril 2018, alors que le porte-avions Charles de Gaulle est en cale sèche pour plusieurs mois, via Lajes, en une quarantaine de ravitaillements en vol, trois C-135 FR de l'ERV 2/91 "Bretagne", supportent le convoyage au départ de Landivisau de douze Rafale M et d'un Grumman E-2C "Hawkeye" sur la base navale de l'US Navy à Oceana, en Virginie. Désignée "Chesapeake" cette grosse mission est destinée à maintenir la qualification à l'appontage, à l'invitation du porte-avions de l'US Navy USS George H.W. Bush, des personnels pilotes et techniciens de la flottille 17F (Rafale M) et de la flottille 4F (E-2C).

Moins probables, les missions qui consistèrent à assister le Concorde quand il était utilisé par la présidence de la république. Une première fois en décembre 1971, le Président Georges Pompidou, utilisant le prototype 001 du Concorde, se déplace aux Açores, sur la base de Lajes, pour rencontrer le Président Richard Nixon. La base de Lajes, au service exclusif de l'USAF, ne dispose que de kérosène de type TR-4, alors que les moteurs Olympus du Concorde n'acceptent que le JET-A ou A-1. Deux C-135 F, l'un de l'ERV 4/94 "Sologne" d'Avord, l'autre de l'ERV 4/91 "Landes" de Mont de Marsan sont mobilisés pour amener les cinquante-neuf tonnes de JET A-1 nécessaires au vol retour. La seconde, en avril 1994, au service du Président François Mitterrand, ce sont trois C-135 FR qui acheminent à Tachkent, en Ouzbékistan, les soixante tonnes de carburant nécessaires au vol retour. En la circonstance, les moteurs Olympus du Concorde ne peuvent pas utiliser le carburant Ouzzbek. Dans les deux cas, un système "astucieux" conçu par les mécanos des escadrons, permettra de transférer, au sol, le carburant nécessaire des réservoirs des tankers dans ceux du Concorde.

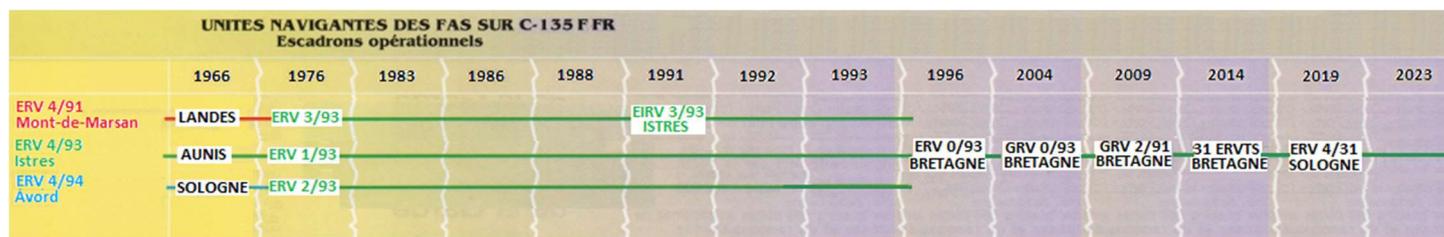
La bonne exécution de toutes ces missions, ne fut possible que grâce à la compétence et la motivation des équipes de l'Armée de l'Air, équipages : pilotes, navigateurs, opérateurs de ravitaillement en vol (ORV) des Escadrons de Ravitaillement en Vol (ERV) 4/91 "Landes" basé à Mont de Marsan, 4/93 "Aunis" basé à Istres et 4/94 "Sologne" à Avord et aux mécaniciens des diverses spécialités tant dans les trois escadrons qu'au

GERMAS 15/90 d'Istres qui assure la maintenance de deuxième niveau des avions, des réacteurs et des systèmes de bord. Après la réorganisation d'août 2014, les escadrons sont réunis dans le Groupe de Ravitaillement en Vol (GRV) 2/91 " Bretagne " et l'Escadron des Soutiens Techniques Spécialisés (ESTS) 15/93.



Boeing C-135 FR - s/n 63-12737 -93-CI - GRV 2/91 " Bretagne ". Décoration spéciale pour les 15 ans de coopération entre l'Armée de l'air et CFM International. (© Fischer)

Peu banal que le destin de nos douze C-135 F ou FR initiaux qui ont tous quitté le service après avoir effectué un total de 391 000 heures de vol sous les cocardes françaises. Initialement achetés pour supporter la composante pilotée de la force de dissuasion nucléaire, foncièrement française, destinée à ne pas être employée. Tel est bien, à ce jour, le cas. Montrant son indiscutable efficacité, la " Force de frappe de la guerre froide " est restée statique sur ses bases, pendant presque trente années. Tout change avec l'effondrement de l'URSS. En quelques mois, le monde où les deux grands se faisaient face se déstabilise, entraînant une cascade de conflits qui engagent la France, et dans lesquels, l'emploi des Boeing C-135 R/FR, parfois sous commandement de l'OTAN, est indispensable.



Pendant près de trois décennies les trois escadrons ERV ont été stationnés sur trois bases aériennes. Au début des années 1990 tous les appareils sont regroupés à Istres au sein de l'ERV 0/93 " Bretagne " devenu ensuite, en août 2014, la 31<sup>ème</sup> Escadre de ravitaillement en vol et de transport stratégique (ERVTS). La dernière évolution étant, en octobre 2019, la recréation de l'ERV 4/31 " Sologne ".

#### Liste des douze Boeing C-135 F/FR :

US Serial Number	Immatriculation	Date de Livraison	Date de remotorisation	Date de retrait du service
63-8470	F-UKCA	13/02/1964	08/1986	11/10/2023
63-8471	F-UKCB	05/02/1964	02/1986	28/06/2021 (Premier livré à la France, en février 1964)
63-8472	F-UKCC	04/06/1964	09/1987	30/08/2021
63-8473	F-UKCD	08/04/1964	=	Perdu avec ses quatre membres d'équipage et deux spécialistes météo, au large de l'atoll d'Hao, en Polynésie Française, le 30 juin 1972
63-8474	F-UKCE	06/05/1964	10/1986	17/12/2021 (7)
63-8475	F-UKCF	03/06/1964	01/1987	07/10/2020
63-12735	F-UKCG	08/07/1964	09/1985	09/09/2022
63-12736	F-UKCH	22/07/1964	08/1985	16/12/2022 (Premier C-135 remotorisé et peint en gris bleu).
63-12737	F-UKCI	05/08/1964	04/1988	21/12/2023 (Dernier retiré du service)
63-12738	F-UKCJ	19/08/1964	01/1988	23/03/2021
63-12739	F-UKCK	09/09/1964	11/1985	01/09/2023
63-12740	F-UKCL	28/09/1964	11/1987	13/02/2023

## Liste des trois Boeing KC-135 RG (8) acquis après la guerre du Golfe :

US Serial Number	Immatriculation	Date de Livraison au FAS	Remarques
62-3497	F-UKCM	09/1997	Maintenu en service jusqu'en 2025/26
62-3525	F-UKCN	06/1997	Maintenu en service jusqu'en 2025/26
62-3574	F-UKCP	03/1998	Maintenu en service jusqu'en 2025/26

## Conclusion

Tels furent donc les choix auxquels les divers organismes de décision : opérations, technico-logistiques, financiers, voire les services de relation publique et de la communication externe de l'USAF furent confrontés avant, le 22 janvier 1980, d'attribuer à Boeing, le contrat de remotorisation de la flotte de KC-135 A de l'USAF avec le moteur CFM56-2B1 (F108-CF-100) produit par la société CFM International. Le 2 juillet 2005, au cours de la cérémonie de livraison du 420<sup>ème</sup> et dernier " R ", US S/N 57-1441, dans un des hangars de la société Boeing à Wichita (Kansas) où il était exposé, face à face avec le KC-135 R, US S/N 61-0293 " *Diamond Lady* ", livré neuf en mai 1962 et premier retourné à l'USAF en juillet 1984, remotorisé avec des CFM56-2B1, le responsable du programme de remotorisation faisait remarquer à l'audience que, vingt ans plus tard, un des moteurs du 61-0293 n'avait toujours pas été remplacé. Il avait accumulé 10 200 heures de vol en 4500 cycles. Le dernier KC-135 E US S/N 57-1441 en était à sa seconde remotorisation. Livré neuf en juin 1958 avec des Pratt et Whitney J57, il avait fait l'objet d'une première remotorisation en 1998 avec des JT3D/TF33. Le premier KC-135 R, US S/N 61-0312 " *Holy Terror* ", livré neuf à l'USAF en août 1962, a été retiré du service en février 2013, il avait été rééquipé avec des CFM56-2B1 en juin 1985.



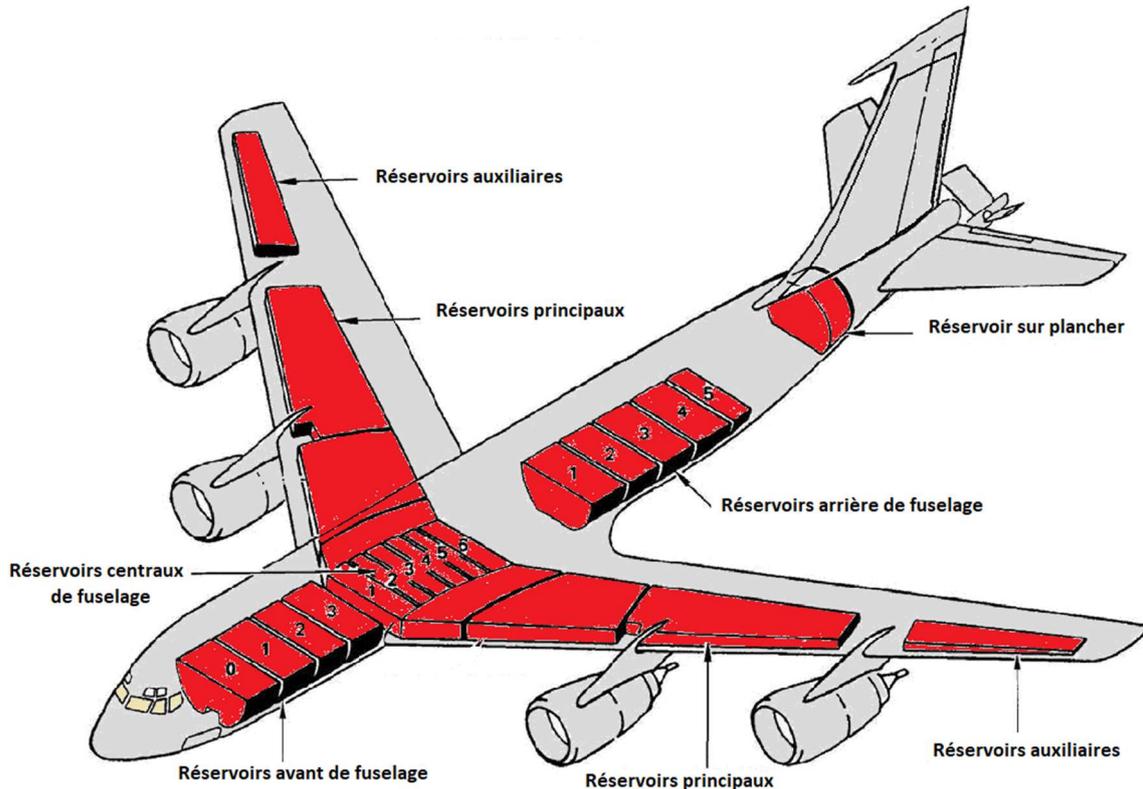
Boeing KC-135 A s/n 55-3118 actuellement préservé sur la base aérienne de Mc-Connell (Kansas) (Aerial Visuals).  
Sorti de chaîne en juillet 1956, c'est le premier appareil de série pris en compte par l'USAF (en août 1956).  
Baptisé " *City of Renton* ", cet avion a effectué quarante ans de carrière.

Choix sans nul doute des plus judicieux, après quarante années d'opérations, la flotte de KC-135 R compte (toutes versions confondues) 470 avions et 1966 moteurs. Elle a accumulé, sans aucune perte ou accident grave, 28 168 000 heures de vols en 8442 cycles.

- (1) " *Poker* " est un exercice destiné à entraîner et valider la bonne exécution par les unités des Forces Aériennes Stratégiques (FAS), d'un raid nucléaire, en conditions aussi proches du réel que possible, dans l'espace aérien Français. Le COFAS (Commandement des Forces Aériennes Stratégiques) organise quatre exercices " *Poker* " annuels.
- (2) Le TACAN, pour TACTical Air NAVigation, est un système de navigation aérienne électronique à ultra-hautes fréquences qui indique en temps réel, à l'instrument de l'avion qui l'interroge, la distance et le gisement par rapport à une grappe de balises fixes installées au sol. En mode Air/Air, le système de réception de chacun des deux avions, fonctionnant en balises mutualisées, indique seulement la distance entre les deux avions. Le TACAN Air/Air des ravitailleurs en vol de dernière génération produit les mêmes informations que les balises basées au sol
- (3) La SOCHATA devenue Snecma Services fut un grand de l'entretien majeur des J57 tant P-59W (Boeing C-135 F) que P-20A (Vought F-8 E FN Crusader) ou P-21A (North American F-100 Super Sabre)
- (4) La revue de l'AAMS " *Prendre l'air* " avait déjà abordé ce dossier dans son N° 10 " *Les moteurs CFM56 en uniforme* ".
- (5) Le " *Buddy Refueling* " est une procédure de ravitaillement en vol entre chasseurs.
- (6) Certains documents font état du Mirage IV A n° 57 (CD). Le débat n'est pas inutile. La nacelle CT-52 nécessitant un dispositif de conditionnement d'air spécifique, celui de l'avion doit être renforcé. Cette modification fut appliquée d'origine sur tous les avions de la dernière tranche. C'est-à-dire des n° 50 à 62. Un certain nombre de Mirage IV A, entre les n° 1 et

49 avaient été modifiés par l'AIA de Clermont-Ferrand au cours de leur passage en visite d'entretien majeur (EMJ1 et EMJ2). Le n° 31 (BD) était de ceux-là. Cet avion est maintenant préservé au Musée Européen de l'Aviation de Chasse à Montélimar.

- (7) Le quadriréacteur Boeing C-135 FR US n° 63-8474 (F-UKCE) est le seul tanker français à avoir ravitaillé des Lockheed F-35 A " Lightning ".
- (8) Selon un communiqué du Ministère de la Défense, les trois Boeing KC-135 RG acquis en 1997 " Resteront en service jusqu'à une date qui reste à déterminer. Possiblement 2025/26, jusqu'à son remplacement complet, la flotte historique de ravitailleurs demeure opérationnelle et engagée dans sa mission principale : la dissuasion nucléaire, mais également au profit de la posture permanente de sûreté aérienne (PPS-A) ainsi qu'en opérations extérieures ". Les KC-135 RG ont été amenés au standard " GATM " (Global Air Trafic Management - Mod block 40). Cette dernière rénovation concerne essentiellement l'installation d'une chaîne d'avionique Rockwell Collins qui génère les mêmes informations que celles des KC-135 de l'USAF. Elle permet l'intégration plus efficace et plus sécurisée dans la circulation aérienne générale. A cette date, aucun des trois C-135 RG n'est équipé des nacelles de ravitaillement souple Cobham Mk 32B-551.



Boeing KC-135 " Stratotanker " : agencement des réservoirs de carburant. Les 110 000 litres de carburant susceptible d'être emportés par le C-135 F sont stockés dans neuf réservoirs (six dans la voilure et trois dans les soutes centrales du fuselage) et peuvent être utilisés par le ravitailleur lui-même ou transférés en vol dans d'autres appareils lui conférant ainsi un rayon d'action maximum de 3 000 NM.

**Sources et remerciements :**

- Magazine de l'Armée de l'Air : Air actualités.
- Rapports publics du Parlement Français (Chambre des députés).
- Ministère de la Défense " 50 ans d'OPEX en Afrique ".
- Répertoire typologique des opérations Centre de doctrine d'emploi des forces.
- Divers documents : courtoisie de Monsieur Richard Campourcy ancien mécanicien de l'Armée de l'Air et de l'Espace (AAE) vétéran du C-135F et Monsieur André Cornue, ancien ingénieur essais en vols de la Snecma.

## Annexe 1 : missions à longue distance et opérations extérieures menées par les Boeing C-135 F et FR entre 1964 et 2023

Sujet digne d'intérêt, le ravitaillement en vol a été la condition *sine qua non* de la réussite des opérations extérieures et missions d'assistance de la France. Les déploiements des avions de combat se déroulent majoritairement en Afrique et au Moyen-Orient.

