

REPUBLIQUE ALGERIEN DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université : SAAD DAHLEB - BLIDA  
Institut d'aéronautique



**DIPLÔME D'ÉTUDE  
UNIVERSITAIRE APPLIQUÉE EN AÉRONAUTIQUE (DEUA)**

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'ÉTUDE  
UNIVERSITAIRE APPLIQUÉE EN AÉRONAUTIQUE (DEUA)

OPTION : PROPULSION

THEME

ETUDE COMPARATIVE DES DISPOSITIFS ANTPOMPAGE  
DES REACTEURS CF 6 80 A3 ET CFM 56 7B

Suivi par :  
Mr : KENB ILAKIM  
Mr : BEN ONAR ABD ELKADIR

Réalisé par :  
TELDJI SMAÏL  
MOULLA IDR



PROMOTION : 2002/2003

019/03  
EX1

# Remerciements

Nous remercions, DIEU le tout puissant de nous avoir ouvrir les axées du courage et de volonté afin de réaliser ce projet.

Nos grands remerciements :

- ❖ A notre promoteur Mr Benomar Abd Elkader, qui nous a orienté au long de notre travail ainsi, à son collègue de travail.
- ❖ A notre co-promoteur Mr Kbab Hakim.
- ❖ Aux membres de juré.
- ❖ A monsieur Moulla M et Bouchatal.
- ❖ A tous ceux qui nous ont aidé de proche ou de loin, merci.
- ❖ A tous le personnel de l'institut d'aéronautique.

Smail et Idir

# DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail :*

- *A ceux qui m'ont entouré du courage et d'affection, mes parents*
- *A tous mes frères, mes sœurs et leurs familles.*
- *A tous mes amis(es) du lycée et C.E.M. ainsi mes profs.*
- *A tous les gens que j'ai connu à l'université de Blida. Surtout ceux de la chambre G22.*
- *A toute personne qui nous a aidé de près ou de loin pour réaliser cette thèse.*
- *A mon binôme Ismail et à toute sa famille.*

*Fdir*

# Dédicace :

*Je dédie ce modeste travail :*

- ❖ *A mes chers parents, ma Mère et mon Père, qui ont été toujours soucieux pour ma réussite, que je leurs souhaite une longue vie.*
- ❖ *A ma grande Mère.*
- ❖ *A mes Sœurs, à mes Frères, surtout « le Tigre ».*
- ❖ *A ma grande Sœur, à son mari et à ses enfants.*
- ❖ *A mon grand Frère, à sa femme et à ses enfants, surtout « Le Petit Rayane ».*
- ❖ *A mes cousins, à mes cousines et à tous mes proches.*
- ❖ *A tous mes amis de la promotion 2002/2003, surtout Moh, Boualem, Karim, Mustapha, et à tous mes amis de l'université de Blida.*
- ❖ *A mon Binôme, à mon ami kaci et à tous ceux qui connaissent T.S*
- ❖ *A tous mes amis de mon village natal.*

Smail

# Sommaire

Introduction	
Historique	1

## CHAPITRE -I- DESCRIPTION DES REACTEURS CF6-80-A3 ET CFM 56-7B

I-1 Description du réacteur CF6-80 A3	3
I-1-1 Caractéristiques principales de réacteur CF6-80 A3	3
I-1-2 Les composants du réacteur CF6-80 A3	3
I-1-2-1 Entrée d'air	3
I-1-2-2 Fan	5
I-1-2-3 Compresseur	5
I-1-2-4 Chambre de combustion	6
I-1-2-5 La turbine	6
I-1-2-6 Arbre de transmission Turbine compresseur BP	7
I-1-2-7 Tuyère d'éjection	7
I-1-2-8 Capotage réacteur	8
I-1-2-9 Boîte d'entraînement d'accessoires	8
I-1-3 Fonctionnement du réacteur	8
I-1-4 Différents circuits	9
I-1-4-1 Circuit carburant	9
I-1-4-2 Circuit de graissage	16
I-1-4-3 Circuit de démarrage	16
I-1-4-4 Circuit d'allumage réacteur	18
I-1-4-5 Circuit d'injection du réacteur	18
I-2 Description du réacteur CFM 56-7B	20
I-2-1 Module fan et booster	20
I-2-2 Module core	20
I-2-3 Module turbine basse pression	20
I-2-4 Boîte d'entraînement d'accessoires	22
I-2-5 Caractéristiques principales du réacteur CFM 56-7B	22
I-2-6 Repérage des différentes stations	23
I-2-7 Capotages	24
I-2-8 Les régimes	24
I-2-9 EGT	24
I-2-10 Différents circuits du réacteur CFM 56-7B	24
I-2-10-1 Circuit carburant	24
I-2-10-2 Circuit de graissage	26
I-2-10-3 Circuit de démarrage	27
I-2-10-4 Circuit d'allumage	27
I-2-10-5 Commandes et contrôle	28
I-2-10-6 Circuit reverse	28
I-2-10-7 Circuit de commande	29
I-2-10-8 Unité électrique de contrôle moteur EEC	30
I-2-10-9 Régulateur principal carburant HMU	31
I-2-10-10 Système d'indication	31
I-2-10-11 Système d'air	32

## CHAPITRE -II- DISPOSITIF ANTI-POMPAGE DES DEUX REACTEURS

II-1 Le phénomène du pompage .....	34
II-1-1 Caractéristiques du pompage .....	34
II-1-2 Courbes caractéristiques du fonctionnement du compresseur .....	35
II-1-3 Développement de la couche limite autour d'un profil .....	38
II-1-4 Le phénomène de pompage dans les compresseurs axiaux .....	38
II-1-4-1 Présentation de problème .....	38
II-1-4-2 Marge au pompage et l'entraînement du compresseur .....	39
II-1-4-3 Autres éléments permettant l'amélioration de la marge au pompage .....	41
II-1-5 Les causes de pompage .....	41
II-1-5-1 Faible régime .....	41
II-1-5-2 Le pompage sur reprise ou obstruction thermique .....	42
II-1-5-3 Condition de vol .....	43
II-1-5-4 Influence de la température .....	44
II-1-5-5 Effets de la viscosité .....	44
II-1-5-6 Influence de l'entrée d'air .....	45
II-1-6 Autres cas de pompage .....	45
II-1-7 Les conséquences de pompage .....	46
✕ II-2 Dispositif anti-pompage en CF6-80 A3 .....	46
II-2-1 Généralités .....	46
II-2-1-1 Les vannes de décharge VBV .....	48
II-2-1-2 Les aubages stator à calage variable .....	51
II-2-2 Fonctionnement du système anti-pompage .....	51
II-2-2-1 Circuit de commande des VSV .....	55
II-2-2-2 Circuit de commande des VBV .....	55
II-2-2-3 Correction du programme du système anti-pompage durant une accélération rapide .....	55
II-2-2-4 Fonctionnement du système anti-pompage à régime élevé ✕ .....	58
II-2-2-5 Fonctionnement en décélération lente réacteur ✕ .....	60
II-2-2-6 Fonctionnement en décélération rapide réacteur .....	60
II-2-2-7 Fonctionnement normal incidence d'une augmentation de la température ambiante T2.5 .....	60
II-2-2-8 Synthèse de fonctionnement .....	64 ✕
II-3 Dispositif anti-pompage en CFM-56 7B .....	64
II-3-1 Les aubages du stator à calages variables VSV .....	64
II-3-1-1 Les composants des VSV .....	66
II-3-1-2 Emplacement des composants des VSV .....	67
II-3-1-3 Caractéristiques fonctionnelles du vérin des VSV .....	68
II-3-1-4 Description des vérins de commande du système VSV .....	69
II-3-1-5 Fonctionnement des VSV .....	70
II-3-2 Les vannes de décharge VBV .....	71
II-3-2-1 Les composants du système VBV .....	72
II-3-2-2 Emplacement des composants des VBV .....	72
II-3-2-3 Description du vérin de commande des VBV .....	73
II-3-2-4 Description des vannes de décharge .....	74
II-3-2-5 Fonctionnement des vannes de décharge VBV .....	75
II-3-2-6 Fonctionnement des VBV .....	77
II-3-3 La vanne de décharge transitoire TBV .....	77 ✕

### CHAPITRE -III- COMPARAISON ENTRE LES DEUX DISPOSITIFS

### CHAPITRE -IV- MAINTENANCE DES DEUX DISPOSITIFS

IV-1 Politiques de maintenance .....	82
IV-1-1 Maintenance préventive .....	82
IV-1-2 Maintenance systématique .....	82
IV-1-3 Maintenance conditionnelle .....	82
IV-1-4 Maintenance corrective .....	82
IV-2 Généralités sur la maintenance en aéronautique .....	82
IV-3 Evolution de la politique de maintenance .....	83
IV-4 Influence de la fiabilité .....	83
IV-5 Entretien avec temps limite .....	83
IV-6 Entretien avec surveillance de comportement en service .....	84
IV-7 Entretien selon vérification de l'état .....	84
IV-8 Entretien en ligne .....	84
IV-8-1 Inspection de routine .....	84
IV-8-2 Vérification de fonctionnement .....	85
IV-8-3 Inspection en état .....	85
IV-8-4 PV2 .....	85
IV-8-5 Inspection boroscopique .....	85

Conclusion

# La liste des figures.

CHAPITRE I- DESCRIPTION DES DEUX REACTEURS CF6-80 A3 ET CFM-56 7B	
I-1 : Conception modulaire du CF6 80 -A3.....	4
I-2 : Circuit carburant du CF6 80-A3.....	10
I-3 : Régulateur principal carburant (MEC).....	12
I-4 : Calculateur de poussée moteur (PMC).....	15
I-5 : Circuit de graissage du CF6 80-A3.....	17
I-6 : Conception modulaire du CFM56-7B.....	21
I-7 : Les accessoires de la gearbox.....	22
I-8 : Les stations aérodynamique du moteur CFM56-7B.....	23
I-9 : Circuit du carburant du CFM56-7B.....	24
I-10 : Circuit de graissage de CFM56-7B.....	26
I-11 : Description générale du FEC.....	30
I-12 : Unité hydromécanique (HMU).....	31
I-13 : Système d'air du CFM56-7B.....	33
CHAPITRE II DISPOSITIF ANTI-POMPAGE DES DEUX REACTEURS	
II-1 : Schéma explicatif au pompage.....	34
II-2 : Banc d'essai compresseur.....	35
II-3 : Courbe $R=F(ma)$ .....	36
II-4 : La ligne de pompage.....	37
II-5 : Courbe iso-rendement.....	37
II-6 : Courbe des zones d'instabilité.....	38
II-7 : Marge au pompage basée sur la pente initiale ( $M_{pi}$ ).....	39
II-8 : Courbe caractéristique au pompage sur reprise ou obstruction thermique.....	42
II-9 : Propagation de décrochage tournant.....	43
II-10 : Influence de la viscosité.....	44
II-11 : Influence de l'entrée d'air.....	45
II-12 : Dispositif anti-pompage du CF6 80-A3.....	47
II-13 : Les vannes de décharge VBV.....	49
II-14 : Vérin de commande des VBV.....	50
II-15 : Schéma d'ensemble de dispositif anti-pompage.....	52
II-16 : Les stators à calage variable VSV.....	53
II-17 : Les vérins de commande des VSV.....	54
II-18 : Correcteur de calage.....	57
II-19 : Fonctionnement du système anti-pompage à régime élevé.....	59
II-20 : Cas d'une décélération lente réacteur.....	61
II-21 : Cas d'une décélération rapide réacteur.....	62
II-22 : Cas d'une augmentation de $T_{25}$ .....	63
II-23 : Rétablissement de bon fonctionnement au bas régime des VSV du CFM56-7B.....	65
II-24 : L'ensemble de vérin des VSV.....	66
II-25 : Les composant du système VSV.....	67
II-26 : Emplacement des composants du système VSV.....	68
II-27 : Description du vérin du système VSV.....	69
II-28 : Fonctionnement du système VSV.....	71
II-29 : Emplacement des composants du système VBV.....	73
II-30 : Vérin de commande des VBV.....	74
II-31 : Les vannes de décharge des VBV.....	75
II-32 : Fonctionnement des VBV.....	76
II-33 : La vanne de décharge transitoire TBV.....	78

## Glossaire :

### ANGLAIS

Accessory gearbox  
Acoustic liner  
Actuation lever guide  
Actual pointer  
Actuator  
After mounted  
Aircraft  
Air data computer  
Air flow  
Adjustable clevis  
Ambient pressure (POC)  
Antisurge system  
Area  
Arm  
Approach idle  
Balance  
Balance land  
  
Balance weight  
Ball bearing  
Bellcrank  
Bellow  
Blade  
Body  
Booster  
Bolt  
Borescope-boroscope  
Box  
Bracket  
Bushing  
By pass valve  
Camber  
Check valve  
  
Chopper  
Clearance  
Clearance control manifold  
  
Clim  
Clog  
Coil  
Combustor  
Command pointer  
Compressor discharge pressure

### FRANCAIS

Boîtier des accessoires  
Protection acoustique  
Guide de la barre de commande  
Aiguille de régime réel  
Vérin  
Attache arrière  
Avion  
Centrale aérodynamique  
Débit d'air  
Chape réglable  
Pression ambiante  
Dispositif anti-pompage  
Surface-zone  
Bras  
Ralenti d'approche  
Équilibrage  
Zone d'usinage pour équilibrage  
Masse d'équilibrage  
Roulement à billes  
Renvoi  
Capsule anéroïde  
Ailette  
Corps  
Gavage  
boulon  
Endoscope  
Boîte  
Support  
Bague, manchon  
Clapet de décharge  
Chambre  
Clapet de contrôle -by-pass anti-retour  
Ecope  
Jeu-espace  
Rampe de contrôle des jeux rotor stator  
Clapet de contrôle  
Colmatage  
Robinage  
Chambre de combustion  
Aiguille de commande  
Pression de refoulement compresseur

Compressor inlet temperature	Température d'entrée d'air
Control discharge	Pression d'injection
Control pressure (PC)	Pression de commande
Cooler	Refroidissement
Cooling	Refroidissement
Core engine	Générateur des gaz
Core cowl	Capot réacteur
Customer bleed	Vanne de prélèvement avion
Cotter pin	Goupille
Cover plate, cover	Couvercle
Cowl	Capot
Cracking pressure	Pression d'ouverture
Cruise	Croisière
Decrease	Diminution
Device	Système
Diffuseur fourner	Diffuseur et chambre
Dip stick	Jauge
Discharge	Refoulement
Disk	Disque
Display	Ecran
Divotail	Queue d'onde
Divotail pressure face	Surface d'appui en queue d'aronde
Drain	Drain
Driveshaft	Arbre d'entraînement
Dual flow	Double débit
Element wetting	Canal d'amorçage
End housing	Logement d'extraité
Engine	Réacteur
Engine traime	Réglage
Exit	Sortie
Fail fixed	Signal de blocage
Fairing	Carénage d'entrée d'air primaire
Fan	Soufflante
Fan blade contrainement	Revêtement protecteur en cas de rupture d'ailette de fan
Fan cowl	capot de fan
Fan forward case	Carter avant de fan
Fan forward shaft	Arbre avant
Fan frame case	Carter intermédiaire de fan
Fan stator case	Carter de fan
Fault	Défaut
Feedback cable	Câble de retour d'asservissement
Fill	Remplissage
Filter	Filtre
Filtred pressure	Circuit pression filtrée (PF)
Firste	Premier
Flexible take off	Décollage à poussée réduite

Flight management computer(FMC)	Calculateur de gestion du vol
Flow divider valve	Transmetteur de débit
Forwerd mount	Attache avant
Forwerd	Avant
Fuel flow	Débit carburant
Fuel level folower	Levier suiveur carburant
Fuel nozzle	Injecteur carburant
Fuel oil cooler	Echangeur thermique (IDG)
Fuel shutoff	Vanne d'arrêt (HP)
Gasker	Joint
Gear	Engrenage
Gearbox	Boîtier d'accessoires
Go-around	Remise de poussée
Governor servo	Vérin doseur asservi
Harness	Rampe
Head	Tête
Heat exchanger	Echangeur thermique
Heat shield	Protection thermique
High pressure spool	Attelage haute pression
Hole	Crifice
Honey comb	Nid d'abeille
HPT nozzle assembly	Stator de turbine HP
Hub	Noyeu
Idle	Ralenti
Ignitor plug	Allumeur
Impingement	Impact, dispersion, projection
Increase	Augmentation
Indicator	Indicateur
Inlet	Entrée
Inlet gerbox	Prise de mouvement (IGB)
Inner	Intérieur
Insulating gasket	Joint d'isolation thermique
Insulator	Isolation thermique
Integrated drive generator IDG	Alternateur à entraînement intégré
Interlooking tip shroud	Verrou et joint d'extrémité d'ailette
Interstage	Inter étage
Jam nut	Contre-écran
Jam stud	Goujon, tige de serrage
Key	Cale
Knob	Bouton
Knurled nut	Ecrou motté
Leads	Câblage
Leak	Fuite
Left	Gauche
Level	Niveau
Limite pilot valve	Tiroir limite
Lockscrem	Vis de verrouillage
Lower digital ccouter	Compteur digital inférieur

Low pressure spool	Attelage basse pression
LP compressor	Compresseur BP
LP recoup	Fuite basse pression
LP turbine	Turbine BP
Lube et scavange pump	Pompe de lubrification et récupération
Magnetic chip detector	Détecteur magnétique de limaille
Magnetic sensor	Détecteur magnétique
Main engine contrôle (MEC)	Régulateur principal carburant
Main housing	Carter principal
Manifold	Collecteur
Maxi continuous	Régime maxi continu
Metering valve	Doseur
Midshaft	Arbre intermédiaire BP
Minimum idle	Ralenti minimum
Mounting flange	Bride de montage
Mounting bracket	Support de montage
Neck	Col
Nose cowl	Capotage d'entrée d'air
Nose landing gear	Train avant
Nozzle	Injecteur, gicleur
Nut	Ecrou
O-ring	Joint torique
Offset hole	Trou décalé
Open	Ouvert
Outer	Extérieur
Oulet	Sortie
Overspeed	Dépassement
Overspeed spointer	Aiguille de dépassement de paramètre
Overtemperature	Surchauffe
P.C-contrôle pressure	Pression de commande
Packing or O'ring	Joint
Permanent magnet	Aimant permanent
Pin	Ergot goujon
Plug	Cône centrale de tuyère
Poc ambient pressure	Pression ambiante
Poppet	Clapet à soupape
Port	Orifice
Power management contrôle (PMC)	Calculateur de poussée moteur
Pressure filtered	Circuit pression filtrée
Pressurizing drain valve	Vanne de mise en pression et drainage
Primary nozzle	Tuyère primaire
Probe	Sonde
Protractor	Rapporteur
Pseudo-flange	Fausse bride

Pushrod	Biellette
Rainn shield	Protection anti-pluie
Receptor	Récepteur
Recoup	Fuite
Red line	Index rouge de limite maxi
Reference lug	Ergot de référence
Regulated control pressure PCR	Pression interne du MEC
Relief valve	Clapet de surpression
Reset	Réinitialisation
Resolver	Resolver, transmetteur
Retainer	Verrou
Right	Droit
Ring	Anneau
Rod	Biellette
Roller bearing	Roulement à rouleaux
Rubber	Caoutchouc, gomme
Schedule	Programme
Scoop	Prise d'air, écope
Screen	Filtre crépine
Scupper	Couple de récupération
Seal	Joint
Secondary flow	Débit secondaire
See view	Vue
Segmented rotor	Couronne segmentée
Sensor	Sonde, détecteur
Shaft	Arbre
Shorter	Réduction
Side	Côté
Sit sensor	Sonde de température à l'entrée de compresseur
Slat	Bec de bord d'attaque
Smooth seal	Joint lisse
Spacer	Cale d'écartement, entraînement
Specific gravity ajustement	Correcteur de densité
Speed	Vitesse
Speed trim torque motor	Moteur couple de limitation de vitesse
Spinner cone	Cône de pénétration
Splines	Cannelures
Spool	Rotor
Spring	Ressort
Stage	Etage
Staged nozzle	Distributeur de turbine 1 <sup>er</sup> (NGVI)
Stream	Flux
Strut	Bras
Sump	Puisard
Supply	Alimentation
Support grommet	Amortisseur (silentbloc)

Swirl  
Switch  
Tank  
Tap  
Shield  
Throat  
Thrust contrôle computer (TCC)

Thrust limite  
Thrust rating panel (TRP)

Thrust reverser  
Transducteur  
Tribone  
Trim  
Turbine case cool  
Disk  
Turbine rear frame  
Turnbuckle  
Unisson ring  
Variable bleed valve  
Variable stator velle  
VBV door closed  
VBV door open  
VBV mechanical system

Weight  
Wetting  
Witness hole  
Wind back or screw back seal

Winding  
Wing anti-ice  
Wiring

Turbulence  
Contacteur  
Réservoir  
Prise, branchement, robinet Thermal  
Joint thermique  
Veine  
Calculateur de commande de  
poussée  
" N1 limite "  
Panneau de sélection de  
mode  
Poussée inverse  
Transmetteur  
Collecteur triple de carburant  
Réglage  
Refroidissement carter turbine Turbine  
Disque de turbine  
Carter arrière de turbine  
Tendeur de vis  
Anneau d'entraînement  
Vanne de décharge  
Stator à calage variable  
Vanne de décharge fermée  
Vanne de décharge ouverte  
Dispositif anti-pompage BP  
Masse  
Element  
Orifice témoin  
Joint d'huile à filetage  
inverse  
Enroulement  
Dégivrage aile  
Câblage

## REMARQUE

Le phénomène de pompage est un phénomène très dangereux, il peut aller jusqu'à causer la perte de la totalité de la poussée moteur.

Pour remédier à ce phénomène, le réacteur est équipé d'un dispositif anti-pompage, ce dernier assure la stabilité du réacteur.

Sur le CRO 80 A3, le dispositif anti-pompage comprend :

- 12 vannes de décharge VBV,
- 6 stator à vitesse variable VSV



Sur le CVM56 7B, le dispositif anti-pompage comprend :

- 12 vannes de décharge VBV,
- 4 stator à vitesse variable VSV,
- Une vanne de décharge transitoire.

The phenomenon of surge is a very dangerous phenomenon, it can go  
until causing the loss of the totality of the push engine.

To cure this phenomenon, the engine is equipped with a device anti-  
surge, this best ensures the safety of the engine.

For the U1030 A3, B3, device anti-pumping includes:

- 12 variable bleed valve (VBV)
- 4 variable meter valve (VMV)

For the C1030 A3, B3, device anti-pumping includes:

- 17 variable bleed valve (VBV)
- 4 variable meter valve (VMV)
- 100% opening bleed valve



## INTRODUCTION

La poussée moteur est le résultat de la combustion d'un combustible et d'un oxygène. Le carburant est le fluide de travail d'un compresseur.

Un phénomène dangereux appelé "pompage", peut survenir dans le compresseur et perturber l'écoulement des filets d'air et cause des conséquences néfastes sur le rendement moteur.

Afin de remédier à des problèmes d'écoulement d'air, on a installé un dispositif anti-pompage dans le but est l'amélioration de la stabilité du compresseur et automatiquement le rendement moteur.

Notre travail consiste à faire une étude comparative entre le dispositif anti-pompage équipant le réacteur C16 80 A3 et le dispositif anti-pompage équipant le réacteur C14156 7B.

Cette étude comparative comporte quatre chapitres, dont le premier est la description des deux réacteurs, quant le deuxième est la description des deux dispositifs. Tandis que le troisième chapitre traite la comparaison entre les deux dispositifs et à la fin le quatrième chapitre qui a pour objet la maintenances des deux dispositifs.

Le dispositif anti-pompage assure le bon fonctionnement du système d'air de réacteur, en protégeant le compresseur contre le pompage pour maintenir la stabilité du réacteur dans des différents régimes.

## HISTORIQUE

### SNECMA

L'industrie aéronautique d'aujourd'hui pèse en France, où la société des moteurs de *Gnome* a été fondue par les frères *SEGUIN* en 1915 pendant la première guerre mondiale, la France été le fabricant principal de moteurs d'avion.

Entre les deux guerres mondiales, les sociétés françaises des moteurs du *Gnome* et *Rhon* ont fusionné avec d'autres fabricants de moteurs d'avions français, y compris *Renault* qui a donné naissance à une société publique : Société National d'Etude et de Construction de Moteurs d'Avion (SNECMA).

Le général *De Gaulle* a signé le projet de la loi créant la SNECMA le 29 mai 1945, l'organisme de la SNECMA remonte à l'après-guerre. Un décret a regroupé les entreprises de motorisation aéronautique et les placées sous le contrôle de l'état, ce groupement a été conçu à l'origine, pour être un seul marché militaire.

La production de moteurs de l'aviation civile ne se développe qu'au début des années 70 avec la mise au point du moteur *Olympus* qui équipe les premiers concordes. Le groupe produit outre ses activités liées à la propulsion aéronautique et spatiale, des matériels d'équipements (trains d'atterrissage, système de freinage, équipement électronique).

Dans le domaine militaire, la SNECMA, dont les moteurs équipent les avions *Mirage* et le *Rafale*, travaille en collaboration avec la britannique *Rolls-Royce*.

### GE AIRCRAFT ENGINES

En 1878, *THOMAS EDISON* fonde la *Edison Electric Light*, dans le but d'exploiter le brevet d'invention de la première lampe à incandescence. Moins de dix ans plus tard, la société prend le contrôle de *Sprague Electric Railway et Motor Company* pour devenir la *Edison General Electric*. Le nouvel ensemble, à la suite de sa fusion avec la société *Thomas-houston* en 1892, donne naissance à la firme *General Electric*.

Au début des années 1900, *General Electric* était spécialisé dans les turbines à gaz. En ce temps dans la première guerre mondiale, *GE* fabrique des compresseurs en série sous l'observation des services des armées de l'air alliées.

Plus tard, dans les années 1930, l'anglais *Frank Whittle* a conçu une turbine à gaz pour propulsion d'avion. Un moteur à réaction, cependant, le temps de guerre conditionne l'Angleterre l'incite à s'immerger vers les Etats unis par sa nouvelle économie.

Grâce à ses turbo-compresseurs de suralimentation et les travaux de développement des turbines, le gouvernement a attribué à *GE*, en Octobre 1941, un contrat pour produire le premier moteur à réaction de l'Amérique.

Une année plus tard, deux moteurs *GE «I-A»* propulsait le premier avion à réaction américain, le *Bell XP-59A*.

Au court de la décennie suivante, *GE* a développé des moteurs à réaction pour des avions de chasse et des bombardiers.

Durant les années 60, vu les avancées technologiques, GE se consacre dans le développement des moteurs d'avions commerciaux en présentant l'importance des vols commerciaux intercontinentaux au futur.

Aujourd'hui GE Aircraft Engines est un fabricant principal à réaction militaire et commerciale, avec des générateurs de gaz pour l'utilisation maritime et industrielle.

## CFM INTERNATIONAL

Le marché des moteurs d'avion, tout comme celui de la construction aéronautique est fortement oligopolistique. Seul quelques groupes de taille mondiale occupent ce marché qui nécessite des investissements importants.

La structure de marché explique donc logiquement l'accord qui lie la société SNECMA à la firme américaine GENERAL ELECTRIC leur filiale commune. CFM *International* occupe depuis 1974 une place prépondérante dans la fourniture de moteurs civils. Le modèle baptisé CFM 56 équipe les Boeing, notamment la gamme des 737, ainsi que la famille Airbus sur les A319,320,321....

"CFM" n'est pas un acronyme de mots technique. La société CFM *International* est sa gamme de produits CFM56 ont obtenus leurs noms par une combinaison des deux désignations commerciales de moteur des deux sociétés parentales : CF6 ( Compresseur Fan ) de GE (General Electric ) et M56 (M-Motor) de SNECMA (Société Nationale d'Etude et de Construction de Moteur d'Avion).

Un avion équipé de CFM56 décolle toutes les 4 secondes dans le monde. Moteur préféré des compagnies aériennes, le CFM56 propulse près de la moitié des avions de plus de 100 places livrés depuis quinze ans, et confirme 1999 sa place N1.

Vendu à près de 15 000 exemplaires, le CFM56 est le moteur de choix pour les applications court et moyen-courriers de Boeing et Airbus. Il est le seul moteur de sa catégorie à équiper tous les avions des grandes familles mono couloir des deux avionneurs. Le CFM56 propulse en exclusivité toute la famille Boeing 737. Chez Airbus , il équipe non seulement la totalité de la famille A320, mais aussi le quadrimoteur long-courriers A340.

Avec 50% de la part de marché cumulée les cinq (05) dernières années, la famille CFM56 confirme en 1999 sa place N° 01 mondial pour les avions plus de 100 places.

De nouvelles applications pour les moteurs CFM ont vu le jour. Par sa commande de 15 avions (et 10 options). Le CFM56-7B a trouvé une nouvelle application sur le Boeing 737 *Wedgetail*, avion de surveillance électronique commandé par l'armée de l'air australienne.

Dans le domaine de l'environnement, la nouvelle technologie de chambre de combustion à double tête DAC ( DUAL Annular Combustor ), qui permet une réduction importante des émissions polluantes d'oxyde d'azote, a été adoptée par lauda air pour ses 737 NG. Elle est proposée en option sur le CFM56-7B est équipé déjà entre autre des avions de Suisse, Australien Airlines et SAS.

# CHAPITRE I

## CHAPITRE -I- DESCRIPTION DES REACTEURS CF6-80A3 et CFM56-7B

### I-1 DESCRIPTION DU REACTEUR CF6-80A3

Le réacteur *General Electric* CF6-80 A3 est un turbo réacteur double corps, double flux, développe une poussée de l'ordre 220 à 285 KN, dont 77% due au flux secondaire et 23% due au flux primaire son taux de dilution est 4,66.

lors de son développement, ce moteur a bénéficié de l'expérience du CF6-50, certifié en juin 1985, le CF6-80 A3 est choisi par de nombreuses compagnies aériennes, du fait des améliorations qu'il a : notamment la réduction de sa masse, de sa consommation spécifique et son coût d'entretien réduit, le CF6-80 A3 équipe les avions de la société AIRBUS INDUSTRIE (A300-600 et 310-200), BOEING (747-200,-300,-400 et 767-200) et DOUGLAS MD-1 .

#### I-1-1. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DE REACTEUR CF6 80-A3

- ❖ Poussée statique maximale : (F)
- ❖ Z=0-température ambiante<33°C .
- ❖ F=21800daN.
- ❖ Poussée assurée par le flux primaire : 23% de la poussée totale.
- ❖ Poussée assurée par le flux secondaire : 77% de la poussée totale.
- ❖ Consommation spécifique en conditions statiques : 0,368kg/h /daN.
- ❖ Poussée de croisière :Z=350,M=0,8,F=4800daN.
- ❖ Consommation spécifique en croisière :0,632 kg/h/daN.
- ❖ Poussée inverse :40% de la poussée directe de fan.
- ❖ La masse de réacteur nu :3770 kg.
- ❖ La masse de réacteur équipé :7900 kg.
- ❖ La longueur totale de la nacelle :7,20 m.
- ❖ La hauteur totale de la nacelle :2,96m.
- ❖ Le débit d'air total :679/280 kg/s.
- ❖ Le débit d'air primaire :120/155 kg/s.
- ❖ Le débit d'air secondaire :559/225 kg/s.
- ❖ Le taux de dilution :4,66.
- ❖ Le rapport manométrique de pression :29/1

#### I-1-2. LES COMPOSANTS DU REACTEUR CF6 80-A3

##### I-1-2-1. ENTREE D'AIR

Elle est constituée d'un anneau profilé en tôles légères, fixées au carter du fan, son rôle est de raccorder le plus avantageusement les filets d'air avec l'entée du compresseur dans tous les régimes de vol et permet aussi le ralentissement des filets d'air.

##### a) capot d'entrée d'air

Trois orifices d'inspection endoscopique sont prévus à l'avant de ce capot. Le levage de l'ensemble d'entée d'air est assuré par quatre points de fixation. La bride arrière de l'entée d'air est fixée sur la bride avant du carter de fan au moyen de trois points du centrage et de 21 boulons.

