

Marché civil à la fin des années 60



Motoristes civils :

<i>Pratt & Whitney:</i>	<i>Rolls Royce</i>	<i>General Electric</i>
90%	7,5%	2,5%

SNECMA:

- Motoriste militaire : moteurs ATAR / Mirages
- partenaire de Bristol-Sidley / Rolls Royce pour les moteurs Olympus du Concorde et les moteurs M45G et M45H
- **Une volonté forte de rentrer dans le marché Civil**

La naissance du M56, un moteur moderne de 10 tonnes de poussée, un matin de janvier 1968 !

A noter, « autre créneau possible $F \approx 6$ tonnes » pour avion de « petite capacité » !,

... et une réunion avec M. PEYRELEVADE alors ingénieur à la DGAC

11 janvier 1968

Hydros Civils M^r Brau
Baudiguos

FH 228 60 places équipé TRENT Prix: ~14MF
($F = 4330$)

WFW 614 40 places équipé M45H Prix: ~10MF
($F = 3430$)

Cet avion a place dans un excellent
creneau -

En moteurs modernes il n'y a rien
autre: le TRENT $F = 4330$

et le RB211 $F = 14800$

D'un créneau possible $F \approx 10$ tonnes
pour un avion moyen-courrier de
capacité moyenne de 150 à 200 places.
(Ex: BAC 211)

Autre créneau possible $F \approx 6$ tonnes
pour un avion moyen-courrier de
petite capacité de 100 places (
remplacer Caravelle)

Ces moteurs modernes devraient
permettre de gagner 10 à 20% sur le
DOC de l'avion. (Ex: 737 / Boeing)

Janvier 1968 : La naissance du moteur



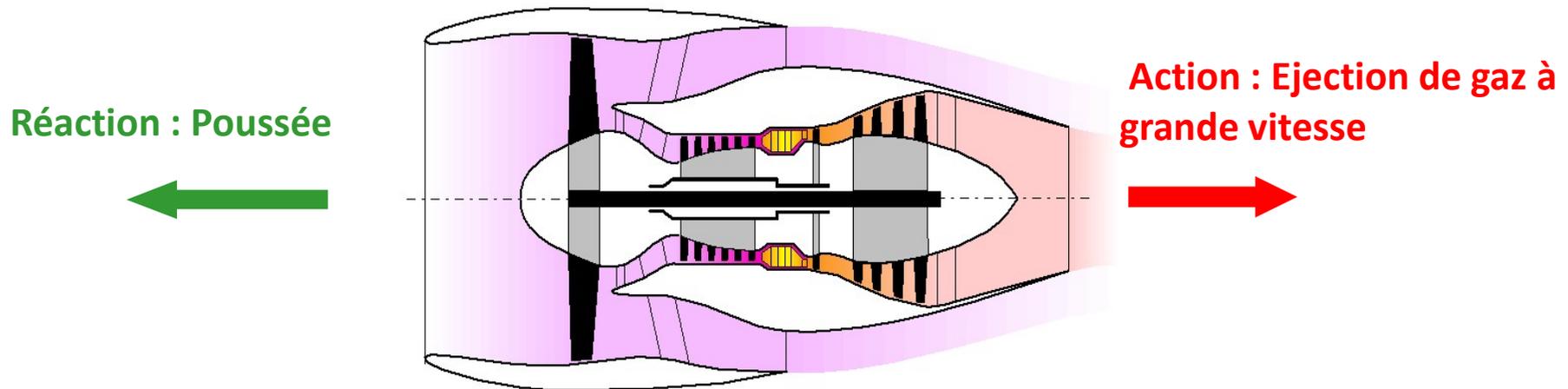
L'idée : un moteur moderne Snecma « M56 » de 10t de poussée
-20% de Consommation / Bruit réduit de 15 à 20 dB

Marché : Les avions court et moyen courriers
→ le segment de marché représente 4000 à 6000 moteurs

Enjeu : Remplacer les vieux moteurs JT3D et JT8D
→ gourmands, bruyants, coûteux à entretenir

Contexte : Les grands motoristes développent des “gros moteurs”
pour les Boeing 747, DC10, Airbus A300

Principe du moteur d'avion à réaction



$$F = M (V_{\text{éjection}} - V_0)$$

La Poussée est fonction du débit d'air éjecté
Et de sa vitesse d'éjection

Le cycle et l'architecture innovante du CFM56 double corps / double flux à grand taux de dilution