### Période de la Guerre Froide

Théâtres	Dates	Moyens et motifs
Polynésie française	1966	" Tamouré " : deux C-135 F (n°436, n°470), Mirage IV A (n°9, n°36) vol convoyage aller/retour 40 400 km en quatre étapes (mai - juillet 1966).
Algérie	1965 - 1971	" Cigogne " : C-135 F, F-100 D/F Super Sabre, mission de projection à longue distance
Afrique	1967 - 1975	" Fontanelle " : C-135 F, F-100 D/F Super Sabre, mission de projection à longue distance vers le Sénégal, le Tchad, Djibouti et Madagascar
Tchad	Septembre 1975	Affaire ethnologue Françoise Claustre : C-135 F Mirage IV A (n° 54 CA) reconnaissance stratégique
Mauritanie	1977 - 1980	" Lamentin " : un à deux C-135 F, Jaguar A & E (première opex)
Tchad	Février 1978 - Février 1980	" Tacaud " : un C-135 F, huit Jaguar A, Mirage IV A (n° 62 CI) reconnaissance stratégique
Gabon	1980 - 1981	" Murène " : C-135 F, Jaguar A, exercice de déploiement
Tchad	Août 1983 - novembre 1984	" Manta " : C-135 F, Jaguar A, Mirage F1 C 200 (première opex),
Tchad	Septembre 1984	" Silure " : C-135 F, Jaguar A
Liban	Janvier 1984	" Chevesne " : deux C-135 F, 4 Jaguar A, raid à longue distance
Tchad	1984	" Ombrine " : un C-135 F, Mirage IV A (n° 9 AH) reconnaissance stratégique
Tchad	1984	" Martre " : un C-135 F, Mirage IV A (n° 9 AH) reconnaissance stratégique
Tchad	1986	" Tobus " : cinq C-135 F pour le raid d'Ouadi-Doum + 4 Jaguar, C-135 F, Mirage IV A reco (n°31, BD) : évaluation des dommages Ouadi-Doum
Golfe persique	1990 - 1991	" Daguet " (volet français de l'opération " Desert Shield " et " Desert Storm ") : C-135 FR, Mirage F1 CR, 35 Jaguar A, Mirage 2000 C RDI

### Opex : insignes



Daguet



Alysse



Epervier



Crécerelle



Barkhane



Trident



Artémis



Hérakles



Serval



Héracles

**Période de l'après-guerre Froide.** Les missions sont majoritairement multinationales avec l'application des procédures de ravitaillement OTAN, les tankers ravitaillant aussi bien les aéronefs français qu'étrangers (Grumman F-14 A Tomcat, EA-6 B Prowler, Airbus KC-30A, Boeing F-15 Eagle et McDonnell Douglas F-18 Hornet, Mirage 2000-9, Lockheed F-35 A Lightning II, etc).

Théâtres	Dates	Moyens et motifs
Tchad	1986 - 2014	" <i>Epervier</i> " : C-135 F/FR, Mirage F1 C, Jaguar A, Mirage 2000 D, Rafale
Bosnie-Herzégovine	1992 - 1996	" <i>Crécerelle</i> " (" <i>Deny Flight</i> " pour l'OTAN) : C-135 FR, Mirage IV P, Mirage F1 CR et CT (première opex), quatorze Jaguar A, Mirage 2000 C RDI, NK2, D (première opex), Super-Etendard (SEM) et aéronefs étrangers
Rwanda	Juin - août 1994	" <i>Turquoise</i> " : C-135 FR, Jaguar A (dernière opex en Afrique), Mirage F1 CR et CT
Ex Yougoslavie	1995 - 2004	" <i>Salamandre</i> " : C-135 FR, Jaguar A, Mirage 2000 C RDI
Irak	1991 - 1996	" <i>Aconit</i> " (volet français de l'opération " <i>Northern Watch</i> ") : C-135 FR, Jaguar A, Mirage F1 CR, surveillance de la zone kurde dans le nord de l'Irak
Golfe persique	1997	" <i>Aladin</i> " : C-135 FR, deux Mirage IV P (n° 13/AL et n° 11/AJ) : missions ONU
République démocratique du Congo	Mars - août 1997	" <i>Pélican</i> " : C-135 FR, Mirage F1 CT
Irak	1992 - 2003	" <i>Alysse</i> " (volet français de " <i>Southern Watch</i> ") : C-135 FR, Jaguar A, Mirage 2000 C RDI, zone d'exclusion aérienne dans le sud de l'Irak
Kosovo	1999 - 2004	" <i>Trident</i> " (" <i>Allied Force</i> " pour l'OTAN) : six C-135 FR, Mirage IV P, douze Jaguar A (dernière opex), Mirage F1 CR/CT, Mirage 2000 C RDI, D, E-3F " <i>Sentry</i> " et aéronefs étrangers
Irak	2003	" <i>Tarpan</i> " : C-135 FR, deux Mirage IV P (n° 25/AX et n° 53/BZ), missions ONU
Côte d'Ivoire	2002 -2015	" <i>Licorne</i> " : C-135 FR, cinq Mirage F1 CR
Tchad	2003	" <i>Mamba</i> " : C-135 FR, cinq Mirage F1 CR/CT, cinq Mirage 2000 D
Tchad	2004	" <i>Artémis</i> " : deux C-135 FR, cinq Mirage F1 CR/CT, cinq Mirage 2000 D (3 500 ravitaillements en vol)
Afghanistan	2002 - 2013	" <i>Héraclès</i> " (volet français de " <i>Enduring Freedom</i> ") : C-135 FR, Mirage IV P (n° 53/BZ), Mirage F1 CR, Mirage 2000 D
Afghanistan	2002 - 2013	" <i>Pamir</i> " : C-135 FR, Mirage IV P, Mirage F1 CT/CR, Mirage 2000 D, Super-Etendard (SEM), Rafale M
Libye	Mars - octobre 2011	" <i>Harmattan</i> " (volet français de " <i>Odyssey Dawn</i> ") : jusqu'à six C-135 FR, Mirage F1 CT/CR, Mirage 2000-5F, D et NK3, Rafale B/C/M, E-3F " <i>Sentry</i> " et aéronefs étrangers
Mali	2013 - 2014	" <i>Serval</i> " : C-135 FR, Mirage F1 CR, Mirage 2000 D, Rafale B/C,
Centrafrique	2013 - 2016	" <i>Sangaris</i> " : C-135 FR, Rafale B/C
Sahel	2014 - 2022	" <i>Barkhane</i> " : C-135 FR, Mirage 2000 C RDI, D et NK3, Rafale B/C
Irak	2014 - 2016	" <i>Chammal</i> " (volet français de " <i>Inherent Resolve</i> ") : C-135 FR, Mirage 2000 D et NK3, Rafale B/C, E-3F " <i>Sentry</i> " et aéronefs étrangers
Syrie	2018	" <i>Hamilton</i> " : six C-135 FR, Rafale B/C, Mirage 2000-5F, E-3F " <i>Sentry</i> "
Europe de l'est	2004	" <i>Baltic Air Policing</i> " : C-135 FR, Rafale, Mirage 2000-5F
Europe de l'est	2014	" <i>Enhanced Air Policing</i> " : C-135 FR, Rafale, Mirage 2000-5F
Europe de l'est	2022 - 2023	" <i>Enhanced Vigilance Activities</i> " : C-135 FR, Rafale, Mirage 2000-5F

Opex : insignes



Sangaris



Licorne



Salamandre



Serval - Mamba

## Annexe 2 : Album photo avions ravitaillés, français et étrangers



Mirage IV A  
(© AAE)

F-100 Super  
Sabre  
(©AAE).



Sepecat  
Jaguar A  
(©AAE).

Mirage F1 C200  
(©AAE)



Mirage F1 CT  
(Airliners)

Mirage F1 CR  
(©AAE)



Mirage 2000 C  
(©AAE)

Mirage 2000 N  
(©AAE)



Mirage 2000  
D  
(©AAE)

Rafale A  
(©AAE)





Rafale C  
(©AAE)



Rafale M (© DR)



Super  
Etendard  
(SEM)  
(© DR)

Boeing E-3F  
Sentry  
(©AAE)



Grumman F14  
A Tomcat  
(©AAE)

Alenia  
Aermacchi  
AMX  
(©AAE)



MRCA  
Tornado  
(©AAE)

Lockheed F-16  
Fighting Falcon  
(©AAE)



McDonnell Douglas  
F-18 Hornet  
(©AAE)

Boeing F-15 Eagle  
(©AAE)



# DEUXIEME PARTIE

## Janvier 1980 : mesure des turbulences de jet du J57-P-59W / C-135F par le service des essais en vols SNECMA à Istres

A la fin des années soixante-dix, dans le cadre de la sélection du meilleur moteur destiné à remplacer le Pratt & Whitney J57-P-59W, qui motorisait le KC-135A, par un moteur moderne diverses analyses furent conduites. L'une d'elle, peu usuelle, fut conduite sous l'égide de la direction technique de Villaroche (Note d'exploitation YVP N° 1000/80) en coopération avec l'Armée de l'Air - GERMAS (1) 15/090 d'Istres - par l'équipe des essais en vols de la SNECMA également basée à Istres.

Pour décrire au mieux cette opération, la revue de l'AAMS se propose de reproduire des documents que Monsieur André Cornue qui était alors ingénieur de marque " YVP " à Istres a bien voulu nous communiquer.

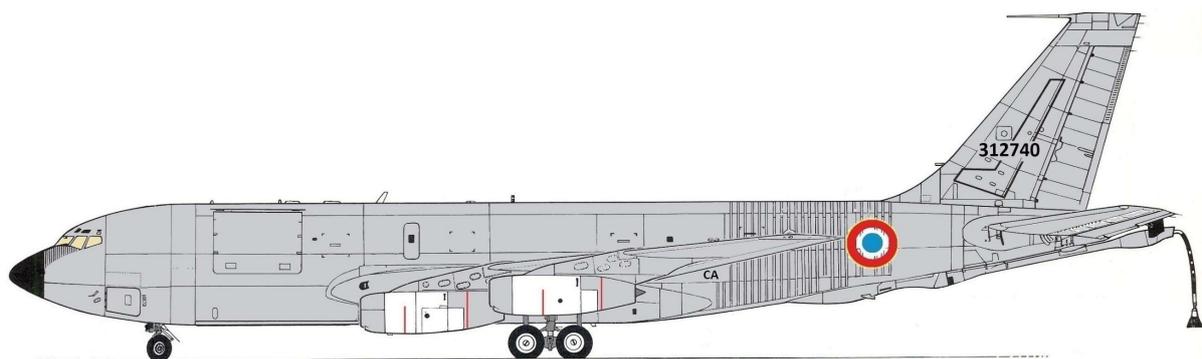
### Cadre des mesures :

" La carrière du KC remotorisé a commencée par la décision de remotoriser la flotte des C-135 US. Cette décision a été prise au cours d'une réunion importante au plus haut niveau de L'US Air Force. Il y avait des " pour " et des " contre ", ces derniers prétextaient que la qualité de l'important flux induit par les CFM, compromettait l'opération dite " POKER ". C'est à dire le décollage de toute la flotte stratégique : ravitailleur puis chasseurs et bombardier dans un délai très court. Ainsi chaque avion lâchait les freins 12 secondes après son prédécesseur. Les " contres " estimaient que le flux d'un CFM compromettait dans ces conditions l'alimentation correcte d'un CFM suiveur. Pour cette réunion, on a demandé aux essais en vol, de fournir en urgence des mesures sur la qualité du flux d'un KC-135 avec J57 et injection d'eau. Nous avons donc équipé à la va vite, le plateau d'un tracteur d'anémomètres, de girouettes et de sondes de température avec enregistreurs. Avec L'Armée de l'Air qui nous a fourni un KC nous avons simulé un décollage avec injection d'eau. Placés à 120 mètres derrière le KC nous avons " courageusement " tenus nos anémomètres dans un vacarme et un échappement tout noir. (En aparté la visibilité vers l'avant étant nulle la consigne donnée aux pilotes était : en cas de problème au décollage dégagez la piste immédiatement, sans réfléchir).

Aux résultats, l'échappement du J57 était très turbulent, chaud et pollué les décideurs ont admis que le CFM ne compromettait pas le décollage en opération POKER, voire, il améliorerait la situation car il n'émettait pas de fumées !

Nous n'avons jamais eu de retour sur cette " aventure " mais nous nous sommes persuadés que nos mesures avaient contribué au succès du CFM ! "

Monsieur André Cornue.



Boeing C-135 F Stratotanker US s/n 63-12740 (F-UKCL) Istres Janvier 1980.

Les quatre moteurs Pratt & Whitney J-57-P59W de 5900 kg de poussée unitaire pouvant être accrue lors du décollage par injection d'eau, permettent le décollage de l'appareil à une masse maximum de 137 tonnes dans le cadre d'une mission de ravitaillement en vol.

### Introduction

A la suite d'une demande transmise par télécopieur le 31 Décembre 1979, un peignage de jet sur C-135 F (voir annexe 1) a été effectué sur la plate-forme d'Istres le 8 Janvier 1980.

La présente note a pour objet de décrire les moyens et les conditions de cet essais et de transmettre les résultats obtenus.

## Moyens d'essais

### Avion en essai

L'avion qui a été utilisé pour l'essai était le Boeing C-135 F n° 740 de l'Armée de l'Air équipé de réacteurs Pratt & Whitney J57-P-59 W N° 866, 653, 887 et 571.

Le C-135 F était à la masse de 246.320 lbs à un centrage de 26% correspondant à un plein de 130.000 lbs plus eau. Pour tous les points de mesure les volets étaient en configuration de décollage à 20°.

### Moyens de mesure (Figures 1 et 2)

Ils ont été réalisés de façon sommaire pour obtenir les résultats rapidement.

Un mât de mesure a été fixé à l'arrière d'un tracteur Saviem SG2.

Ce mât comportait trois points de mesures aux hauteurs recommandées dans la demande d'essais. En chaque point il y avait un anémomètre, une sonde à résistance et une girouette. Un tube de Prandtl (4) et une girouette à 27 positions (5) avaient été ajoutés pour mesures complémentaires éventuelles.

Un groupe électrogène, une alimentation stabilisée, une platine de conformation pour la mesure des températures et deux enregistreurs HB (Hussenot-Beaudoin) avaient été fixés sur la plateforme du tracteur.

### Moyens complémentaires

Une voiture radio, empruntée au Centre d'Essais en Vol assurait la coordination avion, moyens au sol.

Une caméra a filmé le déroulement des essais.

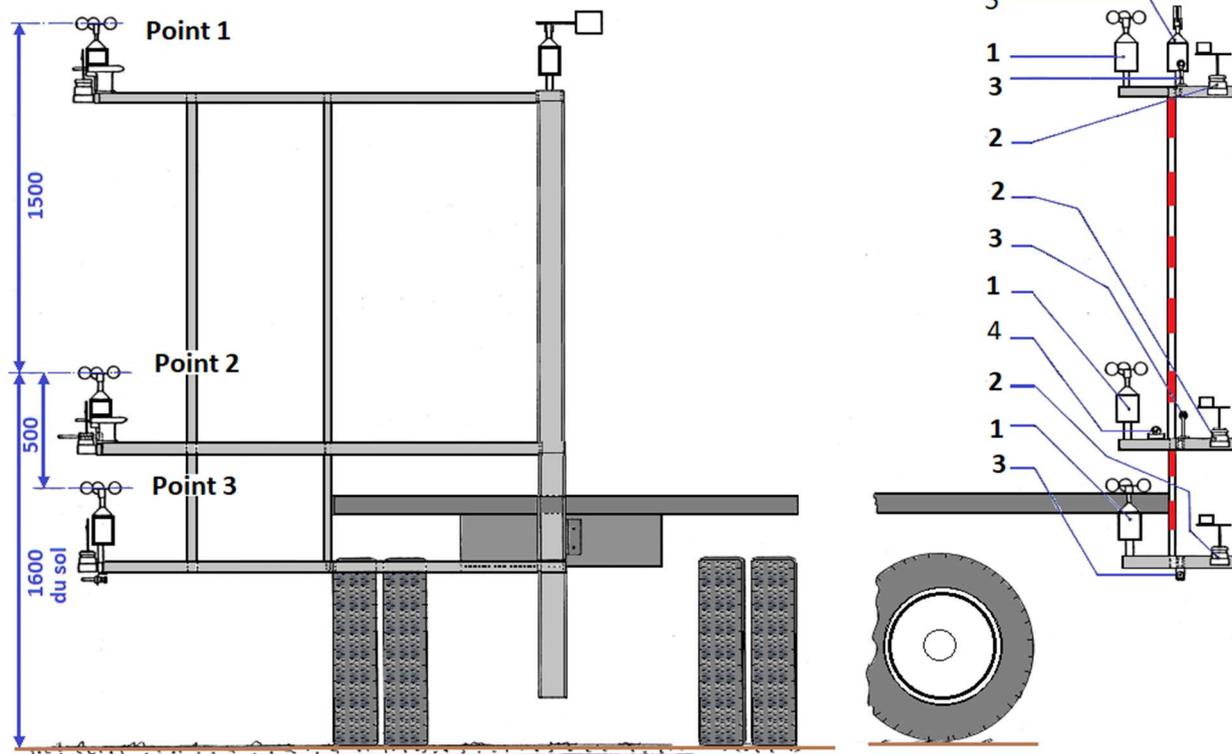


Figure 1 - Installation de mesure du jet sur le tracteur Saviem SG2.