CHAPITRE I:

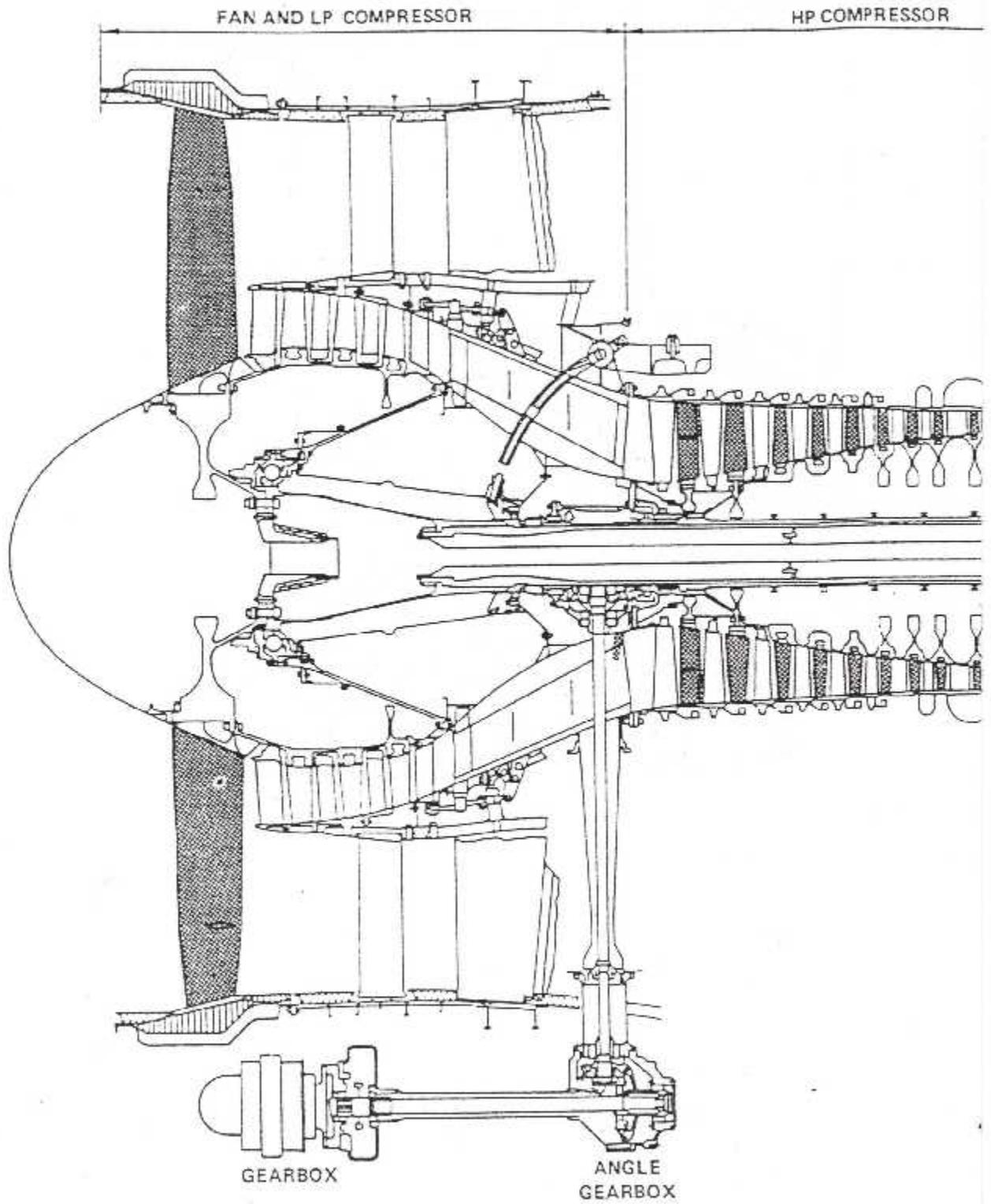
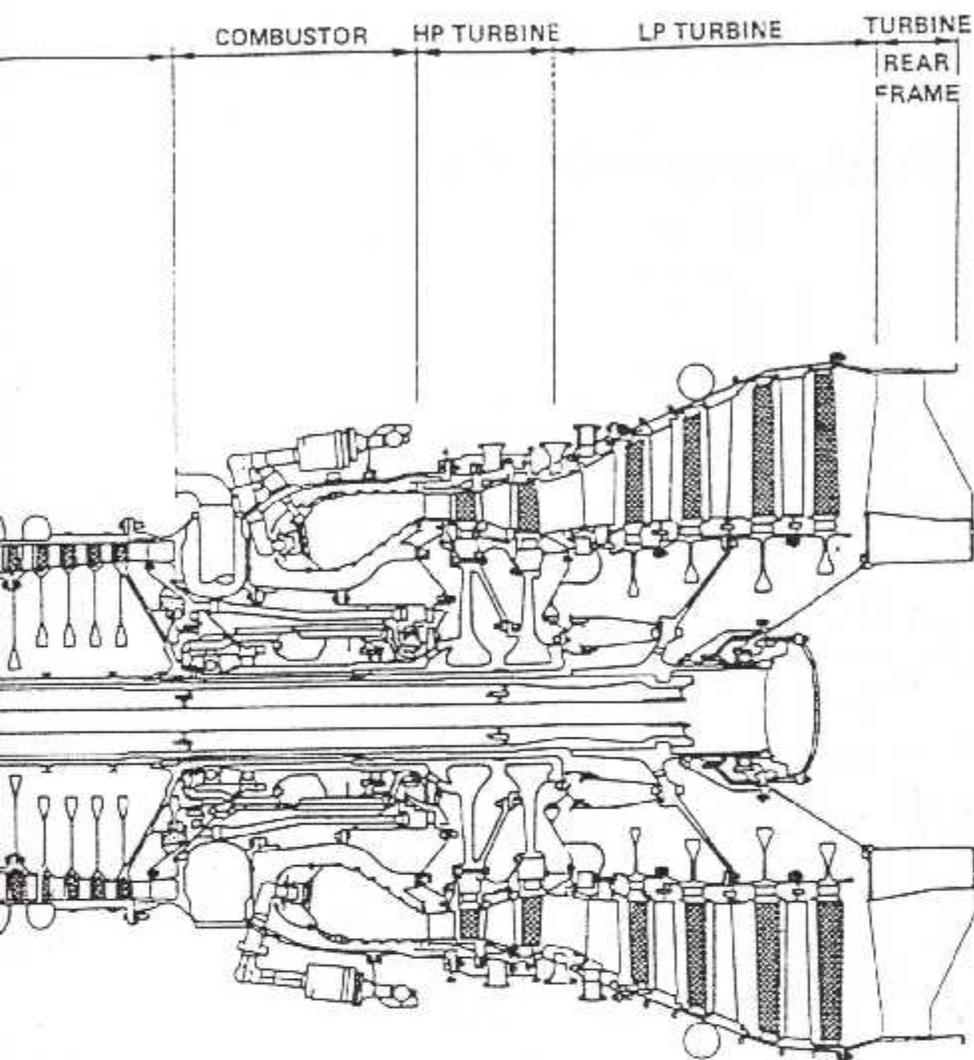


Fig. I-1 Conceptual

Description des deux réacteurs CF680-A3 et CFM567B.



on modulaire du CF6-80 A3.

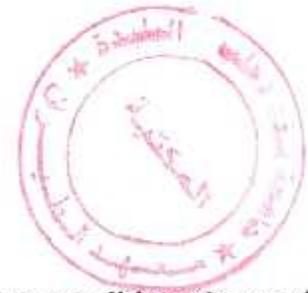
**I-1-2-2. FAN**

Le fan est composé de 38 ailettes et il fournit 77°/° de la poussée totale. Il est constitué d'une structure en nid d'abeilles soudée en 2 tôles en titane afin de réduire le poids au maximum ainsi que le bruit. Les aubes de sortie du fan sont destinées à redresser l'écoulement avant l'entrée dans la tuyère.

**a) capotage fan**

Deux demi-capots de fan articulés par 3 charnières fixées à la partie basse du mât réacteur. Ces capots comportent les portes d'accès suivantes :

- demi-capot de fan gauche.
  - commande manuelle de la vanne de démarrage.
  - filtres hydrauliques.
  - porte de surpression.
- demi-capot de fan droit.
  - IDG (intergrated drive generator).
  - Réservoir d'huile.

**I-1-2-3. COMPRESSEUR**

Le mélange air-kérozène ne peut s'enflammer que dans certaines conditions de pression et de température, les constructeurs de moteurs font appel à des compresseurs ayant pour rôle d'amener le fluide dans les conditions minimales d'inflammation.

Ce compresseur est de type axial constitué de 18 étages

- Un rotor formé d'un empilage de disques à la périphérie les quels sont fixés aux aubes.
- Un stator qui est le carter du compresseur et à l'intérieur duquel sont fixées des rangées circulaires d'aubes.

Les aubes sont constituées de profils aérodynamiques, chaque disque de rotor avec ses aubes est appelé une grille d'aubes rotor, chaque anneau du stator avec ses aubes s'appelle une grille d'aubes stator.

L'ensemble comprenant une grille d'aubes rotor suivie d'une grille d'aubes stator s'appelle un étage compresseur.

L'énergie mécanique fournie au compresseur est transformée en énergie cinétique par ralentissement de l'écoulement dans le rotor et le stator. Cette énergie est reconvertie en énergie potentielle (augmentation de pression), il devient de plus en plus difficile d'avoir un rendement de compresseur élevé pour le régime de fonctionnement notamment, si le compresseur est calculé pour une vitesse élevée, l'écoulement se trouvera perturbé aux basses vitesses, pour y remédier, la principale solution consiste à adopter un compresseur en deux corps séparés, capables de tourner à des vitesses différentes, le premier à basse pression et le second à haute pression, ces corps sont entraînés séparément par deux turbines différentes ce qui est le cas de réacteur CF6-80 A3.

### **A. COMPRESSEUR BASSE PRESSION (LPC)**

Le compresseur basse pression est constitué de quatre étages (trois étages +fan), la partie rotorique est formée d'un empilage de disque sur la quelle sont logées les ailettes tandis que les ailettes statoriques sont implantées dans le carter démontable.

### **B. COMPRESSEUR HAUTE PRESSION (HPC)**

Le compresseur du générateur de gaz à pour fonction de faire circuler dans la chambre de combustion un débit d'air approprié à la poussée désirée sous une pression permettant de fonctionnement correct de cette chambre. Elle comporte 14 étages successifs, les premiers étages de compresseur (HP) comportent des aubes de stator à calage variable (VSV) et l'entrée de compresseur (HP) est équipée d'aubes de pré-rotation dans le but d'orienter correctement l'écoulement d'air vers le premier rotor, tout l'attelage est entraîné par une turbine à deux étages.

#### **I-1-2-4. CHAMBRE DE COMBUSTION**

Elle est de type annulaire et elle se trouve à l'intérieur du (carter arrière compresseur) C'est dans cette chambre que la température d'air à la sortie de compresseur (HP) augmente jusqu'à atteindre celle prévue pour le fonctionnement de la turbine.

La combustion complète exige un dosage de 1/15 (1 gram carburant / 15 grammes d'air) dit rapport « stœchiométrique »

De plus, la température obtenue dans un mélange stœchiométrique est de l'ordre de 2000°C tandis que la température désirée à l'entrée de la turbine ne dépasse pas les 1400°C.

On prévoit deux zones dans la chambre de combustion :

- ❖ Une zone de combustion à haute température (la flamme) dont laquelle le dosage reste toujours centré autour du rapport stœchiométrique.
- ❖ Une zone de dilution dont laquelle le reste de l'air est admis et mélangé.
- ❖ La vaporisation du carburant est réalisée par 30 injecteurs qui sont alimentés séparément par deux pressions différentes.
- ❖ Deux orifices en position 3 et 4 heures, permettent le montage de 2 allumeurs à haute énergie.

#### **H-2-5. LA TURBINE**

Elle à pour rôle d'entraîner le mobile auquel elle est attelée. Elle doit en outre fournir la puissance nécessaire à l'entraînement des accessoires (régulateur carburant, pompe, alternateur...) à des divers points de vue, la turbine n'est autre qu'un compresseur inversé.

En général les turbines recentrées sur les turboréacteurs sont de type « axial » l'écoulement est parallèle à l'axe du moteur.

Un étage de turbine axial est composé d'une grille d'aubes stator suivie d'une grille rotor. Le CF6-80A3 dispose de 6 étages turbine, qui viennent après la chambre de combustion.

### **A. TURBINE HAUTE PRESSION (HPT)**

Comme le compresseur, la turbine HP est de type axial. L'attelage haute pression (relié au compresseur HP) dispose de deux étages.

Le stator (distributeur-turbine) de premier étage est composé de séries de 23 paires du « NGV » (Nozzle Guide Vane) tandis que ceux de deuxième étage sont 28 paires. Du à la température élevée.

Les ailettes de rotor ont 3 circuits interne servant au refroidissement par air qui est tiré du deuxième étage du compresseur HP.

### **B. TURBINE BASSE PRESSION (LPT)**

Elle est composée de quatre étages, tout à l'arrière. La turbine « BP » est alimentée par le générateur de gaz et fournit par la détente la puissance nécessaire à l'entraînement de l'attelage (compresseur BP + FAN) Le contrôle de jeu entre les ailettes et le carter est fait à l'aide des trous dans la surface de carter en laissant passer de l'air secondaire du fan, cet écoulement d'air de refroidissement réduit les jeux radiaux de rotor au stator en augmentant la durée de vie de la turbine.

#### **1-1-2-6. ARBRE DE TRANSMISSION TURBINE COMPRESSEUR BP**

Le compresseur BP est entraîné par la turbine BP au moyen d'un arbre de grande longueur. Cet arbre est constitué par deux parties assemblées par cannelures, ces deux parties sont appelées arbre avant et arbre intermédiaire et ils contiennent un dispositif dessiné à évacuer les vapeurs en provenance des boîtiers des paliers vers l'arrière du réacteur.

L'attelage BP (turbine BP à 4 étages entraîne un compresseur BP à 4 étages) est supporté par 3 roulements suivant :

- ❖ Le roulement N°1 : à billes.
- ❖ Le roulement N°2 : à rouleaux.
- ❖ Le roulement N°6 : à rouleaux.

L'attelage HP (compresseur HP 14 étages entraînés par une turbine HP à 2 étages) est supporté par les roulements suivant

- ❖ le roulement N°3 : à rouleaux.
- ❖ le roulement N°4B : à billes.
- ❖ le roulement N°4R,5 : à rouleaux.

#### **1-1-2-7. TUYERE D'EJECTION**

Le but de la tuyère d'éjection est de transformer l'énergie de pression des gaz chauds en énergie cinétique. C'est dans la tuyère d'éjection qu'à lieu la détente utile à la propulsion.

Afin d'améliorer les capacités de freinage de l'avion et de réduire l'usure des freins à l'atterrissage ; les constructeurs font appel aux reverses et au régulateur carburant qui sont commandés par le levier de poussée inverse. Le mécanisme est essentiellement constitué d'un manchon mobile pouvant coulisser vers l'arrière de ce mouvement une série de clapets obturants la sortie du fan cette tuyère étant obturée, l'air du fan ne peut sortir que latéralement en traversant une grille d'aubes, orientant l'écoulement vers l'avant. Notons que l'écoulement sortant du générateur de gaz reste dirigé vers l'arrière.

### **I-1-2-9. CAPOTAGE REACTEUR**

Ils permettent l'accès à la zone des turbines ils sont articulés par 3 charnières fixées à la partie basse arrière du Mât réacteur ils ne peuvent être ouverts que lorsque les demi-anneaux d'inversion est ouvert.

### **I-1-2-10. BOITE D'ENTRAINEMENT D'ACCESSOIRES**

L'attelage (HP) entraîne le boîtier des accessoires (gearbox) et reçoit le mouvement du démarreur par l'intermédiaire d'une prise de mouvement (IGB : Inlet gearbox) et d'une boîte de transfert (TGB : transfert gearbox). Un arbre horizontal relie la boîte de transfert au gearbox.

Le rapport de réduction des vitesses ; arbre horizontal, attelage HP est de 0,956/1.

Les différents accessoires entraînés par la gearbox sont :

*sur la face avant*

- 2 pompes hydrauliques.
- Un groupe de pompes à huile de lubrification et récupération.
- le démarreur.
- l'alternateur (IDG : intergrated drive generator).

*sur la face arrière*

- la pompe de carburant à haute pression (HP)
- le régulateur carburant MEC.

### **\* I-1-3. FONCTIONNEMENT DU REACTEUR**

Le réacteur absorbe un flux d'air qui sera compressé par le compresseur (BP), cet air va en suite se mélanger avec le carburant injecté par les injecteurs dans la chambre de combustion puis ce mélange s'enflamme pour laisser place à une combustion permanente. Après, les gaz sortant de la chambre de combustion à une haute température vont se détendre à travers la turbine en cédant l'énergie nécessaire à l'entraînement des compresseurs et de la soufflante. En fin, ces gaz s'écoulent dans l'atmosphère.

Un autre flux traverse la soufflante et rejoint le flux primaire à l'arrière du réacteur.

L'accélération de l'air durant son passage à travers le réacteur engendre une poussée.

## **I-1-4. DIFFERENTS CIRCUITS**

### **I-1-4-1. CIRCUIT CARBURANT**

Le combustible utilisé est le kérosène qui provient de la distillation du pétrole, sa densité est de 0,79. Son pouvoir calorifique est de 10,3 Kcal/g.

#### **A. ROLE DE CIRCUIT CARBURANT**

Ce circuit assure :

- ❖ L'alimentation des 30 injecteurs carburant de la chambre de combustion et le régulateur carburant MEC.
- ❖ L'alimentation des circuits hydrauliques de commande de système anti-pompage ( les vannes de décharges VBV et les aubages stator à calage variable VSV).
- ❖ Refroidissement de l'huile de graissage moteur et d'huile de l'alternateur IDG.

#### **B. COMPOSITION DE CIRCUIT CARBURANT**

Ce circuit est entièrement intégré dans la nacelle de réacteur, il comprend :

- ❖ Une pompe de carburant à haute pression(HP)
- ❖ Un échangeur thermique principal (carburant, huile/réacteur)
- ❖ Un filtre principal
- ❖ Un régulateur principal de carburant (MEC)
- ❖ Une rampe d'injection carburant et 30 injecteurs.

#### **C. FONCTIONNEMENT DES DEFERENTS COMPOSANTS DU CIRCUIT CARBURANT**

##### *a) Pompe haute pression HP*

La pompe HP est entraînée par le boîtier des accessoires et elle se compose de deux étages :

- Le premier étage assure le gavage du deuxième étage. Un filtre inter-étage protège le second étage. En cas de colmatage, un clapet (by-pass) court circuit de filtre si la perte de charge atteint 4PSI.
- Le deuxième étage à son régime maximum le débit de la pompe est à 73USG/minute, lorsque la pression dépasse 1350 PSI, un clapet de surpression s'ouvre vers le circuit inter-étage.

Dans tous les cas de fonctionnement, le débit de la pompe est supérieur au besoin du réacteur. L'excédent de carburant est renvoyé par le (MEC) dans le circuit inter-étages.

#### **Contrôle de la pression carburant :**

Cette pression est indiquée par le système (ECAM)(écran d'affichage et de message d'alarme) et elle varie en fonction de la pression des pompes BP, des réservoirs et du régime réacteur.

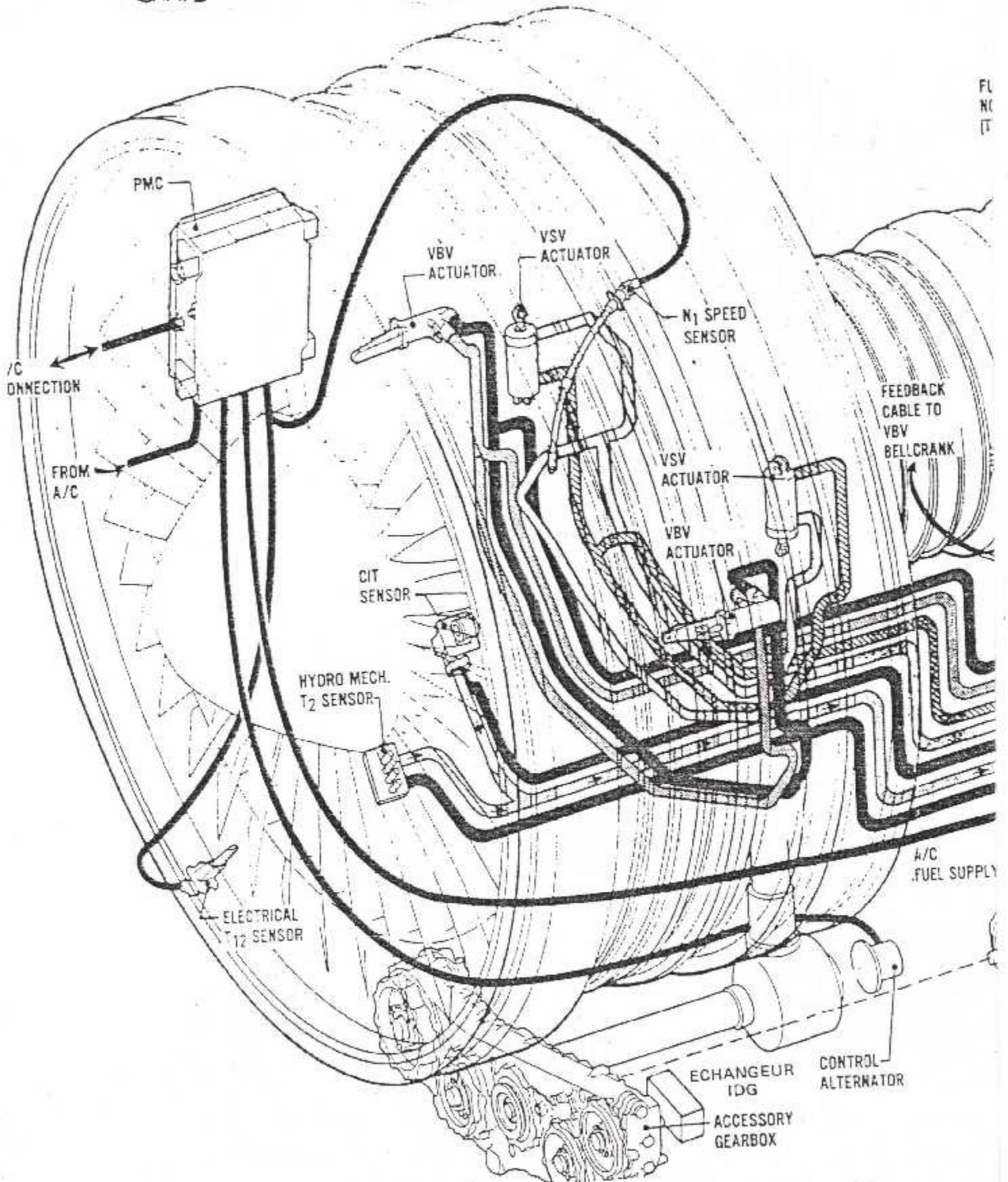
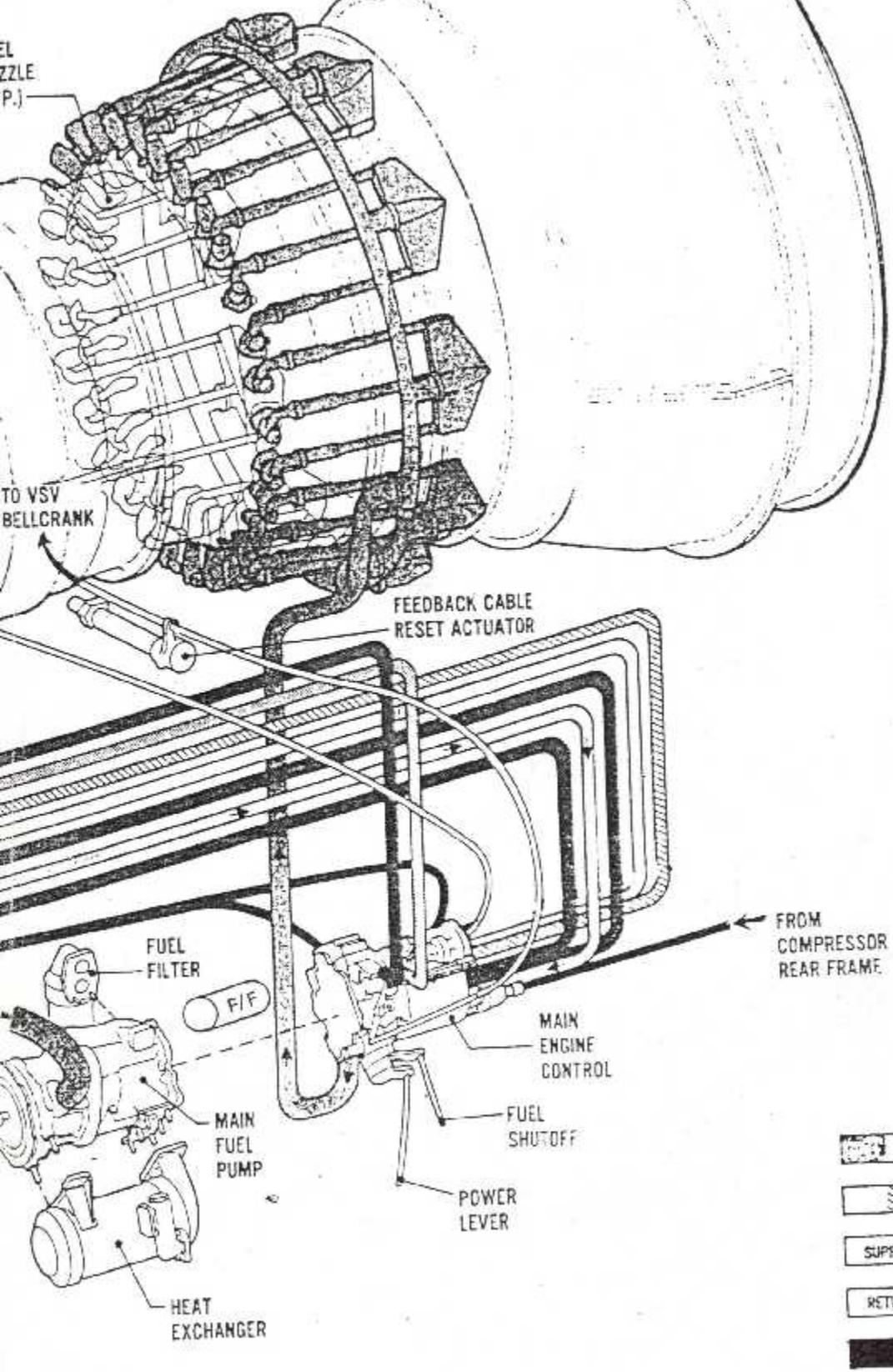


Fig. I-2 . Circuit Carburant

CF6-80A3 et CFM-567B



du CF6-80A3

b) *Echangeur thermique principal (carburant/huile) réacteur*

Il assure la protection anti-givrage de carburant.

c) *Filtre principal carburant :*

La cartouche filtrante assure l'arrêt de toute impureté supérieure à 10microns.

**Détection colmatage :**

Lorsque la perte de charge à travers le filtre atteint 23PSI, le mano de contact transmet un signal vers le système (ECAM) il entraîne :

- ❖ le retentissement d'un gong monocoup
- ❖ L'allumage du voyant « ENG » au panneau central pilote.
- ❖ L'allumage du voyant ambre « FUEL CLOG »

**Circuit by-pass du filtre :**

Si la perte de charge dépasse 35 plus au moins (5 PSI, un clapet by-pass s'ouvre et laisse le carburant circuler vers le MEC) sans filtrage.

d) *Le régulateur carburant (MEC)*

Le circuit d'alimentation du (MEC) comprend :

- ❖ un ensemble de régulation des servo-pression
- ❖ un doseur
- ❖ un régulateur de  $\Delta P$
- ❖ une vanne HP de carburant

➤ **ENSEMBLE DE REGULATION DES SERVO-PRESSION :**

Le régulateur de carburant (MEC) est de type hydromécanique, les servo-pression sont nécessaires pour le fonctionnement des servomécanismes.

**Servo-Pression :** C'est un piquage effectué sur la canalisation d'alimentation du MEC alimente les régulateurs des servo-pression PF, PC et PCR.

a) *pressioi PF(filtered pressure)*

La pression PF est égale à la pression d'alimentation (220 à 1200 PSI)

b) *pression PC (control pressure)*

elle est régulée à la pression inter-étage PB+220PSI.

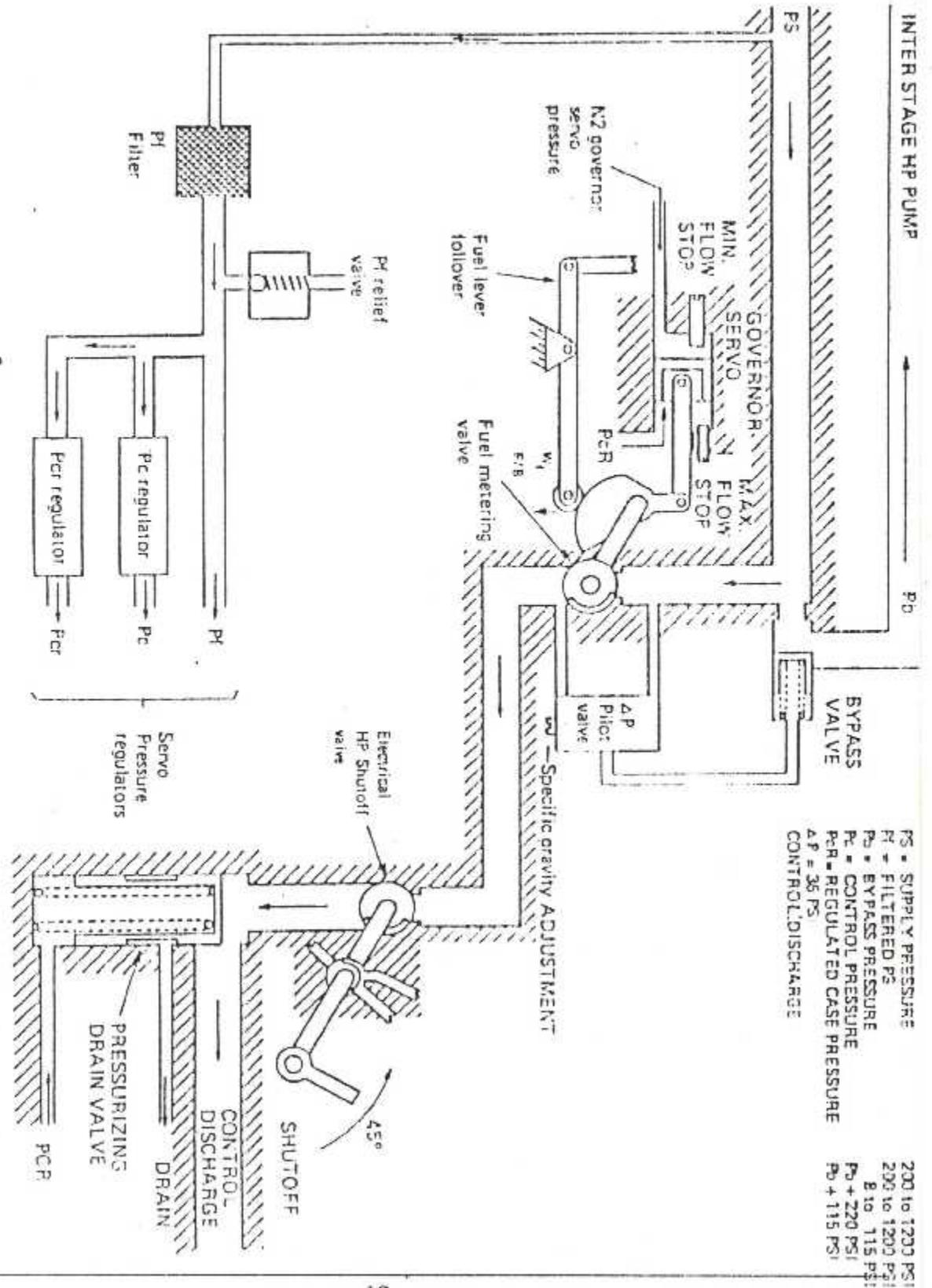


Fig. 1-3 régulateur principal carburant (MEC)

**c) Pression PCR (regulated case pressure)**

elle est régulée à la pression inter-étage PB+115 PSI.

➤ **DOSEUR**

Le doseur est une vanne à commande hydraulique, elle assure le calibrage du débit carburant vers les injecteurs.

**Commande du débit carburant :**

Le régulateur centrifuge N2 commande le doseur par l'intermédiaire d'une servo-pression. La pression du vérin du doseur est déterminée par l'équilibre entre cette servo-pression et la (PCR)

➤ **REGULATEUR DE  $\Delta P$  :**

Le débit de la pompe HP est toujours plus élevé que les besoins du réacteur, lorsque la  $\Delta P$  atteint une valeur maximale (36PSI) le régulateur commande l'ouverture des by-pass valve qui renvoie l'excédent du carburant dans le circuit inter-étage.

➤ **VANNES HP DE CARBURANT**

- Elle possède deux positions pleines ouverture, pleine fermeture.
- Elle est utilisée pour la mise en route et l'arrêt du réacteur.

**Commande de la vanne HP :**

lorsque la commande HP qui se trouve en arrière des manettes de poussée, est sur « ON », la vanne est ouverte, le circuit d'allumage est activé.

lorsque la commande est sur « OFF », la vanne est fermée, le circuit d'allumage et le voyant coupe feu sont désactivés.

➤ **VANNE DE MISE EN PRESSION ET DE DRAINAGE :****La mise en route de réacteur :**

Un ressort maintient la vanne fermée tant que la pression délivrée par la pompe HP n'atteint pas 240 à 300 PSI.

**L'arrêt de réacteur :**

La fermeture de la vanne HP entraîne la chute de pression d'injection et l'ouverture de la vanne by-pass alors le ressort de la vanne permet le drainage de la rampe d'injection.

➤ **L'ECHANGEUR THERMIQUE SECONDAIRE (carburant /huile IDG) :**

Cet échangeur thermique à pour but de refroidir l'huile de l'IDG. Il se trouve en arrière dans le coté gauche de la gearbox.

➤ **RAMPE D'INJECTION :**

Constituée de 2 demi-anneaux. Elle alimente les 30 injecteurs par 10 collecteurs triples. Les injecteurs : le réacteur est équipé de 21 injecteurs à double débit et 9 injecteurs à simple débit.

**1)Injecteur à double débit :**

Il est équipé d'un clapet de contrôle qui se ferme lorsque la pression carburant est inférieure à 10PSI. Dans le but de diminuer la quantité de carburant à drainer lors de démarrage, le carburant circule par le circuit primaire, lorsque la pression dépasse 190PSI, le clapet sélecteur autorise le passage de carburant par le circuit secondaire.

**2)Injecteur à simple débit :**

Les injecteurs à simple débit sont repérés par une bague verte, leurs clapets sélecteurs ne s'ouvrent que lorsque la pression carburant atteint 190 PSI.

**e) Calculateur de poussée moteur(PMC) :**

Le PMC est un calculateur digital électronique installé sur le carter de sortie du fan en position 2h, est alimentée électriquement par l'alternateur de contrôle N2 et comporte un circuit de ventilation.

Le rôle de PMC est permet d'ajuster finement le débit carburant, par action d'un moteur couple sur le robinet doseur en limitant le régime N2, afin d'obtenir le niveau de poussée optimum en fonction :

- de la phase de vol programmé (Tcc.calculateur de commande poussée)
- des conditions du vol (ADC : centrale aérodynamique)
- de la position manette.
- des limitations réacteur.