Turbojet

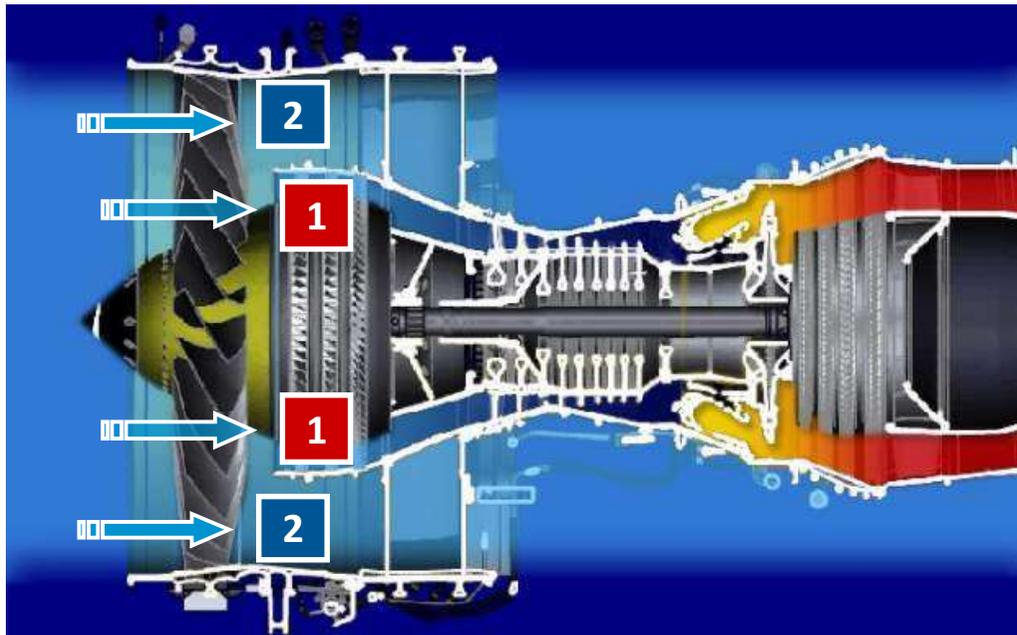


Faible taux de dilution

Faible débit m
Grande vitesse V

$$\text{POUSSÉE} = m \Delta V$$

Turbofan



Grand Taux de dilution
= Débit **2** / Débit **1**

Grand débit m
Faible vitesse v

$$\text{POUSSÉE} = m \Delta v$$

L'architecture CFM56 avec un taux de dilution augmenté a permis de fortement réduire la consommation spécifique (SFC) et le bruit

Les 3 moteurs

	MOTEURS >	JT8D	CFM56-5B	LEAP
Architecture		2F+4+7+9+1+3	1F+3+9+1+4	1F+3+10+2+7
Poussée décollage TO	daN	7120	14240	14640
Diamètre Dfan	m	1,030	1,735	1,981
Poussée/Dfan ²	daN/m ²	6708	4730	3730
Taux de dilution BPR		1,05	6,00	10,80
Rapport de pression OPR		17,5	30,5	45,0
Température entrée turbine TET	°C - °K	980 - 1253	1460 - 1733	1561 - 1834
Température sortie compresseur T3 - TET max	°K - °K		908°K - 1900°K	972°K - 1933°K
Consommation spécifique SFC	kg/daNh	0,841	0,610	0,510
Vitesse périphérique soufflante	m/s		450	430
Masse	kg	1500	2100	2500
Premier vol sur avion		1964	1994	2016

A la recherche du partenaire idéal...



Pourquoi ? Snecma juge indispensable de coopérer avec un « grand »
→ *pour accéder à l'important marché américain*

La France soutient la coopération avec un des 3 grands motoristes
→ *et accordera une avance remboursable de 1250 MF (1971)*

General Electric exprime un vif intérêt pour une coopération 50/50

Pratt & Whitney n'est pas pressé de tuer "la poule aux oeufs d'or"
→ *son moteur JT8D = 80% du marché court-moyen courriers*

Rolls Royce n'est pas convaincu de l'intérêt du créneau 10t
→ *l'échec des aubes composites RB211 conduit Rolls Royce à la faillite le 4 février 1971*