1. Anémomètre fréquencesométrique, 2. Girouette, 3. Thermo sonde à résistance, 4. Tube de Prandtl, 5. Girouette à 27 directions

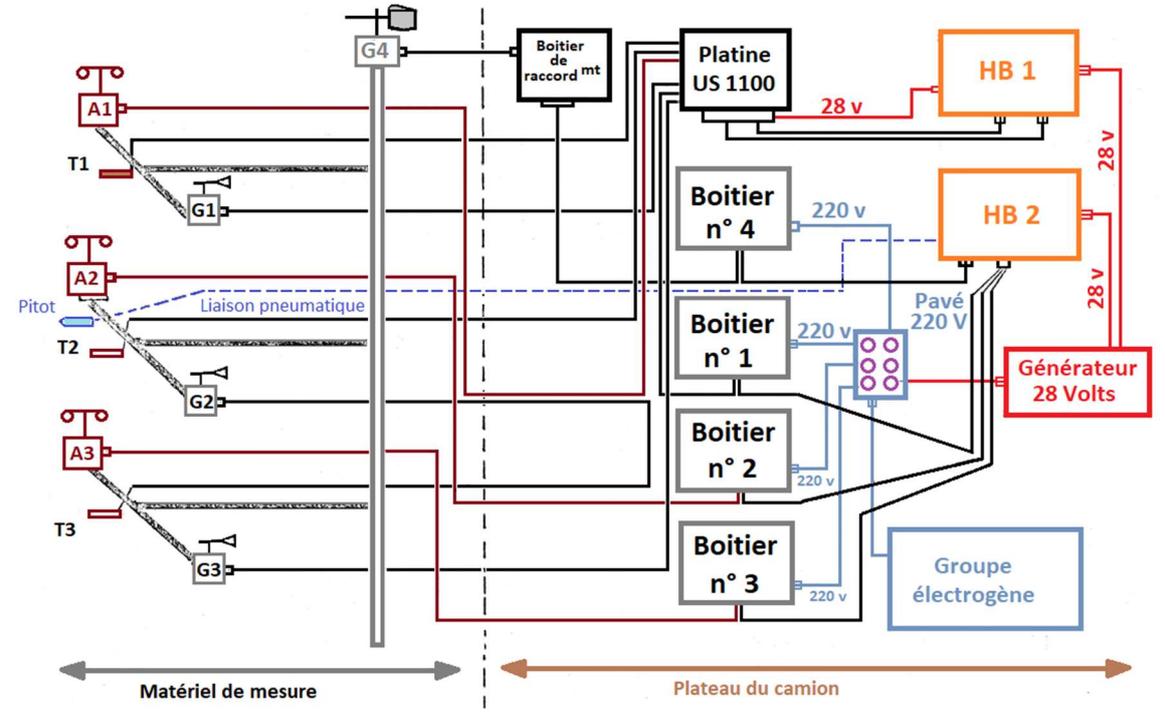
## Conditions de l'essai

L'essai de mesure s'est déroulé le 8 Janvier 1980 entre 8 et 9 heures locale sur la piste d'Istres. L'avion était aligné au cap 340 dans l'axe de la piste.

Les conditions météorologiques étaient très favorables pour l'essai : Vent du 040 au 080 force 4 à 8 Kts (7.4 à 15 km/h), Température au sol 1 à 2°C et 4 à 2°C sous abri, Pression QFE 1015 mb.

Pour les mesures, moteur stabilisé (Points 1, 2 et 3), la nacelle moteur était décapotée pour améliorer la ventilation des accessoires. Pour les autres points d'essais (4, 5 et 6) la nacelle était en configuration normale de vol.

Pour des raisons de sécurité, il n'était pas possible d'effectuer un point de mesure à une distance de 200 ft (61 m). La turbulence estimée préalablement en ce point pouvait mettre en cause la sécurité du personnel et du matériel.



Synoptique installation mesure du jet C-135 F - Tracteur Saviem SG2

## Déroulement de l'essai

L'essai s'est déroulé conformément à l'ordre d'essai reproduit en annexe 2.

Six mesures ont été effectuées dont 3 mesures (Points 1, 2, 3) en continu à des distances de 250 ft (76 m), 350 ft (107 m) et 500 ft (152 m) évaluées à partir du plan de sortie du moteur 2 (interne gauche) et 3 mesures (Points 4, 5, 6) à une distance de 350 ft (107 m), mât statique dans 3 configurations différentes du moteur.

Pour les points de mesure en continu, le véhicule Saviem SG2 portant le mât s'est déplacé d'un bord à l'autre de la piste à vitesse minimale, en marquant trois arrêts : un sur l'axe moteur 2 et deux autres à +/- 2 mètres de cet axe.

Pour les 3 points de mesure en statique, le mât de mesure était maintenu fixe sur l'axe du moteur 2. Les quatre moteurs du C-135 F étaient en fonctionnement, le moteur 2 a été accéléré au Plein Gaz (PG) sec, le moteur 3 à 80%, puis l'injection d'eau a été activée et maintenue 30 secondes, enfin les quatre moteurs ont été accélérés au PG avec injection d'eau et l'avion a simulé un décollage sur 1 000 mètres (3281 ft).

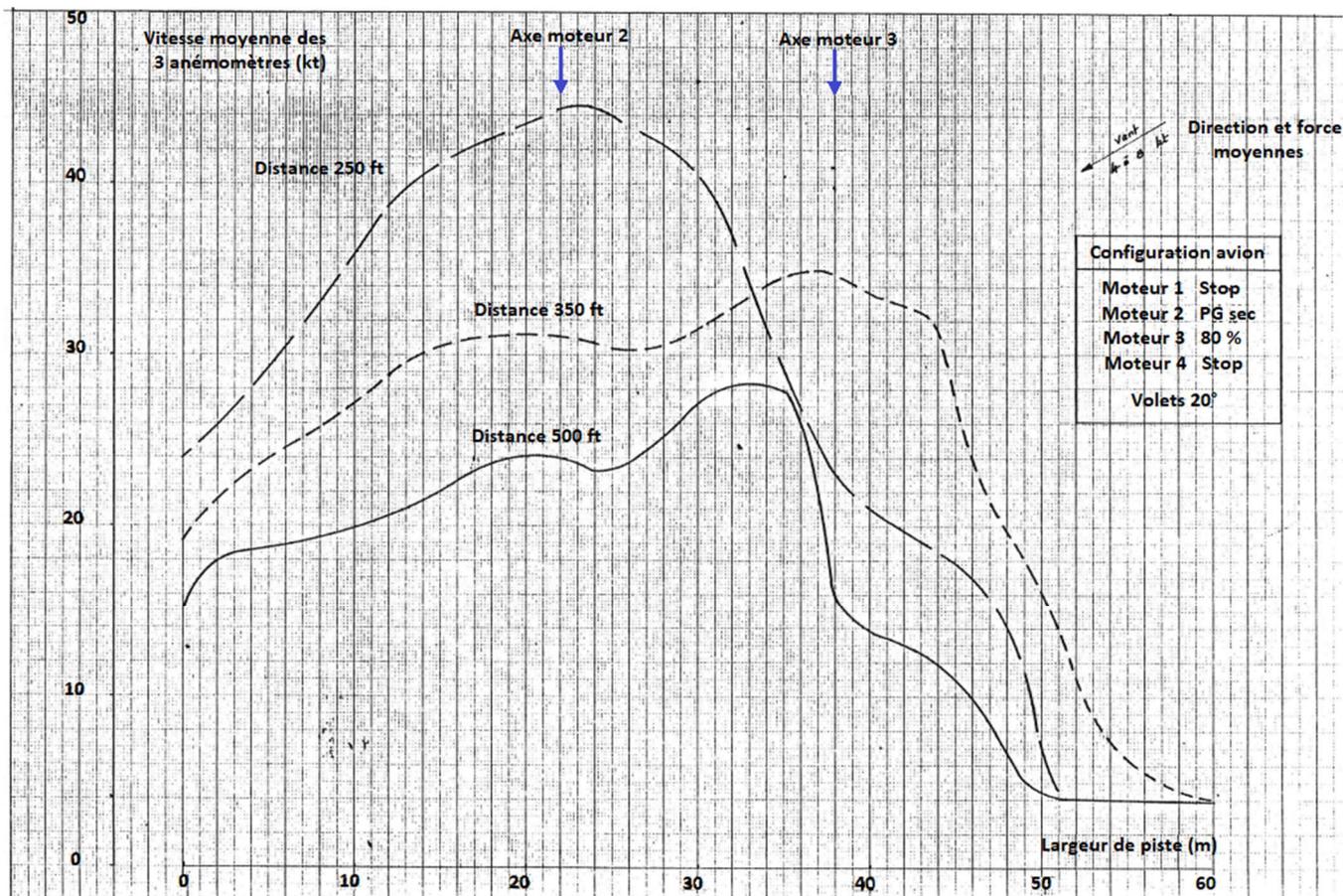
## Résultats de l'essai

Ces résultats ne comportent aucun renseignement sur l'orientation du souffle, car l'exploitation des girouettes est tout à fait impossible. De la même façon il paraît très difficile de déterminer une fréquence sur les enregistrements des anémomètres.

Ces mesures ainsi que les résultats obtenus à l'aide du tube de Prandtl, montrent que le jet est très turbulent. Il aurait fallu disposer d'autres moyens capables en particulier de mesurer des vitesses instantanées pour pouvoir rendre compte de cet état. Une vitesse de défilement double des enregistreurs HB aurait déjà amélioré la situation.

Comparé aux résultats de mesure effectués sur le CFM56 le 21 Décembre 1979, on note à 500 ft (152 m), derrière la tuyère du J57 au PG sans injection d'eau une vitesse moyenne de 24 Kts (44.45 km/h) contre 34 Kts (63 km/h) sur le CFM et des extrêmes de 16 à 36 Kts (29.64 à 66.68 km/h) contre 25 à 43 Kts (46.3 à 79.64 km/h) sur le CFM. Avec l'injection d'eau il faut majorer les valeurs du J57 de 15% environ, ce qui ramène les valeurs moyennes à 28,8 Kts (51.85 km/h) contre 34 Kts (63 km/h). Ainsi l'écart de turbulences entre les deux moteurs, s'étage comme l'écart entre les performances. D'ailleurs, à 80% de la poussée PG du CFM on retrouve les mêmes vitesses que celles du J57 au PG sec sans l'injection d'eau.

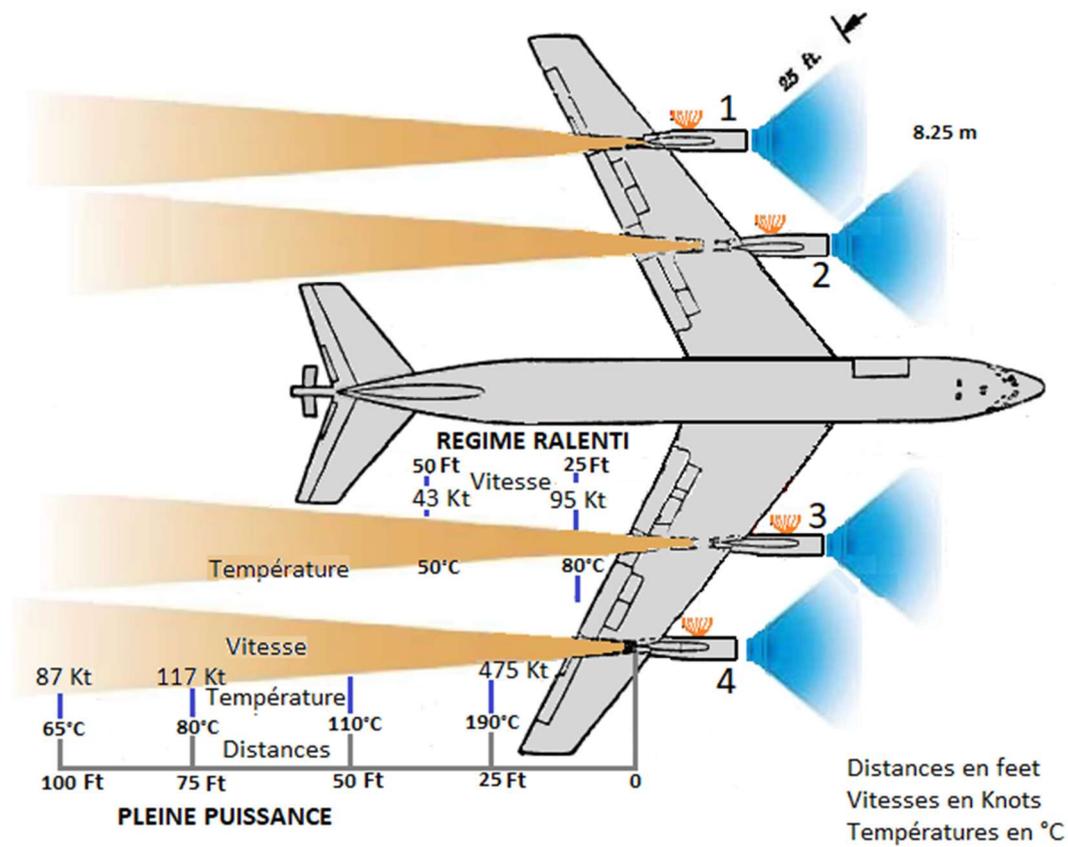
La planche ci-dessous présente le champ des vitesses moyennées sur les trois anémomètres aux distances de 250 ft (76 m), 350 ft (107 m) et 500 ft (152 m). Elle met en évidence un effet du moteur 3 qui était maintenu à 80% pour des impératifs avion.



Champ des vitesses moyennées sur les trois anémomètres

Ces résultats d'essais sommaires prennent en défaut les consignes du manuel pilote qui indiquent qu'au-delà de 200 ft (61 m), il n'y a plus de problème de sécurité pour le personnel. A titre anecdotique on remarque la même erreur sur le manuel de l'avion North American Super Sabre F-100 avec moteur J57-P-20.

Pour le point de décollage on note 10 secondes après le lâcher des freins une vitesse moyenne résiduelle de 31 Kts (57.4 km/h), 19 Kts (35.20 km/h) après 20 secondes et 15 Kts (27.8 km/h) après 30 secondes. Sur le plan opérationnel on imagine que le nuage de fumée noire qui masque entièrement l'avion (bien visible sur le film) doit constituer une gêne et un risque non négligeable (on dit que dans l'USAF le roulage et le décollage se font avec masque inhalateur pour l'équipage).



Boeing C-135 F - Zones de dangers

## Conclusion

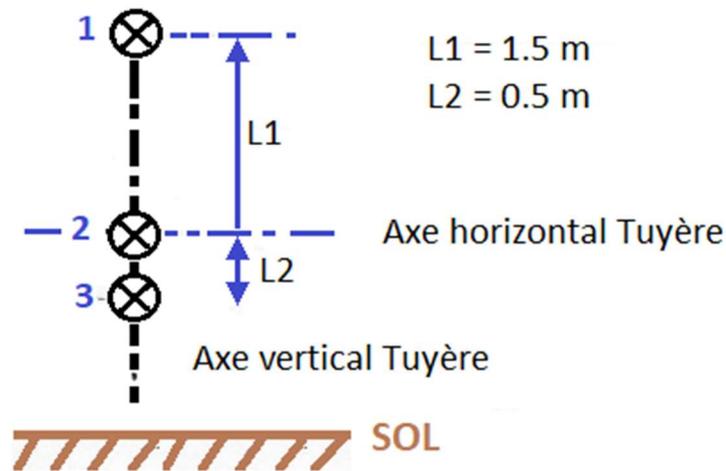
Cet essai s'est déroulé dans de bonnes conditions en particulier grâce à la coopération de l'équipage de l'Armée de l'Air.

Il ne permet pas, à cause de la définition des moyens de mesures, une exploitation très sophistiquée mais il met en évidence la forte turbulence que l'on retrouve à 500 ft (152 m) derrière un C-135 F dont les quatre moteurs sont à la puissance de décollage.