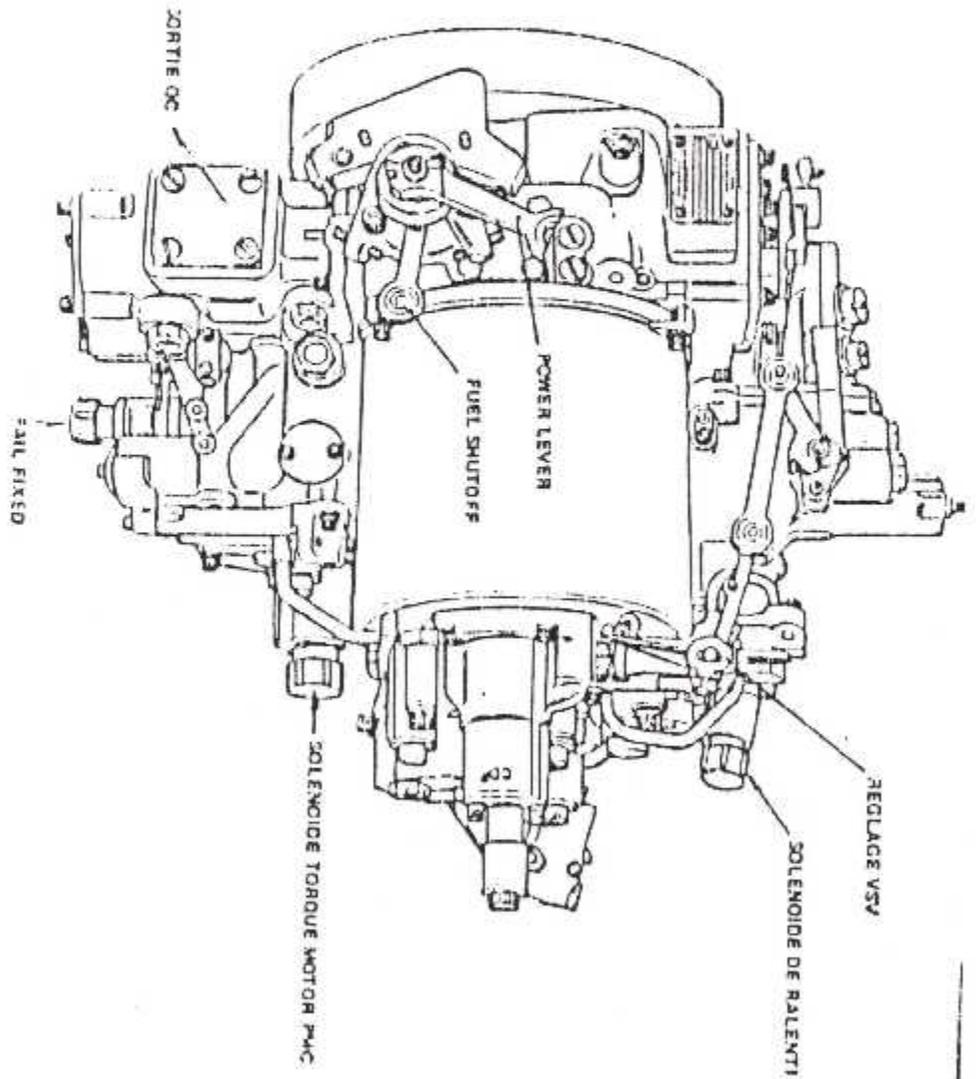


Fig. 1-4 Calculateur de poussée moteur (PMC)

### 1-1-4-2. CIRCUIT DE GRAISSAGE

Le but de graissage est de lubrifier, refroidir et nettoyer les roulements qui supportent les deux attelages BP et HP, la boîte d'entraînement d'accessoires.

#### A. DESCRIPTION DE CIRCUIT

Le circuit d'huile se compose de :

- ❖ réservoir
- ❖ pompes
- ❖ filtre équipé d'un by-pass
- ❖ clapet de surpression
- ❖ injecteurs

#### B. FONCTIONNEMENT DE CIRCUIT DE GRAISSAGE

L'huile arrive de réservoir vers l'entrée de la pompe d'huile par gravité. L'huile est mise sous pression par la pompe, cette huile passe à travers un filtre (46 microns) équipé d'une by-pass tarée à 40PSI différentiel.

La température normale d'huile varie entre 65 et 135°C, le clapet de surpression ne fonctionne que si la pression de circuit d'huile dépasse les 300PSI. La pression normale du circuit d'huile varie entre 20 et 70PSI. La capacité totale de réservoir d'huile est de 31,6 quarts US.

La quantité maximale est de 24 quarts US, et la quantité minimale est de 6 quarts US (bas niveau). La consommation d'huile est de 0,26 litres/heure. Le réservoir est pressurisé à une pression de 7 à 9PSI.

Il y a une pompe de pression et cinq autres de récupérations, la pompe de pression d'huile débit 16,75 gallons par minute à une pression de 70 PSI.

Les cinq pompes de récupération récupèrent l'huile de :

- ❖ L'enceinte A
- ❖ L'enceinte Bavant
- ❖ L'enceinte B arrière (ensemble B)
- ❖ L'enceinte C
- ❖ La boîte d'entraînement d'accessoires (gear box)

### 1-1-4-3. CIRCUIT DE DEMARAGE

Le circuit de démarrage du réacteur utilise la pression du circuit pneumatique de bord. Il peut être alimenté par :

- ❖ L'APU
- ❖ Un des réacteurs déjà en fonctionnement
- ❖ Un groupe de parc pneumatique (2S<P<55PSI)

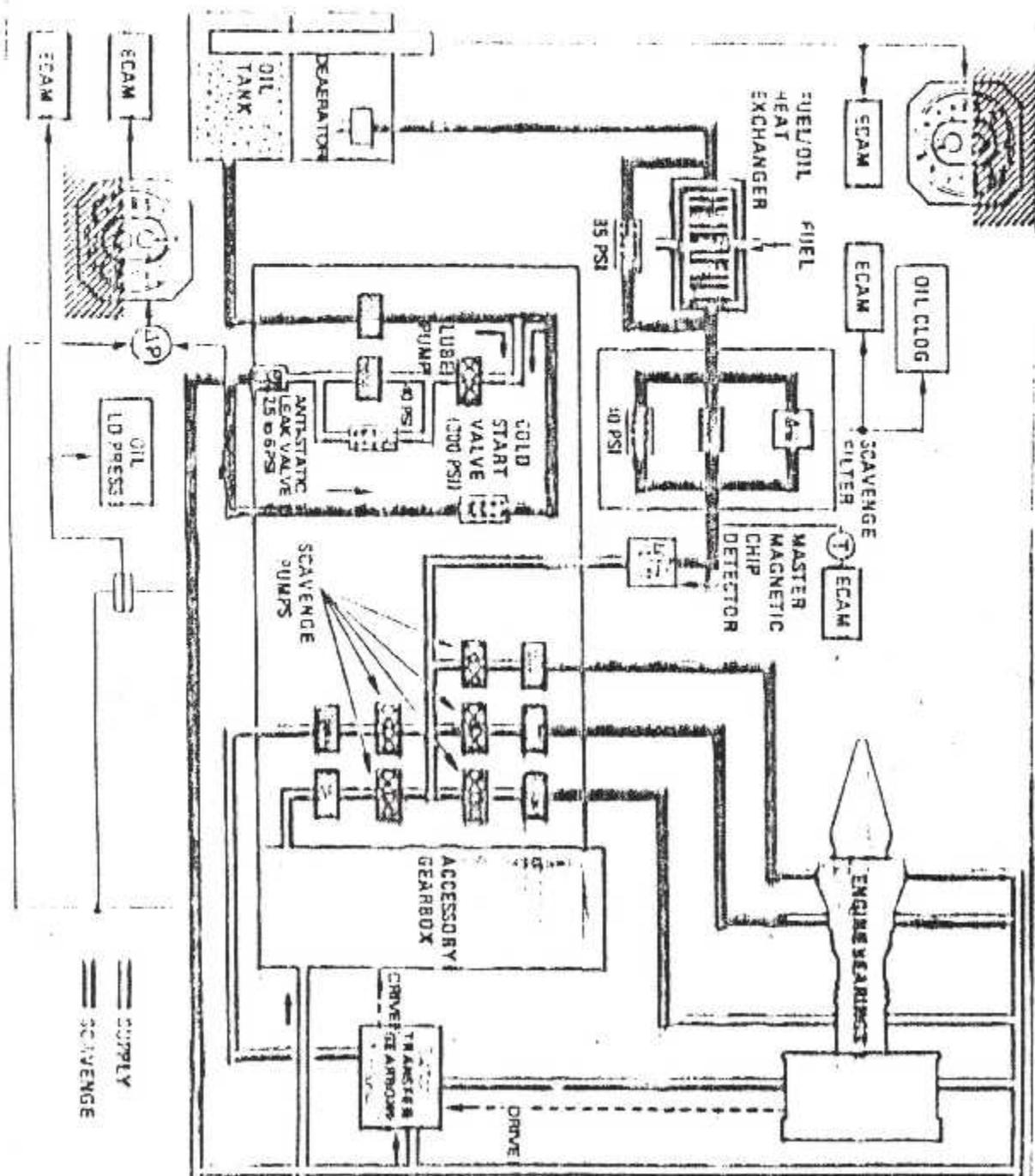


Fig. 1-5 Circuit de graissage

Chaque réacteur est équipé d'un démarreur à turbine qui entraîne l'attelage HP. L'alimentation du démarreur est commandée par une vanne de démarrage. Cette vanne est fixée sur le collecteur d'alimentation du démarreur à l'avant du boîtier des accessoires.

Elle comporte un papillon à deux positions (ouvert ou fermé) Un contacteur électrique de signalisation, commandé par l'axe du volet se ferme dès que celui-ci commence à s'ouvrir.

L'axe d'articulation de ce volet est relié par une bielle à un vérin pneumatique. L'ensemble mobile du vérin comporte deux diaphragmes (A et B) de surfaces différentes. Un clapet à commande manuelle permet la mise à l'air libre de la chambre .

#### **1-1-4-2. CIRCUIT D'ALLUMAGE REACTEUR**

Un dispositif d'allumage est utilisé pour provoquer l'inflammation du mélange air/carburant. Il y a deux boîtes d'allumages qui sont fixées sur le coté droite du carter de fan en position 3h. Elles sont indiquées et utilisent du courant 115/400Hz.

Elles débitent deux décharges par seconde sous une tension d'amorçage de 15 à 20000 volts et libérant une énergie d'environ 2 joules.

La boîte supérieure du circuit A alimente l'allumeur monté en position 4h. La boîte inférieure du circuit B, alimente l'allumeur monté en position 3h.

#### **ALLUMEURS :**

Ils comportent une électrode centrale en tungstène isolée par une bague en céramique. De l'air en provenance du 14eme étage du compresseur HP assure le refroidissement de l'embout de l'allumeur par circulation à travers 12 canaux internes.

Durant la phase de démarrage, lorsque le régime N2 atteint 45%, l'indicateur N2 coupe automatiquement l'alimentation du solénoïde de la vanne de démarrage et des deux circuits d'allumage.

Le réacteur est autonome, le démarreur s'arrête, les allumeurs ne sont plus alimentés.

#### **1-1-4-5. CIRCUIT D'INDICATION DE REACTEUR**

Pour assurer un bon fonctionnement du réacteur, il faut le contrôler et ce contrôle s'effectue à partir :

- des indications suivantes : N1, N2, EGT, niveau vibratoire, débit carburant et quantité d'huile, température et pression d'huile.
- des voyants d'alarme au panneau central pilote :
- du système d'ECAM.

### **A. CONTROLE DE REGIME N1**

Une couronne segmentée comportant 38 plots est montée en arrière du compresseur BP, sur l'arbre turbine-compresseur.

Un capteur magnétique accessible sur le coté droit du réacteur, enregistre le régime N1 par l'intermédiaire de la couronne segmentée.

Le capteur magnétique transmet cette information au PMC puis à l'indicateur de régime N1 au poste de pilotage.

### **B. CONTROLE DE REGIME N2**

Un alternateur de contrôle est entraîné par l'arbre horizontal des accessoires. L'alternateur de contrôle est monté sur la face arrière de la boîte de transfert. Le rotor de cet alternateur de contrôle est fixé sur l'arbre d'entraînement.

L'alternateur de contrôle transmet un signal analogique vers le PMC puis vers l'indicateur N2 au poste de pilotage.

### **C. CONTROLE DE LA TEMPERATURE DEVANT TURBINE EGT**

C'est la température de flux primaire en station 4,9 qui est relevée. Il s'agit en fait de la température des gaz après leur sortie de l'ensemble HP. La mesure de cette température est réalisée par 8 sondes thermocouples.

Les 8 sondes sont montées en parallèles à la périphérie du carter avant, de turbine BP. Le signal de température EGT est transmis par l'intermédiaire de canalisation rigide et les boîtes de jonction, vers l'indicateur EGT au poste de pilotage.

### **D. CONTROLE DE NIVEAU VIBRATION**

Chaque réacteur est équipé de 2 transmetteurs pour détecter les vibrations. l'un dans la zone de fan du palier N°1 qui détecte les vibrations de l'attelage BP, l'autre fixée sur le carter réacteur à l'arrière du compresseur HP et qui détecte les vibrations de l'attelage IHP.

Chacun de transmetteurs émet un signal vers le dispositif indicateur ECAM au poste de pilotage.

### **E. CONTROLE DU DEBIT CARBURANT (débitmètre)**

Le transmetteur « FUEL Flow » mesure le débit carburant avant son arrivée aux injecteurs. Le débit maximum permis est de 12474 kg/h.

Ce transmetteur est le générateur de tourbillon, il est situé près du (MEC)

### **F. INDICATEUR DE QUANTITE D'HUILE**

Un transmetteur de quantité fixé sur le dessus du réservoir.

## G. INDICATEUR DE TEMPERATURE ET DE PRESSION D'HUILE

Cette indication est faite grâce à une source de température montée en arrière de la gearbox en position 7h, son signal est envoyé vers l'ECAM.

la pression d'huile est donnée par des transmetteurs de pression, ils sont situés sur le carter de sortie du fan en position 7h. l'un transmet la valeur de pression d'huile vers l'indicateur, l'autre déclenche les alarmes de baisse de pression à 11PSI et les arrête à 14PSI.

## I-2. DESCRIPTION DU REACTEUR CFM56-7B

Le réacteur CFM 56-7B équipe le Boeing 737-800 NG un moteur double flux double corps et à taux de dilution élevé. Le CFM56-7B est composé de trois (03) modules principaux :

- Module FAN et BOOSTER.
- Module core.
- Module Turbine basse pression.

### I-2-1. MODULE FAN ET BOOSTER

Ce module est constitué d'un fan de vingt quatre (24) ailettes en Titane et trois (03) étages compresseur basse pression. Le FAN à lui seul engendre le flux secondaire.

Le module FAN et BOOSTER est un ensemble entraîné par la turbine basse pression.

### I-2-2 MODULE CORE

Le module core est constitué de :

- ❖ Neuf (09) étages compresseur haute pression.
- ❖ Une (01) chambre de combustion annulaire, équipée de vingt (20) injecteurs et deux (02) allumeurs.
- ❖ Une (01) turbine haute pression à un étage. La turbine haute pression entraîne le compresseur haute pression et la boîte d'entraînement des accessoires.
- ❖ L'ensemble turbine haute pression et compresseur haute pression est appelé attelage haute pression ou N2. Il est supporté par trois (03) roulements.

### I-2-3 MODULE TURBINE BASSE PRESSION

Ce module est constitué de quatre (04) étages. Il entraîne le FAN et le compresseur basse pression. L'ensemble turbine basse pression, FAN et le compresseur basse pression est appelé attelage basse pression ou N1. Il est supporté par trois (03) roulements.

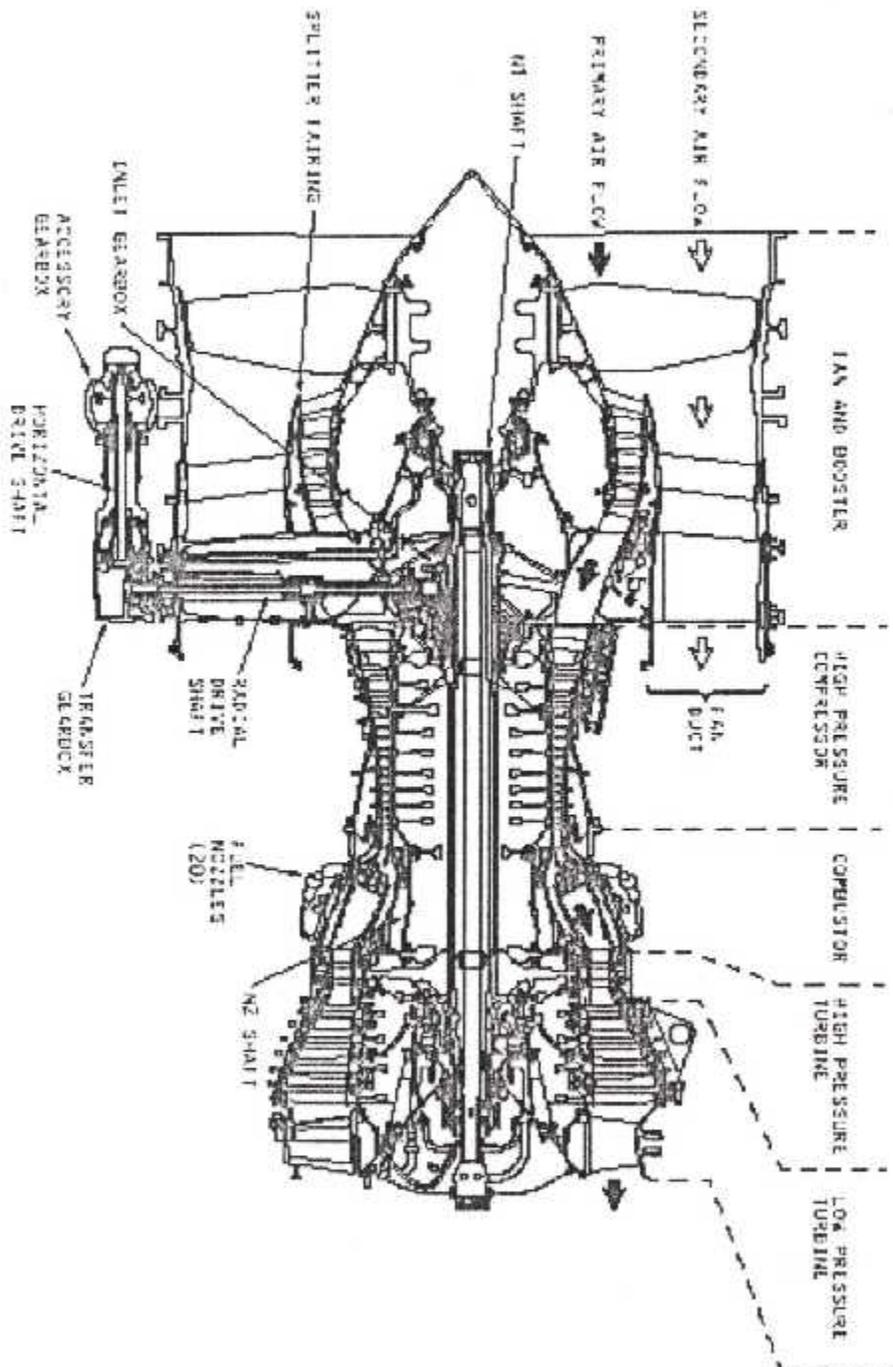


Fig. I-6 la conception modulaire du CFM 56-7B

### I-2-4 BOITE D'ENTRAÎNEMENT DES ACCESSOIRES

L'attelage haute pression entraîne la boîte d'entraînement des accessoires, elle reçoit le mouvement par l'intermédiaire d'une boîte de transfert. La boîte d'entraînement des accessoires est fixée sur le côté du carter FAN. Les différents accessoires qui équipent la boîte sont :

*Sur la face avant :*

- Pompe carburant.
- Pompe d'huile.

*Sur la face arrière :*

- Pompe hydraulique.
- L'alternateur (IDG).
- Le démarreur.

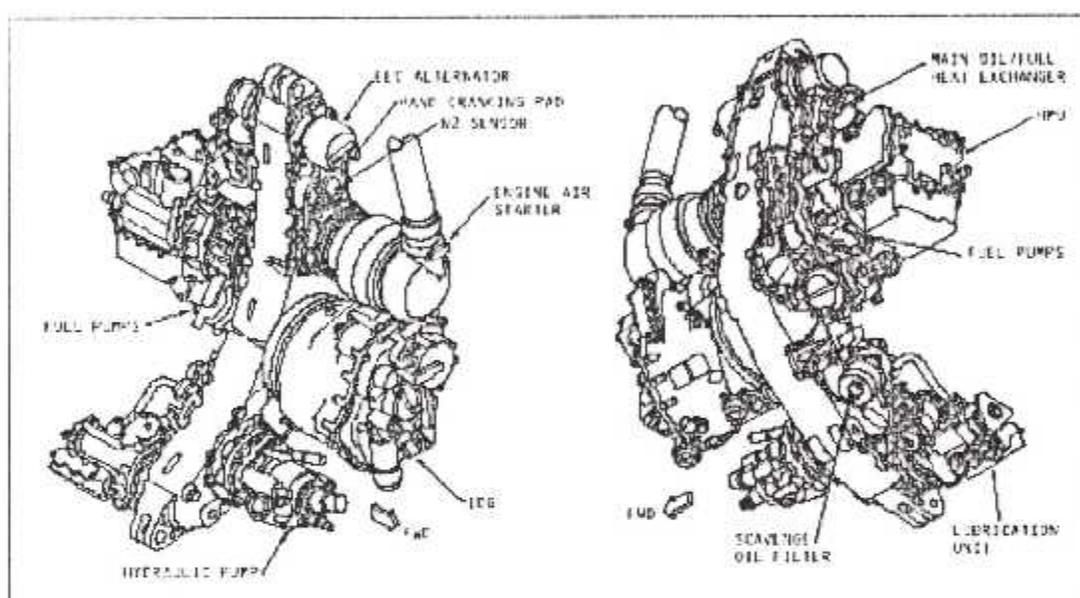


Fig. I-7 Les accessoires de la gearbox

### I-2-5. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DU REACTEUR CFM56-7B

Poussée statique maximale (F)

CFM 56-7B 27	27300 lbs
CFM 56-7B 26	26300 lbs
CFM 56-7B 24	24200 lbs
CFM 56-7B 22	22700 lbs
CFM 56-7B 20	20600 lbs
CFM 56-7B 18	19500 lbs

- La poussée assurée par le flux primaire est de 20 % de la poussée totale .
- La poussée assurée par le flux secondaire est de 80 % de la poussée totale .
- La consommation spécifique au ralenti pour tous les CFM 56-7B est de 0.752 lb/h/lb (kg/h/kN) .
- La consommation spécifique en croisière :

CFM 56-7B 27 . 7B 26 . 7B 24 est de 0.344 lb/h/lb.

CFM 56-7B 22 . 7B 20 . 7B 18 est de 0.343 lb/h/lb.

- La masse du réacteur est de 2361 kg.
- Le diamètre de l'entrée d'air est de 1.55 m.
- Taux de dilution est de 5.6/1.

## I-2-6 REPERAGE DES DIFFERENTES STATIONS

- **Station 0** : conditions ambiantes.
- **Station 12** : entrée d'air.

### FLUX PRIMAIRE :

- **Station 25** : entrée compresseur haute pression.
- **Station 30** : sortie compresseur haute pression.
- **Station 49.5** : sortie 2eme étage turbine basse pression.
- **Station 50** : sortie turbine basse pression.

### FLUX SECONDAIRE :

- **Station 12** : entrée FAN.
- **Station 13** : sortie stator FAN.

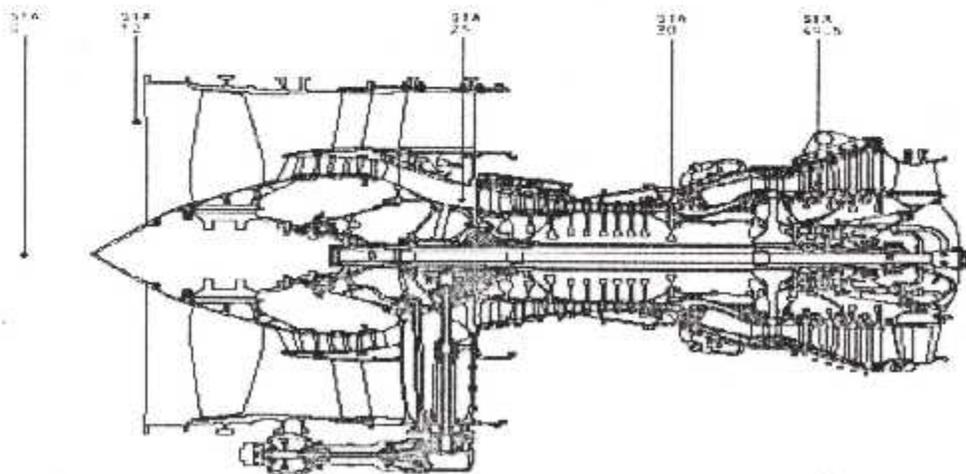


Fig.I-8 Les stations aérodynamique du moteur CFM 56-7B

I-2-7 CAPOTAGES

- Capot FAN.
- Capot REVERSE.

I-2-8 LES REGIMES

REGIME N1 :

- 100 % = 5173 tr/min.
- 104 % = 5380 tr/ min. (maximum)

REGIME N2 :

- 100 % = 14 460 tr/min.
- 105 % = 15 183 tr/min. (maximum)

I-2-9 EGT

- 950°C maximum.
- 725°C maximum au démarrage.

I-2-10. DIFFERENTS CIRCUITS DU REACTEUR CFM 56-7B :

I-2-10-1. CIRCUIT CARBURANT

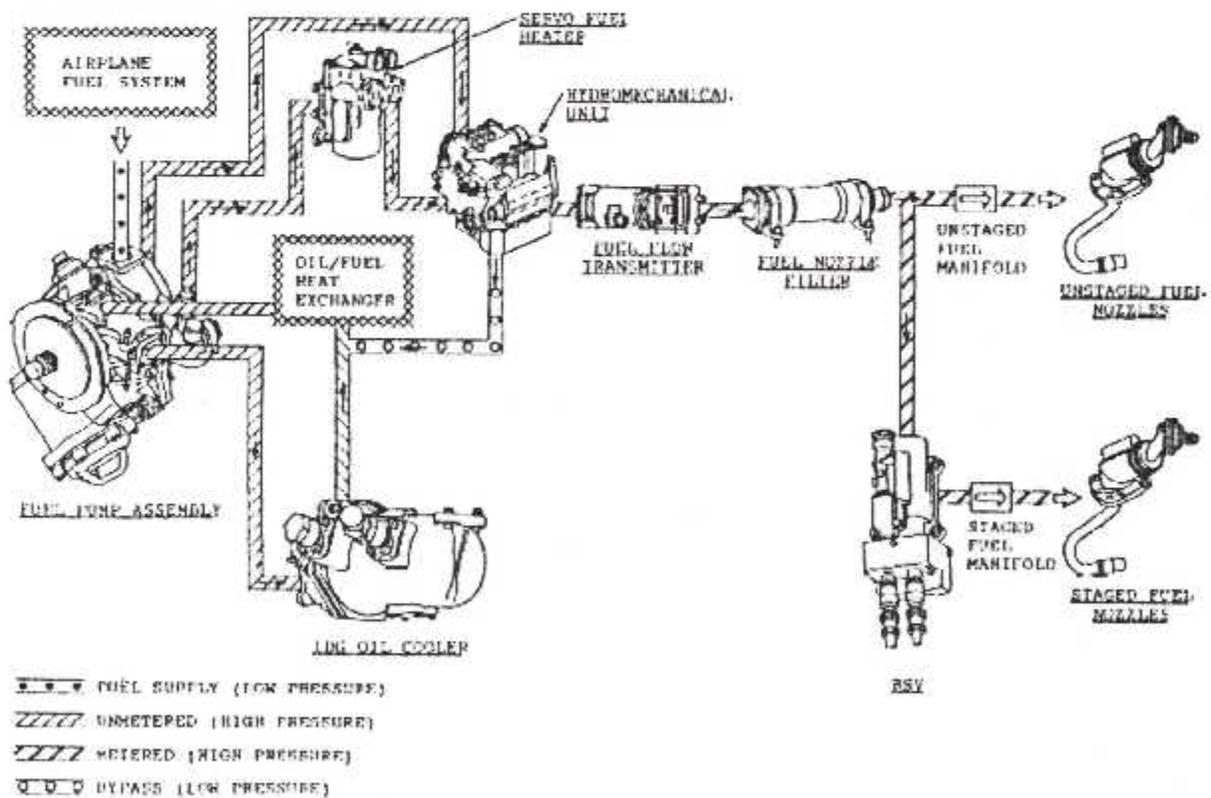


Fig. I-9 Circuit de carburant

### *1. ROLE DU CIRCUIT CARBURANT*

Le rôle du circuit de carburant est d'assurer :

- L'alimentation des vingt (20) injecteurs de la chambre de combustion.
- L'alimentation de deux (02) vérins des vannes de décharge.
- L'alimentation des deux (02) vérins des stators à calage variable.
- L'alimentation de la vanne de refroidissement du carter turbine haute pression.
- L'alimentation de la vanne de refroidissement du carter turbine basse pression.
- L'alimentation de la vanne de décharge transitoire.
- Le refroidissement de l'huile de graissage moteur.
- Le refroidissement de l'huile de graissage de l'alternateur (IDG).

### *2. COMPOSITION DU CIRCUIT CARBURANT*

Le circuit carburant est entièrement intégré dans la nacelle du réacteur, il comprend :

- Une (01) pompe carburant à haute pression.
- Un (01) échangeur thermique (huile / carburant) alternateur (IDG).
- Un (01) échangeur thermique principal (huile / carburant) réacteur.
- Un (01) filtre principal carburant.
- Un (01) régulateur principal carburant (HIMU).
- Un (01) servo réchauffeur carburant.
- Un (01) transmetteur de débit carburant.
- Un (01) filtre injecteurs.
- Une (01) vanne de sélection injecteurs.
- Une (01) rampe injecteurs.
- Vingt (20) injecteurs.

### *3. CONTROLE DU CIRCUIT CARBURANT*

La surveillance du circuit carburant est réalisée à partir :

- D'une indication de débit carburant situé sur l'écran inférieur des paramètres secondaires moteur.
- D'un voyant d'alarme du colmatage filtre carburant situé au panneau supérieur P5-2 au cockpit.
- D'un voyant associé au robinet carburant haute pression (HPSOV).

### *\*4. FONCTIONNEMENT DU CIRCUIT CARBURANT*

Le carburant arrive du réservoir de l'avion, passe par la pompe carburant première étage ensuite vers l'échangeur thermique ( huile / carburant ) de l'alternateur IDG après à travers l'échangeur thermique ( huile / carburant ) moteur. Le carburant passe ensuite à travers un filtre principal, du filtre vers le régulateur principal carburant. A la sortie du régulateur carburant, le carburant passe à travers le débitmètre puis vers le filtre injecteur et enfin dans les injecteurs.

1-II-10-2. CIRCUIT DE GRAISSAGE

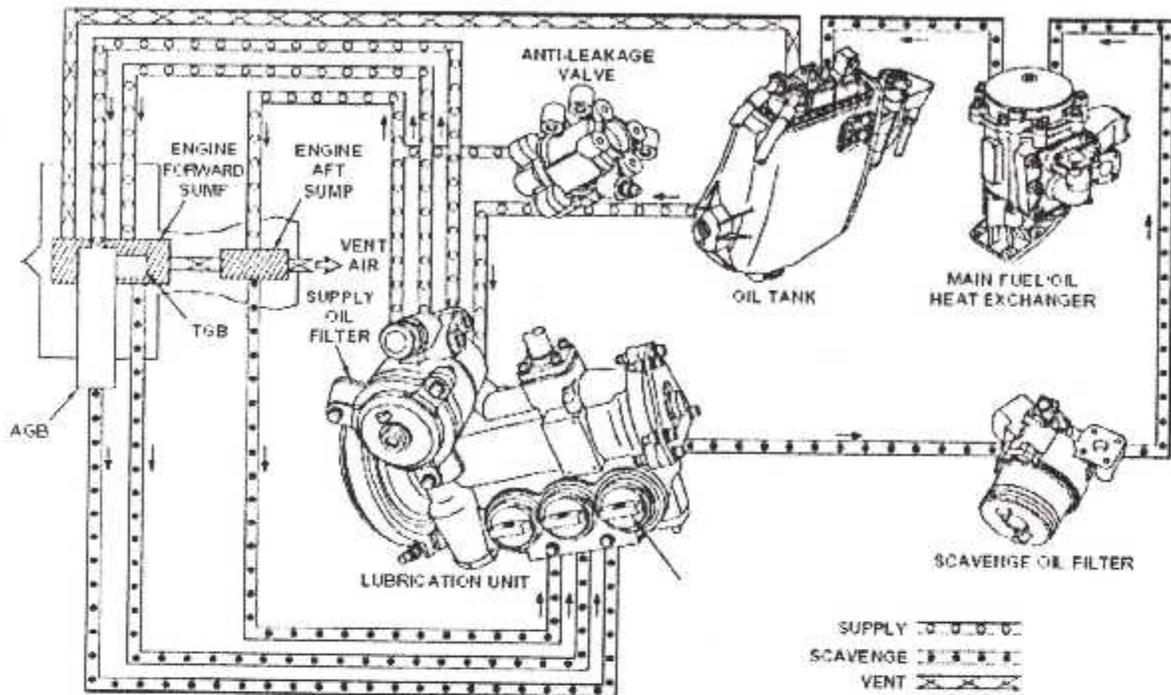


Fig. I-10 Circuit de graissage

1 ROLE DU CIRCUIT DE GRAISSAGE

Le rôle du circuit de graissage est de :

- Lubrifier.
- Refroidir.
- Nettoyer.

Les paliers de l'enceinte avant, l'enceinte arrière, la boîte de transmission et la boîte d'entraînement des accessoires .

Le circuit de graissage assure le réchauffage du carburant.

2. COMPOSITION DU CIRCUIT GRAISSAGE

Le circuit de graissage est entièrement intégré dans la nacelle du réacteur il comprend :

- Un (01) réservoir.
- Un (01) clapet d'isolement.
- Une (01) pompe de pression.
- Trois (03) pompes de récupérations.
- Un (01) filtre principal équipé d'une by pass.
- Un (01) transmetteur de pression d'huile.