Les accords : le “ CFM56 ” est né



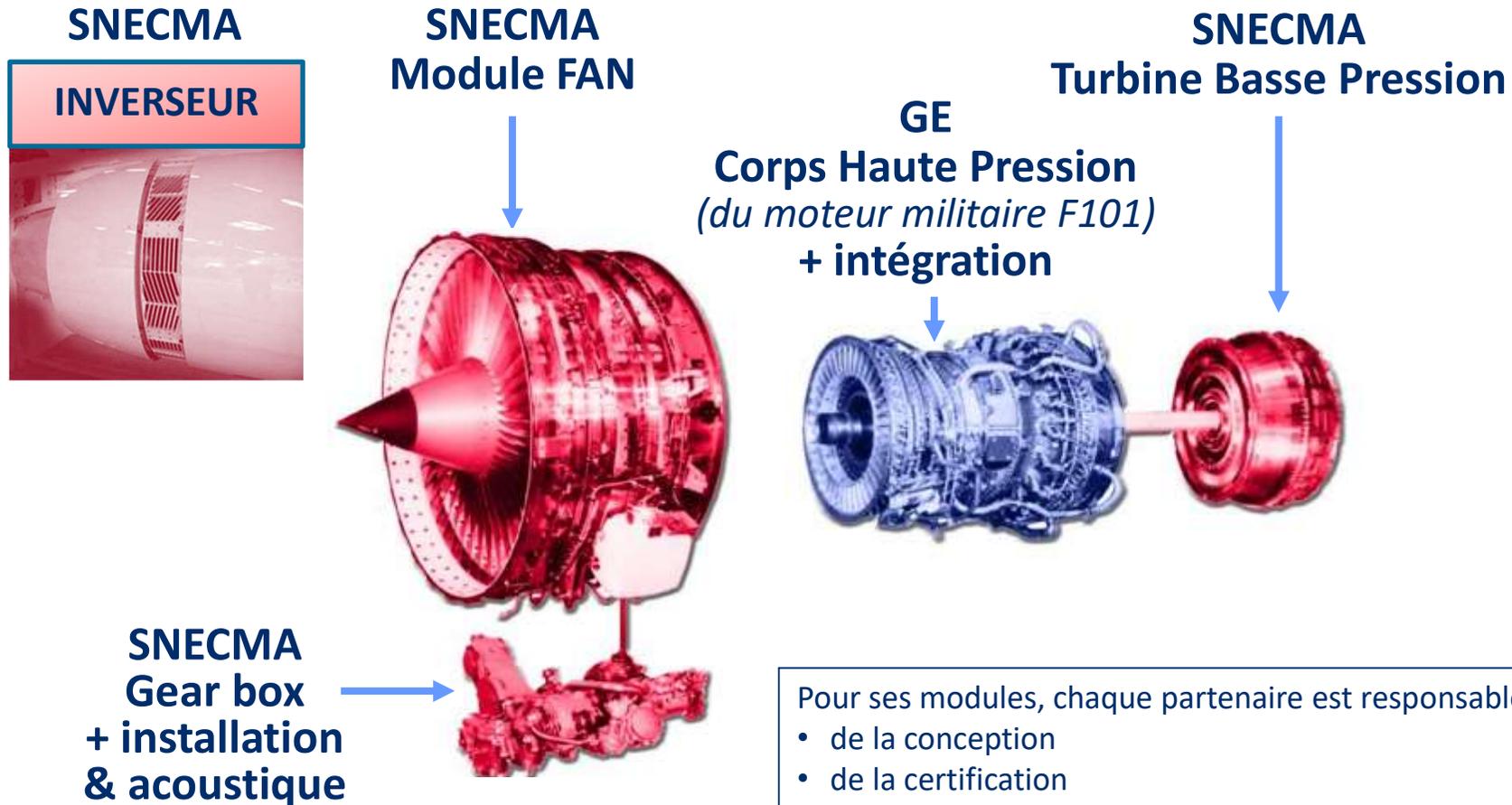
- Mars 1971** Snecma recommande GE
- 2 présidents** jouent un rôle décisif
- Sept. 1971** **le nom CFM56 est donné**
 - CF pour Commercial Fan (GE)
 - M56 le n° d'avant-projet (Snecma)
- Déc. 1971** accord du gouvernement
- Janvier 1972** la coopération 50/50 lancée
- Octobre 1972** refus USA de licence d'export
 - Corps HP du moteur militaire F101
- Mai 1973** rencontre Nixon / Pompidou
- 24 Janv. 1974** **signature des accords**



Gerhard Neumann (GE) René Ravaut (Snecma)



Partage des tâches 50/50 « work split »



Pour ses modules, chaque partenaire est responsable

- de la conception
- de la certification
- de la production
- de la documentation après-vente

L'accord 50/50 ne couvre pas les services

CFM International is a Joint Company Of Snecma, France and General Electric Co., USA



La Direction du programme et la commercialisation du moteur
seront assurées par une société commune CFM Int



Le siège de CFM International est à Cincinnati USA, son président est un Français

La coopération s'appuie sur des règles simples...



Partage **physique des tâches** de développement, de production modules, de vente et d'après vente entre GE et Snecma

Montage chacun fait 50% : 2 lignes de montage sont prévues

Vente et Après-vente : le monde est divisé en 2 zones géographiques

Partage **des recettes et NON des coûts**

→ *partage des ventes, réalisées en \$*

→ *partage négocié des activités physiques (DV, PV)*

→ *partage du profit pièces de rechanges (paiements d'équilibrage)*

Vertueux : le partenaire qui réduit ses coûts améliore son propre profit

Les objectifs d'origine et le développement



Poussée	24 000 lb
Bruit	-15 à -20 dB que l'existant
Masse	F/M = 6 → -15 à 20% plus léger
Fuel Burn	20 à 25% de moins que le JT8D
Entretien	On condition et fiabilité supérieure

Calendrier du développement

Mars 1972	2 moteurs de démonstration lancés
Oct. 1972	refus de licence d'export US
Sept. 1973	le programme repart
Juin 1974	Premier essai Moteur au banc



1974 à 1979 : à la recherche d'un premier client



Le Trafic aérien continue à croître de 5 à 7% par an

Programme de Certification FAR33 moteur et inverseur

→ *Un moteur fin prêt, des performances excellentes*

Essais CFM56 sur banc volant d'abord Caravelle

→ *l'essai B707 avec Boeing,*

→ *YC15 avec Douglas*

Intense prospection commerciale

→ *Dassault un « super Mercure »,*

→ *Grande Bretagne : Hawker, BAC / Pays-Bas : Fokker*

→ *Boeing : retrofit B727, Propose à l'USAF le retrofit KC135*

→ *Douglas retrofit DC8*

→ *SNIAS / Airbus : futur avion A200 de 130 à 170 passagers pour 1982*

Certains perdent espoir et « ferment leur cahier »,

Le président René Ravaud reste convaincu du succès prochain



Le 29 mars 1979 la première commande



Enfin la première commande et les autres suivront...