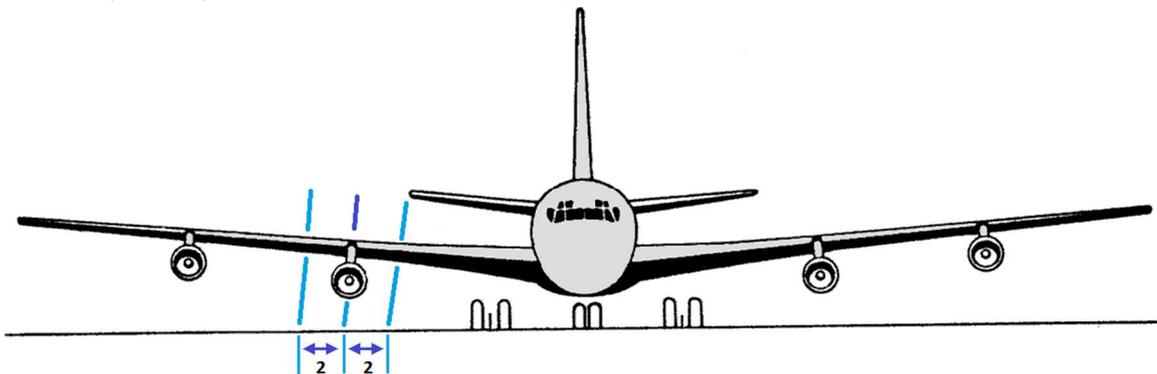
- (1) *GERMAS (Groupe d'Entretien des Matériels Spécialisés) est la désignation des unités de l'Armée de l'Air chargées, sur la base d'exploitation, de la maintenance des avions voire des gros équipements lourds en service sur cette base. Les GERMAS sont généralement désigné par le nombre 15 suivi du numéro de l'escadre.*
- (2) *Pour des raisons de volume électronique, seules les annexes pertinentes sont incluses dans ce chapitre.*
- (3) *Tube de Prandtl, autre désignation d'un tube de Pitot.*

## Annexe 1 : Peignage du jet sur KC-135

1. Sur la base de 3 points de mesure (en chaque point : module et direction, température du jet) nous proposons la disposition suivante :



2. Le relevé de mesure doit comprendre :
- Indication peigne.
  - Vitesse et direction du vent,  $T^\circ$  Amb.
  - Paramètres moteurs (objectif connaître  $P_r$ ,  $T_t$  et  $W$ )
3. Compte tenu de la déviation possible du jet dans le plan horizontal, nous proposons d'effectuer les mesures dans le plan vertical tuyère et deux plans verticaux éloignés d'environ deux mètres du précédent : (à ajuster éventuellement après la première mesure).



Les stations de mesure proposées sont :  $X = 200 \text{ Ft}$ ,  $350 \text{ Ft}$ ,  $500 \text{ Ft}$

4. Nous souhaitons recevoir dès que possible les infos suivantes :
- KC-135,  $\varnothing$  Tuyère, Distance Tuyère/Sol,
  - $P_t$ ,  $T_r$  et  $W$  jet moteur.

# Annexe 2 : Ordre d'essai

S. N. E. C. M. A.  
Essais en Vol  
ISTRES

ANNEXE 3.

Date : 8 Janvier 1980

ORDRE D'ESSAI N°

AVION Type : <u>C135F</u> N° <u>740</u>	REACTEUR EN ESSAI <u>J57-P-W59</u> no <u>652</u>	BUT DU VOL <u>/</u>
EQUIPAGE AVION Pilote : <u>Equipe A.A.</u> Mécanicien : Ingénieur : REACTEUR Expérimentateur : <u>MR. LE GUEZEC</u>		
POIDS : <u>246.320 lbs</u> CENTRAGE : <u>26%</u> CONFIGURATION :	Plein pétrole : <u>13000 lbs + eau</u> litres Durée <del>de vol</del> : <u>1800</u> heures	

PROGRAMME DETAILLÉ ~~de~~ de l'essai.

MOYENS d'ESSAIS :

- (1) Avion C135F, mis en œuvre par un équipage armé de l'air avec un observateur SNECMA au poste d'équipage
- (2) Un mât mobile monté sur une plate forme de tracteur SG2. Ce mât comporte 3 points de mesure. Chaque point se compose d'un anémomètre, d'une girouette et d'une sonde de température. Chacune de ces mesures étant enregistrée sur HB.
- (3) Un véhicule radio pour coordonner l'essai. Fréquence essai. 121.85
- (4) Caméra éventuellement pour filmer les mesures.

Conditions d'ESSAIS.

- MÉTÉO - Vent dans l'axe  $\leq$  10 kts.  
- Vent travers  $\leq$  5 kts  
- Hygrométrie, sans réserve

Déroulement de l'ESSAIS.

- n° - (1) Alignement de l'avion aux ordres d'un "porteur" au sol. Roulette dans l'axe. Premier point à 91 m de la base de mesure
- (2) Mise en place du camion sur la base de mesure
- s' - (3) Montée en régime du moteur 2 du KC et affichage du plein gaz EPR du jour (moteur 3 à 80%)
- (4) Déplacement du véhicule porteur du mât. Top HB départ - vitesse mini possible - Top HB au passage du mât sur échoppe au sol?
- s' - (5) Trois points de mesure stabilisés à 20" avec Top HB sur l'axe moteur et à  $\pm$  1,5 m de l'axe avion.
- (6) Fin de mesure à 5m et retour du moteur au R1

- (6) Déplacement de l'avion et second point de mesure roulée à  $\pm 113$  m de la base de mesure.
- (10) à (14) Reprise des points 2 à 5.  
 5' Pour les points 10 à 5 les points de mesure stabilisés sont sur l'axe et à  $\pm 2$  m de l'axe.
- (12) Déplacement de l'avion et troisième point de mesure roulée à  $\pm 163$  m de la base de mesure.
- (13) à (17) Reprise des points 2 à 5.  
 5' Points de mesures stabilisés à  $\pm 2$  m et sur l'axe.
- (18) d'avion dégage la bande, remet en place les capots moteurs et revient s'aligner au point 2, quatre moteurs en route.
- (19) Le mât de mesure se met en place sur l'axe moteur au point le plus critique.
- (20) Le moteur 2 est poussé au plein gaz stabilisé, puis avec injection d'eau 30" et les moteurs 1, 3 et 4 sont poussés à la puissance de décollage avec injection d'eau et l'avion simule un décollage sur 400 m.

(21)

Fin de l'essai.

1<sup>h</sup>00

- contact radio à 7<sup>h</sup>30 local.

- 8<sup>h</sup> local roulage

- 9<sup>h</sup> fin d'essai.

Visa :

Destinataires

- Service «Essais»
- Service «Avions» (2)
- Service «Vois»

Service «Essais»  
Réacteurs en Vol»

Service «Avions»

Service «Vois»

# TROISIEME PARTIE

# Programme de remotorisation du KC-135/CFM56-2B1

## Introduction

Ce document résume les études préliminaires qui conduisirent au programme de remotorisation des Boeing KC-135/CFM56. Il décrit les motivations pour lesquelles un avion conçu dans le milieu des années 1950 fut rénové par l'installation d'un turboréacteur moderne à fort taux de dilution, le CFM56-2B1. Les modifications majeures appliquées à l'avion seront également décrites. Compte tenu de ses nouvelles capacités, la campagne d'essais en vol du KC-135 R, et ses résultats seront décrits avec une attention particulière. Les avantages de ce programme en termes d'amélioration des performances, d'impact environnemental et des coûts seront également présentés.

## Contexte

Les ravitailleurs en vol KC-135 sont entrés en service dans l'USAF entre à la fin des années 1950 et le début des années 1960. Ils restent, à ce jour, le cheval de trait de ses unités de ravitaillement en vol. Environ 680 des 732 avions construits par Boeing sont encore en service. Depuis le début de années soixante, les besoins en matière de ravitaillement en vol stratégiques, tactiques et de transports a été multiplié par un facteur cinq alors que la taille de la flotte est restée relativement constante. Pendant cette période les standards de consommation carburant, de pollution atmosphérique et d'intensité de bruits acceptables ont évolué de telle façon qu'ils dépassent les possibilités de la technologie du moteur Pratt & Whitney J57-P-59W du KC-135 A conçu dans les années cinquante. La durée de vie de la structure des avions, ayant été étendue par le remplacement du panneau d'intrados de l'aile, devrait permettre d'opérer jusqu'au milieu de XXI<sup>ème</sup> siècle.

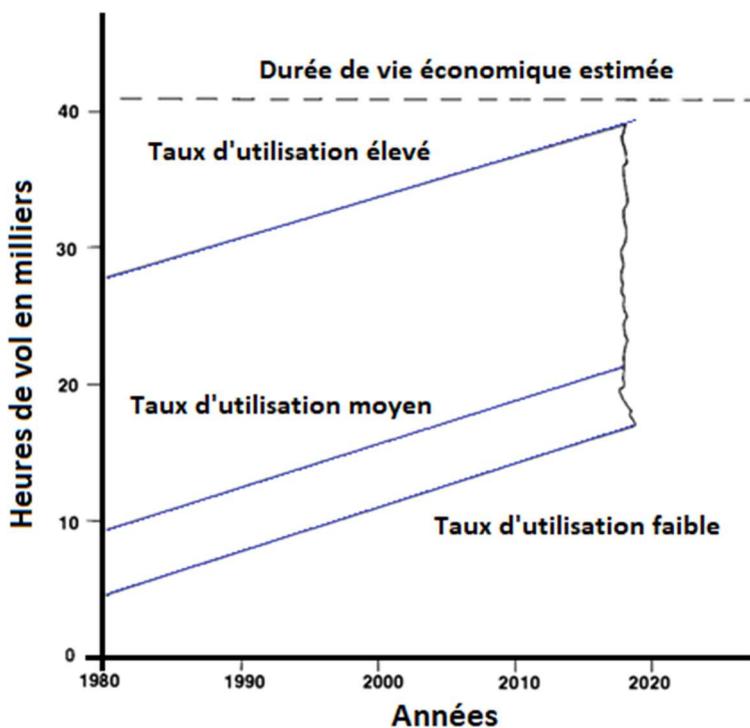


Figure 1 - Durée de vie structurale des avions en service

un certain nombre de modifications structurales à apporter aux ailes, l'utilisation du moteur Pratt & Whitney TF33-P-7.

C'est en 1974 que Boeing présente à l'USAF une offre non sollicitée insistant sur les bénéfices en termes de performances, de bruit et de réduction des coûts que pourraient apporter les moteurs à faible taux de dilution existants (TF33, JT8 D), un moteur " refanned " (JT3 D) ou un nouveau moteur à fort taux de dilution (CFM56, JT10 D, TF34), il en résulta que la direction de l'Aeronautical Systems Division (USAF/ASD) de l'USAF décida d'attribuer un financement complémentaire destiné à évaluer cinq configurations potentielles : le KC-135 P7 avec le moteur TF33-P, le KC-135 H déjà mentionné ci-dessus.

Les lignes indiquant les moyennes de temps d'utilisation (Figure 1) sont utilisées pour estimer l'utilisation future de la flotte des ravitailleurs en vol KC-135 A. Les droites, hautes et basses, montrent les -135 utilisés pour le transport, la reconnaissance, les missions météo et les missions spéciales. Concevant les avantages qu'apporteraient la remotorisation de la flotte de ravitailleurs en vol plutôt que l'achat d'un nouveau modèle, Boeing entama plusieurs études préliminaires qui conduisirent au programme de remotorisation des Boeing KC-135/CFM56. Remontant aux années 1970/1971, des premières études relatives à la remotorisation des KC-135 portaient sur l'utilisation de moteurs existants (TF33, TF34) ou un moteur " refanned " (1) utilisant la même aile ou une aile modifiée. La proposition basée sur cette étude était désignée KC-135 H, elle recommandait, avec

De nouveaux moteurs à fort taux de dilution (CFM56, JT10 D, TF34), le KC-135 X avec des moteurs de la classe des 20,000 livres de poussée (JT10 D ou CFM56) utilisant l'aile du Boeing 707-320 modèles B ou C, le KC-135 Y avec les mêmes moteurs et une nouvelle aile de technologie avancée. Une configuration mixte KC-135

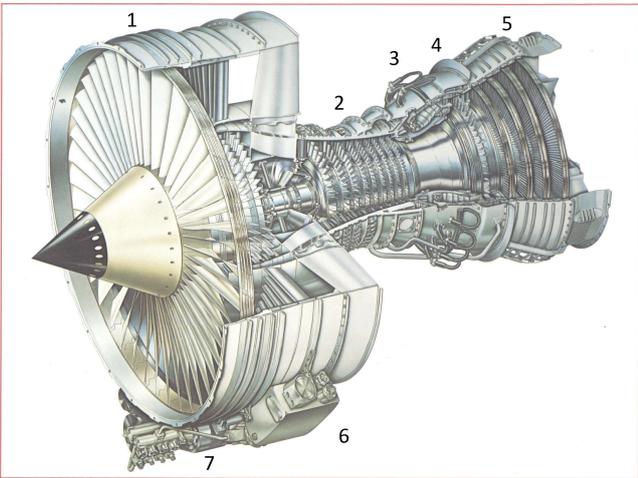


Boeing C-135 A - Panache fumées noires

ME utilisant deux moteurs de la classe de 20 000 livres installés aux positions internes, conservant les J57 aux positions externes. L'amélioration des performances et des coûts de chacune des cinq propositions furent étudiées puis présentées à l'USAF en 1976. C'est sur cette base, après la mise à disposition du budget nécessaire au financement de la compétition entre les moteurs CFM56 (KC-135 TT), JT8 D-209 (KC-135 RF) et TF33-P-7 (KC-135 P7) que l'USAF/ASD ouvre la compétition. En janvier 1980 Boeing reçoit un contrat pour la remotorisation des KC-135 A avec le moteur CFM56-2B1 et l'application des modifications associées.

### La motorisation du KC-135 R

Le CFM56-2B1 est produit par CFM International, un partenariat noué entre General Electric aux États-Unis et Snecma en France. La poussée, 22 000 livres, est à comparer aux 13 750 livres, avec injection d'eau, produites par le Pratt & Whitney J57-P-59W. Le CFM56-2B1 est un moteur à deux rotors mécaniquement indépendants, le compresseur haute pression est équipé d'aubes de stators à calage variable, la turbine est refroidie par flux d'air. Le rotor basse pression (N1) est composé d'une soufflante et d'un compresseur basse pression (Booster) à trois étages, entraîné par une turbine basse pression, à quatre étages. Le compresseur haute pression du rotor N2 est à neuf étages, entraîné par une turbine haute pression à un seul étage. La table 1 indique les caractéristiques principales, comparées des cycles du CFM56 et du J57.



- 1. Compresseur basse pression à 3 étages avec la soufflante (N1)
- 2. Compresseur haute pression à 9 étages (N2)
- 3. Chambre de combustion annulaire
- 4. Turbine haute pression mono étage
- 5. Turbine basse pression à 4 étages
- 6. Boitier électronique PMC
- 7. Relais d'accessoires

Figure 2 - CFM56-2B1 Turboréacteur à fort taux de dilution

Caractéristique principales (Niveau de la mer en conditions standard)	J57-P-59W	CFM56-2B1
Poussée au décollage (Livres)	13 750 (*)	22 000
Poussée au décollage à 100 nœuds (Livres)	13 050 (*)	18 500
Taux de dilution	Sans objet	6,05
Taux de compression global	12,56 (*)	24,9
Débit d'air global (Livres/Seconde)	180 (*)	794
Rapport poussée débit d'air (Livres/Livres)	62,2 (*)	27,71
Poussée résiduelle au ralenti (Livres)	630	880

(\*) Avec injection d'eau.  
 Poussée maximum, sans injection d'eau : 11,200 livres

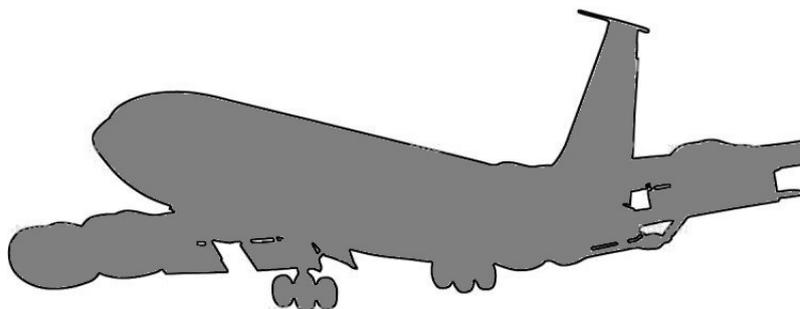
Table 1 Comparaison des caractéristiques principales des moteurs.

Le jeu en sommet des aubes de la turbine haute pression du CFM56-2B1 est vérifié par un dispositif de contrôle. Il est optimisé automatiquement, en stationnaire et pendant les transitoires, par des prélèvements

d'air modulés qui refroidissent les segments de l'anneau de support de la turbine. Le carter de la turbine basse pression est refroidi par un prélèvement d'air pris dans le débit de la soufflante appliqué directement via un réseau de tubes perforés sur la partie extérieure du carter. Les accessoires du moteur et de l'avion sont installés sur la partie inférieure du carter de la soufflante, ils sont entraînés par des arbres reliés au rotor N2. General Electric a la responsabilité de la partie haute pression et du système de régulation, Snecma, celle de la partie basse pression, des accessoires des autres systèmes de contrôle et de leur installation. Le régulateur mécanique-hydraulique (Main Engine Control ou MEC) monté sur la pompe à carburant contrôle la vitesse de rotation du corps N2 en ajustant le débit de carburant en fonction de la position de la manette des gaz et des conditions externes. Une de ses fonctions positionne automatiquement les vannes de décharge et les aubes de stator à calage variable, il génère également les signaux qui commandent le dispositif qui optimise le jeu en sommet des aubes de la turbine haute pression. Pendant les accélérations, le MEC compense le débit carburant en fonction du prélèvement d'air destiné aux servitudes de l'avion.