- Une (01) sonde de température d'huile.
- Un (01) filtre de récupération d'huile équipée d'un mono-contact détecteur de colmatage et d'une by pass.
- Un (01) échangeur thermique principal ( huile / carburant ).
- Un servo réchauffeur carburant.

### **3. CONTROLE DU CIRCUIT DE GRAISSAGE**

La surveillance du circuit de graissage est réalisée à partir

#### **DES INDICATIONS :**

- Pression d'huile.
- Température d'huile.
- Quantité d'huile.

#### **DES ALARMES :**

- Un voyant baisse de pression d'huile.
- Un voyant colmatage filtre de récupération d'huile.

### **I-II-10-3. CIRCUIT DE DEMARRAGE**

Le circuit de démarrage du réacteur utilise la pression du circuit de génération pneumatique. Il peut être alimenté par :

- L'APU.
- Un des réacteurs déjà en fonctionnement.
- Un groupe de parc pneumatique.

Chaque moteur est équipé de :

- Un (01) démarreur pneumatique.
- Une(01) vanne de démarrage.
- Deux (02) boîte d'allumage ( gauche et droite).
- Deux (02) bougies.

### **I-II-10-4. CIRCUIT D'ALLUMAGE**

Le dispositif d'allumage est utilisé pour provoquer l'inflammation du mélange air / carburant dans la chambre de combustion et éviter l'extinction au cours du fonctionnement. L'ensemble est constitué de deux circuits identiques et indépendants gauche et droit.

#### **circuit gauche :**

Il comprend :

- Une (01) boîte d'allumage.
- Une (01) bougie.

**circuit droit :**

Il comprend :

- Une (01) boîte d'allumage.
- Une (01) bougie.

**I-2-10-5. COMMANDES ET CONTROLE****Panneau de démarrage :**

Il est situé sur le panneau supérieur pilote ( P5 ), il comprend :

- Un (01) sélecteur de démarrage.
- Un (01) sélecteur d'allumage.

**A.Sélecteur de démarrage**

Le sélecteur de démarrage permet la sélection du programme de fonctionnement du démarreur. Il comprend quatre (04) positions :

- OFF ( ARRET ).
- GROUND (SOL).
- CONT (ALLUMAGE CONTINU ).
- FLT ( REALLUMAGE en VOL ).

**B .sélecteur d'allumage**

Le sélecteur d'allumage permet la sélection du programme de fonctionnement des circuits d'allumages. Il comprend trois (03) positions :

- LEFT ( BOITE D'ALLUMAGE GAUCHE ).
- RIGHT ( BOITE D'ALLUMAGE DROITE ).
- BOTH ( BOITE D'ALLUMAGE GAUCHE ET DROITE ).

**I-2-10-6. CIRCUIT REVERSE****1.DISPOSITIF D'EJECTION :**

Il assure :

- La détente du flux primaire.
- La détente et l'inversion de poussé du flux secondaire.

**PRINCIPE**

La tuyère est à géométrie fixe au régime de décollage, le flux primaire développe 20 % de la poussée totale du réacteur.

La tuyère secondaire est constituée de deux (02) demi-conrannes. En configuration normale la détente du flux secondaire assure 80 % de la poussée totale.

En inversion de poussée la partie extérieure des deux demi-couronnes mobiles d'éjection se déplacent vers l'arrière. Ce déplacement entraîne l'obstruction de la vanne secondaire et démasque des grilles d'éjections latérales. La totalité du flux secondaire est alors déviée et développe vers l'avant une poussée inverse.

## 2. INVERSION DE POUSSEE

L'énergie utilisée pour déplacer les demi-couronnes mobiles de l'inverseur est fournie par le circuit hydraulique avion. Le circuit hydraulique avion alimente l'inverseur de poussée du moteur n°1 (gauche) Le circuit A.

Le circuit Hydraulique B alimente l'inverseur de pousser du moteur n°2 (droite). Néanmoins un circuit hydraulique secours peut alimenter l'inverseur de pousser de n'importe quel moteur en cas de panne hydraulique des circuits A ou B.

Le système d'inversion de poussée comprend :

- Un (01) ensemble de commandes, contrôles et retour d'asservissement.
- Six (06) vérins hydrauliques.
- Deux (02) syn lock.
- Une (01) vanne d'isolement carburant.
- Une (01) valve de sélection du sens de rotation.
- Deux (02) demi couronnes ( gauche et droite ).
- Dix (10) portes.
- Douze (12) cascades.

Le contrôle de la reverse se fait par :

- L'unité électronique de contrôle moteur qui gère les transducteurs Linéaires à déplacement variable.
- L'EAU qui gère les switch de proximité, les deux syn lock , La vanne d'isolement hydraulique et la vanne de sélection du sens de rotation.

### SIGNALISATION :

- Un voyant REV apparaît sur l'indicateur N1 quand la reverse est sélectionnée.
- Le voyant s'allume ambre quand la reverse est en transite .
- Le voyant s'allume vert quand la reverse est sortie et verrouillée .
- « le voyant REV et géré par l'unité électronique de contrôle moteur (EEC) »
- Un voyant REVERSE s'allume ambre pendant 10.5 secondes lors de la rentrée reverse.
- Il s'allume ambre et reste allume quand il y a une panne reverse.
- « le voyant reverse et géré par l'EAU »

### I-II-10-7. CIRCUIT DE COMMANDE

Chaque réacteur est équipé de :

- Une (01) manette de poussée.
- Une (01) manette de démarrage.
- Une (01) manette reverse.

- Une (01) manette poignée coupe feu.
- La commande de la poussée par l'auto manette.

#### I-2-10-8. UNITE ELECTRONIQUE DE CONTROLE MOTEUR (EEC)

L'unité électronique de contrôle moteur est un microprocesseur électronique digitale. Il est fixé sur le carter fan.

- Il comporte dix (10) prises électriques identifiées de J1 à J10
- Il est refroidit par de l'air ambiant.

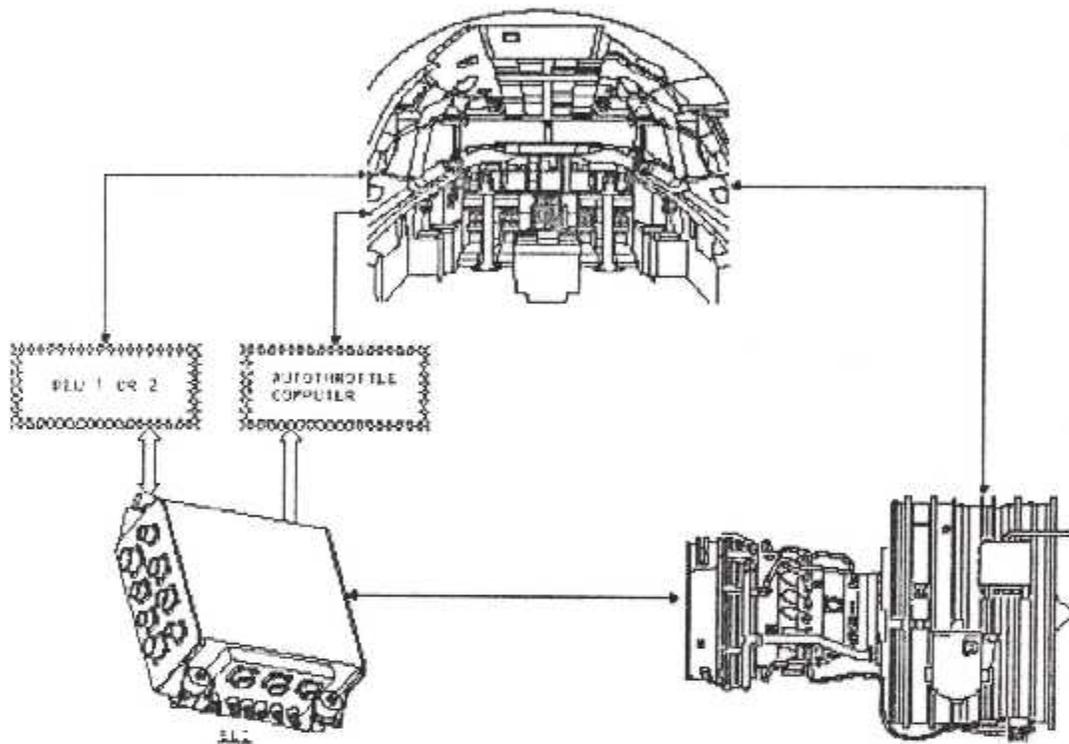


Fig. I-11 Description générale du EEC

L'unité électronique de contrôle moteur assure les fonctions suivantes :

- Le contrôle de la poussée moteur.
- Gère le circuit reverse.
- Gère le circuit de démarrage et allumage.
- Gère le circuit d'air.
- Gère le circuit carburant.
- L'interface moteur / calculateur auto-manette.
- L'interface motrice / calculateur de gestion de vol.
- La protection limite des paramètres N1, N2, et EGT.
- Mémoire des pannes des dix (10) derniers vol.
- Affiche les pannes des dix (10) derniers vol au niveau de l'écran d'affichage.

### 1-2-10-9. REGULATEUR PRINCIPAL CARBURANT (HMU)

- Le régulateur principal carburant (HMU) est localisé sur le carter fan .
- Il est entraîné par la gearbox via le N2
- Il est fixé sur la pompe carburant HP

Le HMU comprend :

- Un galet doseur (FMV)
- Un robinet carburant haute pression (HPSOV)
- Six électrohydraulique servo vanne (EHSV)
- Un by-pass

Le HMU est commandé par le EEC

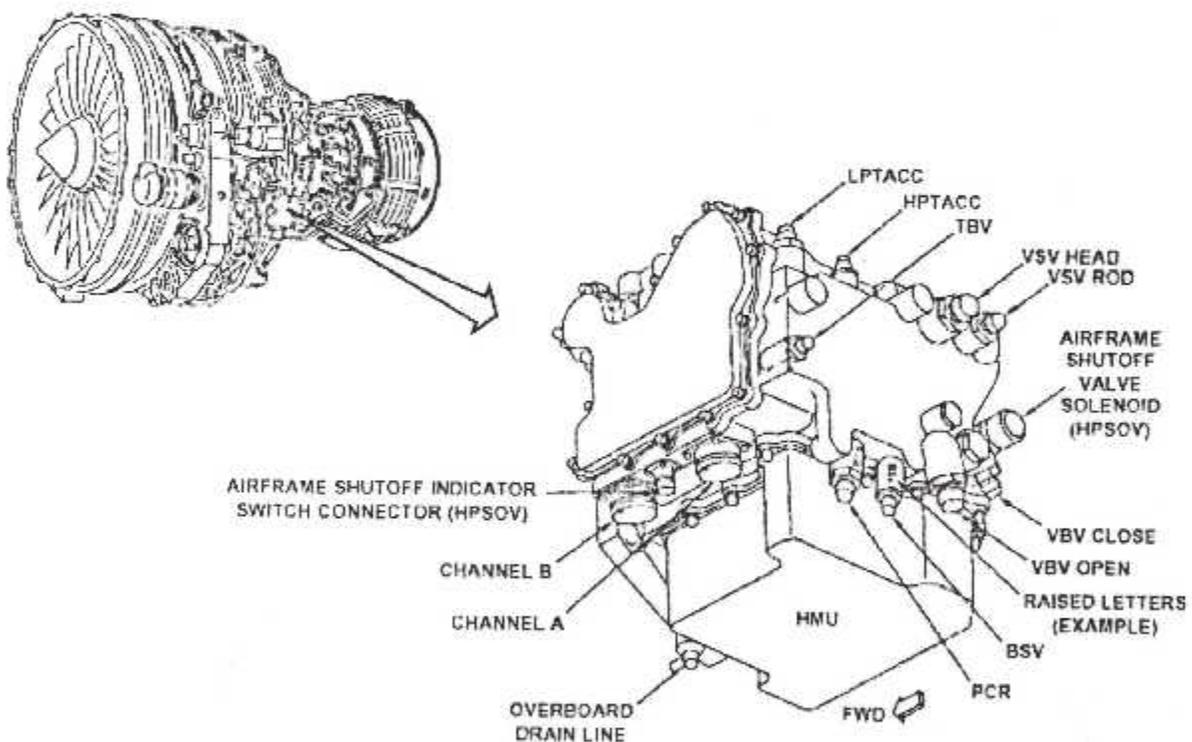


Fig. 1-12 Unité hydromécanique (HMU)

### 1-2-10-10. SYSTEME D'INDICATION

❖ La surveillance du fonctionnement des réacteurs est effectuée à partir :

- D'indicateurs situés sur l'écran supérieur et inférieur au panneau P2 du cockpit.
- NL.
- EGT.

- N2.
- Mesure du débit de carburant.
- Pression d'huile.
- Température d'huile.
- Quantité d'huile.
- Vibrations.

❖ Sur l'écran supérieur apparaissent les paramètres primaires moteur :

- N1 ( vitesse de rotation attelage basse pression ).
- EGT ( température des gaz d'échappement ).

❖ Sur l'écran inférieur apparaissent les paramètres secondaires moteur :

- N2 ( vitesse de rotation de l'attelage haute pression ).
- Mesure du débit carburant.
- Pression d'huile.
- Température d'huile.
- Quantité d'huile.
- Vibration ( N1 / N2 ).

#### 1-2-10-11.SYSTEME D'AIR

Le système d'air a pour rôle d'assurer le bon fonctionnement de moteur en contrôlant ;

- Le jeu turbine : haute pression (HPTACC) et basse pression (LPTACC)
- Les position des valves ; VBV, VSV, TBV pour éviter le phénomène de pompage

##### 1. Le contrôle de jeu turbine haute pression (HPTACC)

Le contrôle de jeu turbine haute pression est assuré par la vanne de refroidissement carter turbine HP qui refroidit le carter de la turbine haute pression par l'air prélevé du 4<sup>ème</sup> et 9<sup>ème</sup> étage de compresseur haute pression.

##### 2. Le contrôle de jeu turbine basse pression (LPTACC)

le contrôle de jeu turbine basse pression est assuré par la vanne de refroidissement carter basse pression qui contrôle la quantité d'air provenant de flux secondaire et l'envoi pour refroidir le carter de la turbine basse pression (LPT)

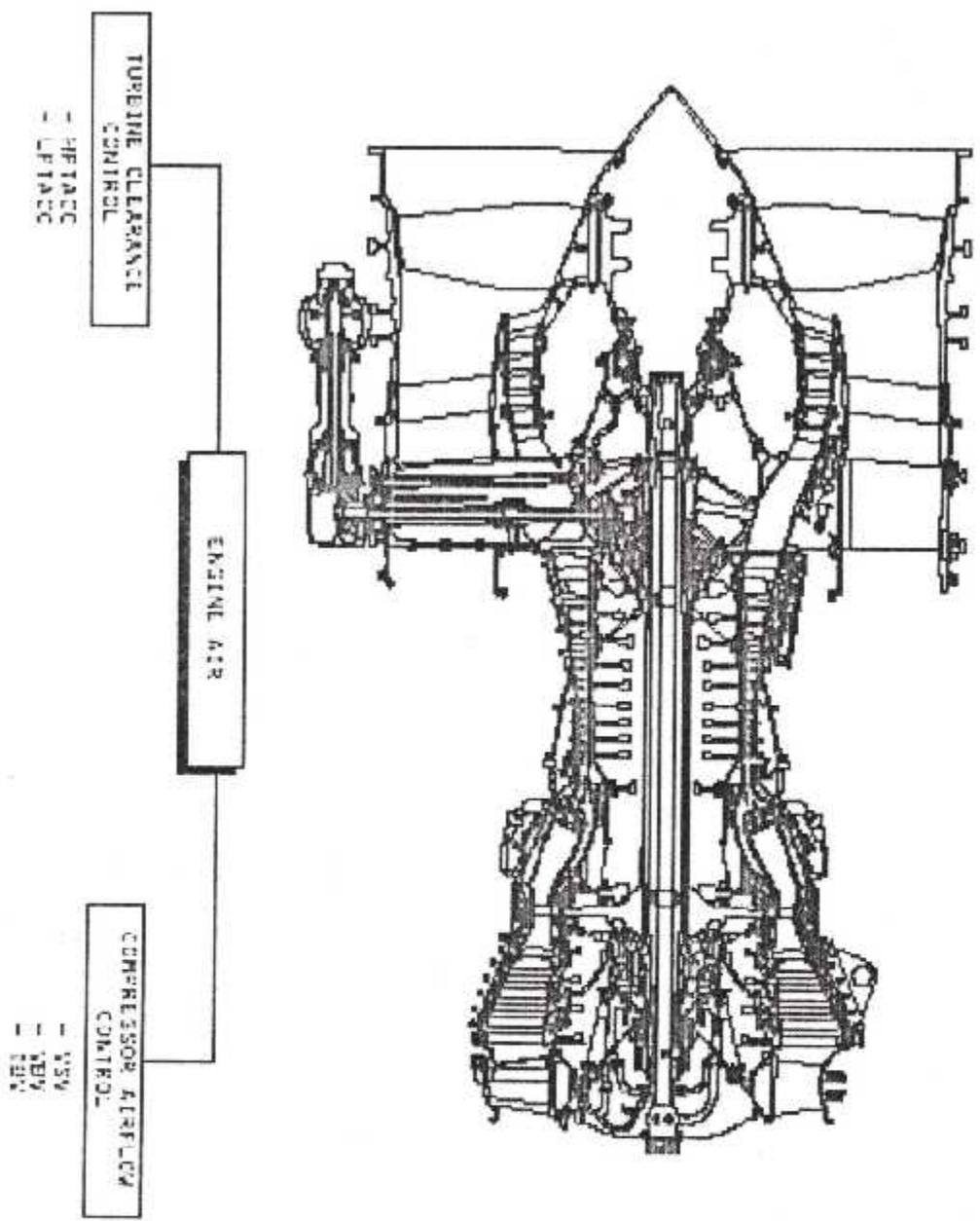


Fig. I-13 Système d'air du moteur

# CHAPITRE II

## CHAPITRE-II. DISPOSITIF ANTI-POMPAGE DES DEUX REACTEURS

### II-I. LE PHENOMENE DU POMPAGE :

Au régime de marche nominale du compresseur, l'écoulement d'air qui à travers les ailettes de compresseur (BP) doit être laminaire mais aux certains régimes, l'air arrive à l'entrée de compresseur (BP) à une certaine vitesse d'entraînement, l'angle d'incidence des ailettes va augmenter et lorsqu'il est important, l'épaisseur de la couche limite augmente alors l'écoulement d'air devient tourbillonnaire et entraîne un décrochage aérodynamique de l'étage et l'air dans ce cas au lieu de s'écouler du compresseur vers la chambre de combustion il va retourner vers l'extérieur.

Cette inversion de l'écoulement d'air amène une augmentation d'incidence sur les derniers étages qui deviennent efficaces, ce qui permet au débit de redevenir normal. Ce ci entraîne de nouveau une diminution d'incidence sur les derniers étages et une augmentation de la contre-pression d'où l'inversion de débit, le même cycle recommence .

L'inversion de l'écoulement d'air entraîne une surchauffe au niveau de la chambre de combustion donc la température des gaz sortants de la chambre de combustion est très élevée, et aux contraintes thermiques, les ailettes de la turbine (HP) vont subir une déformation qu'on appelle le fluage.

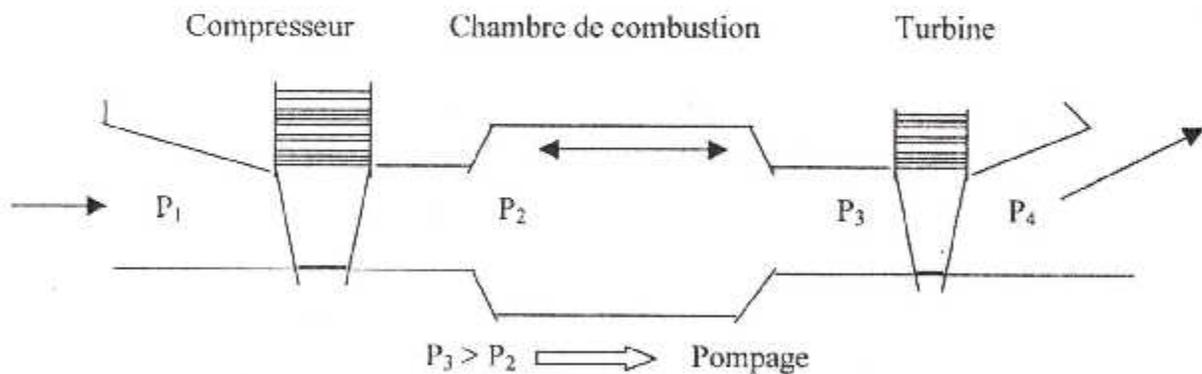


Fig. II-1 schéma explicatif au pompage

#### II-I-1. CARACTERISTIQUES DU POMPAGE

La marche instable de compresseur (le pompage) est caractérisée par des oscillations périodiques brutales de la pression et des vitesses dans l'écoulement

D'air traversant le compresseur, des oscillations de la veine d'air dans le moteur et parfois par des retours d'air du compresseur dans l'entrée d'air .

## II-I-2. COURBES CARACTERISTIQUES DU FONCTIONNEMENT DU COMPRESSEUR :

Afin de donner les caractéristiques du compresseur, ce dernier est testé sur un banc compresseur, constitué de la façon suivante :

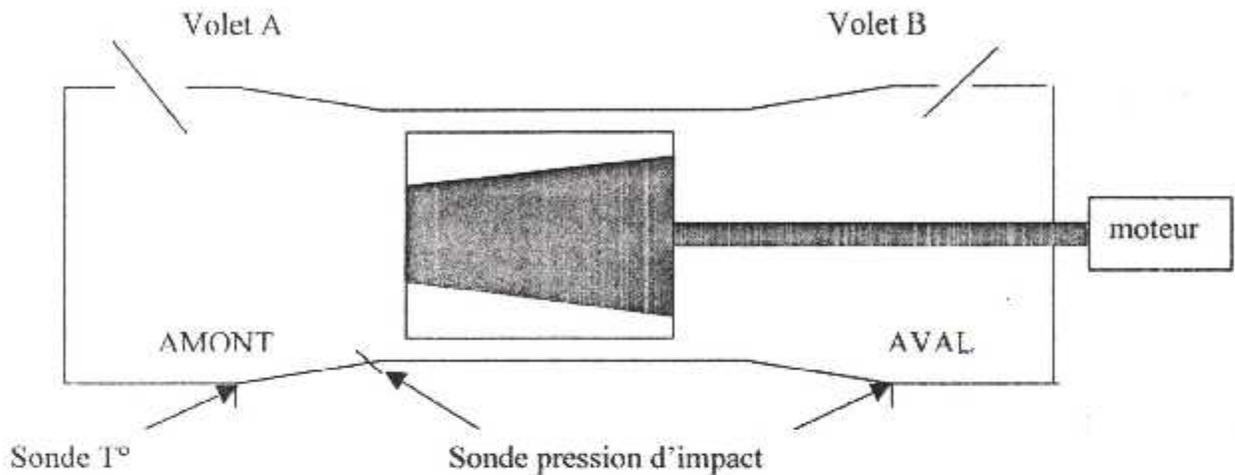


Fig. II-02 banc d'essai compresseur

Le rotor est accouplé à un moteur électrique dont on peut faire varier le régime (nombre de tours/minute). Le compresseur reçoit sur sa partie avant une chambre munie d'un volet permettant de régler le débit d'air et la pression amont, il reçoit également à sa partie avale une chambre munie d'un volet.

Les chambres amont et avale sont assez vastes pour que les vitesses d'écoulement d'air soient négligeables.

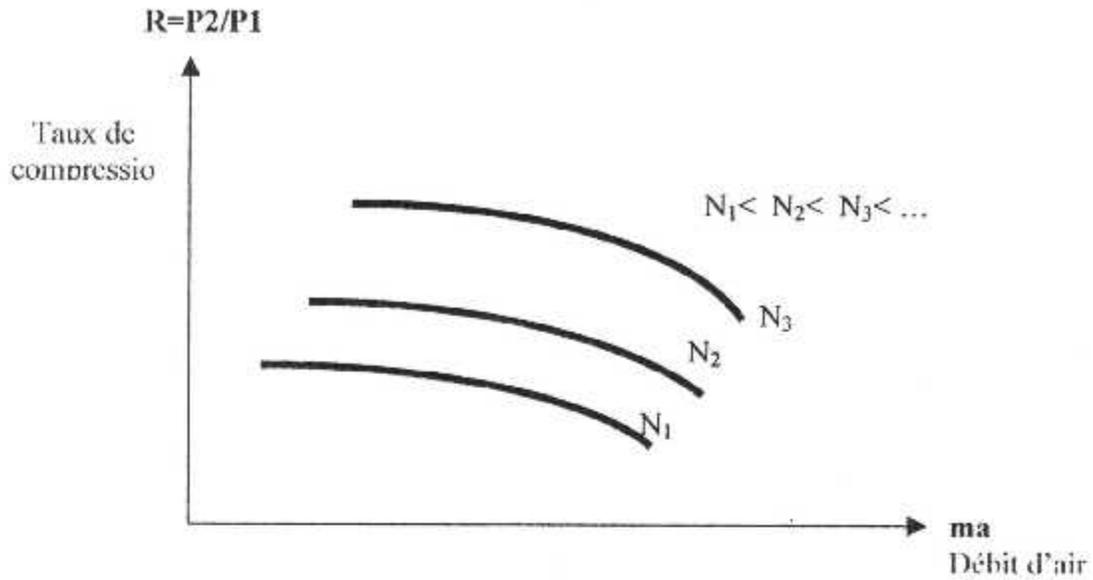
A un régime donné par le moteur électrique ( $N_1$ ), en faisant varier le débit d'air par l'intermédiaire des volets et on suit la variation du taux de compression qui est défini par :

$$R = p_2/p_1.$$

$P_2$  = pression sortie compresseur.

$P_1$  = pression entrée compresseur.

En changeant à chaque fois la vitesse de rotation du moteur électrique ( $N_2, N_3, \dots$ ), on obtient les courbes illustrées si-dessous.

Fig. II-3 courbe  $R=F(ma)$ 

On constate que :

AN : constante, R : aux faibles débits est sensiblement constant, puis il chute rapidement quand les débits augmentent.

A débit constant, le taux de compression augmente quand le nombre de tours augmente.

Pour compléter le diagramme ci-dessus, il est nécessaire de tracer la ligne de pompage qui apparaît lorsqu'on réduit trop le débit.

Cette ligne nous permet d'éviter de fonctionner le compresseur dans la zone de pompage .

En effet, une grande réduction du débit entraîne une diminution de la vitesse d'entrée à chaque étage et donc un décrochage des aubes amenant au pompage.

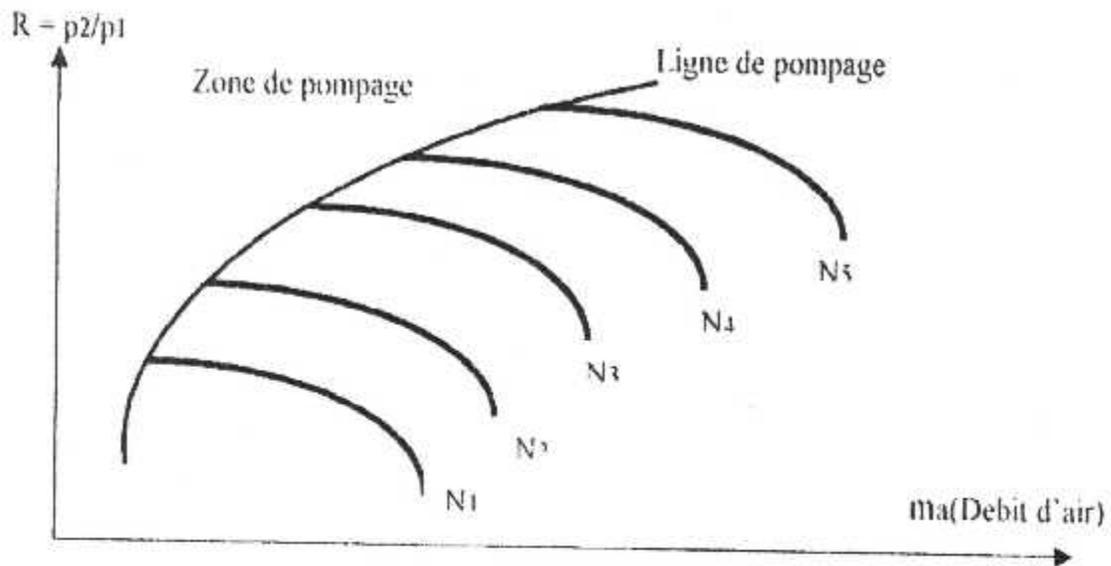


Fig. II-4 La ligne de pompage

Il est également intéressant de tracer sur ce diagramme, les courbes iso-rendement du compresseur. En pratique, le calcul du rendement de compresseur est aisé puisqu'il est facile de déterminer la puissance fournie au compresseur par le moteur d'entraînement.

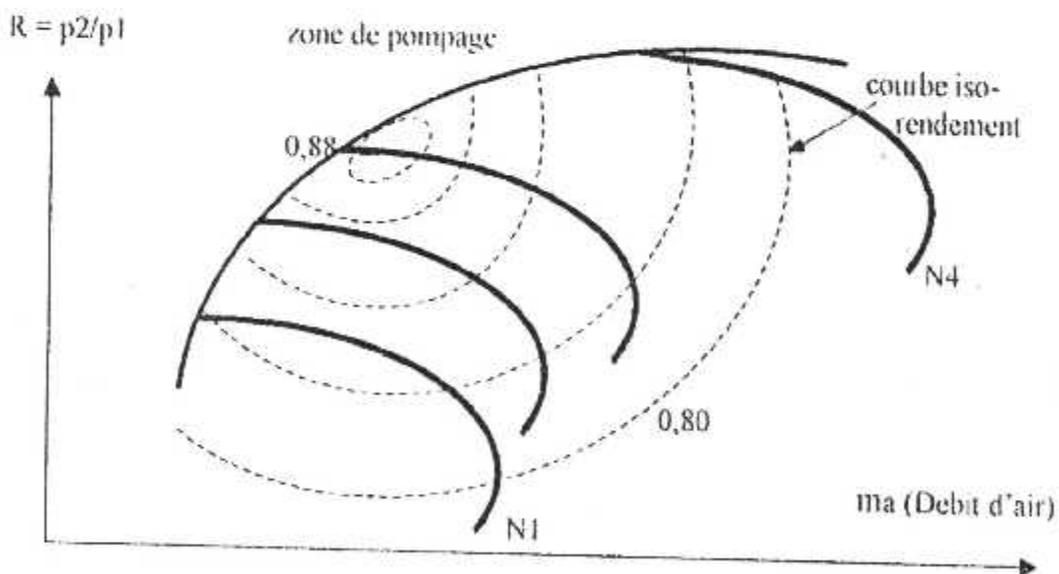


Fig. II-5 Courbe iso-rendement

On voit que le rendement augmente lorsque l'on se rapproche de la ligne de pompage. Les constructeurs cherchent donc à faire fonctionner le compresseur dans ces zones de rendement élevé, mais encore faut-il ne pas risquer de tomber dans la zone de pompage.

### II-I-3. DEVELOPEMENT DE LA COUCHE LIMITE DYNAMIQUE AUTOUR D'UN PROFIL

Il convient tout d'abord de rappeler que la couche limite dynamique est une couche mince très près de la paroi dont les plus importantes forces de viscosité se manifestent, en raison de fortes variations de la vitesse sur une très courte distance (épaisseur de la couche limite dynamique).

Lorsque cette couche limite est laminaire, le compresseur fonctionne normalement (la marche stable).

A partir du point T (point de transition) l'écoulement devient tourbillonnaire, le fonctionnement du compresseur devient perturbé.

### II-I-4. LE PHENOMENE DE POMPAGE DANS LES COMPRESSEURS AXIAUX :

#### II-I-4-1. PRESENTATION DE PROBLEME :

Il est classique de présenter la carte des performance d'un compresseur axial dans le plan rapport de pression débit sur chaque courbe caractéristique à vitesse de rotation constante (iso vitesse).

il existe un point rapport de pression au delà duquel apparaît un régime localement ou globalement stationnaire.

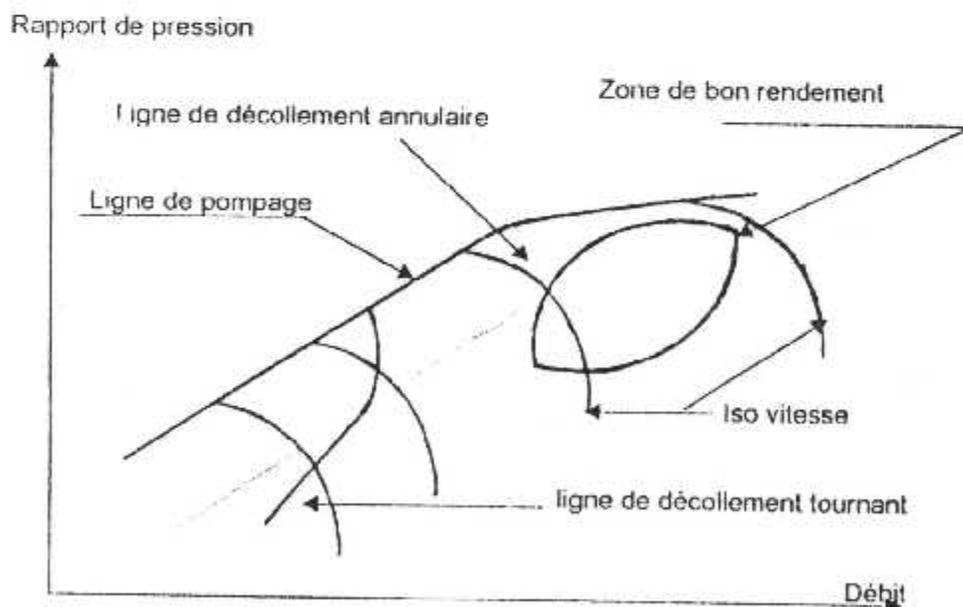


Fig. II-6 Courbe des zones d'instabilité

Ces régimes peuvent être essentiellement de quatre types : d'écoulement, annulaire, flottement ou pompage, décollement tournant.