La plus grande compagnie aérienne américaine United Airlines annonce la commande de 30 avions DC8 « retrofités » avec des CFM56 construits par GE « and SNECMA of France »

L'amélioration des performances de l'avion est considérable :

l'avion est plus silencieux que ce qui sera demandé dans le futur,

le carburant est réduit de 25%, le rayon d'action augmenté de 1600 kms

Le programme EST PARTI



Mai 1981 : premier vol du DC8/CFM56

Avril 1982 : premier vol commercial...

- ✓ près de 11 ans après la première rencontre SNECMA/GE !!
- ✓ Au total 110 avions DC8 seront remotorisés

Fin 1985 : 525 moteurs et 470 inverseurs Hispano auront été livrés.

En 1981 l'USAF et l'armée de l'air française décident de remotoriser les 470 KC135 et les C135 avec le moteur CFM56. Enfin la version CFM56-2A équipe les avions radars AWACS, E3 puis E6 de communication de la Navy



L'autre grande aventure CFM : la motorisation de l'avion Boeing 737



Par rapport au 737-100/-200 avec JT8D, les 737 équipés de CFM56-3 apportent
une capacité augmentée (108 → 128),
20% de réduction de consommation de carburant et un plus grand rayon d'action
une réduction importante du niveau sonore

Les Innovations : diamètre fan réduit avec aubes à nageoires : 1,52m/60 pouces
(au lieu de 1,73m/68,3" pour le CFM56-2). Et le support des équipements,
installation oblige, est disposé sur le côté du moteur + nacelle elliptique.



Le CFM56-3



Janvier 1984 : Certification à 20000 livres de poussée après une mise au point mémorable des aubes fan à l'ingestion d'oiseaux

Plus tard le moteur sera certifié à 22000 puis à 23500 livres de poussée pour répondre aux demandes clients d'être « transcontinental »

Malgré les efforts des concurrents, tous les 737 seront équipés de CFM56-3 puis de CFM56-7... puis de LEAP-1B... en source unique exclusive

Très grand succès commercial de la famille 737 les 300, 400 et 500 avec différentes capacités de 108, 128, 146 passagers grâce :

- ✓ au concept « avion unique / un seul moteur »
- ✓ aux qualités de l'avion et du moteur
- ✓ ...mais aussi à la dérégulation américaine qui a favorisé le développement du trafic intérieur par des avions de capacité moyenne



De 1984 à 1999 près de 2000 avions seront vendus et 4500 moteurs livrés, la relève sera assurée dès 1997 par les CFM56-7 qui amplifient le succès

La naissance de l'AIRBUS de 150 places !



Janvier 1984



CFM propose à AIRBUS le CFM56-5

→ 25000 livres de poussée et -8 à -10% de consommation

→ architecture du -2 conservée mais de nouveaux composants

→ meilleurs rendements, fruit des recherches GE et SNECMA

Innovation

1^{ère} régulation électronique FADEC (*Full Authority Digital Electronic Control*)

1985

après une campagne auprès des compagnies aériennes **En mai**

AIRBUS et CFM lancent simultanément les programmes de certification de l'avion A320 et du moteur CFM56-5

→ L'inverseur est confié à Hispano-Suiza

Janvier 1986

Premier essai moteur, moins d'un an après le lancement

Août 1987

Certification moteur

Avril 1988

EIS de l'avion A320-210 équipé du CFM56-5-A1

La concurrence se réveille : IAE et le V2500



IAE (International Aero Engine) propose le V2500, fruit d'une coopération entre Pratt&Whitney, Rolls Royce, MTU, et JAEC

- ✓ En avril 1989, l'A320 /V2500 est certifié
- ✓ Depuis cette date CFM et IAE s'affrontent commercialement sur l'A320

Le CFM56 doit évoluer vers le CFM56-5B à 30000+ livres de poussée pour équiper l'A321 à 178 pax au lieu de 150 (masse avion 93t /77t).

- ✓ février 1994 : Entrée en Service de l'avion A321
- ✓ le CFM56-5B équipe les A318, A319, A320, A321

Fin 2019, plus de 8140 avions de la famille A320 ont été livrés dont 4811 avec des CFM56 (60%)

Motorisation de la famille Airbus – l'A340



L'AVION L'A320 à peine lancé, AIRBUS propose un avion gros porteur à grand rayon d'action, l'A340 avec le concept A330/A340 :

- ✓ A330 bimoteur moyen courrier 300 PAX / A340 quadrimoteur long courrier 260 PAX
- ✓ Les 2 avions ont les mêmes aile et fuselage, mais des moteurs différents
- ✓ La fiabilité exemplaire des moteurs a favorisé le développement des bi-moteurs

**IAE propose un « Super Fan », solution offrant -15% de consommation
...et qui sera retenue par AIRBUS**

- ✓ Soufflante de très grand diamètre 2,72m/107'' entraînée par un réducteur de 35MW

**PW retire sa proposition, AIRBUS abandonne cette formule et demande
à CFM un moteur classique pour l'A340 : CFM56-5C à 34000lb de poussée**

- ✓ Soufflante grand diamètre 1,84m/72'', Corps HP amélioré, Turbine BP 5 étages,
- ✓ Nacelle à flux mélangés de responsabilité ROHR/Hispano Suiza (inverseur)

Décembre 1989	première rotation moteur
Décembre 1991	certification à 32500lb et 34000 en oct. 94
Février 1993	Entrée en service de l'A340
Fin 2004	245 avions en service - 1133 moteurs livrés



Réponse de Boeing au succès de l'A320 : le Boeing 737 NG/CFM56-7



Début des années 1990, l'A320 plus moderne s'impose sur le marché ; Boeing doit réagir : Avion nouveau ? Dérivé moderne du 737 ?