Un boîtier électronique Power Management Control (PMC) alimenté par un alternateur dédié affine la position du doseur de carburant dans le MEC optimisant automatiquement la vitesse de rotation du corps N1 en fonction de la vitesse avion et de l'altitude. Si le PMC est actif, pendant la phase de décollage, la vitesse de rotation du N1 est régulée automatiquement en fonction de la température extérieure et de la pression statique (altitude).

La position de la manette des gaz est choisie de façon à obtenir la vitesse de rotation N1 nécessaire à l'obtention de la poussée désirée. Le MEC ajuste le débit carburant en fonction de la vitesse de rotation N1 voulue.



## *Les modifications du KC-135R*

En plus des nouveaux moteurs et de leurs systèmes de contrôle le Boeing KC-135 R inclut les modifications suivantes :

- La surface de la gouverne de profondeur est agrandie, pour maintenir les caractéristiques de stabilité horizontale.
- Pour le maintien du contrôle directionnel, le système d'asservissement de la gouverne de direction (Flight control Augmentation System - FCAS) est rendu plus puissant auquel est ajoutée la commande de la dirigeabilité des roues du train avant par le palonnier.
- Pour prendre en compte l'augmentation de la masse de l'avion, le train principal est renforcé.
- Pour réduire la distance d'arrêt, le système de freinage est renforcé.
- Pour améliorer la sécurité, le système de mesure de la température du carburant, d'alarme de surchauffe dans les nacelles moteur et de lutte contre l'incendie sont remplacés.
- Un système d'enregistrement des paramètres moteurs (Turbine Engine Monitoring System - TEMS) destiné aux analyses de maintenance selon état (" on condition ") est installé.
- Les vario-alternateurs de type CSD (Constant Speed Drive) sont remplacés par des IDG (Integrated Drive Generator) plus fiables et plus puissants.
- Deux turbines de puissance auxiliaires (APU) sont installées, elles assurent le conditionnement d'air de l'avion au sol et le démarrage des moteurs sans moyen de support extérieur.
- Le tableau de bord est revu, incluant les nouveaux systèmes et la prise en compte de l'instrumentation nécessaire au moteur CFM56.

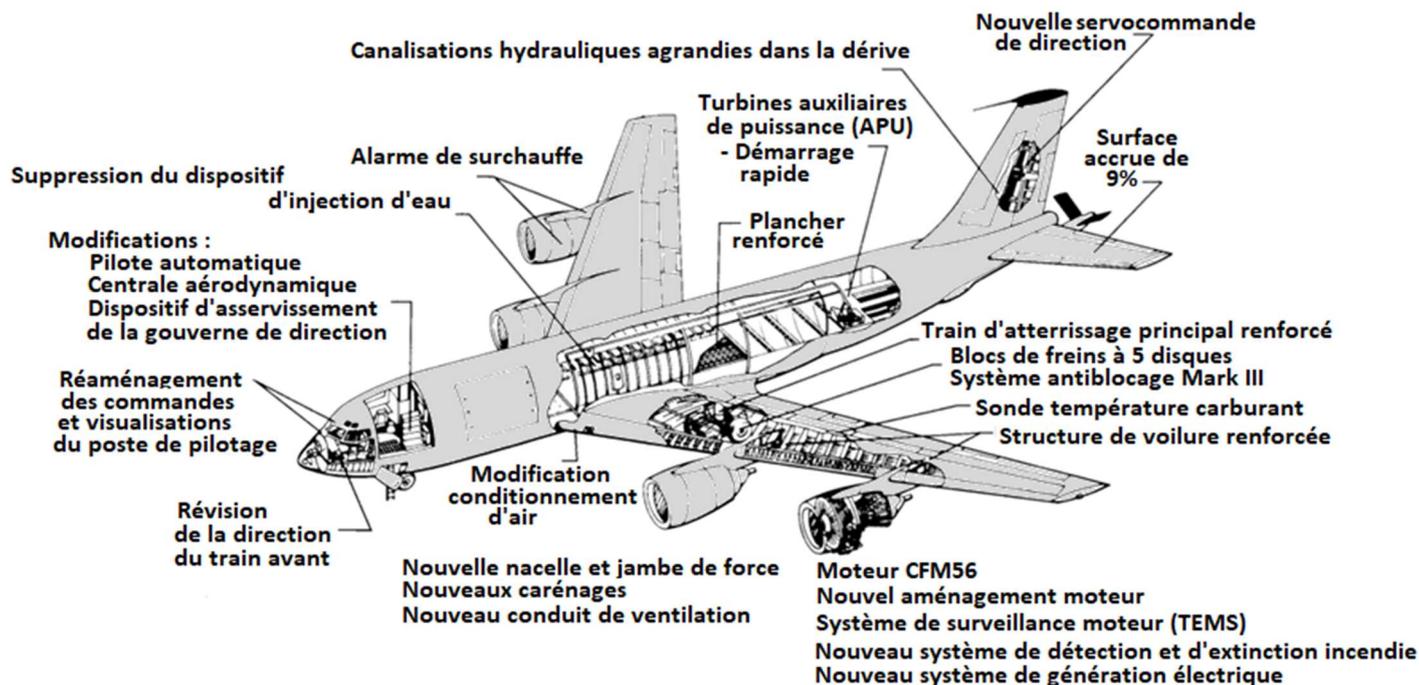


Figure 3 Modifications appliquées au KC-135 R

Ces systèmes ont été ajoutés pour faciliter la maintenance et améliorer et la sécurité de l'avion. La comparaison des masses distinctives des KC-135 A et KC-135 R sont indiqués dans la Table 2 ci-dessous. Le système d'injection d'eau, utilisé pour conserver la poussée au décollage du KC-135 A, a été supprimé. Il n'existe plus sur le KC-135 R.

<b>Masses caractéristiques des KC-135A &amp; R</b>	<b>KC-135 A</b>	<b>KC-135 R</b>
Masse opérationnelle à vide (Livres)	105 476	119 231
Masse du dispositif d'augmentation de la poussée (Livres)	5581	Sans objet
Masse du carburant (Livres)	190 543	203 269
Masse maximum autorisée au décollage (Livres)	301 600	322 500 (*)
Masse maximum autorisée au décollage (Livres)	276 000	322 500

*Incluant la distance critique au décollage*  
*Niveau de la mer, Température 32°C, Piste d'une longueur de 3415 mètres*  
 (\*) Réservoirs remplis au maximum

Table 2 - Masses caractéristiques des KC-135 A & R

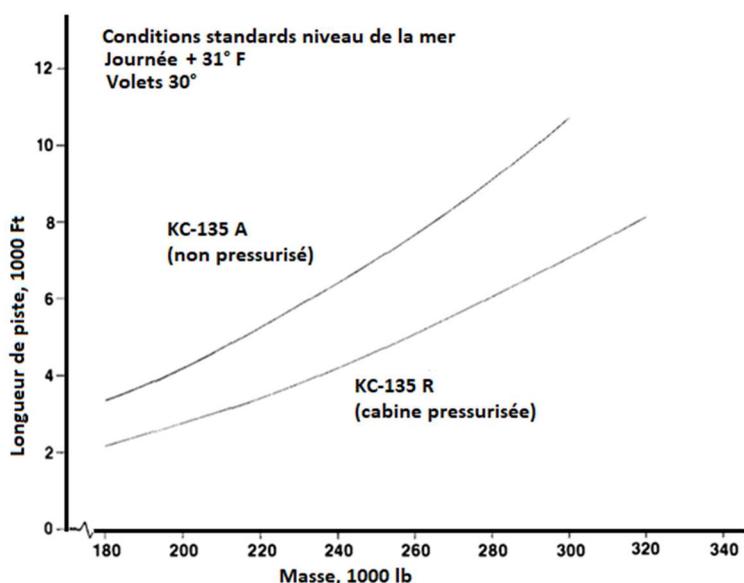


Figure 4 Course au décollage (quatre moteurs opérationnels).

## Campagne d'essais en vol du KC-135 R

La campagne d'essais, au sol et en vol, d'août 1982 à mars 1983 destinée à évaluer les performances et les qualités en vol du KC-135 R a été conduite sur les bases aériennes de McConnell à Wichita (Kansas) et d'Edwards (Californie). Cette campagne comportait 46 tests au sol et 55 vols d'essais pour un total de 1791 heures de vol moteur accumulées en 351 sorties. Les quatre moteurs étaient instrumentés ainsi que les paramètres de base de l'avion et de ses systèmes, résultant en la mesure d'environ 750 paramètres. Températures, pressions, débits et signaux électriques étaient enregistrés au rythme de cinq par seconde. Les données étaient stockées à bord de l'avion sur des bandes magnétiques utilisant des moyens de codage mis à disposition par Boeing. L'USAF mis à disposition un système ATIS (Airborne Test Instrumentation System) et un dispositif PCM (Pulse Code Modulation). Les informations en vol, en temps réel, étaient accessibles via le système " *Airborne Data Analysis and Monitor System* ". Elles permirent de valider la qualité et les conditions d'acquisition des points de mesure. Les tuyères d'échappement et les buses d'entrée d'air de production calibrées associées à un dispositif de peignes de prise de pressions dans le flux d'échappement de la soufflante constituèrent le moyen principal de calcul de la poussée en vol sous l'aile. Les valeurs de la poussée et du débit de carburant furent alors utilisées pour la validation des performances et la rédaction du manuel de performance. Les paramètres relevés au cours des essais au sol et en vol furent corrigés précisément des dispersions dues à l'installation en utilisant les analyses de cycles mises à disposition par le constructeur du moteur.

Résultant de l'augmentation de la poussée, les performances au décollage et pendant la phase de montée du KC-135 R se sont révélées notoirement supérieures à celles du KC-135 A. A la masse maximale autorisée au décollage, la distance critique au décollage passe de 4 380 à 3 650 mètres autorisant l'utilisation d'un plus grand nombre de bases. Les essais en vols permettent également d'observer une diminution importante du temps de montée. Ainsi, la masse maximale autorisée (94 350 kilogrammes) à la puissance maximum autorisée, le temps de montée de 3500 à 40 000 pieds passe de 19 minutes pour le KC-135 A à 13 minutes pour le KC-135 R nécessitant 50% de carburant en moins. En temps de crise, la meilleure dispersion des avions jointe à l'amélioration des performances au décollage et en montée du KC-135 R augmente leur potentiel de survie.



Boeing KC-135A s/n 61-0293 (1984).  
(© US Air Force).

Livré en mai 1962, c'est le premier KC-135 à avoir été remotorisé avec les moteurs F108-CF-100 et utilisé comme banc d'essai.

La quantité de carburant transférable (paramètre majeur dans l'évaluation d'un avion-citerne) et le rayon d'action maximum ont été évalués pendant la campagne d'essais en vol. La figure 5 compare les quantités de carburant transférables respectives du KC-135 R et du KC-135 A.

A la masse maximale au décollage, à la distance de 1500 miles nautiques, dans le cadre d'une mission type, sur la base des informations recueillies pendant des essais en vol, un KC-135 R est capable de transférer à un B-52 " *Stratofortress* " ou à un C-5A " *Galaxy* ", 29% de carburant de plus qu'un KC-135 A. Si la distance critique au décollage est le paramètre limitant, le KC-135 R est capable de transférer 60% de carburant en plus. La différence de quantité de carburant transférable d'un KC-135 R augmente avec la durée de la mission. Ainsi à 3220 miles nautiques, prenant en compte la distance critique au décollage, un KC-135 A n'est plus capable de transférer aucune quantité de carburant alors que le KC-135 R peut encore transférer 24 950 kilogrammes.

Sachant que le KC-135 A n'a pas la capacité de décoller, proche ou à la masse maximale autorisée, depuis de nombreuses bases aériennes, l'aspect limitation de distance critique au décollage est très important. A la masse de 108 860 kilogrammes, le KC-135 R a démontré une augmentation du rayon d'action égale à 28%. Pour ce qui concerne les performances en descente, à l'atterrissage ou à l'occasion d'une remise de gaz, les ravitailleurs remotorisés égalent ou excèdent celles du KC-135 A.

Des tests ont été conduits pour valider le bon fonctionnement des moteurs sur des pistes inondées. Aucun effet d'ingestion d'eau dans la nacelle n'a été observé pendant ces tests qui confirment qu'une hauteur d'eau de 12 millimètres n'affecte pas le bon fonctionnement du moteur.

Les qualités de vol du KC-135 R sont qualifiées de satisfaisantes, typiquement identiques à celle du KC-135 A. Faisant suite aux améliorations apportées au système d'asservissement des commandes de vol (FCAS), on observe une meilleure réponse des commandes.

Le Boeing KC-135 R a ravitaillé une grande variété d'avions : General Dynamics F-16 A, F-16 XL, McDonnell Douglas F-4 " Phantom II ", F-15 A " Eagle ", Boeing KC-135 A, C-135 C, Lockheed C-141 B " Starlifter ", SR-71, Boeing B-52 G et Lockheed C-5 A " Galaxy " ; aucune différence significative des caractéristiques de contrôle de vol des receveurs n'est observée. Pendant les essais en vol, le CFM56-2B1 a confirmé toutes les spécifications requises : performances, stabilité, démarrage, domaine de vol tel que présenté par la figure 6, comparée avec celle du J57. Les moteurs de test confirment la réduction de consommation carburant (SFC) anticipée. Le comportement du moteur en modes transitoires est également notablement amélioré.

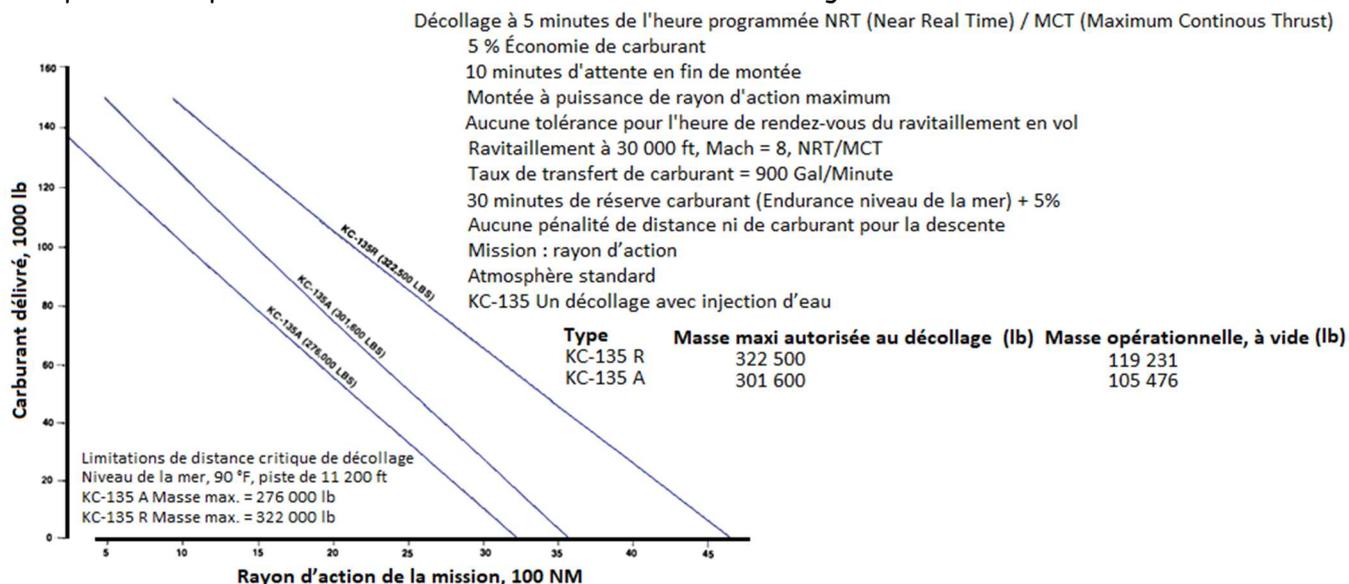


Figure 5 - Capacité de transfert de carburant.

A l'opposé du KC-135 A, au cours des diverses tentatives de mouvements rapides de la manette des gaz, tel que présenté par la figure 7, le KC-135 R a démontré sa capacité à fonctionner sans pompage moteur. Cette caractéristique permet, virtuellement, tous les mouvements, sans limitation, de la manette des gaz dans la totalité du domaine de vol. Le moteur a été soumis à des rallumages en vol jusqu'à l'altitude de 30 000 pieds (9150 mètres).