Le pompage est un régime instationnaire qui affecte l'ensemble (compresseur-circuit récepteur). Il est caractérisé par une oscillation axiale du débit à faible fréquence avec des amplitudes considérables.

L'aisance d'un tel phénomène dépend non seulement du compresseur mais aussi de son environnement, elle peut néanmoins être déclenché par la présence d'écoulement tournant ce régime inacceptable, en raison de graves dangers qu'il présente oblige les instructeurs à prévoir une (marge de pompage), c'est à dire une limite du domaine de fonctionnement qui exclut l'ensemble de ses instabilités. Le problème est d'autant plus critique que la zone de bon rendement voisin avec cette marge doit se faire au niveau de d'opération optimum et de l'influence des hétérogénéités de l'écoulement à l'entrée du compresseur.

#### II-1-4-2. MARGE AU POMPAGE ET L'ENVIRONNEMENT DU COMPRESSEUR

La marge au pompage, nous l'avons vus, estime la distance entre la ligne de fonctionnement (définie généralement comme le lieu géométrique, dans le plan taux de compression-débit, des point de rendement maximal) et la ligne de pompage (limite de fonctionnement stable) pour une iso vitesse deux thèses s'affrontent :

- la première intéresse à la distance entre le point nominal et un point de pompage sur la même iso vitesse .
- la deuxième à la distance entre le point nominal et un point sur la ligne de pompage se trouvant au même débit du point nominal.

A- La marge au pompage basé sur la pente initiale ( $M_{pi}$ ) :

Cette définition de la marge au pompage ne s'intéresse qu'au pompage sur une même iso vitesse indépendamment de la forme de la ligne de pompage sur les autres iso vitesse.

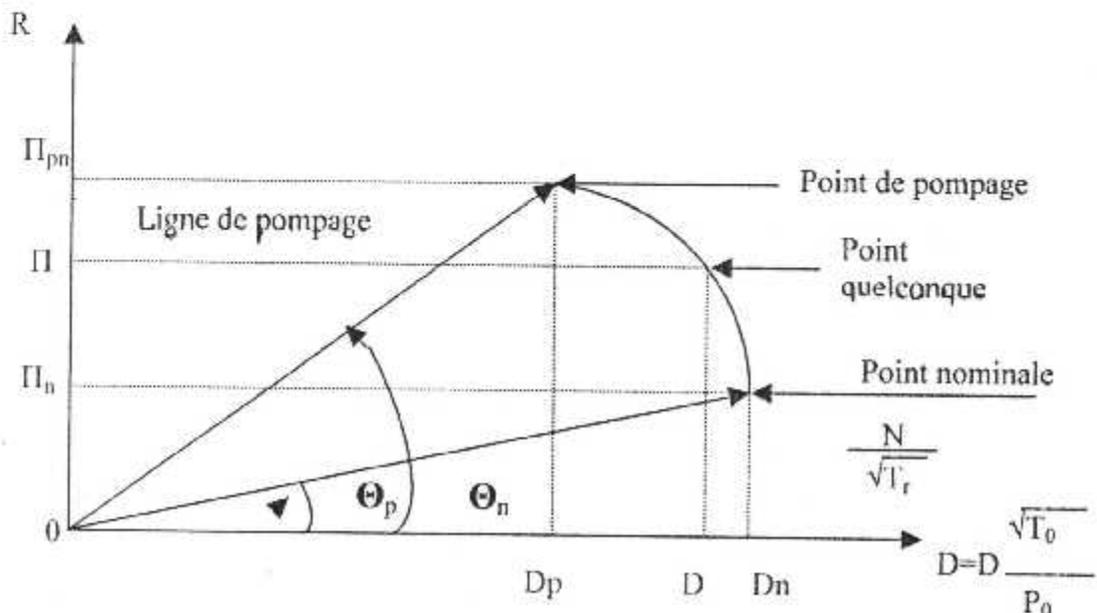


Fig. II- 7 : marge au pompage basé sur la pente initiale ( $M_{pi}$ )

$$\text{On a : } M_{pi} = \frac{[\Pi_{pn} / D_p]}{[\Pi_n / D_n]^{-1}} * 100$$

$M_{pi}$  mesure la distance angulaire entre le point nominal et le point de pompage .cette définition la plus souvit utilisée par le rapport NASA, peut être exprimée également par ;

$$M_{pi} = \left( \frac{\text{tg } \Theta_p}{\text{tg } \Theta_n} - 1 \right) * 100$$

On utilisant la même méthode, on peu définir un point quelconque sur une vitesse donnée par un paramètre appelé (XMARGE).

$$\text{XMARGE} = \frac{\Pi / D}{[\Pi_n / D_n]^{-1}} * 100$$

- Au point nominal XMARGE=0,0%
- Au point de pompage XMARGE =  $M_{pi}$ .
- Pour  $\Pi < \Pi_n$  XMARGE est négatif.
- Pour  $\Pi > \Pi_n$  XMARGE est positif.

*B- Marge au pompage basée sur isodébit ( $M_{pd}$ ) :*

Cette marge au pompage est la plus utilisée dans l'industrie.

La simplicité de cette définition est évidente, elle s'intéresse directement au taux de compression .la notion d'iso débit n'est pas éloignée de la méthode de calcul hors adaptation généralement utilisée et dans laquelle on impose un débit.

Les effets de l'environnement sur la marge au pompage :

Le phénomène de pompage dépend non seulement du compresseur mais aussi de son environnement. Le pompage est un régime instationnaire qui affecte l'ensemble compresseur-circuit-recepteur.(GREITER)a montré depuis 1976, l'importance de circuit générale amant et aval, dans lequel est installé le compresseur .

D'autre ,il est connu que la ligne de pompage d'un compresseur est fonction des hétérogénéités de l'écoulement à l'entrée. C'est le cas de la phase de vol à forte incidence ou au d'écoulement de la marche d'entrée.

Le moteur provoque les distorsions radiales et circonferentielles de vitesse et de pression qui affectent la ligne de pompage .

Une marge au pompage doit tenir compte d'un certains nombre d'effets :

- Le niveau prévu des distorsions à l'entrée.
- Une certaine tolérance vis-à-vis de ses distorsions.
- Les effets de nombre de Reynolds.
- La détérioration particelle des éléments de la machine.
- Le vieillissement.
- Les phases transitoires d'accélération.
- On estime qu'un compresseur moderne a une marge au pompage (Mpd) de 20% représentant la somme de :
  - 5% pour tenir compte des distorsions prévues.
  - 3% de tolérance.
  - 2% pour tenir compte de détériorations de la machine.
  - 10% pour tenir compte des phases transitoires. En effet, durant la phase d'accélération, le débit carburant augmente, la variation d'enthalpie (H) fournie par la turbine augmente plus vite que n'augmente le débit du compresseur lors d'un fonctionnement stabilisé et pourtant, le taux de compresseur supérieur à la valeur stabilisée.

#### II-1-4-3. AUTRES ELEMENTS PERMETANTS L'AMELIORATION DE LA MARGE AU POMPAGE :

Parmi les éléments de construction de chaque étage, quelques-uns ont été étudiés en détail dans la littérature. Ces éléments sont :

- L'incidence nominale.
- Les jeux au bout de l'aube.
- L'allongement.
- La solidité.
- Le traitement du carter.
- Vannes de décharge.
- Géométrie variable des stators.

#### II-1-5 LES CAUSES DE POMPAGE :

##### II-1-5-1 FAIBLE REGIME :

Le compresseur est dimensionné pour fonctionner à des régimes très proches de son régime maximal, il s'ensuit qu'aux faibles régimes, le fonctionnement s'en trouve perturbé.

Nous remarquons que pour une vitesse d'entrée d'air  $\vec{V}$  et une vitesse  $\vec{U}$  (correspondant à un régime voisin de  $N_{max}$ , le fonctionnement est correct).

Par l'intermédiaire de la manette des gaz, diminuant brutalement le régime moteur,  $\vec{U}$  va chuter, à même vitesse d'entrée  $\vec{V}$ , les filets d'air se présentent avec une incidence trop fortement négative, ceux-ci décrochent et entraînent le pompage.

### II-1-5-2 LE POMPAGE SUR REPRISE OU OBSTRUCTION THERMIQUE :

Un rapport de carburant trop important dans la chambre de combustion peut provoquer le pompage de compresseur.

En effet, la commande de poussée est en relation directe avec le débit de carburant. Si le pilote accélère brusquement, le débit carburant va augmenter ainsi que la quantité de chaleur apportée dans la chambre de combustion.

Cette augmentation de température est se traduit par une obstruction à la sortie de compresseur. C'est à dire une diminution de débit d'air pouvant entraîner un pompage. Pour bien comprendre, nous prenons l'exemple qui exprime le type de pompage.

Soit (A) est le point de fonctionnement en régime stabilisé correspondant  $N1/\sqrt{L1}$  et supposant que nous voulons passer au point (B), le régime stabilisé qui correspond à  $N2/\sqrt{L2}$  pour cela on augmente le débit carburant.

Si l'apport de carburant n'est pas trop important, le point (A) va se déplacer en (A') à cause de l'inertie de l'attelage compresseur-turbine.

L'énergie de pression ayant augmenté dans la chambre de combustion et le couple résistant du compresseur n'ayant pas varié. Donc l'énergie récupérée par la turbine augmente et le régime de rotation de l'attelage augmente aussi.

Le débit d'air et le taux de compression croissent jusqu'à atteindre une valeur correspondante au point (B). mais si l'apport de carburant est trop important, le point (A) va se déplacer en (A'').

On constate alors une très forte diminution du débit d'air alors que le point (A'') est situé dans la zone de pompage (voir courbe)

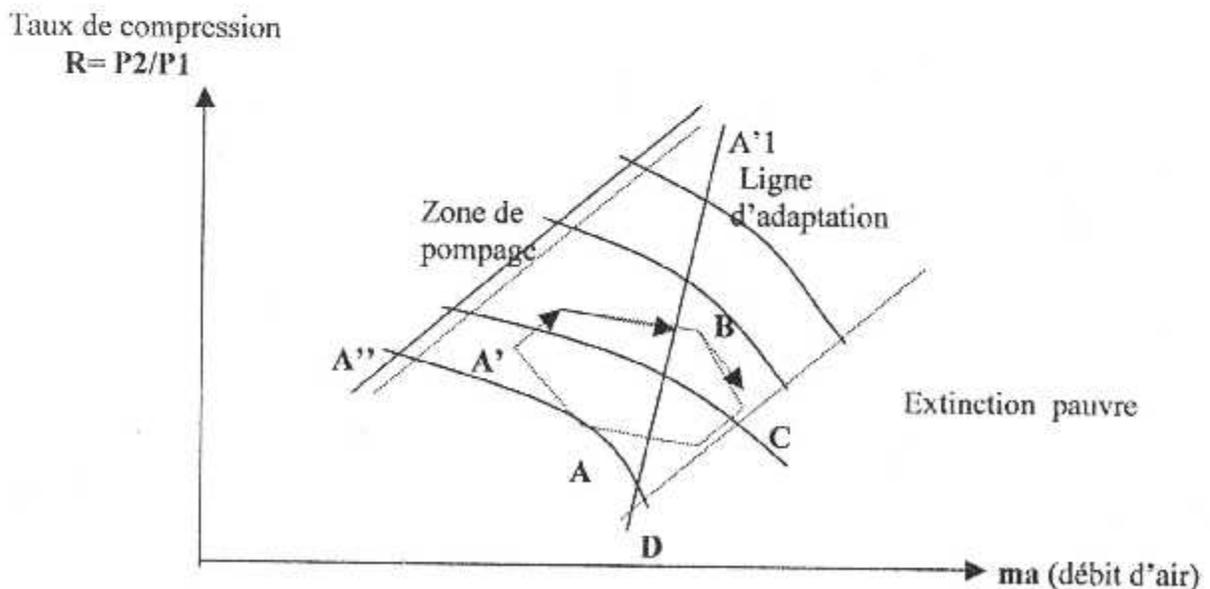


Fig. II-8. Courbe caractéristique au pompage sur reprise ou obstruction thermique

## II-1-5-3 Conditions de vol :

On désigne trois paramètres (conditions) de vol ayant des origines diverses qui peuvent provoquer un pompage.

## a) le pompage tournant

Précédemment nous avons supposé que l'entrée d'air fournit un profil de vitesse homogène à l'entrée de compresseur.

En réalité, il peut régner dans certains cas une hétérogénéité provoquant un décrochage local sur certains aubages rotor du premier étage.

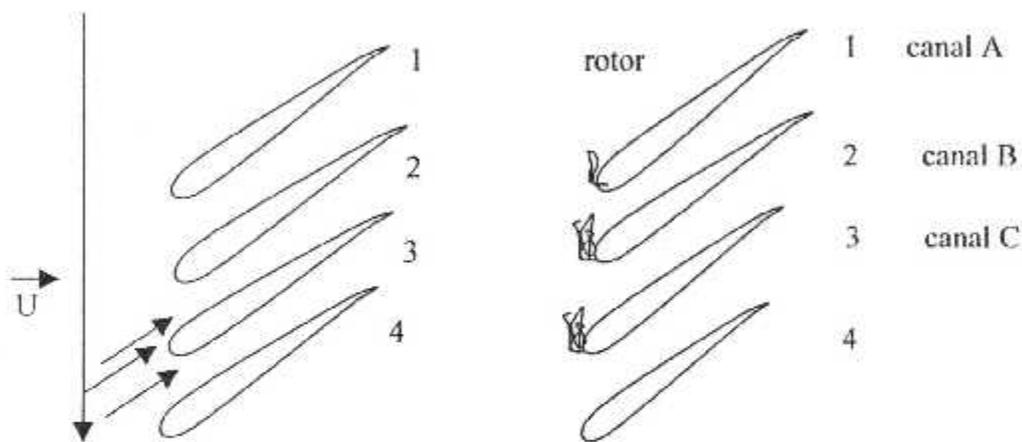


Fig. II-9. propagation de décrochage tournant

*Explication :*

Supposant que les aubes (2) et (3) décrochent, les canaux (B) et (C) s'obstruent complètement ils ne débitent plus, alors que le débit totale reste inchangé. Cette chute de débit modifier les incidence locales de l'aube (2) et (4) l'incidence de l'aube (2) diminue alors que celle de (4) reçoit.

L'aube (4) décroche à son tour alors que l'aube (2) raccroche. La zone de décrochage se déplace. Donc le sens de déplacement du décrochage par rapport au stator semble inverse au sens de rotation du rotor.

On peut trouver sur un compresseur plusieurs zones de décollement tournant. Un décollement tournant même très locale peut amené le décrochage complet de la rangée d'aube entraînant un pompage.

Le décollement tournant est très néfaste au compresseur un décrochage périodique peut entraîner la rupture par fatigue.

## II-1-5-4. INFLUANCE DE LA TEMPERATURE :

Une montée en altitude s'accompagne d'une diminution simultanée de la température entrée compresseur et de débit d'air Ma (carefaction de l'air) pouvant conduire au pompage, on a :

$$\rho = \rho_0(20-Z)/(20+Z) \quad \text{avec:}$$

- $\rho$  : la masse volumique de l'air à une altitude Z (KG/m<sup>3</sup>).
- $\rho_0$  : la masse volumique de l'air au niveau de la mer(Z=0).
- Z : Altitude .

$$Ma = \rho SV \quad \text{avec :}$$

- Ma : débit masse d'air .
- S : surface d'écoulement d'air.
- V : vitesse d'écoulement d'air .

Nous remarquons que lorsque l'altitude Z augmente, la masse volumique  $\rho$  et le débit masse d'air Ma diminuent

## I-1-5-4. EFFETS DE LA VISCOSITE :

nous avons supposé dans notre étude précédente que l'air est supposé comme étant un fluide parfait mais l'air est un fluide visqueux .

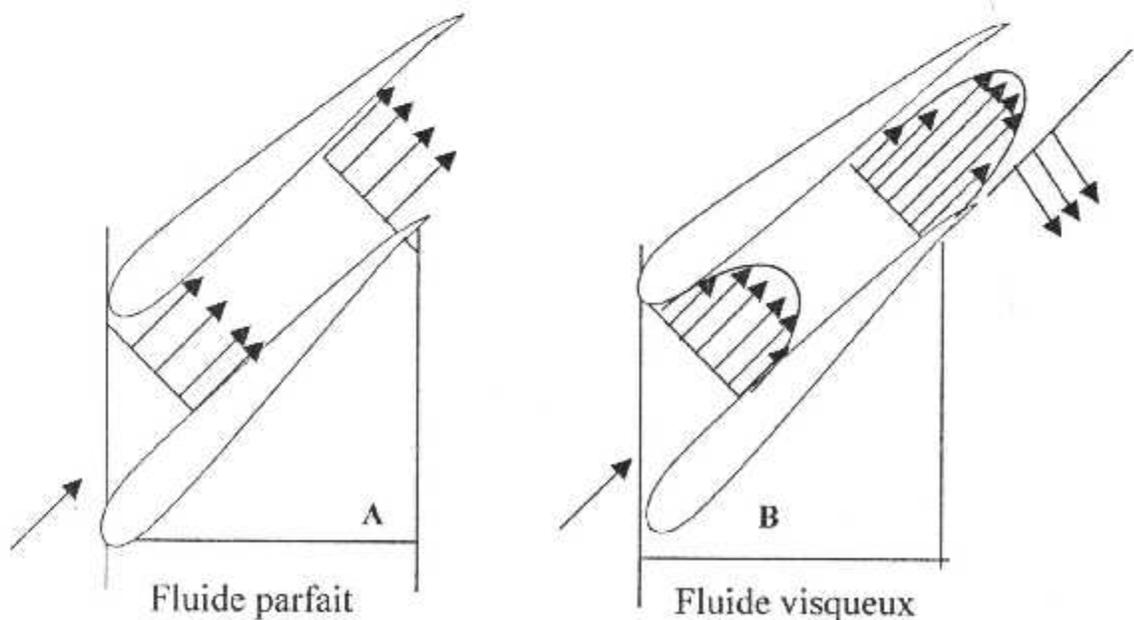


Fig. II-10 influence de la viscosité

Le décrochage aérodynamique peut intervenir de forte incidence ou un dérapage important. Les deux cas précédents entraînent un pompage par diminution de débit d'air et du taux de compression et se rencontre surtout sur les avions militaires qui volent aux hautes altitudes (épaississement de couche limite) ou a des incidences élevées.

Ce type de décollement est d'autant plus fort que la viscosité cinématique est élevée or celui-ci croit avec l'altitude pouvant ainsi entraîner un pompage en altitude .

#### II-1-5-6. INFLUENCE DE L'ENTREE D'AIR

Toute variation brutale du débit d'air à l'entrée d'air lorsque l'avion fait :

- Une ressource rapide.
- Une assiette très cabrée
- Un dérapage de frottement

Peut causer le pompage par diminution du débit d'air et du taux de compression rencontré surtout sur les avions militaires qui volent aux hautes altitudes.

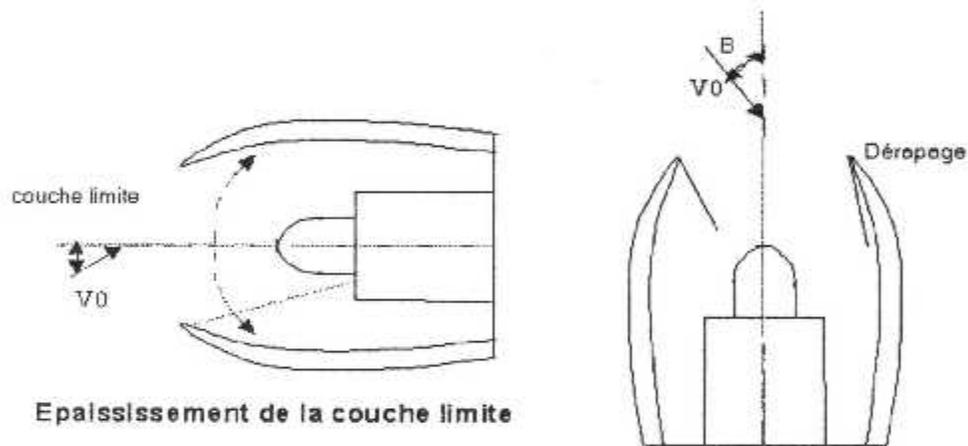


Fig. II-11 l'influence de l'entrée d'air

#### II-1-6 Autres cas de pompage :

- ❖ lors du tir d'un missile, l'aspiration des gaz chauds de la propulsion entraîne une diminution de débit d'air pouvant conduire au pompage.
- ❖ Dans les turboréacteurs avec poste de combustion, l'allumage de celui-ci, avec une section de sortie ou d'éjection trop faibles, entraînent une augmentation de la température dans la tuyère. Cela amène une obstruction thermique qui conduit par suite au pompage et l'extinction du moteur .
- ❖ Le cas de deux avions se suivent de trop près, le second absorbe les gaz chauds sortants de la tuyère du premier, alors cela risque de s'approcher de la zone de pompage.
- ❖ Des détériorations du compresseur (absorption du corps étrangers) peuvent entraîner pour un même débit, un taux de compression plus, la ligne de pompage descend.
- ❖ Augmentation brusque et importante du débit de carburant, dans ce cas, le freinage se situe à la sortie même du compresseur.

- ❖ Un blocage de débit à cause d'une apparition d'un col sonique à un distributeur de turbine, dans une phase de fonctionnement où l'écoulement devait être normalement sonique.

### **II-1-7. LES CONSEQUENCES DE POMPAGE :**

- augmentation de la température pouvant endommager la turbine
- vibrations importantes pouvant conduire à la détérioration des paliers et d'aubage
- bruits anormaux et violents, émission de la flamme, risque d'extinction, ...
- diminution des performances du réacteur (baisse de pression).

Donc le pompage est un phénomène de fonctionnement instable, et très dangereux qui intéresse non seulement le compresseur, mais aussi l'ensemble de la machine, il peut aller jusqu'à causer la perte de la totalité de la pression et par suite l'arrêt moteur.

Pour éviter ce phénomène, on utilise le dispositif anti-pompage.

## **II-2. DISPOSITIF ANTI-POMPAGE EN CF6 80 A3**

### **II-2-1.GENERALITES :**

Le système anti-pompage assure la décharge dans le réacteur CF6-80A3 par :

- 12 vannes de décharge (VBV) installées sur la veine de refoulement du compresseur (BP)
- Des aubes de pré rotation (IGV)
- Des aubes de stator des cinq premiers étages du compresseur HP(VSV)

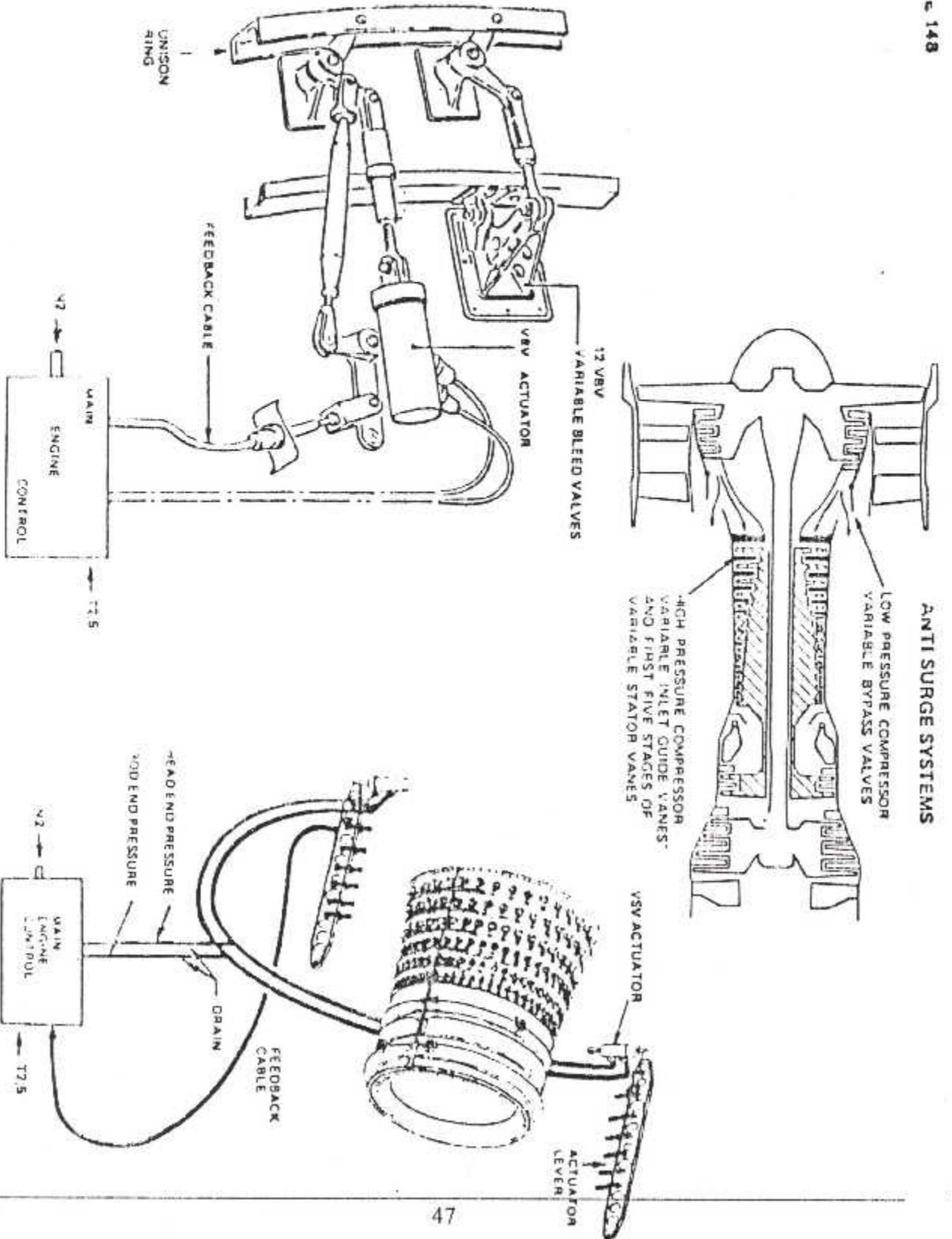


Fig. II-12 Dispositif anti-pompage

### II-2-1-1. LES VANNES DE DECHARGE (VBV)

Le compresseur BP étant destiné à alimenter le compresseur HP, fournit un taux de compression faible mais adopté aux régimes élevés.

Au bas régime le débit d'air qu'il fournit est généralement excessif au besoin, c'est à dire son taux de compression est trop élevé, ce qui provoque le pompage, la décharge du compresseur BP est réalisée par l'ouverture d'une série de 12 vannes, ces vannes appelées VBV (Variable bleed valves) sont disposées en arrière du compresseur BP. Elles sont interconnectées par un anneau de commande (unising ring) et actionnées par deux vérins hydrauliques.

C'est le régulateur carburant (MEC) qui détermine la position des VBV. Il actionne les deux vérins en utilisant le carburant de circuit d'alimentation du réacteur.

Les VBV permettent de réguler le débit d'air primaire dans le moteur pour diminuer les risques de pompage du compresseur lorsque celui-ci travaille en dehors des conditions optimales de fonctionnement, c'est à dire :

- A bas régime.
- En accélération rapide
- En décélération rapide

Dans ces conditions, le régulateur carburant commande l'ouverture progressive des VBV, entraîne une diminution du rapport manométrique du compresseur BP et une augmentation de son débit d'air.

Donc les risques de pompage du compresseur BP ainsi réduits.

A régime élevé et stabilisé, en conditions standards, le réacteur fonctionne à son régime d'adaptation, les VBV sont fermées.

#### Les vérins de commande VBV

Les vérins de commande des VBV sont montés sur la partie arrière du carter fan aux positions 4h et 10h, chaque tige du piston de vérin est liée avec une bielle qui entraîne un anneau. L'anneau est connecté à 12 autres bielles qui assurent la position des VBV.

La sortie des pistons des vérins provoque une rotation en arc de cercle de l'anneau dans le sens contraire des aiguilles d'une montre et ouvre les VBV. La rétraction des pistons déplace l'anneau dans le sens des aiguilles d'une montre et provoque la fermeture des VBV.

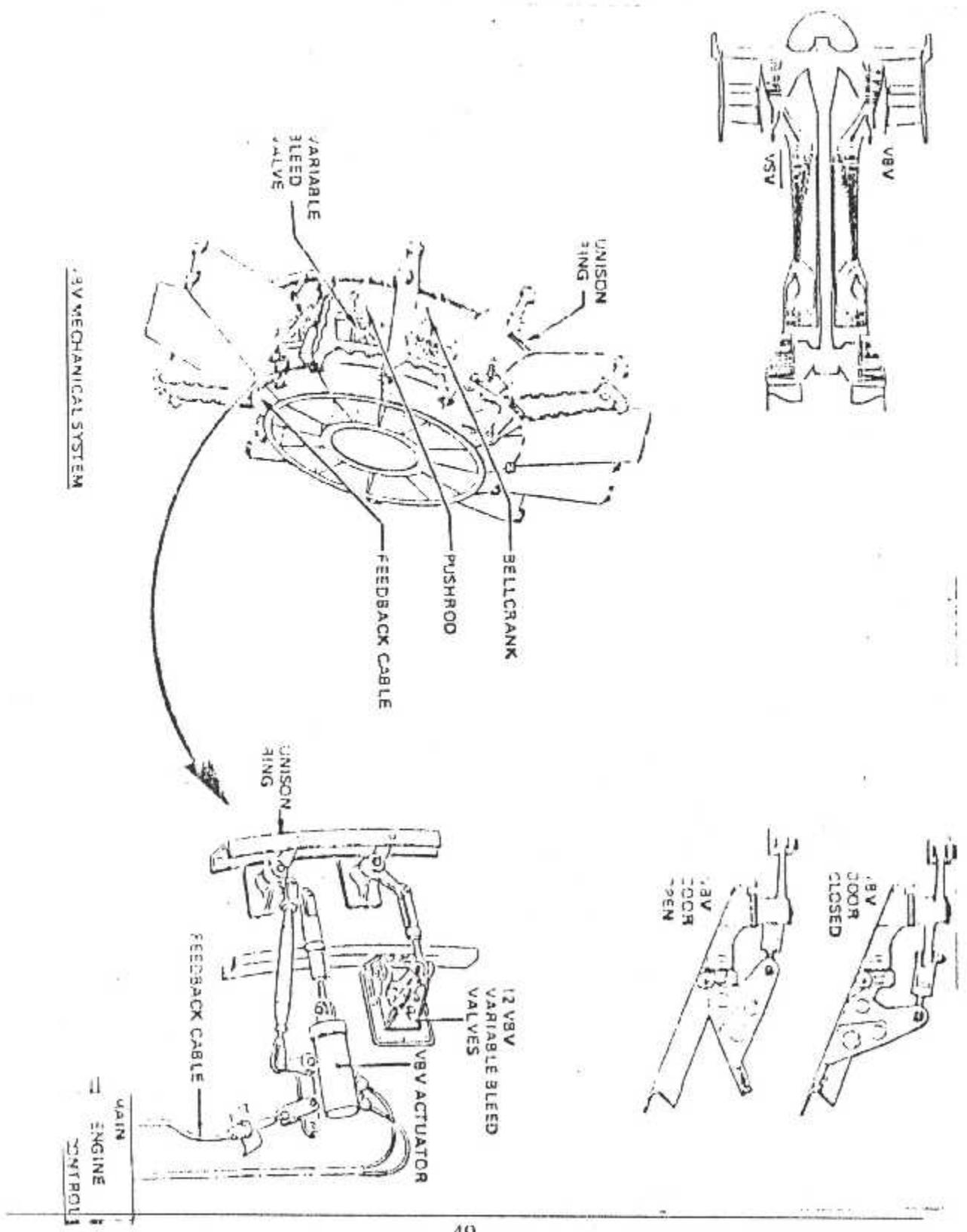


Fig. II-13 Les vannes de décharge VBV

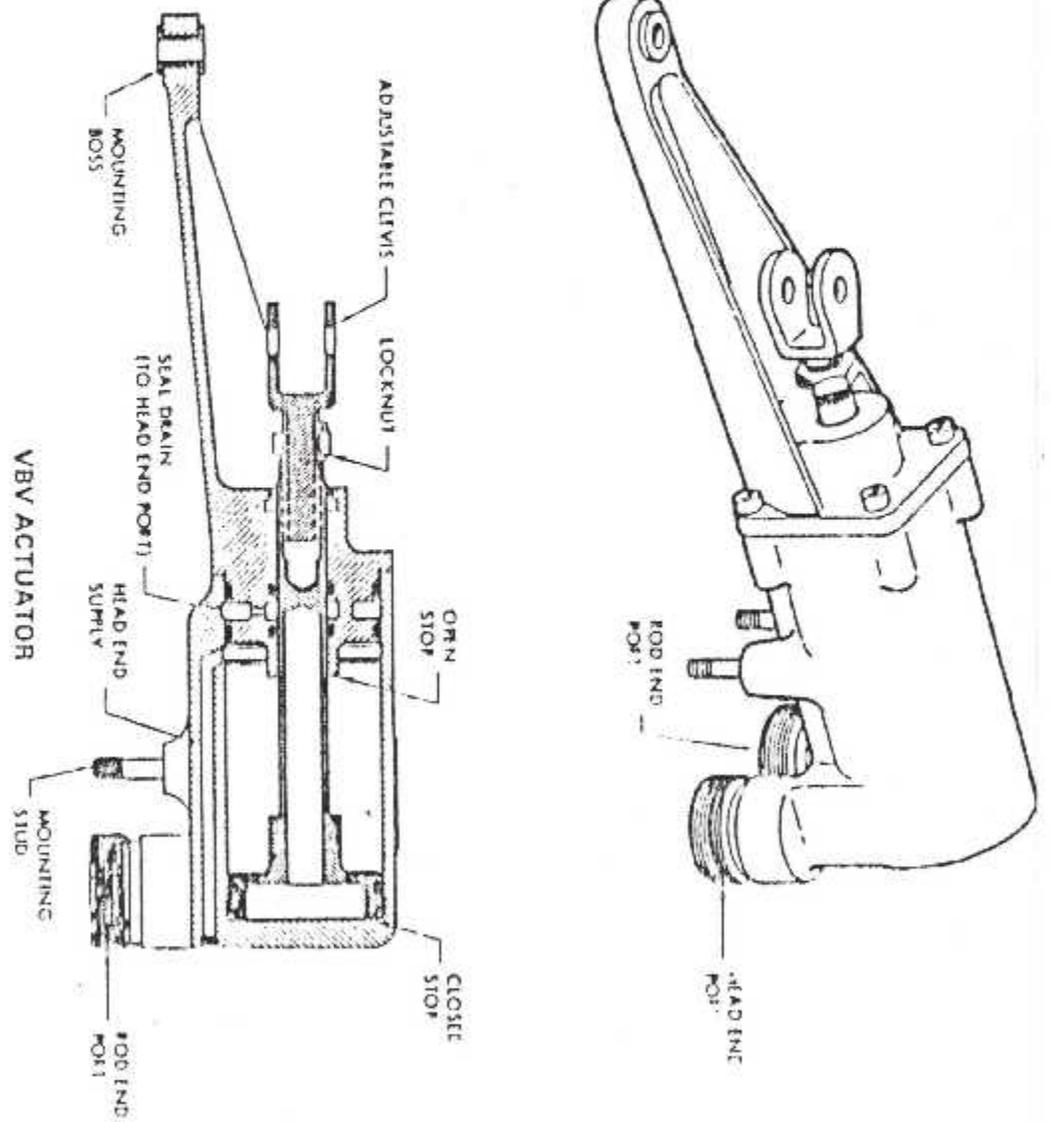


Fig. II-14 vérin de commande des VBV

**II-2-1-2. LES AUBAGES STATOR A CALAGE VARIABLE (VSV)**

L'entrée d'air de compresseur HP est équipée d'aubes de pré rotation à calage variable IGV (Inlet Guide Vanes).