- ✓ Après d'âpres consultations des Airlines, Boeing choisit le « Boeing 737 New Génération », plus silencieux, moins polluant, et encore plus économique

Boeing lance une famille d'avions 737NG de 108 à 175 PAX / même moteur Dure compétition avec IAE mais CFM l'emporte avec le CFM56-7 :

- ✓ Un accord d'exclusivité signé entre Boeing et CFM : l'avion complet est vendu par Boeing - CFM reçoit sa part

Le CFM56-7 est un CFM56-3 de nouvelle génération :

- ✓ Nouvelle soufflante à diamètre un peu augmenté 61" vs 60 avec les 1ères aubes « Fan à large corde pleine » assurant un excellent rendement (~record mondial)
- ✓ Nouveau compresseur BP, Corps HP et la turbine BP communs avec le CFM56-5B

Octobre 1996	Certification de 18500 à 27300 lb
Décembre 1997	Entrée en Service du B737NG
Septembre 2017	6557 avions et 13957 moteurs livrés



Le lancement industriel



Moderniser l'outil industriel de SNECMA : dès l'annonce de la première commande fin mars 1979, le Président René RAVAUD décide de moderniser l'outil industriel de SNECMA pour le rendre capable de 100 moteurs /mois : niveau atteint dès 1999... et largement dépassé depuis

- ✓ Réhabilitation de l'usine de Gennevilliers : presse forgeage cotes finies
- ✓ Construction à Villaroche d'un atelier de montage et de bancs « gros moteurs »
- ✓ Confier à Hispano Suiza la responsabilité des chaînes cinématiques des moteurs
- ✓ et à l'usine du Havre, l'industrialisation des inverseurs de poussée
- ✓ SNECMA ET GE créent FAMAT
- ✓ Et enfin le renforcement de la sous-traitance nationale et internationale



Le lancement industriel



Grâce à ces décisions et aux efforts de tous, SNECMA a été capable de réussir une extraordinaire montée en cadence :

- ✓ le premier moteur en avril 1981 et 300 moteurs livrés en 1984 !
- ✓ près de 900 moteurs (CFM56-2,-3,-5) en 1991
- ✓ et 1700 en 2016 (CFM56-5B et -7BE) !