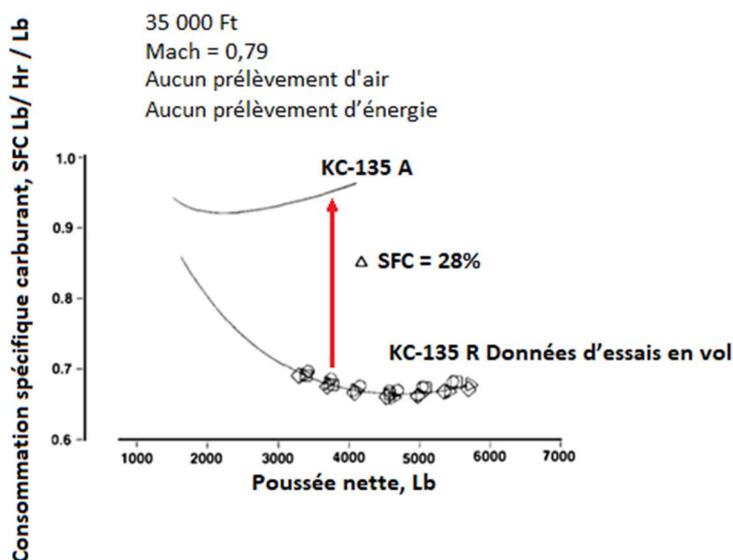


Figure 6 - Comparaison de la consommation de carburant.

Comparé au KC-135 A, l'un des avions les plus bruyant dans l'inventaire de l'USAF, le KC-135 R est exceptionnellement silencieux. La réduction du bruit résulte de la faible vitesse du jet d'échappement, caractéristique inhérente des moteurs à fort taux de dilution. La réduction du niveau de bruit a encore été augmentée par l'optimisation du rapport éléments statiques/aubes et de leur espacement dans le jet de la

soufflante. Le traitement acoustique du carter de la soufflante et le nombre élevé d'aubes de la turbine basse pression décalent le bruit hors de la zone la plus gênante. Qui plus est, la puissance plus élevée du KC-135 R autorise un taux de montée supérieur. L'empreinte de bruit au sol comparée à celle du " A " est réduite de 95% (Figure 8). Le KC-135 R satisfait à la réglementation Part 36 (Certification des avions - Standard de bruit) de la FAA permettant l'amélioration des relations avec les résidents dans le voisinage des bases de l'US Air Force.

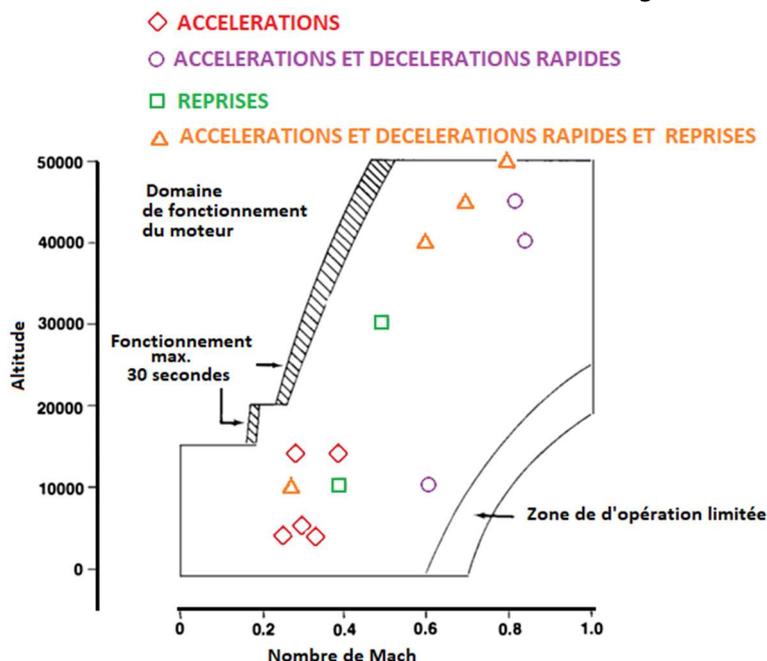


Figure 7 - Caractéristiques opérationnelles du moteur CFM56-2B1 (Conditions des vols d'essais).

A la suite de la remotorisation, les émissions de fumées ont été considérablement réduites. Le CFM56-2B1 satisfait aux objectifs de concentration d'éléments polluants tel que déterminés par l'US Air Force. La faible longueur de la chambre de combustion réduit les émissions de NOx, alors que l'efficacité de la technologie utilisée pour effectuer le mélange air/carburant réduit celle des produits hydrocarbonés. Les niveaux de fumées sont très inférieurs aux niveaux maximums spécifiés par les objectifs de l'USAF.

- Contour à 90 EPNdb
- Masse brute maximale au décollage
- Aucune réduction
- Masse nominale à l'atterrissage

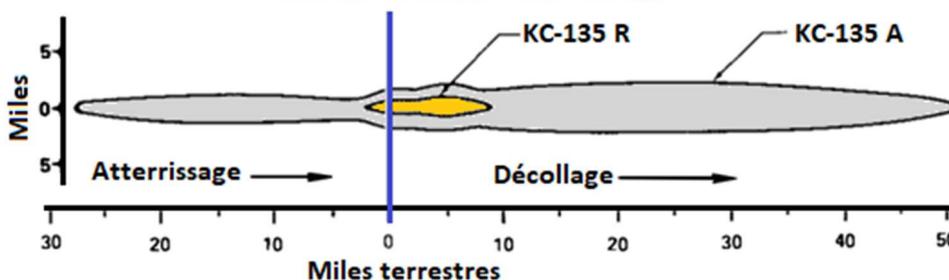


Figure 8 - Comparaison des empreintes sonores au sol J57/CFM56.

Le bruit n'est pas mesuré en décibels (dB) mais en EPNdB (Effective Perceived Noise Level), mesure qui tient compte de la nature des sons. Un murmure à deux mètres correspond à environ 47 EPNdB, un Boeing 747 au décollage à 107 EPNdB.

La réduction de la consommation carburant jointe à la diminution des coûts de maintenance réduisent le coût global d'exploitation du KC-135 R. Les courbes de la figure 6, rapport SFC/Poussée, montrent que l'économie de consommation en carburant en régime de croisière est de l'ordre de 28%.

Le concept de maintenance modulaire du CFM56-2B1 permettant de faciliter l'accès, l'interchangeabilité et le remplacement des modules réduira les coûts de maintenance. Le dispositif d'enregistrement automatique des paramètres moteur (Turbine Engine Monitoring System - TEMS) et leur analyse autorise la maintenance préventive.

Le quatrième KC-135 R a réintégré l'USAF le 7 novembre 1984. Depuis, Boeing a reçu un contrat pour remotoriser 36 avions et la fabrication de 27 kits additionnels à l'échéance de mai 1986. Le KC-135 R a démontré qu'il est capable de satisfaire les spécifications requises, permettant à l'USAF de disposer d'un ravitailleur en vol moderne jusqu'au milieu du XXI<sup>ème</sup> siècle.

## Considérations relatives à la sélection du moteur

Tableau des performances comparées des KC-135 A / KC135 E / KC-135 R (\*).

	KC-135 A	KC-135 E	KC-135 R
Masse maximale autorisée au décollage (Tonnes)	132,500	134,700	146,000
Distance de décollage au poids maximum (Mètres)	3415	2925	2470
Masse maximale de carburant (Tonnes)	85,720	86,100	91,620
Quantité carburant transférable à 2500 Nm (Tonnes)	27,570	34,290	42,860
Gain de consommation en carburant (%)	Base	12%	25%
Respect des normes de bruit (Janvier 1985)	Non	Non	Oui
Réduction des fumées (%)	Base	74%	92%

(\* ) KC-135 A (Moteur P&W J57-P-59W) - KC-135 E (Moteur TF33-PW-102) - KC-135 R (Moteur CFM56-2B1).

A la suite de l'offre non sollicitée de Boeing de 1974, l'USAF/ASD évalue les cinq propositions, telles que listées au paragraphe deux ci-dessus. Dans le cadre de la compétition finale, elles sont réduites à trois. Le moteur de CFMI, CFM56, d'un type non encore déterminé, rappelons que le prototype du CFM56, très proche de ce qui deviendra le -2 ne fera ses premières rotations au banc d'essais au sol chez General Electric à Evendale que le 20 juin 1974 et cinq mois plus tard dans les bancs de la SNECMA. Le second, le Pratt & Whitney JT3D, moteur à double flux, bien connu est largement utilisé, tant par l'USAF dans ses variantes militaires TF33-PW-7 installées sur le quadrimoteur de transport stratégique Lockheed C-141 " Starlifter ", voire sur certaines versions spécialisées du C-135 E/RC-135/NC-135... par les ultimes modèles de série du bombardier Boeing B-52 H, TF33-PW-3, qui entrèrent en service en 1961, que par les compagnies aériennes civiles utilisatrices du Boeing 707 ou du Douglas DC8. Huit-mille-six-cents ont été produits. Le troisième retenu pour supporter la compétition est le Pratt & Whitney JT8 D-200. Ce moteur qui dérive largement du JT3D est une évolution du JT8D, moteur à double flux et faible taux de dilution 1,05, qui motorise les Boeing 737-100 et -200, et 727 ainsi que la famille des Douglas DC-9. Une version militaire désignée J52, que l'on trouve notamment dans les bimoteurs Grumman A-6 " Intruder ", et EA-6B " Prowler " ainsi que sur le monomoteur d'assaut Douglas A-4 " Skyhawk ". Le type -200 est une évolution du JT8 D de base dont le taux de dilution a été augmenté à environ 1,8 ainsi que la poussée. Cette version motorise les avions de la famille MD-80 de McDonnell Douglas. Toutes versions confondues, il connaît un succès immense avec presque 15 000 exemplaires en service. Toutefois, comme le CFM56, le JT8D-200 est encore un moteur en développement, entrant en service en octobre 1980.

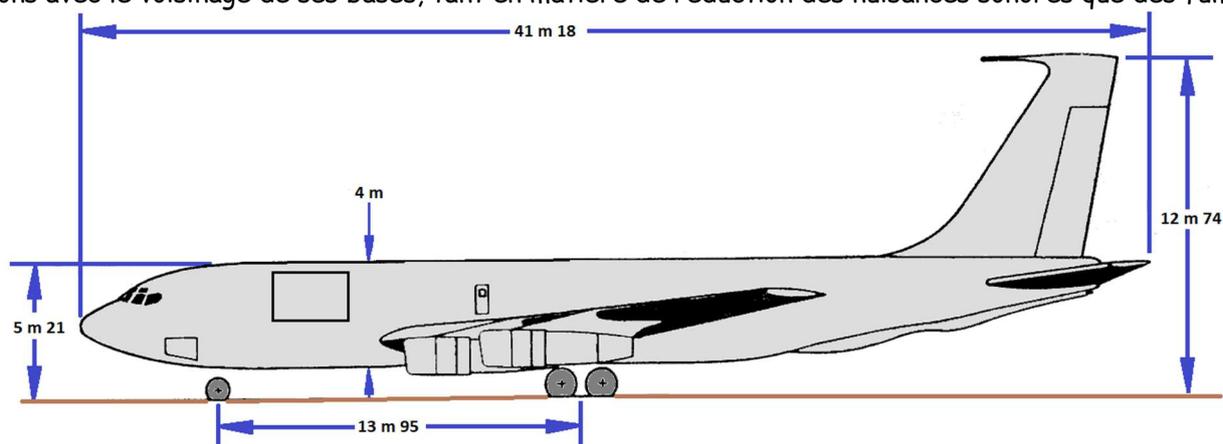


Le Boeing KC-135 R s/n 61-0293 ravitaillé derrière un KC-135 A au cours de ses premiers essais en vol. (© US Air Force).

Au moment où l'étude débute, l'USAF possède un parc d'environ 615 KC-135. En cas de sélection du JT3 D/TF33, l'intention de l'USAF/ASD est d'identifier environ deux mille moteurs de seconde main à identifier dans les flottes de Boeing 707 utilisés par les compagnies commerciales civiles. Environ six-cents sont encore en service. Selon la FAA, facilitant leur intégration, quatre-cents sont exploités selon sa réglementation. Avec le durcissement, à partir de janvier 1985, des normes de bruit, le nombre d'avion donneurs devrait s'avérer suffisant. Toutefois il apparaît que le standard de maintenance, variant largement d'une compagnie à l'autre, auquel s'ajoute la grande amplitude de vieillissement des moteurs, il s'avèrera indispensable, pour conserver la standardisation du niveau technique, de lisser la charge de l'atelier de maintenance et de réparation des

moteurs d'Oklahoma City ALC (Air Logistics Center) ainsi que la disponibilité des ravitailleurs disponibles sur les bases d'effectuer une grande visite à chacun des moteurs avant l'installation. L'opération redonnerait 6000 heures de vol uniformisées par moteur, soit au rythme d'utilisation anticipé 20 années de service. Ces dépenses prises en compte, amènent le coût de remotorisation unitaire avec le JT3 D/TF33 (\$ 1985) à \$4,7M, soit presque quatre fois moins qu'avec le CFM56-2B1, \$17,9M. Sur vingt années, le coût brut (3) unitaire des opérations, avec le JT3 D/TF33 est estimé à \$57,9 contre \$46,7M pour le CFM56-2B1. Cette différence émanant essentiellement du coût prévisible d'achat du carburant qui ne peut pas être évalué plus précisément sur une telle période de même que les dépenses de maintenance très dépendantes du coût des pièces de rechange et de leur disponibilité.

Simultanément, les escadres du Military Airlift Command (MAC) continueront à utiliser, pour encore deux décennies, environ 260 quadrimoteurs Lockheed C-141 B " Starlifter ", modernisés. Leur fuselage a été récemment rallongé de 7,16 mètres et la capacité ravitaillement en vol ajoutée. Ils sont équipés du TF33-P-7 soit plus de mille moteurs. Le Strategic Air Command (SAC) quant à lui utilise une centaine d'hexamoteurs B-52 H à moteurs TF33-P-3 soit environ huit cents exemplaires dont le retrait du service n'est pas programmé. Avec les quelques 200 moteurs TF33-P-100 en service dans la flotte des Boeing E-3A AWACS et KC-135 E, le nombre de TF33 utilisés par l'USAF représente plus de deux mille moteurs. Pour des raisons évidentes de logistique, il n'est pas prévu de créer des escadres composites, où les JT3 D/TF33 côtoieraient les CFM56 dans un même escadron. En conséquence, les 148 KC-135 E déjà en service seront affectés soit à l'Air National Guard (ANG) soit à l'Air Force Reserve (AFR). Déclarés trop bruyant, à partir de janvier 1985, les Boeing 707 et Douglas DC8 en service dans les compagnies aériennes civiles ne seront plus autorisés à opérer dans l'espace aérien des États-Unis. Certes, la nouvelle réglementation de la FAA relative aux normes bruit des aéronefs ne s'appliquera pas aux opérations des avions d'arme toutefois, l'USAF est soucieuse de maintenir de bonnes relations avec le voisinage de ses bases, tant en matière de réduction des nuisances sonores que des fumées.



Boeing KC-135 A avec moteurs Pratt & Whitney J57-P-59W - Dimensions.

Neuf, le CFM56 ne nécessitera évidemment pas d'opération préalable de remise à niveau. CFM International s'engageant à installer une chaîne d'assemblage aux États-Unis, les questions de ressources en moteurs et en pièces de rechange ne se posent pas. Le CFM56-2B1 est intrinsèquement bien plus performant que le JT3 D/TF33. Encore en phase de développement, il n'a certes pas fait ses preuves mais il dispose de tout le potentiel nécessaire pour être un moteur fiable. Si le coût et l'amplitude des modifications nécessaires à apporter à l'avion pour accommoder le CFM56, s'avère important, elles permettent d'augmenter la quantité de carburant transférable de 50%. Il est démontré que, dans certaines conditions un " R " peut se substituer à deux " A ". " Le KC-135 R est un autre avion ". Les nouvelles performances au décollage et en montée, permettent, à la masse maximale, d'utiliser 130 terrains supplémentaires aux États-Unis, 140 dans les pays de l'OTAN. L'absence d'inverseur de poussée (4), bien que pénalisante n'est pas rédhibitoire. Sur terrains verglacés, la distance de freinage, avec cinq tonnes de carburant restant, passe de 1700 mètres pour le KC-135 E (moteur TF33 doté d'inverseur de poussée) à 1965 mètres pour le CFM56-2B1. Les niveaux de bruit et d'émission de fumées, compatibles avec les normes de la FAA sont notablement inférieurs.