Les 5 premiers étages du compresseur HP comportent des aubes de stator à calage variable (VSV).

L'ensemble des aubes de pré rotation (IGV) et des stators à calage variable constituent le système anti-pompage de compresseur HP.

Les leviers de commande des VSV d'une même rangée d'aubes sont reliés à un anneau de commande.

Les 6 anneaux de commande des VSV et IGV sont entraînés par deux barres de commande disposées symétriquement de chaque côté de compresseur HP, comme pour les VBV, c'est le régulateur carburant (MEC) qui détermine la position des VSV, et conserve constante la valeur de l'angle d'incidence de l'écoulement aérodynamique, par rapport aux ailettes du compresseur, quel que soit le régime de moteur.

- Au régime élevé, le compresseur fonctionne à un régime d'adaptation qui lui assure un rendement optimum. Les VSV sont en position « ouverte »
- A bas régime, ce compresseur s'éloigne de son régime d'adaptation, l'angle de calage des aubes augmente progressivement pour conserver l'angle d'incidence rotor, constant.
- Pour un régime N2 inférieur au ralenti, les VSV sont dits en position « fermée »

**Les vérins de commande VSV**

Les vérins de commandes des VSV, se sont montés sur les cotés de compresseur HP en position 3h et 9h, chaque tige du piston de vérin est montée sur une barre. Lorsque la tige est sortie elle provoque leurs fermetures.

**II-2-2. FONCTIONNEMENT DU SYSTEME ANTI-POMPAGE**

Le programme de fonctionnement du système anti-pompage est défini par une came 3D du MEC. Cette came comporte deux rampes de programmation dont l'une est reliée au tiroir de commande du contrôleur d'accélération et l'autre au tiroir de commande des VSV.

La position de la came 3D est asservies aux signaux suivants :

- Température d'entrée d'air au compresseur HP (T2,5)

La sonde de température T2,5 entraîne un déplacement axial de la came 3D, proportionnel à l'évolution de la température en station T2,5

- Régime N2

Le régulateur centrifuge, asservi au régime N2, assure un déplacement angulaire de la came 3D en fonction de l'évolution du régime N2.

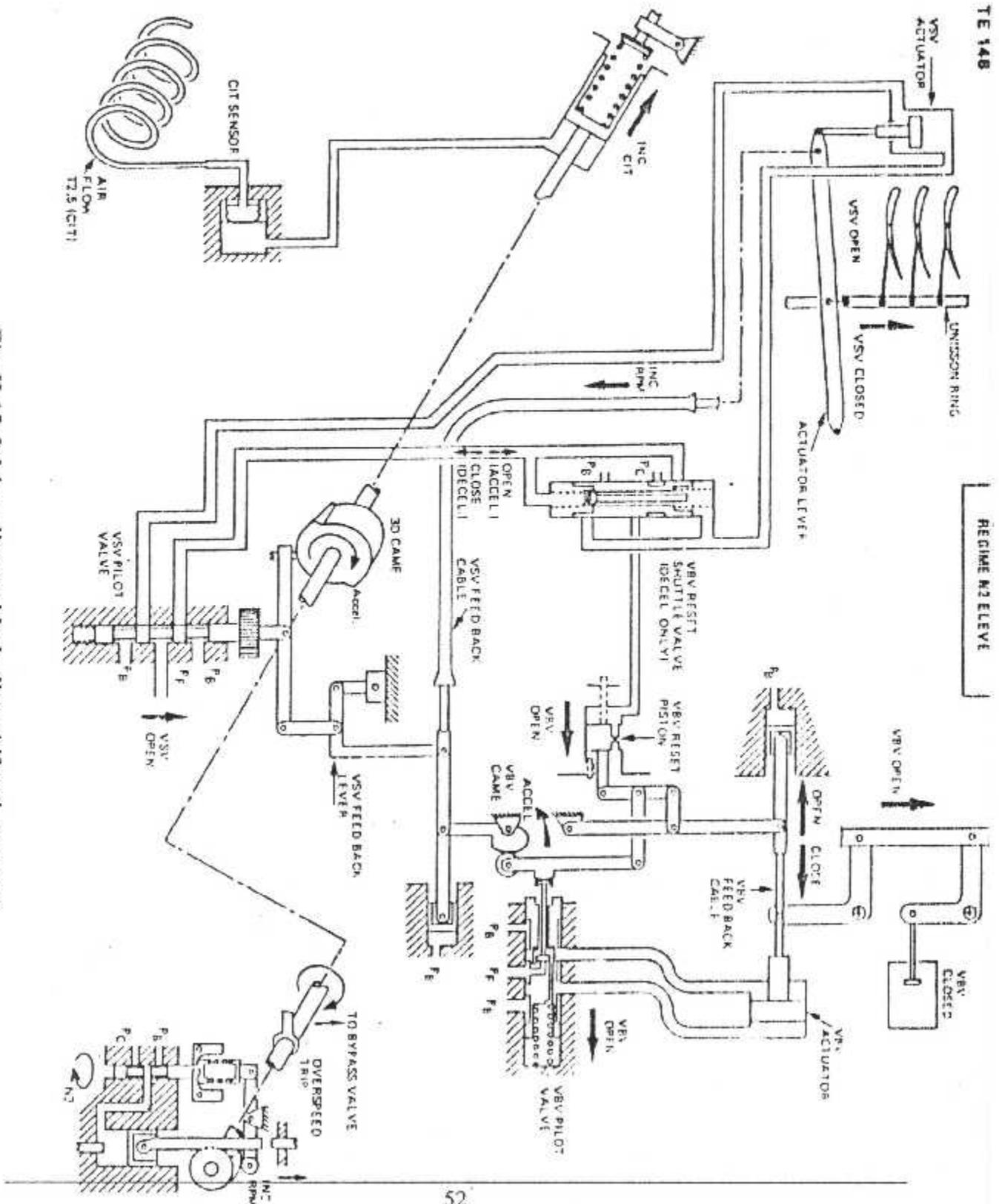


Fig. II-15 Schéma d'ensemble de dispositif anti-pompage



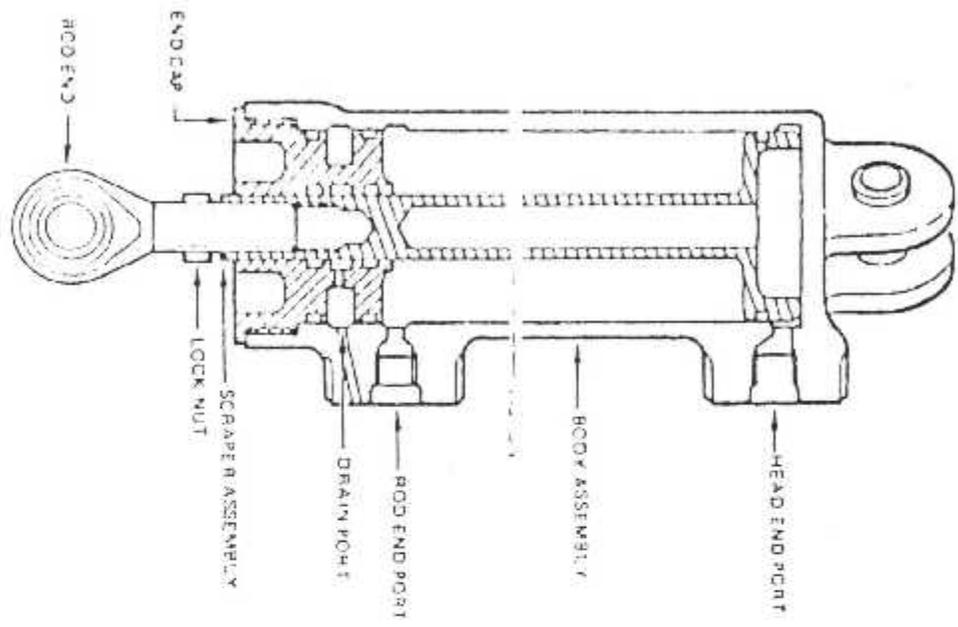
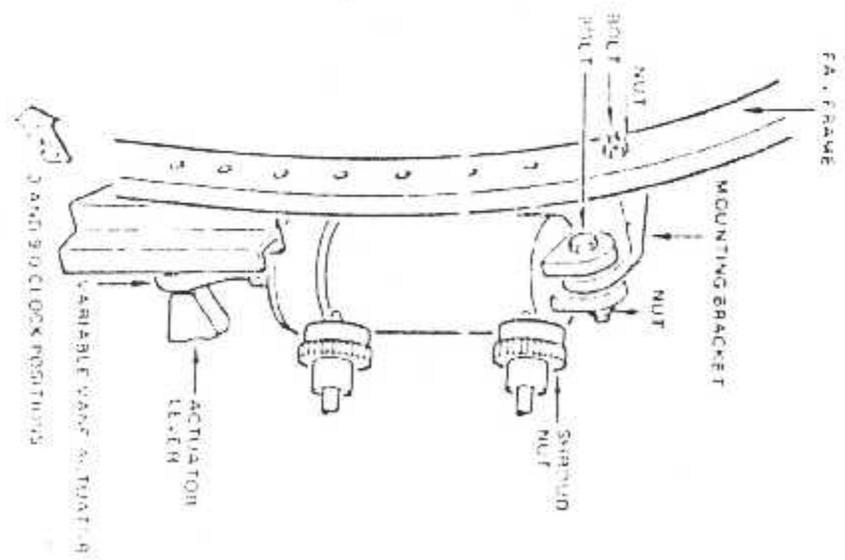


Fig. II-17 Vérin de commande des VSV



### **II-2-2-1. CIRCUIT DE COMMANDE DES VSV**

Le tiroir des commandes des VSV utilise le circuit de pression carburant PF pour alimenter les deux vérins des VSV. Le circuit de retour des vérins est mis en communication avec le circuit de décharge PB du MEC.

Le circuit de commande des VSV traverse un tiroir de correction des programmes de VSV. Ce tiroir n'intervient que lors du déplacement rapide des VSV dans le sens de fermeture, c'est à dire en décélération rapide.

#### ***Retour d'asservissement des VSV***

La barre de commande gauche des VSV est reliée par un câble flexible, au tiroir de commande des VSV. Lorsque les VSV se déplacent vers la position déterminée par la came 3D, le câble de retour d'asservissement ramène progressivement le tiroir de commande vers la position neutre. Lorsque la position déterminée est atteinte, les orifices PF et PB du tiroir sont fermés.

### **II-2-2-2. CIRCUIT DE COMMANDE DES VBV**

Le tiroir de commande des VBV utilise aussi les circuits PF et PB pour alimenter les deux vérins de commande des VBV.

La programmation du fonctionnement des VBV est assurée par la came VB. Le déplacement de cette came est déterminée par le câble de retour d'asservissement des VSV.

Ainsi le fonctionnement des VBV est assuré à la position instantanée des VSV dont le déplacement est proportionnel au N2, T2,5.

#### ***Retour d'asservissement des VBV***

La tringlerie du vérin gauche de manœuvre des VBV est relié par le câble flexible, au tiroir de commande des VBV.

Lorsque les VBV atteignent la position programmée, le câble de retour d'asservissement ramène le tiroir de commande des VBV à la position neutre.

Le câble de retour d'asservissement des VBV est identique au câble des VSV. Seule sa longueur est différente.

### **II-2-2-3. CORRECTION DU PROGRAMME DU SYSTEME ANTI-POMPAGE DURANT UNE ACCELERATION RAPIDE**

Au régime de ralenti stabilisé, les VSV sont sensiblement en position « fermée » et les VBV en position « ouverte », les niveaux de température du réacteur sont faibles.

Durant une phase d'accélération, les jeux à l'extrémité des ailettes de turbine HP étant plus importants. L'efficacité de la turbine HP est moins élevée en régime stabilisé, le rendement de la turbine diminue, le débit carburant et l'EGT sont plus élevés.

Le couple fourni par la turbine HP est plus faible donc il y a une augmentation de risque de pompage dans l'ensemble HP.

Compte tenu de la conception des joints d'étanchéité et des caractéristiques de la turbine BP, l'efficacité de cette dernière augmente. Pour un même débit de gaz, régime  $N_1$  est plus élevé. Le rapport manométrique du compresseur BP augmente et le couple qui fournit par la turbine haute pression est plus faible parce qu'il y a un risque de pompage autant dans le compresseur HP que dans le compresseur BP.

En conséquence, la marge de sécurité au pompage est réduite et le régime  $N_1$  a tendance à dépasser sa limite maximale. A fin de rétablir la marge de sécurité au pompage et de limiter l'EGT et le dépassement de  $N_1$ , le CF6-80A3 est équipé d'un système de correction du programme de système anti-pompage. Ce système est appelé correcteur de calage.

#### *a) Correcteur de calage*

##### **Mode d'action :**

Durant une accélération rapide, le correcteur de calage retarde le déroulement du programme du système anti-pompage durant une période minimale de 180 seconds, et de 300 seconds, au maximum, cette période correspond, sensiblement au temps nécessaire pour obtenir :

- ❖ La stabilisation des jeux des ailettes turbine à température élevée.
- ❖ L'efficacité optimale de la turbine HP.
- ❖ L'écoulement normal de flux primaire dans les compresseurs. Durant cette période, l'action du correcteur de calage retarde l'ouverture des VSV. En conséquence, au cours d'une accélération, l'accroissement de l'angle d'ouverture des VSV peut être moins élevé de  $4^\circ$  par rapport à l'angle relevé à un même régime stabilisé.

Les VSV étant à des position relativement moins ouvertes, la marge de sécurité au pompage est plus élevée.

La puissance absorbée par le compresseur HP est faible. Le régime  $N_2$  augmente plus rapidement. Le débit carburant se stabilise et l'EGT est limitée.

##### **Fonctionnement du correcteur de calage**

L'extrémité inférieure de la gaine du câble de retour d'asservissement est fixée sur le MEC. L'extrémité supérieure est fixée sur le guignol de correction qui est commandé par le correcteur de calage. Un déplacement longitudinal du guignol de correction entraîne un changement de position du levier de la commande de retour d'asservissement sur le MEC.

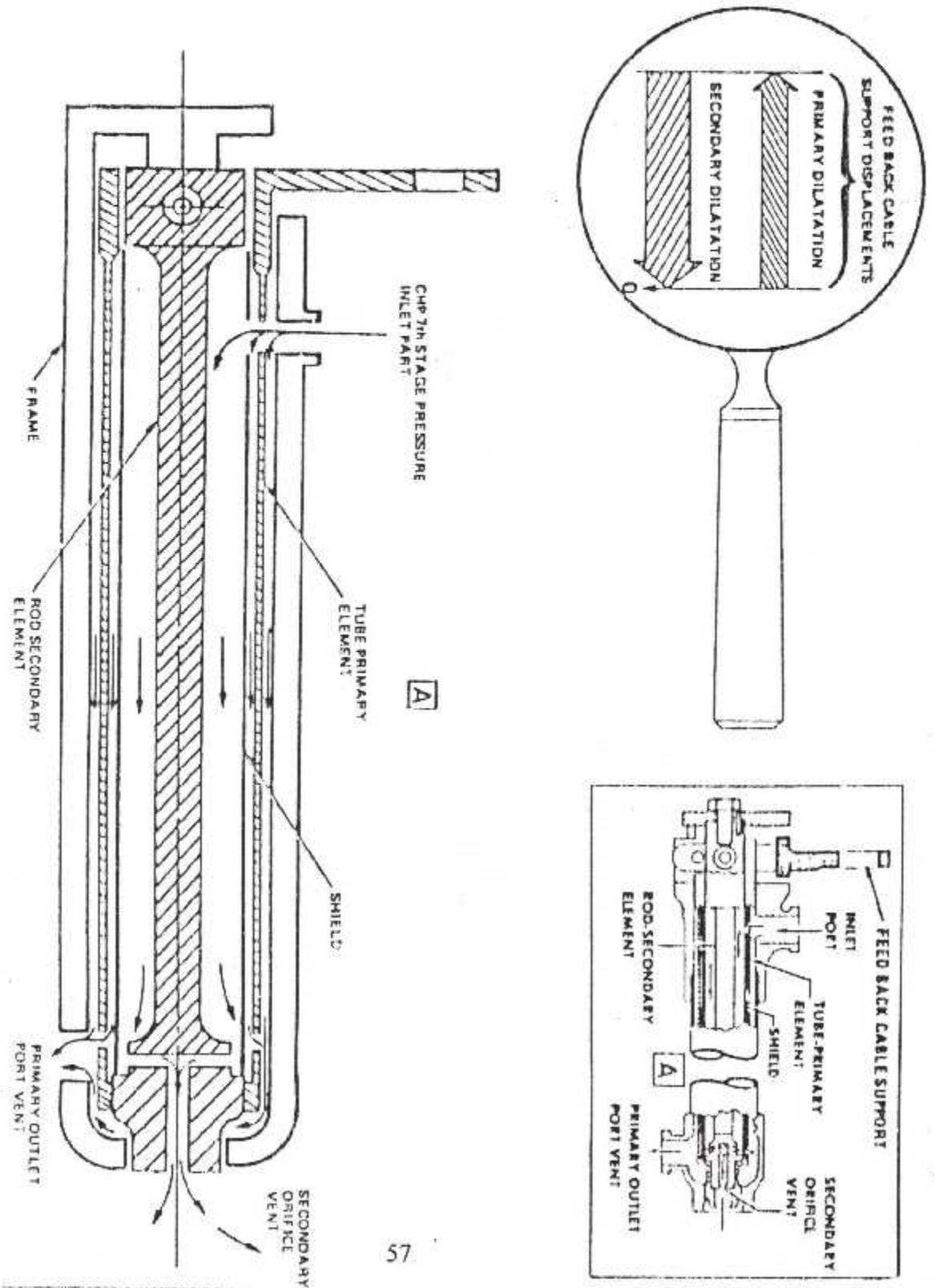


Fig. II-18 correcteur de calage

Le correcteur de calage est un dispositif thermique. Il est alimenté par l'air chaud en provenant de 7ème étage du compresseur HP il est constitué par :

- ❖ un carter fixé transversalement à la partie inférieure du compresseur HP.
- ❖ Un tube primaire de faible épaisseur dont l'extrémité droite est fixée sur une tige centrale. L'extrémité gauche de tube peut se dilater vers la gauche et entraîne le guignol de correction.
- ❖ Une tige centrale secondaire dont la masse est relativement importante et donc le coefficient de dilatation linéaire est égal à celui du tube primaire . l'extrémité gauche de la tige est fixée sur le carter. La tige peut se dilater vers la droite, coulisse dans le carter et entraîne l'extrémité droite du tube secondaire dans ses déplacements.

Pour une même variation de température, les dilatations linéaires du tube primaire et de la tige centrale sont égales. Par contre, les temps nécessaire pour la mise en température du tube primaire et de la tige secondaire sont différents.

pour le tube primaire, le temps est court compte tenu de sa surface importante et de sa faible masse.

Pour la tige secondaire, le temps est long à cause de sa faible surface et de sa masse importante.

Lors d'une accélération rapide de N2, la température du prélèvement d'air de 7ème étage augmente. Le tube primaire se dilate et entraîne le guignol de correction vers la gauche. Le levier de la commande de retour d'asservissement du MEC ramène sensiblement le tiroir de commande des VSV vers la position neutre.

Les vérins des VSV sont alimentés moins rapidement et l'ouverture des VSV est plus lente.

Donc la marge de sécurité anti-pompage est améliorée. Durant la mise en température du réacteur, la tige secondaire s'échauffe progressivement et ramène le guignol de correction à sa position initiale. Le levier de retour d'asservissement du MEC revient à son réglage de base. Les paramètres du réacteur sont stabilisés, le système anti-pompage fonctionne à nouveau suivant son programme normal.

#### **II-2-2-4. FONCTIONNEMENT DU SYSTEME ANTI-POMPAGE A REGIME ELEVE (les conditions ambiantes stables) :**

La came 3D commande l'ouverture des VSV au fur et à mesure de l'augmentation du régime N2, le tiroir de correction des VSV se déplace vers le haut sans effet sur ces dernières.

Le câble de retour d'asservissement VSV ramène le tiroir de commande des VSV vers la position neutre et positionne la came VBV.

Les VBV se ferment, le câble de retour d'asservissement des VBV ramène le tiroir de commande VBV vers la position neutre.



**II-2-2-5. FONCTIONNEMENT EN DECELERATION LENTE REACTEUR**

*(les conditions ambiantes stables) :*

La came 3D commande la fermeture des VSV au fur et à mesure. La diminution du régime N2, seul le clapet central du tiroir de correction VBV s'ouvre en fonction du débit de retour vers PB (le programme des VBV n'est pas modifié).

Le câble de retour d'asservissement VSV ramène le tiroir de commande VSV vers la position neutre et positionne la came VBV.

Les VBV s'ouvrent, le câble de retour d'asservissement VBV ramène le tiroir de commande VBV vers la position neutre.

**II-2-2-6. FONCTIONNEMENT EN DECELERATION RAPIDE REACTEUR**

*(les conditions ambiantes stables) :*

Lors des décélérations rapides, plus particulièrement en altitude, le régime N2 diminue rapidement, les VSV se ferment, le débit du compresseur BP est supérieur au besoin du compresseur HP, la marge anti-pompage diminue.

Débit de retour de vérin de commande des VSV, vers le circuit PB, est plus important. Le tiroir de correction des VBV est entraîné vers le bas. Le circuit PC alimente le circuit de correction. Le piston de correction des VBV entraîne le tiroir de commande des VBV vers l'ouverture.

Cette correction entraîne une augmentation de la section de passage des VBV par rapport au programme de base de fonctionnement du système anti-pompage.

Cette modification momentanée de programme a pour but d'évacuer une partie plus importante de débit de compresseur BP et d'améliorer ainsi la marge anti-pompage.

En fin de phase de décélération rapide, lorsque les VSV atteignent une position stabilisée, le débit de retour des vérins de commandes des VSV chute, le tiroir de correction VBV reprend sa position initiale.

**II-2-2-7. FONCTIONNEMENT NORMAL INCIDENCE D'UNE AUGMENTATION DE LA TEMPERATURE AMBIANTE T2,5**

*Exemple ;*

- ❖ N2 stabilisée à 85%.
- ❖ VSV et VBV en position intermédiaire.
- ❖ La température T2,5 augmente, (la marge de sécurité anti-pompage diminue)
- ❖ L'augmentation de température entraîne un déplacement axial de la came 3D, le tiroir de commande des VSV, alimente les vérins de commande des VSV dans le sens fermeture, proportionnellement à la variation de température.

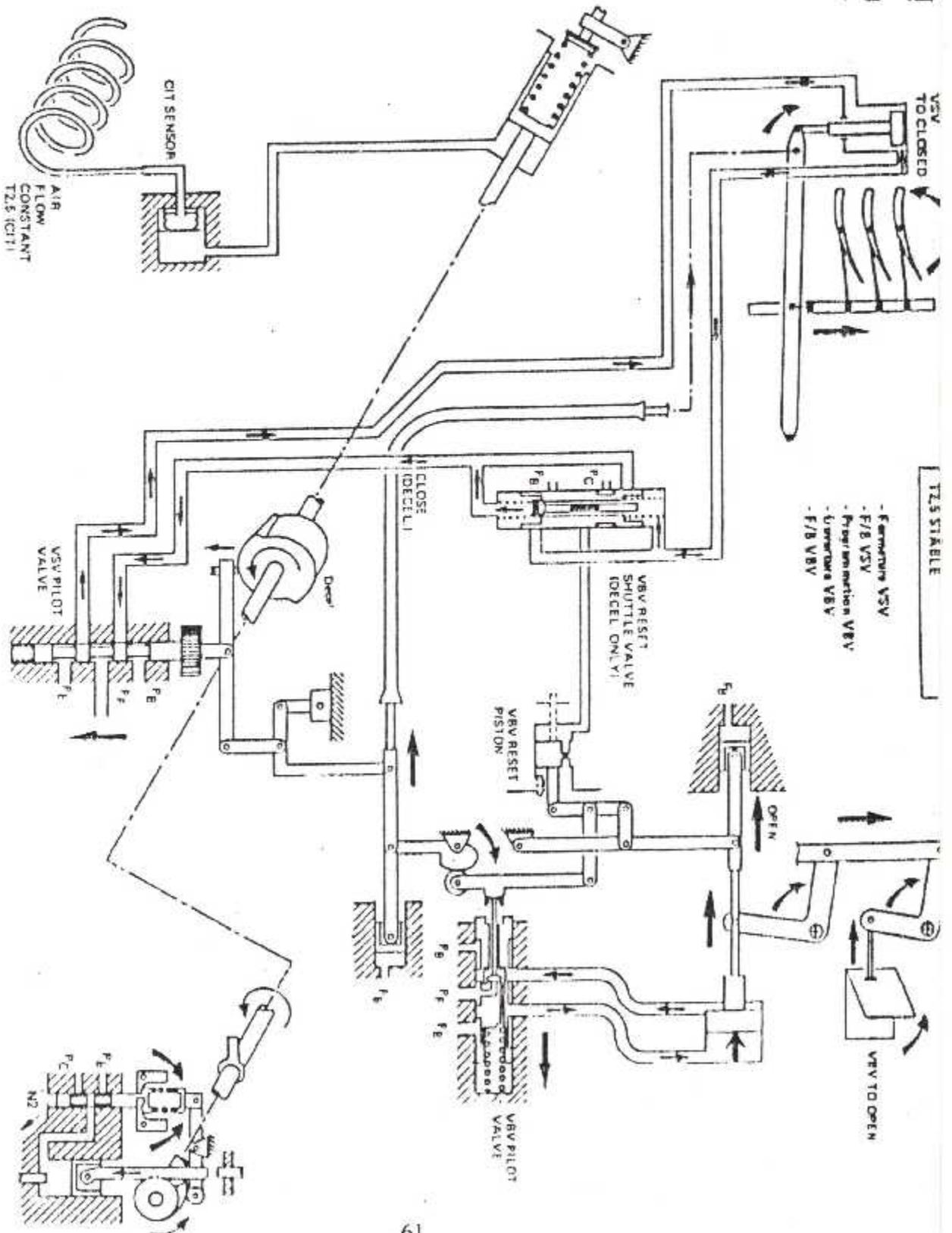
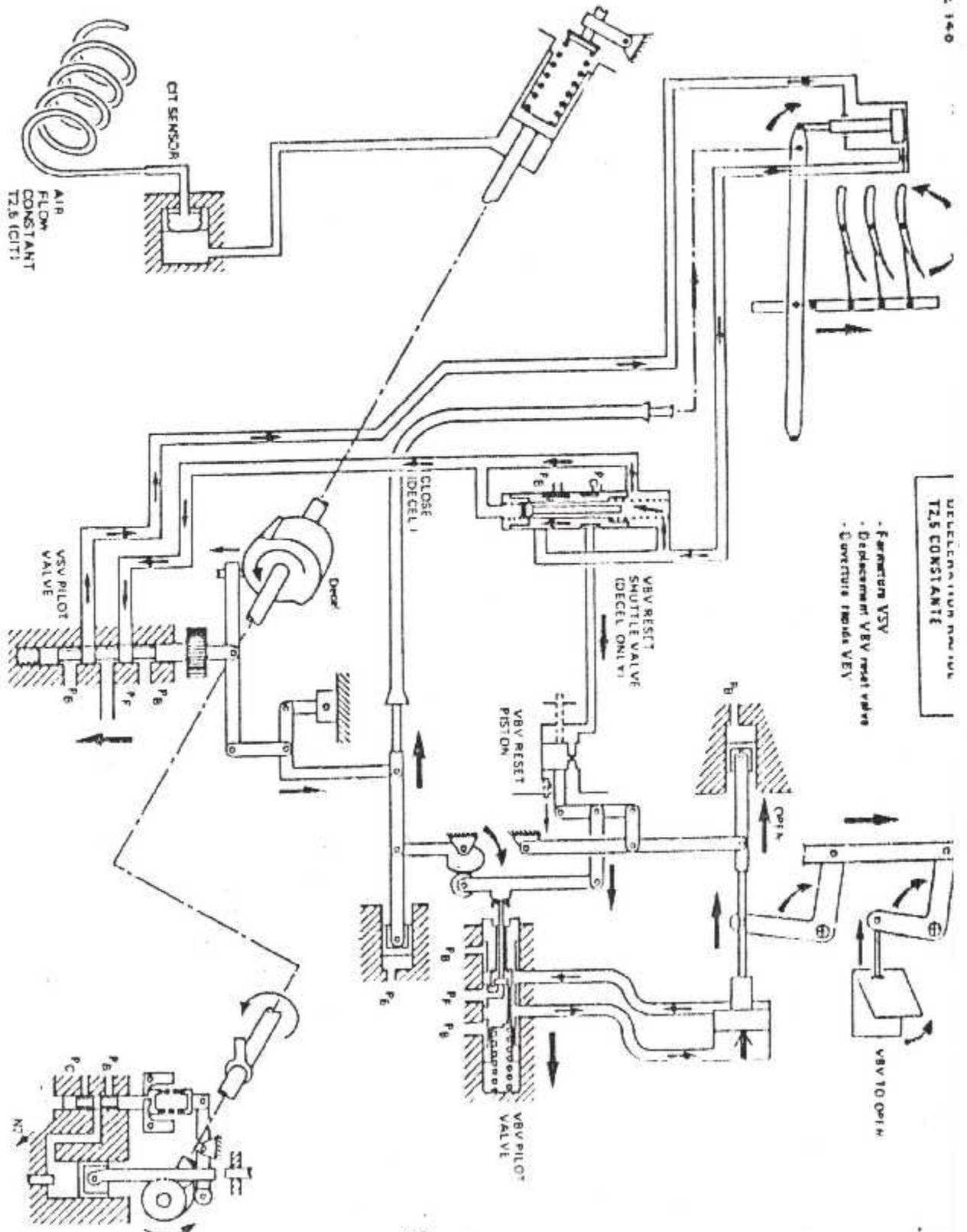


Fig. II-20 Cas d'une décélération lente réacteur



1 E 140

Fig. II-21 Cas d'une décélération rapide réacteur

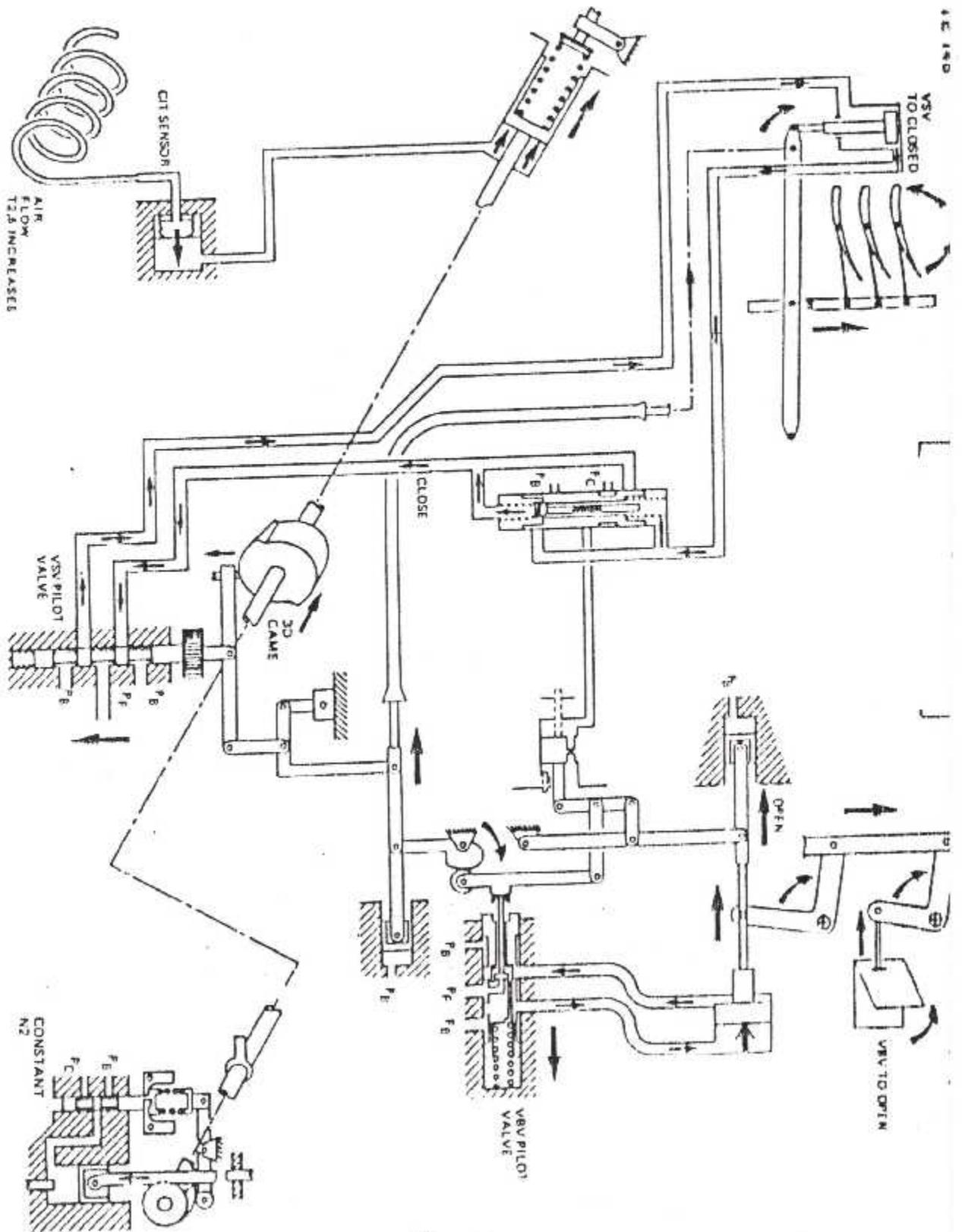


Fig. II-22 Cas d'une augmentation de T25

Le câble de retour d'asservissement des VSV ramène le tiroir de commande VSV vers la position neutre et positionne la came VBV.