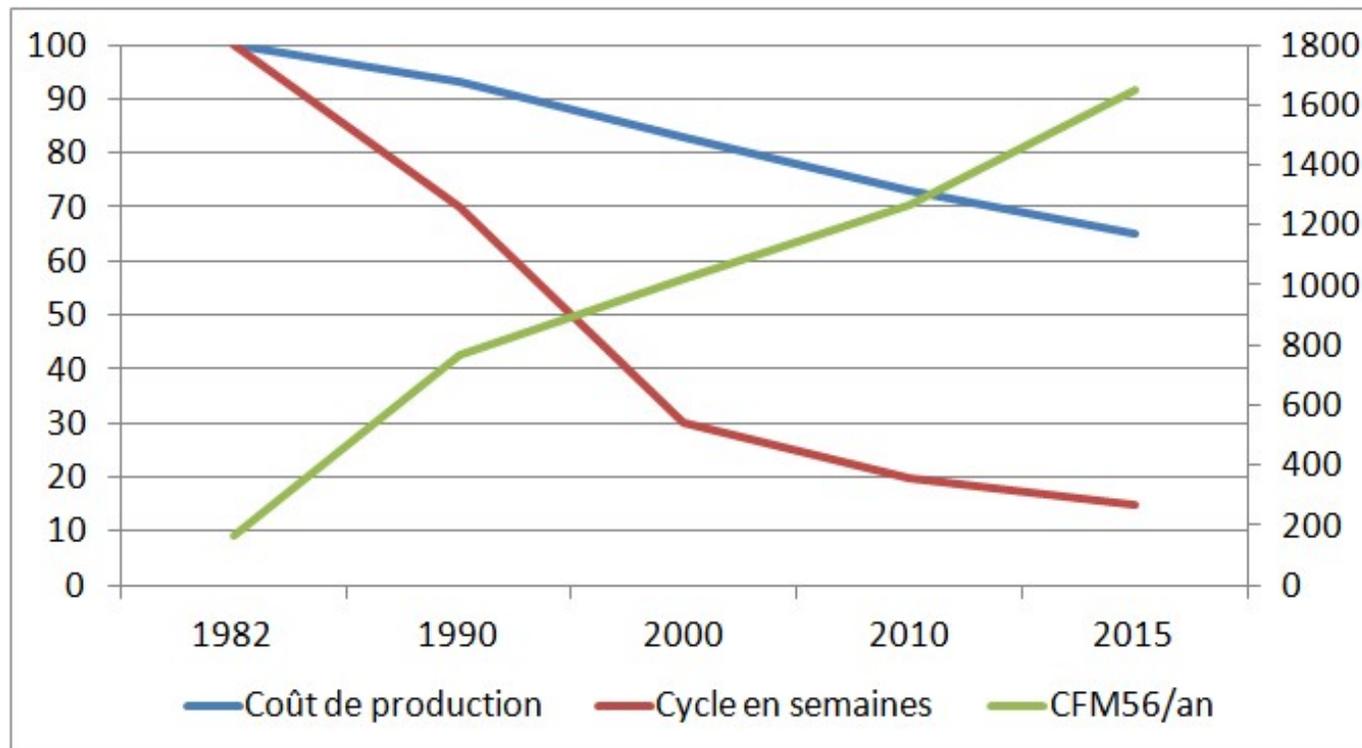


2009: CFM56 pulse line

Réduction des coûts et des cycles de production



Dès le démarrage de la production SNECMA a entrepris des actions efficaces de réduction des cycles et des coûts de production

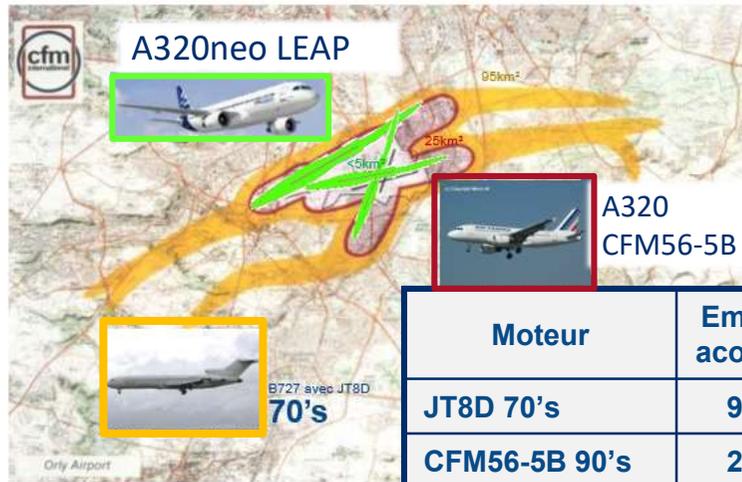
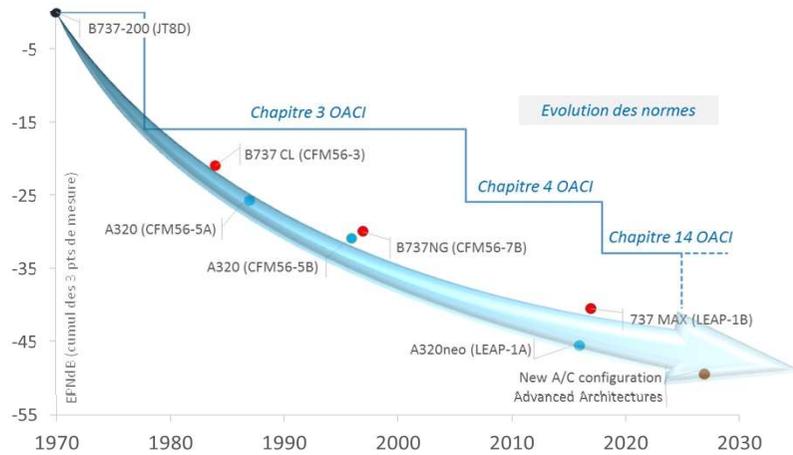


Ces réductions ont été réalisées avec la participation effective des compagnons et des techniciens de la Qualité dont le travail a été enrichi

Des moteurs plus « verts »