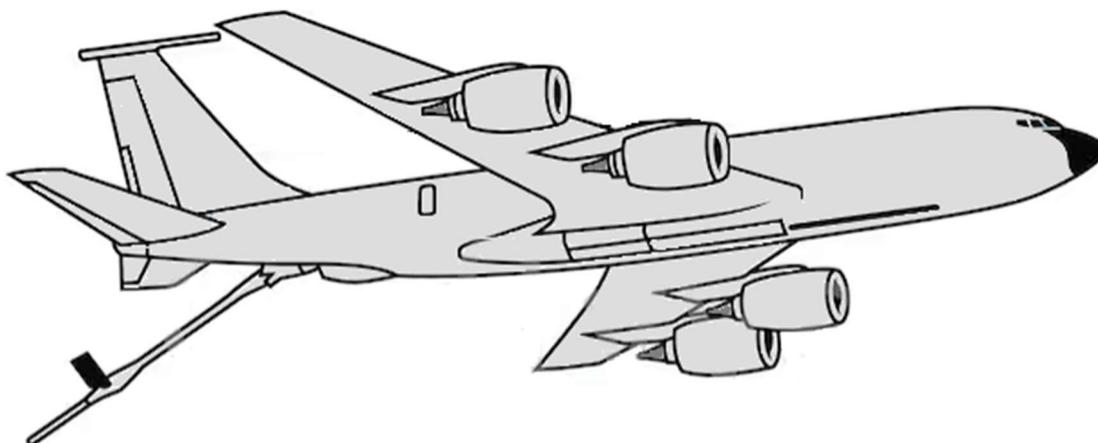
**Tableau comparatif des modifications KC-135 R / KC-135 E requises au moment de la remotorisation.**

**KC-135 R (CFM-56-2B1)**

**KC-135 E (TF33)**

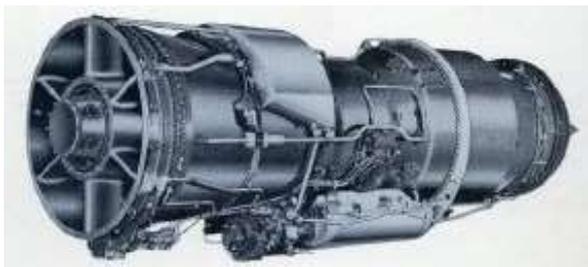
Nouveau moteur (pas d'inverseur de poussée)  
 Suppression du système d'injection d'eau  
 Nouveau système de détection et extinction d'incendie  
 Introduction système enregistrement paramètres moteur  
 Nouveaux alternateurs  
 Nouveau système prélèvement d'air  
 Ajout de deux turbines auxiliaires de puissance (APU)  
 Nouveau amortisseur de direction  
 Nouveau système d'asservissement  
 Empennage horizontal à surface agrandie (9%)  
 Nouvelle servocommande de direction  
 Renforcement du train d'atterrissage principal  
 Nouveau bloc de frein à 5 disques  
 Ajout d'un système antiblocage  
 Dispositif de contrôle de la direction au sol par le palonnier  
 Nouveau panneau d'instruments moteur neuf  
 Nouvelle centrale aérodynamique

Installation des moteurs après grande visite  
 Suppression du système d'injection d'eau  
  
 Installation d'un système de démarrage par cartouche  
 Installation amortisseur de direction du Boeing 707  
  
 Installation commande de profondeur du Boeing 707  
  
 Nouveau bloc de frein à 5 disques  
 Ajout d'un système antiblocage  
  
 Panneau d'instruments moteur d'occasion

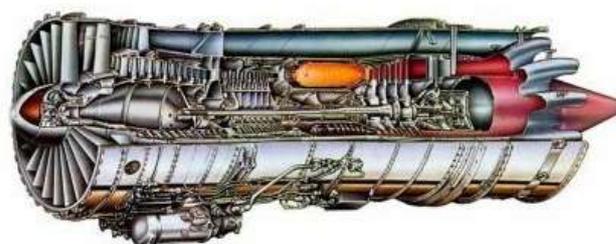


Boeing KC-135 R en configuration perche télescopique rigide utilisée pour les chasseurs et avions lourds de l'US Air Force. Elle s'allonge et se rétracte et possède un fort débattement dans le plan vertical. Le dernier des 420 quadrimoteurs remotorisés, le s/n 57-1441, sortie d'usine en juin 1958, a été remotorisé en 1988.

Option intermédiaire entre le JT3 D/TF33, moteur requérant le moins d'investissements, au moins immédiatement, ainsi qu'en termes des nécessaires modifications à apporter à l'avion mais le moins performant et le CM56-2B, le plus performant et le plus onéreux en investissements immédiat et en nombre de modifications à apporter à l'avion, l'option JT8 D-200, n'a pas été retenue. Alors que de nombreux documents comparant les mérites tant du JT3 D/TF33 que du CFM56-2B sont accessibles au grand public, il ne m'a pas été possible de trouver une documentation d'origine USAF/ASD suffisante, analysant les raisons de cette décision. Il semble que les avancées offertes par le JT8 D-200, dont la relative réduction globale de la consommation carburant, potentiellement 19%, de l'amélioration des performances au décollage et en montée, de réduction du bruit, de la signature infrarouge, et des modifications à apporter à l'avion, identiques à celles du TF33, en tout état de cause, très inférieures à celles amenées par le CFM56-2B1, n'étaient pas suffisamment significatives pour compenser la nécessité d'avoir à acheter des moteurs neufs.



Pratt & Whitney J57-P-59W (© P & W)



Pratt & Whitney JT8 D-200 (© P & W)

En l'absence de chiffres précis, il est toutefois possible de faire valoir quelques données brutes, qui démontrent que si les poussées du CFM56-2B et du JT8 D-200 sont relativement proches, 9,78 tonnes pour le -2B, contre 9,65 pour le JT8 D-200 aux masses nettes sensiblement égales, 2 139 kilogrammes pour le CFM56 et 2 047 pour le JT8 D-200 caractéristiques gage de performances potentiellement proches au décollage jusqu'à 28,8°C (température de cassure du JT8 D-200) (2), le CFM56-2B1, dont la température de cassure est de 32°, est supérieur en condition de température plus élevée et en montée. La consommation spécifique fait la différence : 0,36 livre par heure et par livre de poussée (lb/h/lbf) pour le CFM56-2B1. Elle est de 0,52 pour le JT8 D-200 à comparer au 0,58 du TF33/JT3 D. Le JT8 D-200 subira d'ailleurs un autre échec quelques années plus tard dans le cadre d'un projet de remotorisation des plateformes Boeing E-8 (JSTAR) ou même AWACS E-3 A, qui n'ira pas plus loin qu'un unique prototype du E-8 C équipé de quatre JT8 D-219.



Boeing E-8C avec JT8 D-200 au décollage (© US Air Force)



Boeing E-8C avec JT8 D-200 en vol (© US Air Force)

#### Références:

1. Gebhardt, C. L., "The C-135 R is Here". Boeing Military Company News, Issue 346, KC-135 R October-November-December 1982, pp 6-12.
2. Hart, R. E., "Performance, Flying Qualities and Propulsion System Evaluation of the KC-135 R Aircraft", Air Force Flight Test Center, July 1983, AFFTC-TR-83-18.
3. The Boeing Company, "KC-135 Propulsion Improvement Study", June 1974, D3-9464-I.
4. Palmer, F. " KC-135 Modernization Study, Report, Volume III", The Boeing Company Division, June 1979, ASD/XR-TR-76-15.
5. Starch, S., "The KC-135 - A Successful Multirole Transport Aircraft", SAE Technical Paper Series, SAE Paper No. 791093, December 1979.
6. The Boeing Company, "KC-135R Flight Manual Performance Data, Appendix I", May 1984, Technical Order 1C-135 (K)R-I-I.
7. The Boeing Company, "KC-135A Flight Manual Performance Data, Appendix I", June 1966, Technical Order 1C-135 (K)A-I-I.

#### Index :

- (1) Le rendement propulsif d'un turboréacteur étant inversement proportionnel à la vitesse d'éjection des gaz, pour un turboréacteur destiné à un avion subsonique, il importe de réduire cette vitesse au maximum. Une option est d'installer une soufflante " fan " laquelle augmentant le débit d'air permet d'obtenir une vitesse d'éjection plus faible, conservant, voire augmentant la poussée. Le terme " refanned " s'applique à des moteurs originellement conçus simple flux, sans soufflante, tel le JT3 C/J57 qui devient JT3 D/TF33, double flux, après l'ajout d'un " kit soufflante" sur le même générateur de gaz. Le débit d'air issu de la soufflante éjecte directement dans l'atmosphère, sans participer au cycle de la combustion. Dans le cas du JT8D/J52, originellement conçu comme un turboréacteur double flux, le diamètre de la soufflante est agrandi passant de 108 à 125 centimètres ce qui augmentant le débit d'air, accroît la poussée qui passe de 6,2 à 9,6 tonnes. Ce moteur est alors désigné JT8 D-200. Si à proprement parler, le JT8 D-200 n'est pas un véritable " refanned " il est quand même inclus dans cette catégorie.
- (2) Température de cassure. Les moteurs d'avion se caractérisent par une poussée maintenue constante jusqu'à une température extérieure limite au-delà de laquelle, pour préserver l'intégrité des pièces chaudes, il est nécessaire de la réduire. C'est ce seuil de température extérieure qui est désigné " température de cassure ".
- (3) Cette étude ne prend pas en compte les gains apportés par l'amélioration des capacités du KC-135 R. Trop difficiles à estimer tel que, dans le cadre de certaines missions, la possibilité d'utiliser un seul " R " alors que deux " E " seraient nécessaires.  
Bien qu'amenant une meilleure marge de sécurité, l'option inverseur de poussée, disponible sur les CFM56-2C des Douglas DC8-70, et qu'il eut été possible d'installer sur les KC-135 R, pour des raisons de masse et de coût, n'a pas été retenue par l'USAF.

# QUATRIEME PARTIE

# KC-135A / C-135F - Injection d'eau dans le turboréacteur

## Pratt & Whitney J57

" The water wagon "

" Le wagon à eau " - Sobriquet affectueux donné aux C-135 A du SAC par ses équipages.

S'il existe des symboles qui exemplifient la technique de l'injection d'eau dans les moteurs d'avion, ce sont bien ces photos de quadrimoteurs Boeing 707 ou Douglas DC8 au décollage, tirant leurs quatre panaches de fumées denses et noirs. Sans oublier ce film, typique de la guerre froide, paru en juin 1963, largement sponsorisé par le Strategic Air Command (SAC), mis en scène par Delbert Mann " *A Gathering of Eagles* " avec pour acteurs principaux Rock Hudson et Rod Taylor, où le metteur en scène montre aux spectateurs des bombardiers B-52 et des ravitailleurs en vol KC-135 A, tous motorisés par le moteur Pratt & Whitney J57, décollant sur alerte en cascade dans un environnement de bruit et de fumées noires porté au paroxysme.

## Historique et concept d'augmentation de la poussée des turboréacteurs dans les années cinquante

Les turboréacteurs produits au début des années cinquante, sont loin d'être aussi puissants que ceux dont nous disposons maintenant. Le plus puissant, le Pratt & Whitney J57, d'ailleurs le premier moteur occidental à avoir dépassé les dix-mille livres de poussée, dans sa version J57-P-19W installé sur les versions B/C/D/E du Boeing B-52 développe 10 500 livres (46 700 Newtons). Les trois premiers, et seuls, B-52 du type " A " sont équipés de J57-P-1W ne produisant que 9000 livres (40 820 Newtons). Le modèle J57-P-59W des ravitailleurs en vol KC-135 A/B/C produit 13 750 livres (61 100 Newtons). Équipés de ces moteurs, ces deux avions sont notoirement sous motorisés ce qui impose, pour permettre, en toutes circonstances, le décollage à pleine charge, de disposer de pistes de grande longueur, de l'ordre de trois mille cinq cents mètres. A cette époque, au-delà d'augmenter le nombre de moteurs, considérant les technologies disponibles, il n'existe que deux options permettant d'accroître la poussée dite " sèche " d'un turboréacteur. La première, la post combustion ou réchauffe, consiste en l'installation de rampes d'injection de kérosène dans le canal d'échappement destinées à brûler le reliquat d'oxygène restant dans les gaz d'échappement ayant subi la première combustion. Cette technologie, agit sur l'un des deux paramètres, générateur de la poussée : La vitesse d'éjection des gaz. L'augmentation de la pression dans le canal d'échappement, conséquence de la seconde combustion, augmente



Décollage sur alerte d'un Boeing KC-135A du SAC.

Une partie de l'eau injectée à l'entrée du compresseur basse pression est éjectée pendant l'accélération du moteur avant la fermeture de la vanne de décharge inter compresseur.

très significativement la vitesse d'éjection. Ainsi, la poussée du J57-P-21 du chasseur North American F-100 " *Super Sabre* " passe de 10 200 livres (45 372 Newtons) à sec à 16 950 livres (75 397 Newtons). Si la poussée totale augmente de pratiquement 60%, la consommation carburant triple, passant de 0.77 Lb/Hr/Lbf (Livres/heure par livre de poussée) moteur sec à 2,1 quand la post combustion est engagée. Pour efficace qu'elle soit, d'ailleurs largement utilisée par les turboréacteurs destinés aux avions de chasse, la consommation excessive de carburant n'est pas optimisée, pour les avions multi moteurs à long rayon d'action.

C'est la seconde, l'injection d'eau dans les compresseurs malgré ses contraintes qui sera retenue pour le J57, tant pour le Boeing B-52 que pour le Boeing KC-135 A / C-135 F.

Une des limites d'utilisation d'un turboréacteur est la température maximale acceptable devant la turbine TET (1) par les pièces dites chaudes, typiquement, les distributeurs et les aubes de turbine. Sans entrer dans des considérations scientifiques, qu'il serait inutile de développer plus avant ici, il est toutefois essentiel de mentionner que la Chaleur Spécifique ( $C_p$ ) de l'eau est très élevée. L'une des plus élevée parmi les fluides ou les gaz, aisément utilisables dans un processus de combustion. La  $C_p$  de l'eau est de 4,18 kJ/kg °C, même réduite à 2 kJ/kg °C, alors que transformée en vapeur par le processus de combustion. C'est encore deux fois plus que ce que sont capables par exemple, l'azote ou l'oxygène. Il en résulte que l'injection d'eau pulvérisée en fines

gouttelettes dans la veine d'air d'un turboréacteur, refroidissant le mélange air/carburant, participe au refroidissement de ces pièces permettant de continuer à injecter " *plus longtemps* " une plus grande quantité de carburant dans la chambre de combustion, sans risquer de les détériorer. Dans les faits, alors que la température extérieure ou l'altitude de la piste augmente, la densité de l'air diminuant, fait chuter le débit d'air, ainsi que la portance des ailes, imposant, à masse avion constante, une plus grande vitesse, pour assurer le décollage, donc plus de puissance. De façon à obtenir le débit d'air nécessaire, il faut augmenter la vitesse de rotation du ou des compresseurs augmentant de la sorte, et rapidement, la TET. La masse d'eau injectée s'ajoutant à celle de l'air participe aussi à l'augmentation de la poussée. On observera deux autres bénéfices : la température des pièces en contact avec les gaz chauds étant plus basse, leur durée de vie s'en trouve augmentée, allongeant ainsi le temps d'utilisation entre deux retours en atelier pour grandes visites. La génération des monoxydes d'azote (Nox) très dépendante de la température des pièces chaudes **(2)** est diminuée. Toutefois, une partie des gouttelettes de carburant mélangées avec celles de l'eau, que les motoristes désignent " *Humides* ", ne sont pas brûlées. Cette quantité de carburant imbrûlé " *carbonise* " générant les intenses panaches de fumées noires caractéristiques des décollages de B-52 ou de KC-135. En outre, le poids de l'eau et des systèmes embarqués associés, ajoutent du poids qui pénalise quelque peu la performance globale. De plus, la complexité de ce dispositif additionnel augmente le risque de panne. La lourdeur du processus de production de l'eau et le contrôle, par temps froid, de sa température ne doit pas non plus être oublié.