Les VBV s'ouvrent proportionnellement à la variation de température, le câble de retour d'asservissement VBV ramène le tiroir de commande VBV vers la position neutre, donc la marge de sécurité anti-pompage est rétablie.

#### **II-2-2-8. SYNTHÈSE DE FONCTIONNEMENT :**

- Une synthèse de programme de fonctionnement de système anti-pompage est présentée en
- Un schéma fonctionnel de l'ensemble des système de commande et de régulation .

### **II-3. DISPOSITIF ANTI-POMPAGE EN CFM-56 7B :**

La protection anti-pompage du réacteur CFM 56-7B est assurée par une variation de l'angle de calage :

- Des aubes de pré rotation IGV ( Inlet Guide Vanne )
- Des aubes de stators VSV (variable stator valve ) des trois (03) premiers étages de compresseur haute pression.
- Douze (12) vannes de décharge à section variable VBV (variable bleed valve) installées sur la veine de refoulement de compresseur basse pression.
- Une (01) vanne de décharge transitoire TBV (Transient Bleed Valve) qui décharge de l'air de 9<sup>ème</sup> étage compresseur haute pression ver la turbine 1<sup>er</sup> étage turbine basse pression lors du démarrage et de l'accélération moteur.

#### **II-3-1. LES AUBAGES DU STATOR A CALAGE VARIABLE (VSV):**

L'entrée de compresseur haute pression (HPC) est équipée d'un mécanisme de stator à calage variable, afin d'ajuster l'écoulement d'air autour des profils d'aubes à différents régimes de fonctionnement moteur, afin d'éviter le pompage . Ce mécanisme comprend :

##### *A. Les aubages de prérotation.( IGV)*

Le compresseur consiste à fonctionner à des régimes très proches de son régime maximal, mais aux faibles régimes, le fonctionnement est perturbé.

la figure (A) représente le diagramme rotor, nous remarquons que, pour une vitesse d'entrée  $\vec{V}$  et pour une vitesse  $\vec{U}$  (correspondant à un régime voisin de  $N_{max}$ ), le fonctionnement est correct. A même vitesse d'entrée  $\vec{V}$ , si on diminue trop  $\vec{U}$ , soit  $\vec{m}$  les filets d'air présentent avec une incidence trop fortement négative, ceux-ci se décrochent provoquant un pompage.

Afin de remédier à ce phénomène, le compresseur HP est équipé d'aubes de pré rotation (IGV).

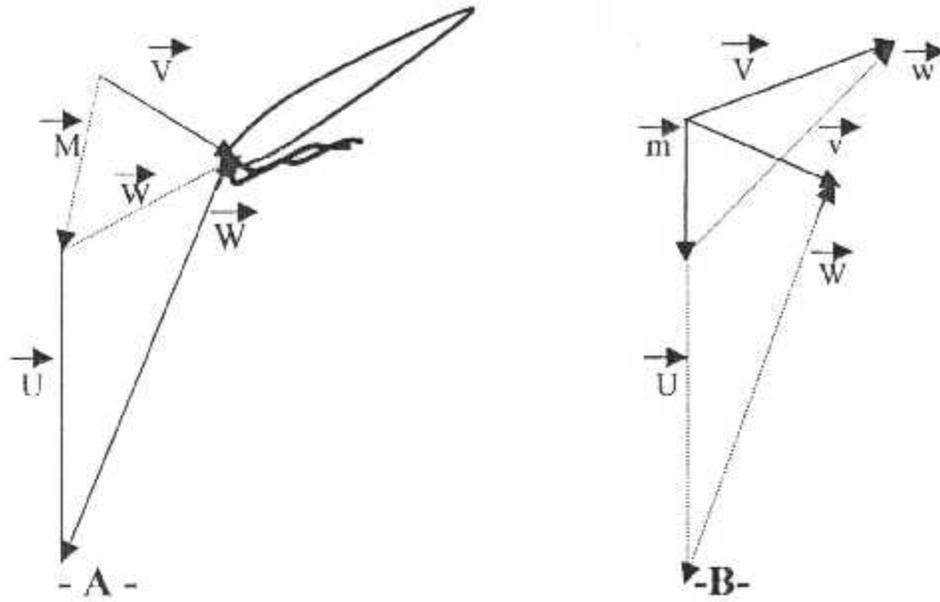
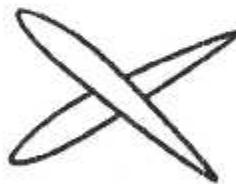


Fig. II- 23. rétablissement du bon fonctionnement au bas régime.

Nous remarquons que :

- Aux forts régimes :  $\vec{U} + \vec{W} = \vec{V}$  avec  $V = v$
- Aux faibles régimes :  $\vec{m} + \vec{u} = \vec{v}$



Position de l'aubage de pré-rotation pour les faibles régimes.

Position de l'aubage de prérotation pour le régime proche du régime maximal.



### B. Aubage du stator à calage variable (VSV)

Afin d'améliorer les performances du compresseur haute pression ( HCP ), on y installé des stators à calage variable.

Le fonctionnement de ces stators est identique au aubages de pré rotation, ils permettent de désirer  $V_a$  en fonction de nombre de tours par minute pour adapter un fonctionnement optimal à tous les régimes et ceci en conservant la valeur de l'angle d'incidence de l'écoulement aérodynamique par rapport aux ailettes du compresseur.

**II-3-1-1. LES COMPOSANTS DES VSV**

Le système de stator à calage variable est constitué de :

- deux vérins de commande.

Se sont des vérins de type à piston qui ont pour rôle de convertir la pression hydraulique de l'HIMU par action mécanique pour entraîner les deux barres à leviers de commande (bellecrank assemblies).

- deux barres à leviers de commande :

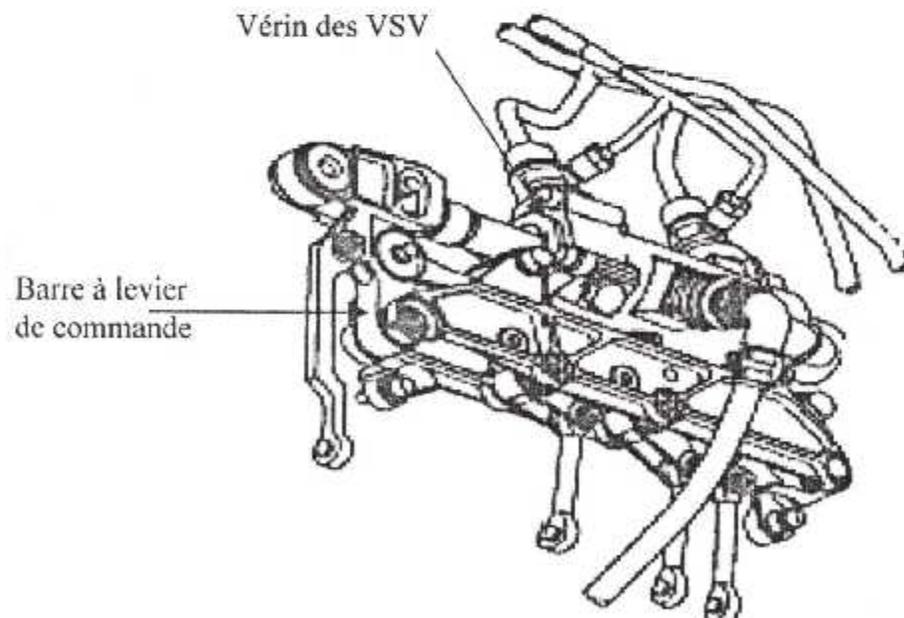
Se sont des barres reliées à quatre anneaux de commande pour les actionner.

- quatre anneaux de commande,

Se sont des anneaux de contrôle du stator de compresseur haute pression .

- stator à calage variable ;

- un seul étage des aubes directrices d'entrée à calage variable IGV
- trois (3) étages des aubes du stator à calage variable VSV



**Fig. II-24** l'ensemble de vérin de VSV

**II-3-1-2. EMLACEMENT DES COMPOSANTS DES VSV :**

- a) Les aubes de prérotation à calage variable IGV, sont montées à l'entrée d'air du compresseur haute pression (HPC)
- b) Les aubages du stator à calage variable (VSV) ;disposés aux trois (3) premiers étages de compresseur haute pression (HPC).
- c) Deux vérins de commande; montés sur la cote droite et gauche du moteur à 2 :00 et 8 :00 sur le compresseur (HPC), chaque vérin est lié sur une barre à levier de commande.
- d) Deux barres à levier de commande; elles sont disposées systématiquement de chaque coté de compresseur hautes pression (HPC)
- e) Quatre (4) anneaux de commande ; disposés au tour des premiers étages de compresseur (HPC)

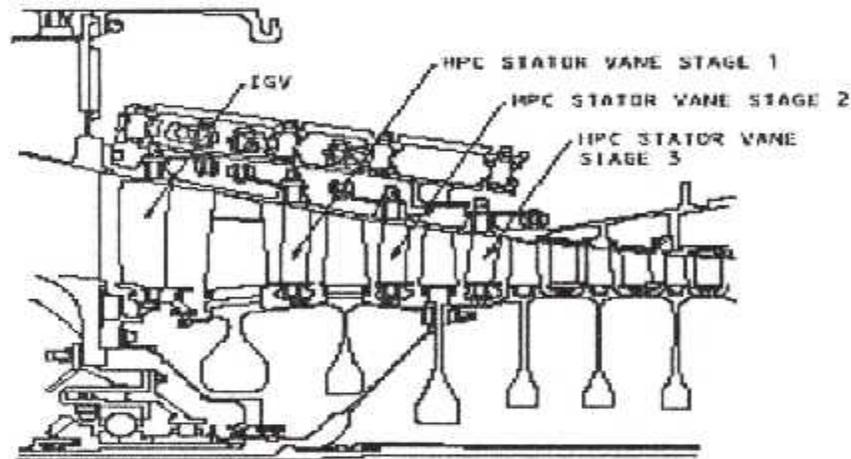


Fig. II-25 Les composants du VSV

- pour accéder aux composants de système des VSV, il faut ouvrir le capot fan et capot revers

II-3-1-3. CARACTERISTIQUES FONCTIONNELLES DU VERINS DES VSV :

Fluide d'opération	JETA 1 ou JET B
Pression	Opération (refoulement) : 0-1370 psi (0-9446 kps)
	Résistance : 2055psi (14169kps)à350°F (177°C) 2350psi (16203Kps)à 70°F (21°C)
Dimensions physiques	Longueur (piston rétracté) : 11.5in(292.1mm) Longueur (piston élargi) : 14.25in (361.96mm) Largeur : 3.5in (88.9mm) Hauteur: 3.5in (88.9mm)
température	Fluide : -65°F à 325°F (-18.3 à 176.6)°C
	Opération : (-65 à 325)°F (-18.3 à 176.6)°C
Poids	5.31b (2.4Kg)

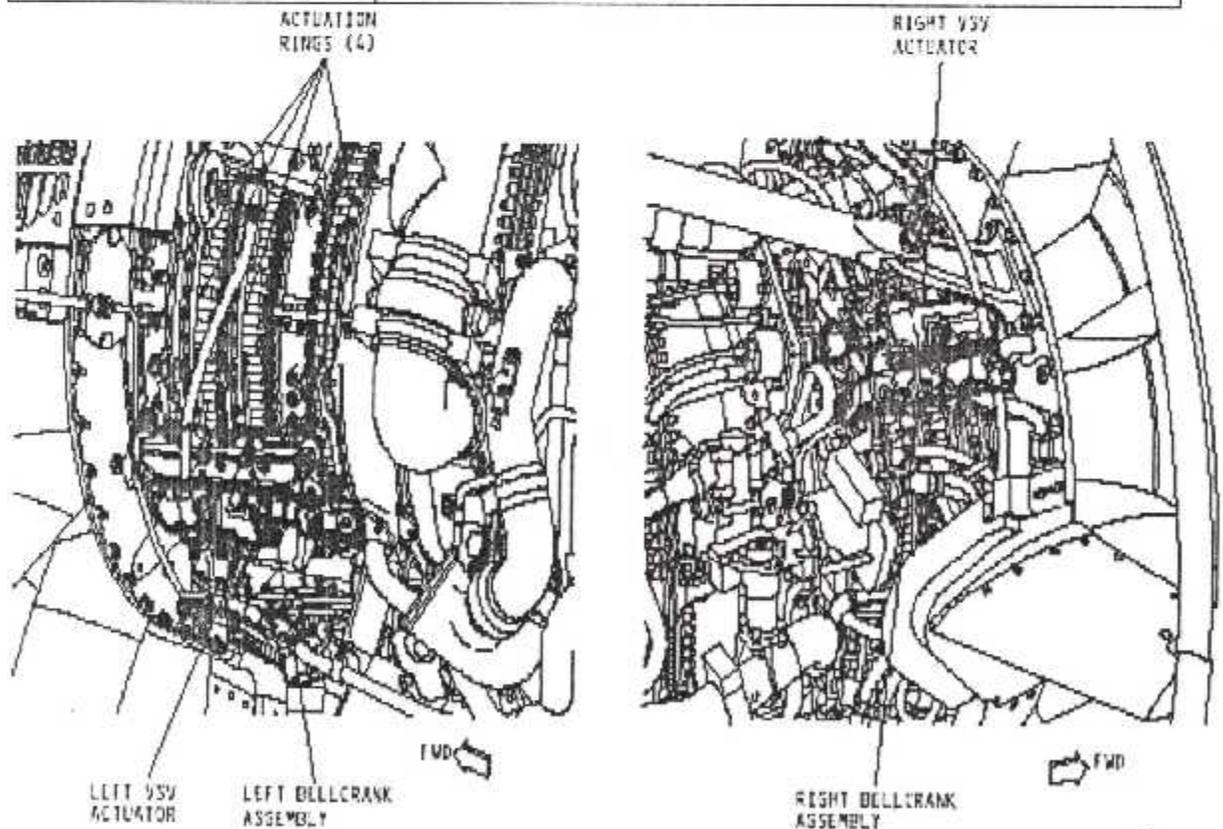


Fig.II-26 Emplacement des composants du système VSV

#### II-3-1-4. DESCRIPTION DU VERIN DE COMMANDE DU SYSTEME VSV :

Le vérin du système est de type (vérin à piston ), muni de deux connections hydrauliques coté tige de piston (rode side ) et coté tête (head side), ces connections sont reliées au HIMU.

Le HIMU envoie un signal hydraulique de commande du levier de commande qui est connecté directement à la tige du piston du vérin, cela entraîne les trois autres leviers restants, car les quatre leviers se relient entre eux par l'intermédiaire de la barre de commande qui transmet le mouvement. Le deuxième vérin opère de la même façon. Chaque levier d'une rangée d'aubes et relie à un anneau de commande.

Les quatre anneaux de commande des VSV sont entraînés par deux barres à leviers de commande disposés de chaque coté du compresseur pour actionner les IGV et les VSV qui fonctionnent en même temps et de la même façon.

Chacun des vérins des VSV possède une porte de drainage qui permet l'évacuation du carburant qui fait du joint de la tige.

Le transducteur linéaire à déplacement variable (LVDT) du vérin gauche est connecté au canal A du EEC, tandis que le LVDT du vérin droit est connecté au canal B du EEC. Leur rôle consiste à transmettre la position des VSV au EEC.

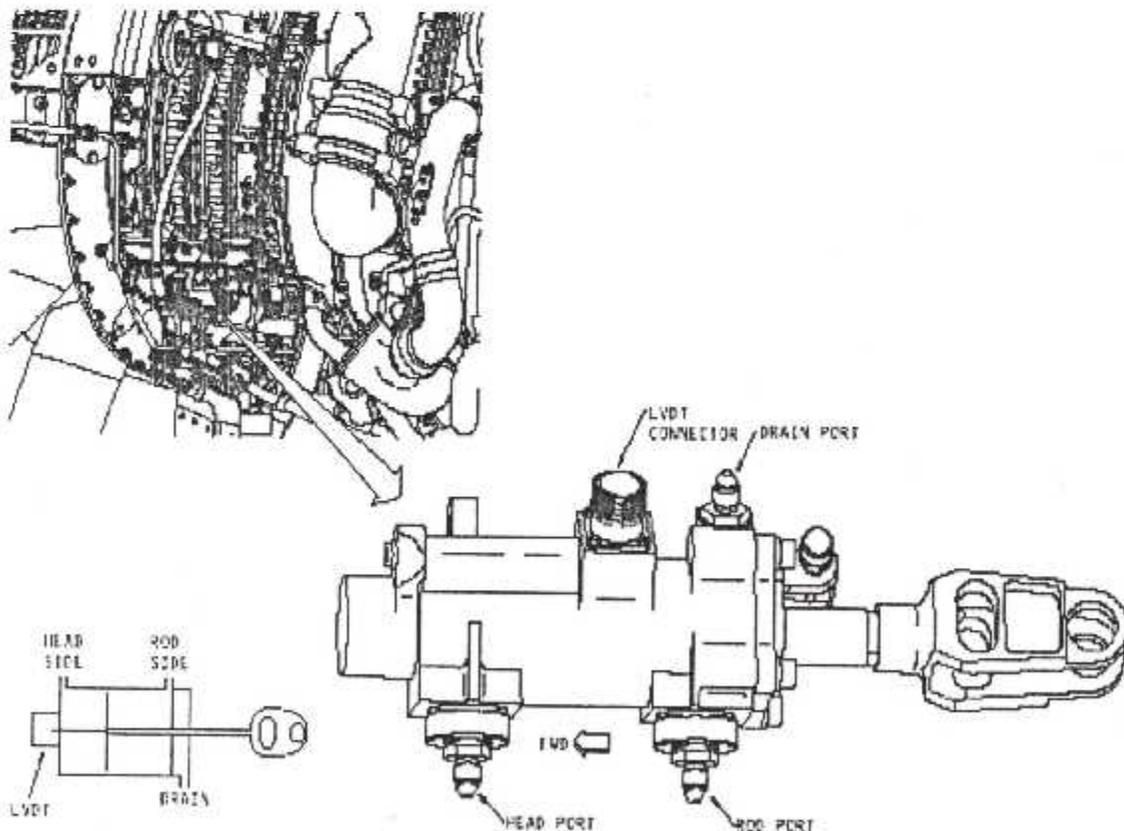


fig.II-27 Description du vérin de système VSV

**II-3-1-5. FONCTIONNEMENT DES VSV :**

L'unité de contrôle électronique EEC a besoin des données suivantes pour déterminer la position des VSV :

- ❖ La température d'air totale (TAT)
- ❖ La pression d'air totale (PT)
- ❖ La pression ambiante (P0)
- ❖ La vitesse de rotation de l'attelage haute pression N2
- ❖ La vitesse de rotation de l'attelage basse pression N1
- ❖ La température d'air à la sortie du compresseur (HP) T25

Le système des VSV fonctionne automatiquement, le EEC reçoit TAT, PT, P0 directement de l'ADIRU à travers l'unit d'affichage électronique (DEU), et les autres données par les sondes du moteur. Ces paramètres sont employés pour déterminer la position des VSV.

Suivant ces données, le EEC envoie un signal de commande électrique à l'unité hydraulique (HMU), qui le convertit à son tour en mouvement hydraulique aux deux vérins de commande des VSV. Chacun de ces deux vérins est connecté à une barre de leviers de commande disposée de chaque coté du compresseur HP.

Les deux vérins et les barres de levier de commande fonctionnent au même temps pour actionner les stators à calage variable VSV aux quatre anneaux de commande.

La pression hydraulique d'HMU est délivrée aux deux orifices de connections hydrauliques de chaque vérin de commande des VSV, ceux des cotés têtes (Head Side) ou ceux des cotés tiges (Rod Side) de ces derniers.

L'orifice qui reçoit la pression hydraulique du carburant en premier, détermine la direction du piston de vérin (soit vers la fermeture ou vers l'ouverture), tandis que le débit de cette pression détermine la distance à parcourir. Même direction et même sens du mouvement pour le deuxième piston qui fonctionne de la même façon que le premier.

La pression reçue de l'orifice qui est de coté tête (Head Side) du vérin de commande actionne les VSV vers la fermeture suivant le réglage de position voulue et vice versa la pression reçue de l'orifice qui est de coté tige (Rod Side) du vérin actionne les VSV vers l'ouverture suivant le réglage de la position voulue, et ceci en fonction du débit de la pression hydraulique (quantité de carburant) fournie par le HMU est calculée par le EEC, même procédure par le deuxième vérin.

Chaque vérin de commande des VSV se compose d'un LVDT, de deux raccords de carburant et d'une prise électronique. Le LVDT du vérin gauche est connecté au canal B du EEC, tandis que le LVDT du vérin droit est connecté au canal A, leur rôle consiste à transmettre la position des VSV au EEC.

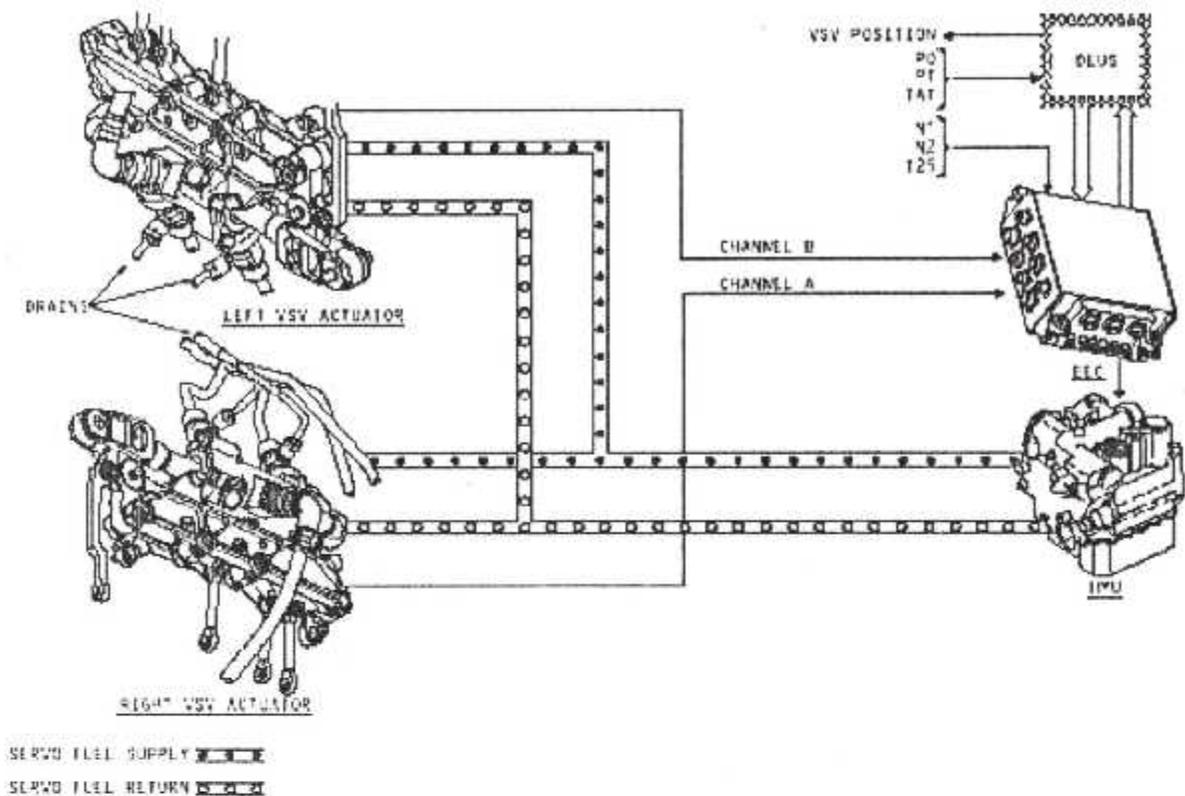


Fig.II-28 fonctionnement du système VSV

A bas régime, le compresseur s'éloigne de son régime d'adaptation, l'angle de calage des aubes augmente progressivement pour conserver l'angle d'incidence rotor constant. Quand la vitesse de rotation de l'attelage haute pression N2 est au régime ralenti (61%), les VSV sont en position « fermée ».

Les VSV reviennent graduellement à la position plus fermée aux basses altitudes et au importante chute de température d'air totale pour améliorer la stabilité du moteur pendant le givrage aux régimes élevés, le compresseur fonctionne à un régime d'adaptation qui lui assure un rendement optimal, dans ce cas les VSV sont en position « ouverte », elles s'ouvrent progressivement quand N2 augmente, elles sont à la position plus ouverte quand la vitesse de rotation d'attelage haute pression est plus de 95% .

### II-3-2.1. LES VANNES DE DECHARGE (VBV) :

Le compresseur basse pression (LPC), étant destiné à alimenter le compresseur haute pression (HPC), fournit un taux de compression faible mais adapté aux régimes élevés, donc le compresseur est dimensionné pour conserver la vitesse axiale ce qui veut dire que la vitesse axiale de sortie du compresseur est sensiblement égale à celle de l'entrée du compresseur, et cela pour ne pas perturber l'écoulement et éviter le pompage de se produire .

Afin de réaliser cette condition nécessaire pour le bon fonctionnement de compresseur, les constructeurs ont donné une convergence à la veine de passage de l'air (entre rotor et

stator)  $S_2 < S_1$  . aux faibles régimes, donc à une vitesse axiale faible,  $S_2$  est trop faible pour conserver le débit à cause de phénomène de barrage dans le dernier étage .

Pour remédier à ce phénomène, les constructeurs donc adaptés les vannes de l'éjection de cet air vers l'extérieur lorsque elles sont ouvertes, et permettent aussi de rétablir une vitesse de axiale constante.

Aux bas régimes, le débit d'air fourni est généralement excessif au besoin, son taux de compression est trop élevé ce qui provoque le pompage.

Le mécanisme des vannes de décharge VBV permet d'effectuer une décharge d'air de compresseur basse pression (LPC) vers l'écoulement de l'air secondaire. Ceci afin d'éviter le décrochage de l'écoulement dans le compresseur basse pression .

### **II-3-2-1 LES COMPOSANTS DU SYSTEME VBV**

Le système des VBV contient les parties suivantes :

- Deux (2) vérins de commande des VBV.

Chaque vérin de commande de vannes de décharge contient les composants suivants :

- ❖ Une sonde
- ❖ Une enveloppe
- ❖ Tige de cylindre et une unité de tige du piston de cylindre
- Un anneau de commande
- Dix (10) portes de décharges et deux (2) portes maîtresses

### **II-3-2-2. EMLACEMENT DES COMPOSANTS DES VBV :**

- Les vannes de décharges sont disposées à l'arrière de compresseur basse pression (LPC), elles sont interconnectées par un anneau de commande et actionnées par deux vérins hydrauliques.
- Le vérin de commande droit des vannes de décharges (VBV) est disposé sur la partie arrière du carter de la soufflante (fan) à la position 4h :00
- Le vérin de commande gauche des VBV est monté sur la partie arrière du carter fan à la position 1h :00.
- Les composants disposés au tour de carter fan sont :
  - ❖ Dix (10) vannes de décharge et deux (2) vannes de décharges maîtresses, l'une est positionnée à 1h :00 et l'autre à 4h :00.
  - ❖ Un anneau de commande .
  - ❖ Douze (12) leviers coudés (bielles).

Pour obtenir l'accès aux composants du système de VBV, il faut ouvrir les deux capots fan et le capot reverse.

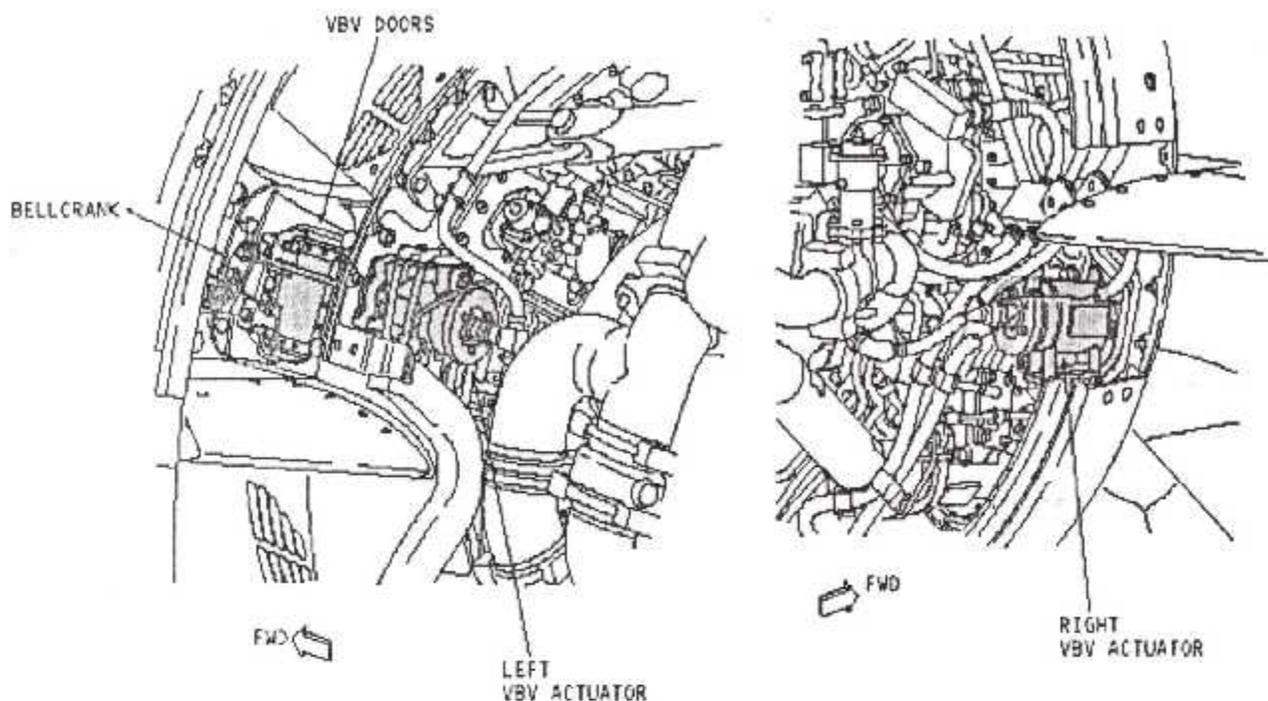


Fig.II-28 L'emplacement des composants du système VBV

### II-3-2-3. DESCRIPTION DU VERIN DE COMMANDE DES VBV :

Le vérin de commande des VBV est un vérin à piston, il est muni de deux connections hydrauliques coté tige du piston (Head Side) et coté tête (Rod Side) qui le relie au HMU par un bourrelet qui empêche les prises d'air, la même chose pour l' autre vérin .

A travers ces deux connections, le HMU envoie un signal hydraulique de commande aux deux pistons de deux vérins pour les actionner.

Il y a un transducteur linéaire à déplacement variable (LVDT) qui se connecte avec chaque vérin, le LVDT du vérin gauche est relié au canal A du EEC, celui du vérin droit est relié au canal B du EEC.

Le vérin de commande des VBV possède une porte de drainage, pour évacuer le carburant qui fuit du joint de l'arbre.