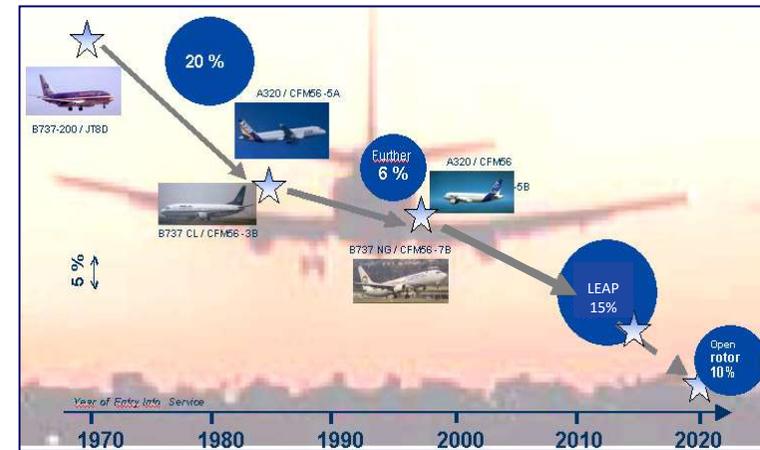


• Bruit

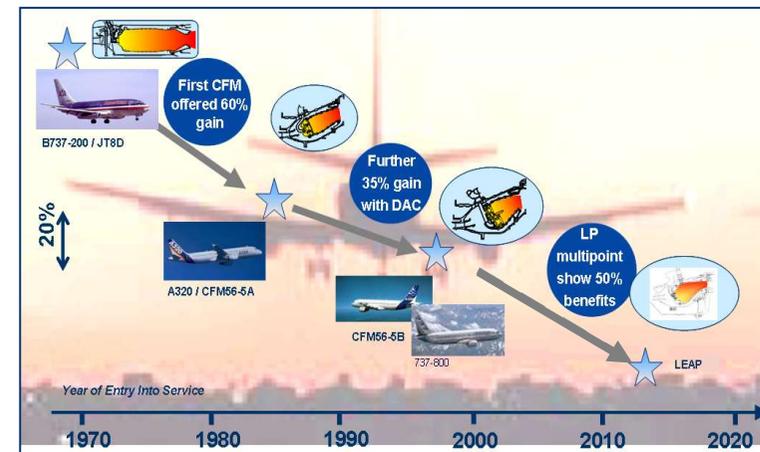


Moteur	Empreinte acoustique
JT8D 70's	95 km ²
CFM56-5B 90's	25 km ²
LEAP	5 km ² ~aéroport

• Fuel Burn / Emissions CO2



• Emissions NOx



Pourquoi et comment un tel succès du moteur ?



M56 en janvier 1968, devenu en 1971 le CFM56 en coopération avec GE, vendu la première fois en mars 1979, le programme CFM56 est vite devenu un extraordinaire SUCCES TECHNIQUE INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

- ✓ **Le CFM56 répond aux besoins du marché**
- ✓ **Innovation** : améliorations & évolutions (demandes des Avionneurs et des Airlines),
- ✓ **Avions de la famille 150 PAX** vendus dans les pays développés et émergents

Les qualités du moteur

- ✓ **Qualités techniques** : une technologie éprouvée (expérience en service)
- ✓ Des programmes de recherche et technologie, dès 1971, puis sans discontinuer

**Des coûts de maintenance réduits associés à l'architecture
et à la fiabilité/disponibilité du moteur**

Pourquoi et comment un tel succès du moteur : une référence mondiale de fiabilité



La fiabilité en service du CFM56 définit le meilleur standard international :

- ✓ Record mondial de durée de vie sous l'aile 55000 heures/20000 cycles
- ✓ Durées de vie moyennes sous l'aile 30000 h (-5B et -7)
- ✓ Arrêts en vol : 1/ 500 000h de vol
 - un avion sur 10 verra une seule fois dans son exploitation un arrêt moteur
 - Un pilote sur 25 aura à gérer un arrêt en vol dans sa carrière
- ✓ Ponctualité : 1 retard par 5000 vols (cause moteurs)

Seul moteur à dépasser 1 milliard d'heures de vol:

- ✓ 1 million d'heures de vol accumulées par semaine
- ✓ 7 millions de passagers /jour volent sur CFM
- ✓ 1 décollage Avion équipé de CFM / 2 secondes





La réussite de la coopération Snecma / GE

Les règles simples : partage physique des tâches et partage des revenus

L'accord entre Snecma et GE est prorogé jusqu'en 2040

- ✓ Gamme de poussée entre 18500 et 50000 livres ; il inclut l'accord sur les services.

En février 2020:

- ✓ 36 000 moteurs CFM56 et 28 000 en service
- ✓ 3 000 LEAP livrés et 15 065 en carnet de commande

Le CFM56 est de loin le moteur le plus vendu de l'histoire de l'aéronautique

Sur les 18700 avions commerciaux :

- ✓ 80% sont des monocouloirs, dont 75% sont équipés de CFM56
- ✓ Prévision pour 2035 : plus de 37000 avions



La belle histoire du CFM56



Couronnée par le LEAP

La Vision et la persévérance des ...Grands

Le succès de notre industrie aéronautique
aujourd'hui au meilleur niveau mondial :