## *Technologie de l'injection d'eau du KC-135A / C-135F*

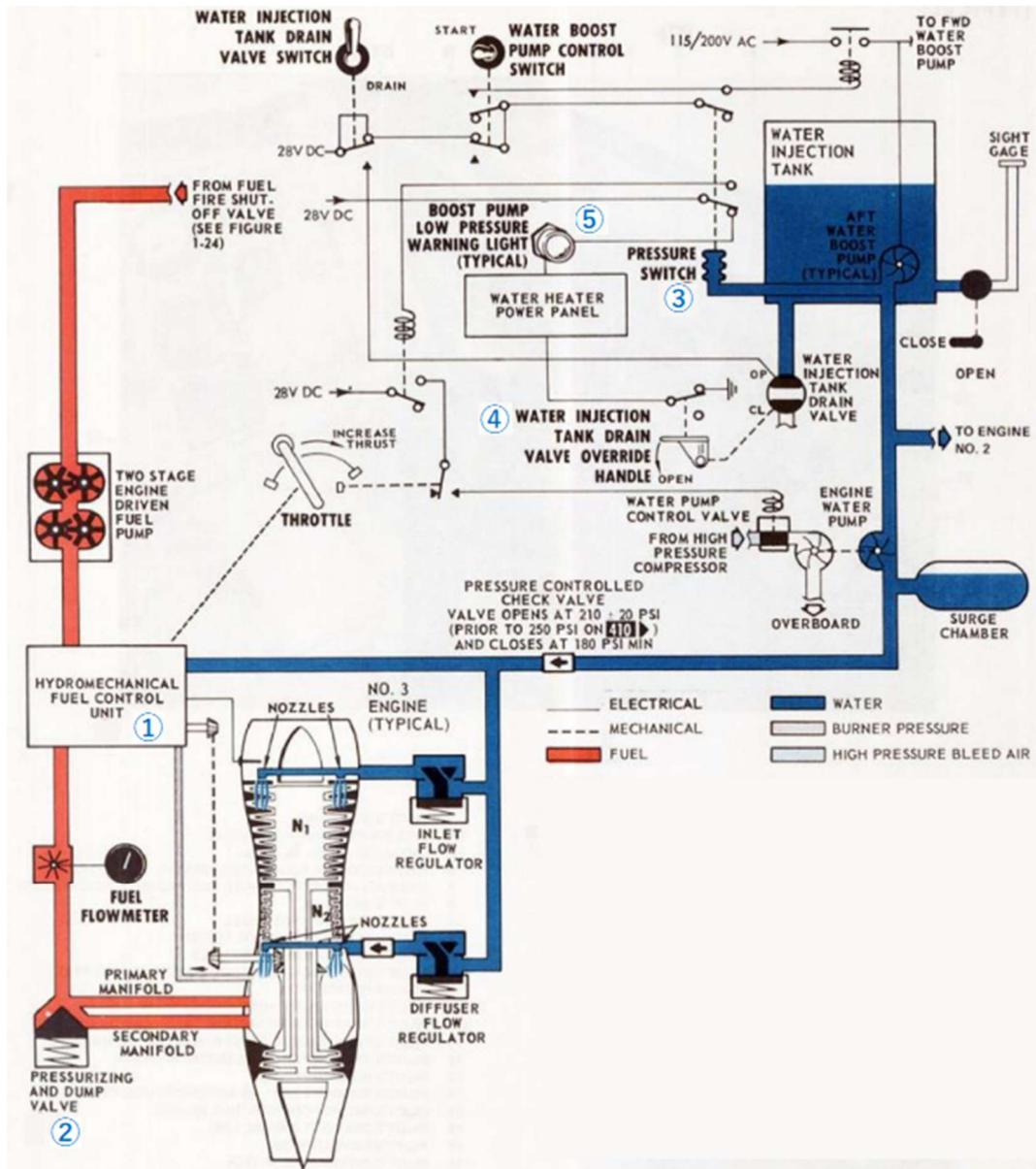
Le dispositif d'injection d'eau, tel qu'installé dans les ravitailleurs en vol type KC-135 A et C-135 F est constitué de plusieurs éléments.

Trois réservoirs, à remplissage par gravité, totalisant 880 Galons US (3330 litres), soit deux réservoirs auxiliaires de 795 litres chacun, disposés dans les ailes à l'arrière des trains principaux. Ils transfèrent automatiquement, par gravité, dans le réservoir central de 1740 litres. Ce réservoir contient les deux pompes à eau basse pression à commande électrique (16 KW). La pompe avant alimente les moteurs No 1 et No 2. La pompe arrière les moteurs No 3 et 4. Elles débitent 590 litres/minute (35 400 litres/heures) sous 7,9 bar. Chacun des moteurs dispose d'une turbopompe alimentée par de l'air sous pression prélevé au dernier étage (16<sup>ème</sup>) du compresseur haute pression. En cas de décollage au-dessus de 6000 pieds (1 830 m), le débit d'air produit par les compresseurs n'étant plus suffisant, il n'est plus possible d'utiliser l'injection d'eau. Les turbopompes, à deux étages de turbine, débitent, 295 litres/minute (17 700 litres/heures) unitairement, sous 28 bars, vers deux rampes de vaporisation. 132 litres/minutes vers la rampe avant située devant le compresseur basse pression et 62 litres/minute dans la rampe arrière située derrière le compresseur haute pression **(3)**. A la puissance maximale, au débit total 1180 litres/minute, la phase d'injection d'eau, avant que les réservoirs ne soient épuisés est, de peu, supérieure à deux minutes. Situé entre les rampes d'injection et les turbopompes, un régulateur de débit d'eau, maintient le débit constant. Il est synchronisé avec le régulateur carburant qui augmente le débit carburant pendant toute la période d'injection. Le régulateur de débit d'eau comporte un filtre fin qui capture les éventuels débris présents dans l'eau préalablement déminéralisée. La rampe avant consiste en un anneau perforé de trous qui pulvérisent devant le premier étage du compresseur basse pression. La rampe arrière, constituée de seize injecteurs, débite derrière le compresseur haute pression, juste avant l'entrée du mélange air/eau dans la chambre de combustion. Pour prévenir le gel de l'eau résiduelle en altitude, une vanne de drainage permet la vidange du réservoir central de l'eau non utilisée. Les tuyauteries d'alimentation sont vidangées par gravité.

Après que l'équipage ait sélectionné, ou non, l'utilisation de l'injection d'eau via un contact électrique situé sur un tableau dédié, côté copilote, l'engagement est automatique dès que la manette des gaz atteint le seuil de puissance requis. Deux voyants, aile gauche et droite, informent l'équipage de la chute de pression dans le circuit basse pression, indicatrice de possibles dysfonctionnements. Toutefois, pour les utilisateurs, le rapide déplacement de l'indicateur de l'EPR **(4)**, l'augmentation très significative du bruit et des vibrations dans l'avion sont plus représentatifs du bon fonctionnement. Selon le manuel d'utilisation du KC-135 A/C-135 F, quand le J57 tourne à la poussée de 9000 livres (4,1 tonnes), l'injection d'eau la fait passer à 12 000 livres (5,5 tonnes).

Pour prévenir le risque de givrage des premiers étages du compresseur basse pression, pendant l'utilisation de l'injection d'eau, ou le gel dans les réservoirs pendant les longues périodes d'alerte au parking, par temps

froid, un dispositif de réchauffage puissant alimenté en 115/200 volts, utilisable seulement au sol, constitué de huit réchauffeurs de 5 kW unitaire, alimentés par la prise de parc, est installé dans les trois réservoirs (6 réchauffeurs dans le central, un dans chacun des deux réservoirs auxiliaires). Des thermostats maintiennent la température de l'eau entre 46 et 54,4°C. On a du mal à imaginer la quantité d'électricité consommée sur les bases aériennes du Strategic Air Command (SAC) pendant toutes ces années où l'alerte était permanente !



- ① Le régulateur de carburant hydromécanique reçoit les informations de la position de la manette des gaz, de la vitesse de rotation du compresseur haute pression, de la température de l'air à l'entrée du compresseur et de la pression de l'eau d'injection de façon à adapter le débit carburant en fonction de la position de la manette des gaz. Quand elle se trouve dans la zone de puissance maximum, la manette des gaz ouvre, électriquement, la vanne de commande des pompes à eau.
- ② Quand la pression carburant est suffisante, le purgeur distributeur autorise le passage du carburant dans la rampe secondaire. A l'arrêt du moteur, les deux rampes sont drainées automatiquement.
- ③ Quand la pression atteint environ 100 PSI (7,6 Bars) le mano-contacteur éteint le voyant d'alarme basse pression, les pompes restent alimentées, permettant alimentation de la vanne de contrôle des pompes à eau qui fonctionneront quand la manette des gaz atteindra la position nécessaire. Le mano-contacteur désactive le circuit quand la pression passe en-dessous de 87 PSI (6 Bars) environ.
- ④ La vanne de drainage du réservoir d'eau d'injection doit être fermée pour permettre l'allumage du voyant d'alarme.
- ⑤ Le voyant d'alarme ne s'allumera pas si le bouton de contrôle du réchauffage de l'eau est sur marche.

## Lexique

Water injection tank drain valve switch

Bouton de commande de la vanne de vidange du réservoir d'eau d'injection

Water boost pump control switch

Bouton de commande de la pompe à eau basse pression

To FWD water boost pump

Vers la pompe à eau basse pression avant

From fuel fire shut-off valve

Venant de la vanne coupe-feu carburant

Boost pump low pressure warning light

Voyant d'alarme de la pompe à eau basse pression

Water heater power panel

Panneau de contrôle du système de réchauffage de l'eau

Pressure switch

Mano-contacteur

AFT water boost pump

Pompe basse pression arrière

Close

Fermé

Two stage engine driven fuel pump

Pompe mécanique double étage

Throttle

Manette des gaz

Increase thrust

Vers l'augmentation de poussée

Water injection tank drain valve override handle

Levier de commande en secours de la vanne de drainage du réservoir d'eau

Open

Ouvert

Water injection tank drain valve

Vanne de commande de drainage du réservoir d'eau d'injection

Water pump control valve

Vanne de contrôle de la pompe à eau

From high pressure compressor

Venant du compresseur haute pression

Engine water pump

Turbopompe à eau moteur

To engine No 2

Vers moteur No 2

Pressure controlled check valve

Régulateur de pression et dispositif anti-retour

Surge chamber

Accumulateur hydraulique

Overboard

Trop plein

Hydromechanical fuel control unit

Régulateur carburant hydromécanique

Fuel flowmeter

Transmetteur débitmétrique carburant

No 3 engine typical

Moteur position 3 (Standard)

Nozzles

Rampe d'injection compresseur basse pression

Inlet flow regulator

Régulateur de débit rampe d'injection compresseur basse pression

Diffuser flow regulator

Régulateur de débit rampe d'injection entrée chambre de combustion

Pressure and dump valve

Purgeur distributeur

Primary manifold

Rampe d'injection principale

Secondary manifold

Rampe d'injection secondaire

Burner pressure

Pression chambre de combustion

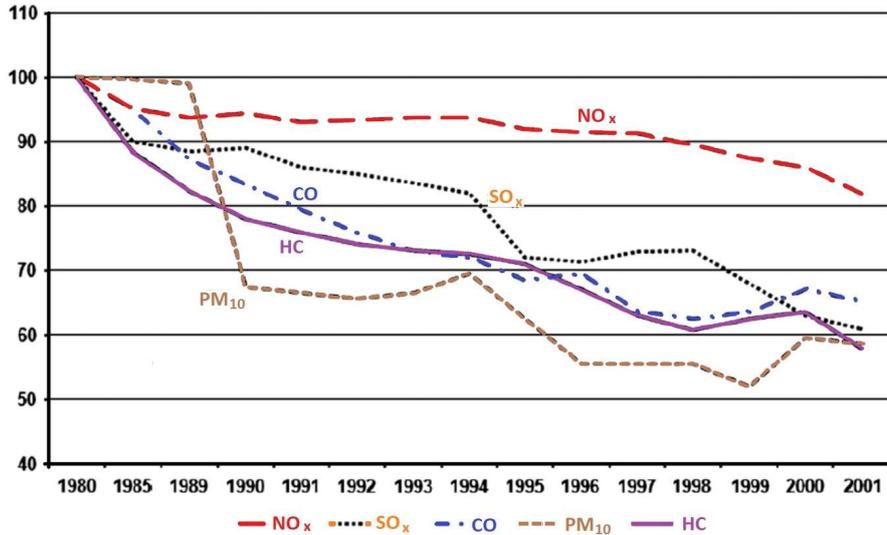
High pressure bleed air

Circuit d'air haute pression

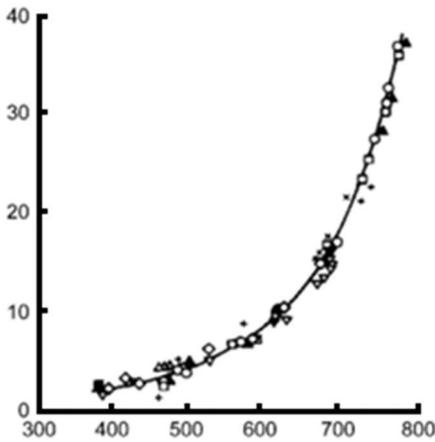
## Conclusion et prospective

L'évolution de la technologie des matériaux, jointe aux perfectionnements des procédés de fabrication auxquels s'ajoutent, la meilleure modélisation de l'écoulement des fluides qu'apportent les capacités révolutionnaires des moyens de calcul modernes ont permis de produire des réacteurs de plus en plus puissants et performants avec pour conséquence l'inévitable augmentation de la TET, avec pour corolaire, la production de Nox. Des efforts relatifs à la technologie de pulvérisation du carburant, de la géométrie des chambres de combustion et de l'homogénéisation du mélange air/carburant ont permis de les contenir. Toutefois, si les Nox baissent, ils baissent moins que les autres polluants (CO, SOx, HC) alors que la technologie semble avoir atteint ses limites. Les hautes températures de fonctionnement dans la chambre de combustion n'étant nécessaires que pendant la période du décollage et du début de la phase de montée, l'injection d'eau, malgré ses complexités et le poids supplémentaire induit pourrait présenter une alternative crédible pour contribuer à la réduction

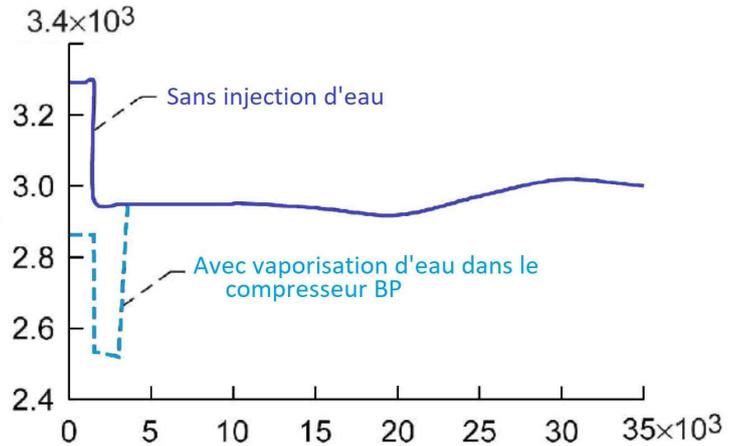
des Nox. Incluant la possible réalisation de démonstrateurs avec potentiellement des essais en vol, la NASA, conduit depuis 2010, des études en ce sens...



Évolution des polluants de combustion de 1980 à 2001.  
Axe X : Années - Axe Y : Niveau d'émission des polluants 1980 = 100.



Évolution de la génération de Nox en fonction de la température d'entrée dans la chambre de combustion.  
Axe X : Température d'entrée dans la chambre de combustion.  
Axe Y : NO<sub>2</sub> g/kg de carburant.



Température Entrée Turbine avec ou sans injection d'eau.  
Axe X : Altitude en pieds  
Axe Y : Température devant turbine (Degrés Rankine).  
2400° Rankine = 1600° Celsius.  
Avec injection d'eau  
Avec injection d'eau pulvérisée dans le compresseur basse pression.

- (1) La limite de température maximale acceptable par un turboréacteur, très dépendante de la technologie des matériaux utilisés voire disponibles. Communément désignée TET pour Température d'Entrée Turbine, elle n'est pas la seule. On ajoutera notamment, la pression maximale tolérable par le carter de la chambre de combustion, la vitesse de rotation maximale de robustesse du ou des rotors ainsi que le couple maximum transmissible par le ou les arbres compresseur/turbine.
- (2) Les Nox sont générés, via un processus chimique, par des gouttelettes de carburant non brûlé entrant en contact avec les surfaces très chaudes de la chambre de combustion. Ils augmentent exponentiellement avec la température du métal avec lequel, ils sont mis en contact.
- (3) Il est possible d'injecter l'eau dans trois zones. A l'entrée du moteur, devant le premier étage du compresseur basse pression, entre les deux compresseurs soit devant le compresseur haute pression ou directement dans la chambre de combustion au niveau des injecteurs de carburant.
- (4) EPR ou Engine Pressure Ratio, que l'on peut tenter de traduire en langue Française par rapport de pression global d'un turboréacteur. C'est le rapport de la pression mesurée à la sortie de la tuyère sur la pression mesurée devant l'entrée du premier étage du compresseur. Ce paramètre est représentatif de la poussée du moteur. Il est utilisé en concurrence avec la vitesse de rotation de la soufflante (N1) mieux adaptée aux moteurs à double flux.

**Références** : NASA/TM-2010-2131979 "Water Injection on Commercial Aircraft to Reduce Airport Nitrogen Oxides", NASA/CR-2006-213871 Engine Company Evaluation of Feasibility of Aircraft Retrofit Water-Injected