Airbus et Dassault pour les avions

Safran pour les moteurs

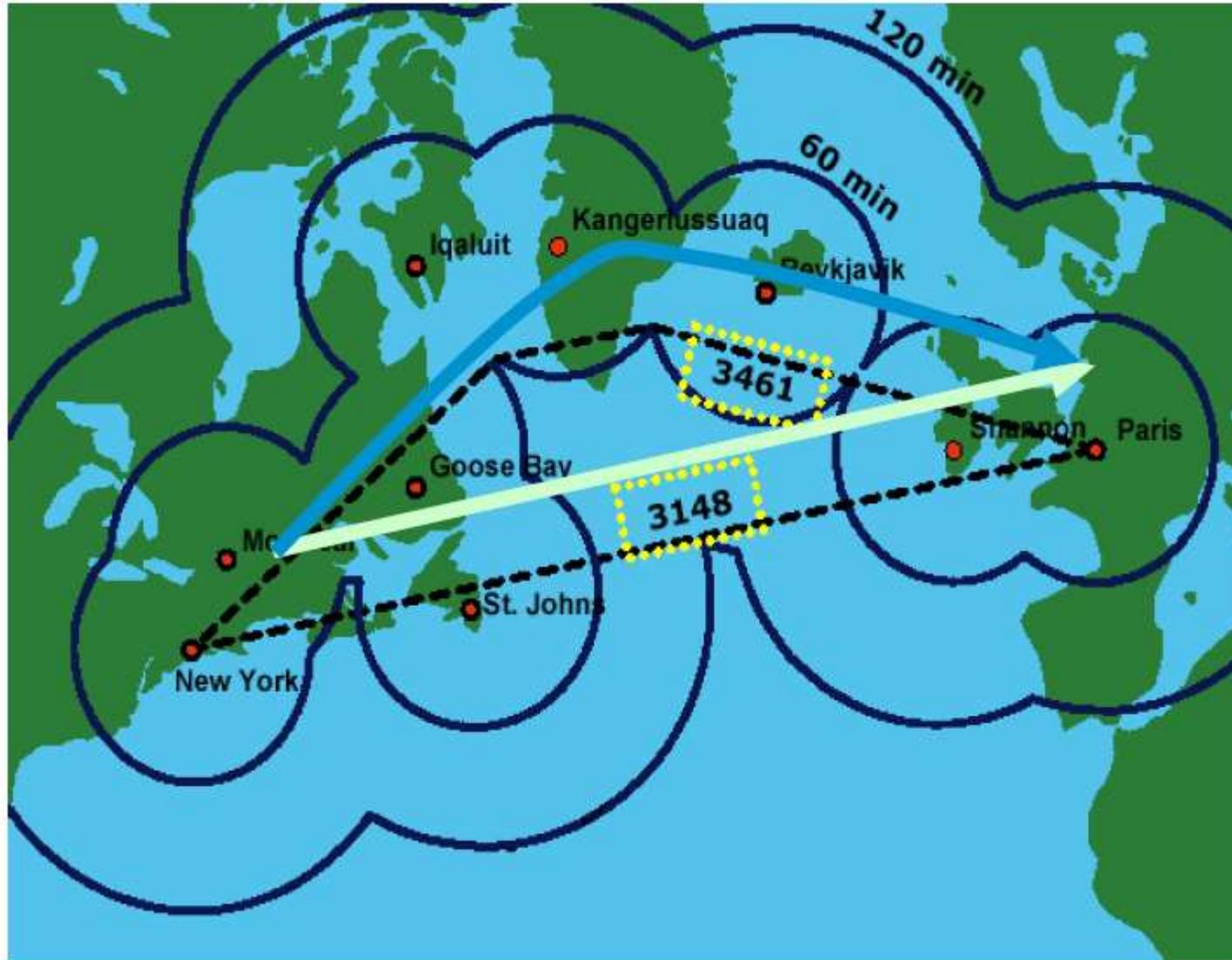
Il faut conserver ce niveau d'excellence
et l'étendre aux autres industries nationales

L'épopée du CFM56 montre que la renaissance
de notre industrie est possible !



après 40 ans de CFM56... le LEAP

ETOPS – Extended (range) Twin (engines) OPerationsS



Le démarrage de la coopération Snecma / GE



La réunion de juin 1971 à Barbizon

→ Première rencontre des 2 présidents René Ravaud et Gerhard Neumann

- René Ravaud, Ingénieur Général
- Gerhard Neumann, père du J79 et des stators à calage variable
- Jim Krebs, inventeur du core F101 / CFM56

La première réunion à Cincinnati : « Computer in Villaroche ? »

L'aide des fermiers de la brie... 200 quintaux à l'hectare

Mon homologue : Melvin Bobo

- Pasteur méthodiste... et grand technologue
- Ses maximes : « Engineering is not a democratic process
or a camel is a horse by a design commitee »



CFM56



Le CFM56 par Pierre ALESI

CFM, CFM56, LEAP and the CFM logo are trademarks of CFM International, a 50/50 joint company between Snecma (Safran group) and GE. The information in this document is CFM Proprietary Information and is disclosed in confidence. It is the property of CFM International and its parent companies, and shall not be used, disclosed to others or reproduced without the express written consent of CFM. If consent is given for reproduction in whole or in part, this notice shall appear in any such reproduction in whole or in part. The information contained in this document may also be controlled by the U.S. and French export control laws. Unauthorized export or re-export is prohibited.

Et l'après CFM-56 ?



- Un brillant successeur : le moteur LEAP
réduction de 16% de la consommation en carburant et du bruit
- AIRBUS A320 NEO: LEAP: 60% et GTF (P&W): 40%
- 737 MAX : 100% LEAP
suspension des vols mars 2019 système MCAS
Essai en mai .. ?
- Avions chinois 0919 ... 2000 h d'essais en vol ... en service?
- Le coronavirus..?
 - Arrêt quasi complet du trafic aérien
 - Aide massive des gouvernements aux compagnies aériennes

Et l'après coronavirus ?



- Arrêt quasi complet du trafic aérien
- Aides massives des gouvernements :
 - Air France ~ 10 Milliards €
 - US Airlines ~ 25 Milliards €
 - Boeing décline aide de 50 Milliards \$
 - Airbus ?
- Reprise du trafic ..?
 - « *honte de prendre l'avion* » Greta Thunberg
 - Réforme des « vieux » avions au profit des NEO et A350?
 - Nouvelle répartition: train vs avion