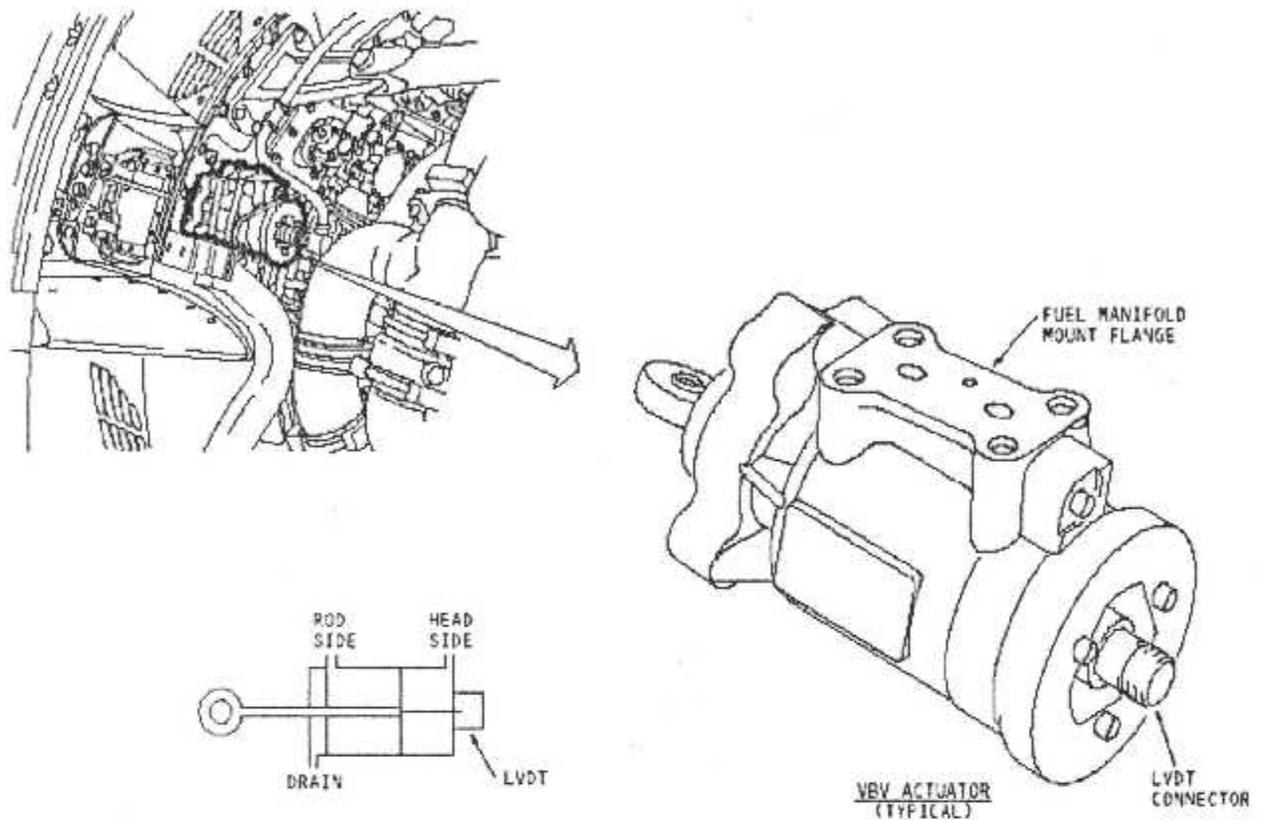


Fig.II-29 Vérin de commande des VBV

#### II-3-2-4. DESCRIPTION DES VANNES DE DECHARGE :

Les vannes de décharge contrôlent et règlent la décharge de quantité d'air du compresseur basse pression (LPC) vers l'écoulement de flux d'air secondaire pour éviter le décrochage de l'écoulement dans les aubages du compresseur haute pression (HPC). D'autre part, elles permettent d'éviter les particules et les matières non désirées (FOD) d'atteindre le compresseur haute pression (HPC).

Il a douze (12) vannes de décharge des VBV qui sont disposées en arrière de compresseur basse pression (LPC) et entoure du carter de la soufflante. Chaque vanne est connecté à l'anneau de commande à travers une bielle, deux de ces vannes sont nommées les vannes maîtresses, parcequ'elles sont à proximité des vérins de commande et se relient directement à ces derniers par une longue bielle.

Les décharges opérant quand les deux vérins provoquent le mouvement des biellets des vannes maîtresses qui entraînent l'anneau de commande ainsi que les douze (12) vannes qui sont connectées à ce dernier .

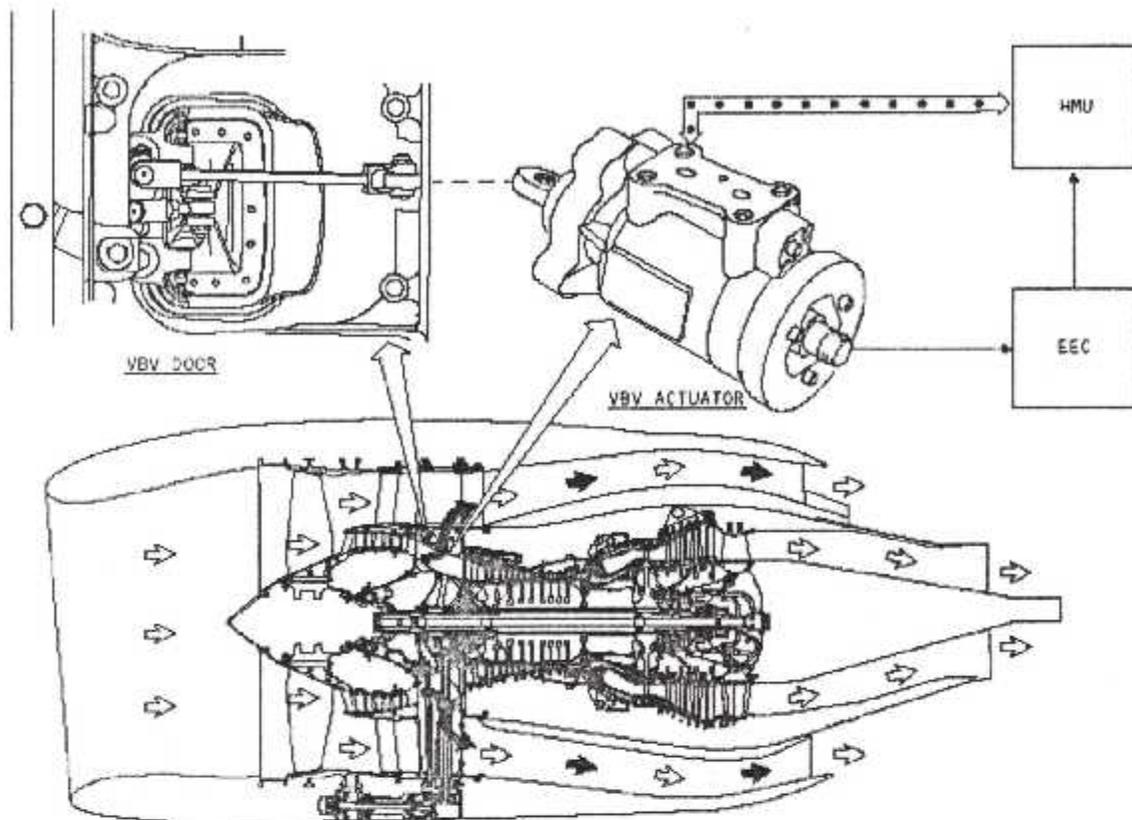


Fig.II-30 Les vannes de décharge de système VBV

#### II-3-2-5. FONCTIONNEMENT DES VANNES DE DECHARGE (VBV) :

L'unité électronique de contrôle du moteur (EEC) utilise des données de l'avion et de moteur pour calculer la position angulaire des vannes de décharge, ces données sont :

- ❖ La pression ambiante (P0) .
- ❖ La pression d'air totale (PT)
- ❖ La température d'air totale (TAT)
- ❖ La température d'air à la sortie du compresseur (T25)
- ❖ La position des stators à calage variable (VSV)
- ❖ La vitesse de rotation de l'attelage basse pression (N1)
- ❖ La vitesse de rotation de l'attelage haute pression (N2)
- ❖ La position de la manette de poussée.

Le système des VBV fonctionne automatiquement. Le EEC obtient P0, PT et TAT de l'ADIRU à travers la DEE, N1, N2, T25 et la position des VSV du sondes du moteur et obtient aussi TRA de la résolution des revers . le EEC utilise ces données pour programmer la position optimale des vannes de décharge (VBV) .

A partir de ces données, le EEC envoie un signal de commande électrique au régulateur carburant (HMU), et transmet à son tour un signal hydraulique de commande pour régler la quantité de carburant d'asservissement qui est délivré aux deux orifices de connection hydraulique de chacun des deux vérins de commande des VBV.

L'orifice qui reçoit la pression hydraulique de carburant le premier, détermine la direction de mouvement de piston, cette pression détermine le déplacement de vérin, et c'est ainsi pour le deuxième piston.

La pression reçue de l'orifice qui est de côté tête de piston actionne les vannes VBV vers l'ouverture suivant le réglage de la position voulue. Et vice-versa, la pression reçue de l'orifice qui est de côté tige de vérin actionne les vannes vers la fermeture suivant le de la position voulue, le même fonctionnement pour le deuxième piston .

La tige de piston du vérin de commande des VBV est reliée avec une autre tige qui traverse la vanne de décharge maîtresse qui est connectée avec une bielle d'un côté , et à un anneau de commande de l'autre.

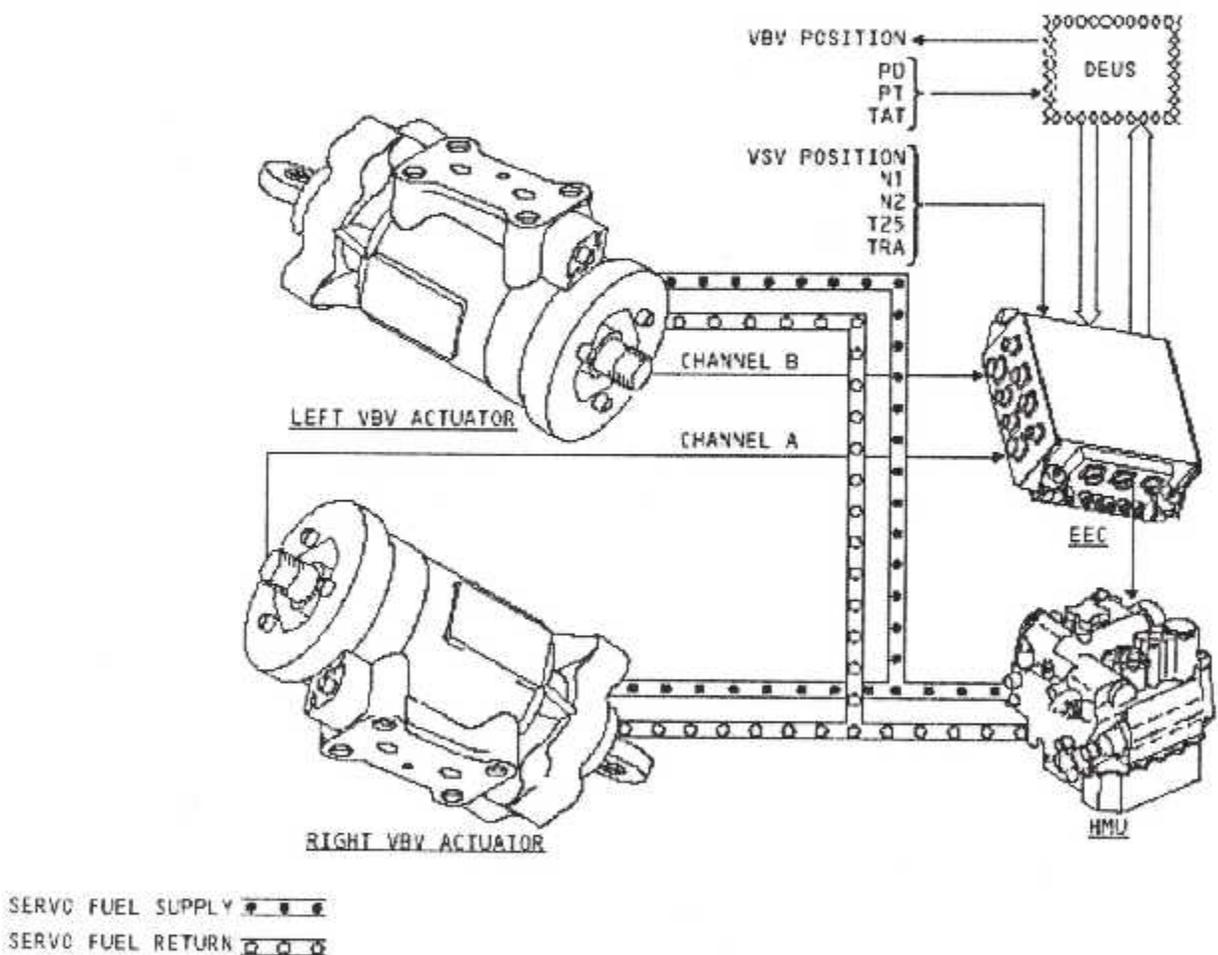


Fig.II-31 Fonctionnement des VBV

Les vérins de commande sont connectés à douze (12) portes qui assurent la position des vérins VBV, ces derniers contrôlent la quantité d'air déchargée de (LPC) qui va au flux d'air secondaire.

La sortie des pistons provoque une rotation en arc de cercle de l'anneau, dans le sens contraire des aiguilles d'une montre et provoque la fermeture des VBV, même mécanisme

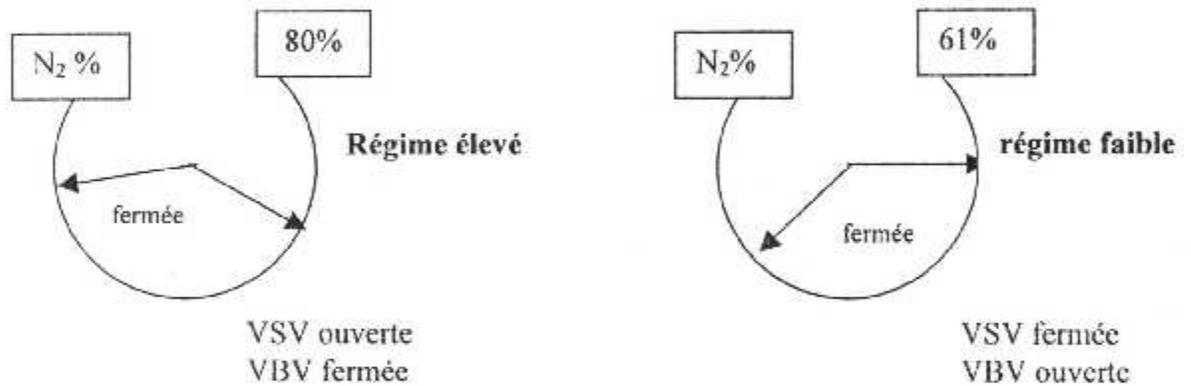
pour l'autre vérin qui opère comme le premier et qui est à proximité de la deuxième vanne de décharge maîtresse .

Chaque vérin de commande se compose d'un transducteur linéaire à déplacement variable (LVDT), de deux raccords de carburant et d'une prise électrique. Le LVDT du vérin droit envoie un signal électrique au canal A du EEC, l'autre LVDT du vérin gauche envoie un signal électrique au canal B de EEC pour contrôler la position des vannes de décharge (VBV).

#### II-3-2-6. FONCTIONNEMENT DES VBV :

Dans les conditions optimales de fonctionnement du moteur c'est à dire à bas régime les vérins de commande définissent une position OUVERTE des VBV.

Les VBV sont en position FERMEE quand les VSV sont en position OUVERTE, c'est à dire quand la vitesse de rotation N2 atteint les 80% de sa vitesse maximale (au régime élevé).



Les vérins des VBV actionnent les portières VBV à une position OUVERTE quand les stators à calage variable VSV sont actionnés à la position FERMEE, c'est à dire quand la vitesse de rotation N2 atteint les 61% de sa vitesse maximale (au bas régime).

Les portières des VBV se déplacent à leurs tours à une position plus FERMEE quand les VSV se déplacent à une position plus OUVERTE.

L'EEC commande les portières des VBV pour être plus OUVERTE pendant :

- ❖ Une décélération rapide de moteur.

#### II-3-3.LA VANNE DE DECHARGE TRANSITOIRE(TBV) :

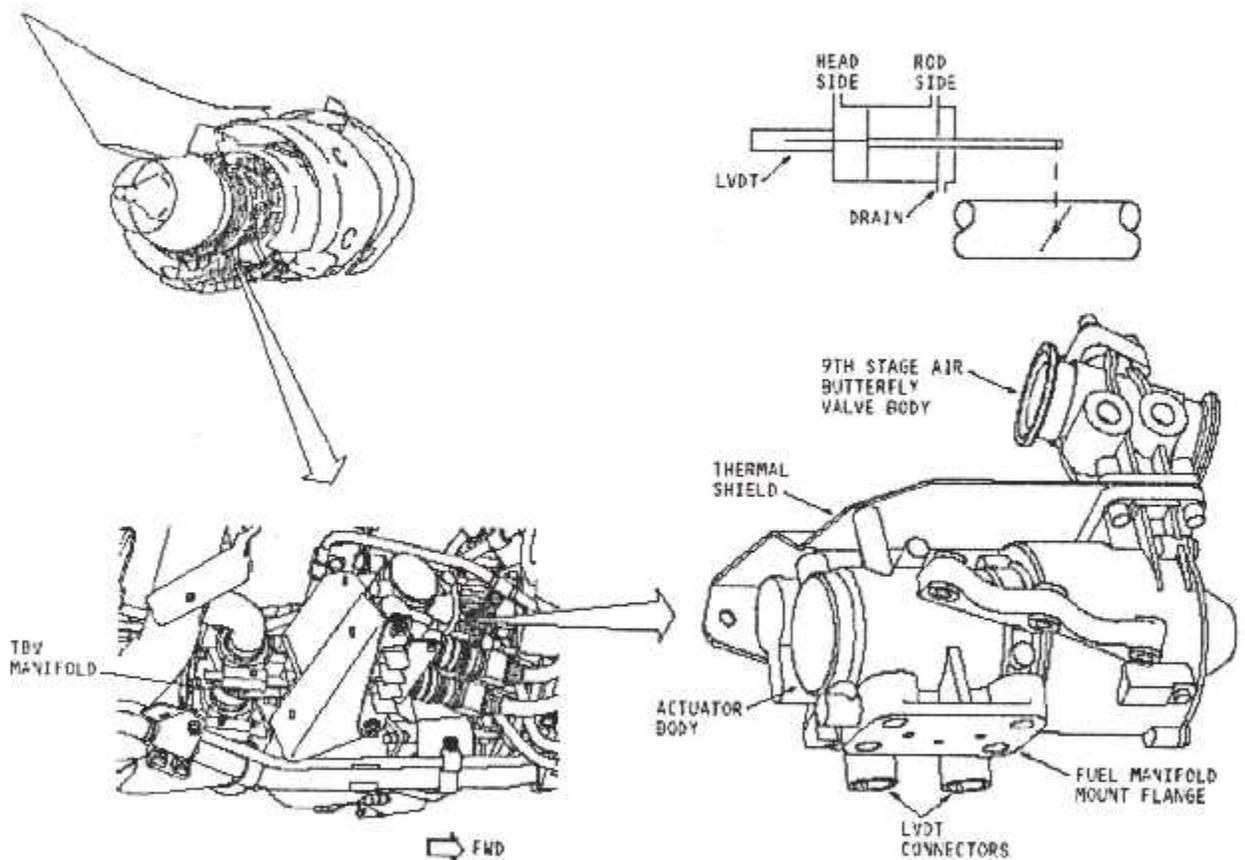
La vanne de décharge transitoire est localisée à la position 6h00 sur le carter turbine haute pression. Son rôle est de décharger l'air du 9<sup>ème</sup> étage compresseur haute pression, vers les stators turbine basse pression 1<sup>er</sup> étage afin d'éviter le pompage.

La vanne de décharge transitoire est ouverte :

- Lors du démarrage réacteur (entre 25% N2 et 55% N2).
- Lors d'une accélération (entre 76% N2 et 80% N2).

La vanne de décharge transitoire est commandée par l'unité électronique de contrôle moteur (EEC) via le régulateur carburant (HMU).

L'EEC utilise le paramètre N2 pour fonctionnement de la vanne de décharge transitoire



**Fig. II-32 La vanne de décharge transitoire (TBV)**

# CHAPITRE III

## CHAPITRE -III-COMPARAISON ENTRE LES DEUX DISPOSITIFS

CF6 80-A3	CFM56-7B
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 12 vannes de décharge (VBV).</li> <li>❖ 6 étages stator à calage variable (VSV).               <ul style="list-style-type: none"> <li>• VBV commandé par deux vérins (gauche, droit).</li> <li>• VBV commandé par deux vérins (gauche et droit).</li> <li>• Vérin VBV et VSV commandés par le MEC (régulateur principale carburant)</li> <li>• Le MEC est commandé par le PMC (calculateur de la poussée moteur).</li> <li>• Un correcteur de calage, son rôle est de retarder le programme de la fermeture des VBV ouverture VSV de 180 à 300 secondes.</li> </ul> </li>   <li>❖ <i>Calculateur moteur (PMC) :</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• il comporte 7 prises électriques identifiées de J1 à J7.</li> <li>• informations que reçoit le PMC :                   <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Manette de poussée.</li> <li>➤ N1</li> <li>➤ N2</li> <li>➤ Pression ambiante.</li> <li>➤ T12.</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> <p>Il reçoit également les informations suivantes de la centrale aérodynamique (ADC) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ TAT.</li> <li>➤ PT.</li> <li>➤ Mach.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 12 vannes de décharge (VBV).</li> <li>❖ 4 étage stator à calage variable (VSV).</li> <li>❖ Une vanne de décharge transitoire (TBV).               <ul style="list-style-type: none"> <li>• VBV commandé par deux vérins (gauche, droit).</li> <li>• VBV commandé par deux vérins (gauche et droit).</li> <li>• Vérin VBV et VSV commandés par le EEC via une électrohydraulique servo vanne située dans le régulateur principal carburant (HMU).</li> <li>• TBV commandée par le EEC à travers un électrohydraulique servo vanne situé dans le HMU.</li> </ul> </li>   <li>❖ <i>Calculateur moteur (EEC) :</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• il comporte 10 prises électriques de J1 à J10 plus une prise d'identification moteur (P11).</li> <li>• Informations que reçoit le EEC:                   <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Manette de poussée.</li> <li>➤ N1.</li> <li>➤ N2.</li> <li>➤ EGT.</li> <li>➤ T12.</li> <li>➤ T25.</li> <li>➤ P25.</li> <li>➤ T3.</li> <li>➤ PS3.</li> <li>➤ Pression ambiante.</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> <p>Il reçoit également les informations suivantes de la centrale aérodynamique (ADIRU) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ TAT.</li> <li>➤ PT.</li> <li>➤ P0.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fonction du PMC:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Contrôle la poussée moteur.</li> <li>b. Affiche le N1.</li> <li>c. Affiche le N2.</li> </ul> </li>   <li>❖ <i>Régulateur principal carburant (MEC).</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• il est entraîné par la pompe carburant HP.</li> <li>• Il comprend :                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Un galet doseur.</li> <li>➤ Un robinet carburant haute pression.</li> <li>➤ Une vanne de mise en pression et de drainage.</li> <li>➤ Un by pass.</li> </ul> </li>   <li>• composants alimentés par le MEC:                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 30 injecteurs.</li> <li>➤ Vérins VBV.</li> <li>➤ Vérins VSV.</li> </ul> </li> </ul> </li>   <li><b>Vérins VBV :</b> <p>Deux vérins situés en positions 2h30- 8h30 commandent les 12 vannes de décharge.</p> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fonction du EEC:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Contrôle la poussée moteur.</li> <li>b. Contrôle tous les systèmes (carburant, graissage, démarrage, indication, reverses, air).</li> <li>c. Affiche les pannes des 10 derniers vols.</li> <li>d. Affiche les pannes des 10 derniers vols.</li> </ul> </li>   <li>❖ <i>Régulateur principale carburant (HMU).</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Il est entraîné par la pompe carburant HP.</li> <li>• Il comprend :                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Un galet doseur.</li> <li>➤ Un robinet carburant haute pression (HPSOV).</li> <li>➤ 6 électrohydraulique servo valve (EHSV).</li> <li>➤ Un solénoïde.</li> <li>➤ Un by pass.</li> <li>➤ 2 prises électriques (canal A/ canal B).</li> </ul> </li>   <li>• composants alimentés par la HMU :                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 20 injecteurs.</li> <li>➤ Vérins VBV.</li> <li>➤ Vérins VSV.</li> <li>➤ Vanne de refroidissement carter turbine haute pression (HPTACC).</li> <li>➤ Vanne de refroidissement carter turbine basse pression (LPTACC).</li> <li>➤ Vanne de décharge transitoire (TBV).</li> <li>➤ Solénoïde de la vanne de sélection d'injecteurs (BSV).</li> </ul> </li> </ul> </li>   <li><b>Vérins VBV :</b> <p>Deux vérins situés en positions 4h- 10h commandent 12 vannes de décharge.</p> </li> </ul>
---	---

<p><b>Vérins VSV :</b></p> <p>Deux vérins localisés en positions 3h- 9h commandent 6 VSV.</p> <p>La commande des vérins VBV et VSV se fait de la façon suivante :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Came 3D.</li> <li>➤ Régulateur centrifuge (N2).</li> <li>➤ Tiroir VSV.</li> <li>➤ Tiroir VBV.</li> <li>➤ Câble de retour d'asservissement VSV.</li> <li>➤ Came VBV.</li> <li>➤ Sonde température T25.</li> </ul> <p>La commande VBV, VSV est purement mécanique car elle fait appel aux :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Régulateur centrifuge</li> <li>• Came 3D.</li> <li>• Came VBV.</li> <li>• Câble de retour d'asservissement.</li> <li>• Correcteur de calage.</li> </ul>	<p><b>Vérins VSV :</b></p> <p>Deux vérins localisés en positions 2h- 8h commandent 4 VSV.</p> <p>La commande des vérins VBV et VSV se fait à partir de EEC via les électrohydraulique servo vanne (EHSV) du HMU.</p> <p>L'EEC reçoit les informations suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□ <b>VBV :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ position VSV.</li> <li>➤ N1.</li> <li>➤ N2.</li> <li>➤ T25.</li> <li>➤ position manette.</li> <li>➤ P0.</li> <li>➤ PT.</li> <li>➤ TAT.</li> </ul> </li> <li>□ <b>VSV:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ N1.</li> <li>➤ N2.</li> <li>➤ T25.</li> <li>➤ P0.</li> <li>➤ TAT.</li> <li>➤ PT.</li> </ul> </li> <li>□ <b>TBV:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ N2.</li> <li>➤ T25.</li> </ul> </li> </ul> <p>La commande VBV, VSV est nettement améliorée car c'est l'EEC qui gère les VBV et les VSV.</p> <p>En plus des VBV et VSV sur le CFM56 7B il existe une vanne de décharge transitoire qui améliore l'écoulement d'air et évite le pompage lors du démarrage et de l'accélération.</p> <p>On peut conclure que le fonctionnement de dispositif d'air est plus précis et plus efficace.</p>
---	--

# CHAPITRE IV

## **CHAPITRE IV: MAINTENANCE DES DEUX DISPOSITIFS :**

### **IV-1- POLITIQUES DE MAINTENANCE :**

La maintenance est définie comme l'ensemble des actions permettant de maintenir ou d'établir un bien dans un état spécifique en mesure d'assurer un service déterminé.

❖ Il y a plusieurs types de maintenance :

- Maintenance préventive.
- Maintenance systématique.
- Maintenance conditionnelle.
- Maintenance corrective.

#### **IV-1-1. MAINTENANCE PREVENTIVE :**

C'est la maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou dégradation d'un service rendu. C'est une intervention de maintenance prévue, préparée à programmer avant la date d'apparition d'une défaillance.

#### **IV-1-2. MAINTENANCE SYSTEMATIQUE :**

C'est une maintenance préventive selon un échéancier suivant le temps ou le nombre d'unités d'usage.

#### **IV-1-3. MAINTENANCE CONDITIONNELLE :**

C'est la maintenance subordonnée à un type d'événement prédéterminé.

#### **IV-1-4. MAINTENANCE CORRECTIVE :**

C'est l'opération de maintenance effectuée en défaillance.

### **IV-2. GENERALITES SUR LA MAINTENANCE EN AERONAUTIQUE:**

Ces notions fondamentales ont influé sur la conception des moteurs avion par l'adaptation de ceux-ci au niveau des moyens et méthodes de détection (maintenance préventive) et la recherche des solutions économiques pour réaliser la maintenance corrective.

Pour les besoins de la maintenance la F.F.A a créé des règlements, une grande partie font référence à la révision moteur programmée. Les utilisateurs sont soumis à déposer, démonter, conditionner, remonter et mettre en place chaque matériel de façon systématique et périodique.

La compagnie nationale AIR-ALGERIE procède à une maintenance qui consiste à :

- ✓ Entretien en ligne.
- ✓ Maintenance en ateliers.

#### IV-3. EVOLUTION DE LA POLITIQUE DE MAINTENANCE :

Dans la politique de maintenance, on distingue plusieurs phases :

- Avant 1960 la maintenance consistait à effectuer des révisions générales à potentiel fixe.
- Avant 1966 on pratiquait des révisions générales spécifiques des parties froides et chaudes du moteur en introduisant la visite intermédiaire.
- En 1966 l'introduction des programmes de fiabilité.
- En 1969 l'introduction de la maintenance modulaire.
- En 1972 la maintenance selon l'état.

#### IV-4. INFLUANCE DE LA FIABILITE :

La tâche la plus économique, la plus rentable est de remplacer ou de réparer un élément avant qu'il ne tombe en panne, et si possible juste avant.

Dans les travaux de fiabilités et de statisticiens afin de déterminer le moment exact pour effectuer la maintenance programmée, ils sont finalement arrivés à une conclusion, c'est que souvent le moment exact n'existe pas; donc tout système, module, sous module, ou moteur se trouve affaiblit d'un taux de panne en général quasiment aléatoire.

Les utilisateurs ont bien remarqués que les taux de défaillance sont les mêmes et parfois il sont plus important dans les 50 heures qui suivent une Révision Générale, que dans les 50 heures précédentes, c'est de là qu'est née l'idée de ne pas démonter inutilement.

Donc la recherche nous a permis d'éliminer les interventions inutiles en assurant bien sur la sécurité des vols.

#### IV-5. ENTRETIEN AVEC TEMPS LIMITE :

Dire qu'un élément fait objet d'un entretien avec temps limité, spécifique que cet élément devra être déposé avant d'atteindre son potentiel ( heure de vol, fonctionnement, nombre de cycles).

Soit pour subir certains travaux qui permettent de le libérer pour une nouvelle période ( potentiel de révision générale ou partielle ). Soit pour être retiré de service ( vie limite ).

#### IV-6. ENTRETIEN AVEC SURVEILLANCE DU COMPORTEMENT EN SERVICE :

Dire qu'un élément fait objet d'un entretien avec surveillance du comportement en service, signifie que l'on interviendra sur cet élément qu'après indication de défaillance.

Ce mode d'entretien n'est applicable qu'aux éléments dont la défection ne va pas se répercuter sur l'état de navigabilité. Cet entretien nécessite la mise en œuvre des moyens appropriés de suivi pour sélectionner les éléments dont le niveau de fonctionnement n'est pas satisfaisant ( fiabilité, statistique, consommation).

La maintenance avec surveillance du comportement est en partie basée sur la connaissance statistique des comportement de l'élément dont on surveille la vie.

#### IV-7. ENTRETIEN SELON VERIFICATION DE L'ETAT :

Signifie que cet élément subit des interventions périodiques ou éventuellement soumis à des observations continues pour déterminer son état. Les critères pour déterminer ces éléments peuvent être entretenus selon vérification de l'état sont les suivant :

- Possibilité d'évaluer la dégradation de l'état, généralement sans dépose, par inspection visuelle, mesures des paramètres significatifs, essais etc....
- Définition dans un document d'entretien de la valeur limite des paramètres significatifs ont des tolérances sur la qualité, les performances, l'usure ou la diminution de la résistance ou défaillance, nécessite des travaux ultérieurs sur les éléments.
- Cette politique nécessite la mise en œuvre des méthodes de détection et de diagnostics des pannes éventuellement ainsi que les moyens d'intervention pour mener les actions collectives .

#### IV-8. ENTRETIEN EN LIGNE :

la maintenance à l'entretien en ligne engendre plusieurs inspections :

- Inspection de routine.
- Vérification de fonctionnement.
- PV2.
- Inspection boroscopique.

##### IV-8-1. INSPECTION DE ROUTINE :

C'est une inspection qui se fait après chaque vol et qui vérifie d'une manière visuelle les constituant extérieurs du moteur.

L'inspection obéit à des normes établies par le constructeur. Cette inspection est prescrite en :

- Inspection journalière.
- Inspection hebdomadaire.

#### IV-8-2. VERIFICATION DE FONCTIONNEMENT :

Cette inspection concerne la vérification du moteur au sol en inspectant les indicateurs au poste de pilotage.

#### IV-12-3- INSPECTION EN ETAT :

Cette inspection concerne la structure métallique extérieure du moteur en contrôlant les fissures et les fuites .

#### IV-8-4. PV2 :

Cette inspection est réalisée toutes les 200 heures de fonctionnement du moteur.

#### IV-8-5. INSPECTION BOROSCOPIQUE :

C'est une inspection qui nécessite un appareillage ( le boroscope) et un éclairage qui varie entre 150 et 300 Watt.

Le but de cette inspection est de voir l'état interne du moteur :

- Les ailettes du compresseur.
- La chambre de combustion.
- Les ailettes de la turbine.

**NB :** Cette inspection est réalisée chaque 400 cycles.

#### A. MAINTENANCE DU DISPOSITIF ANTI-POMPAGE DU CFM56 7B :

La maintenance du dispositif anti-pompage est réglementée par le constructeur. Pour le bon fonctionnement du dispositif anti-pompage il faudrait que les composants suivants soient en bon état.

- Vérins.
- Tuyauterie.
- Vannes de décharge.
- Stators à calage variable.
- Vannes de décharge transitoire.
- Electrohydraulique servo-vannes (EHSV).
- EEC.
- HMU.
- LVDT.

Toutefois en cas d'anomalie de dispositif anti-pompage la tâche a été nettement améliorée pour le personnel de la maintenance grâce au calculateur EEC. Ce dernier offre beaucoup d'avantages sur le plan maintenance.

L'unité électronique de contrôle moteur EEC :

- mémorise les pannes des 10 derniers vols.
- Affiche sur l'écran d'affichage (CDU) les pannes des 10 derniers vols.

Il suffit de sélectionner la page INPUT MONITORING (DONNER DE SUIVI) cette page offre le suivi suivant :

- contrôle de boucle.
- Contrôle de température.
- Contrôle de pression.
- Circuit carburant.
- Circuit de graissage.

Chaque page gère les composants

*Contrôle de boucle :*

Cette comporte le contrôle de boucle des :

- galet doseur.
- VSV.
- VBV.
- Vanne de refroidissement carter turbine haute pression.
- Vanne de refroidissement carter turbine basse pression.
- Vanne de décharge transitoire TBV.
- BSV.
- Manette de poussée manette reverse.

Cette page affiche :

- position demandée .
- position actuelle.

En cas d'anomalie entre la commande et la position l'EEC affiche l'erreur.

**Exemple : VBV**

Position demandée	34.00 degrés
Position	33.99 degrés.
Erreur	00.01degres.

En conclusion, cette page permet de vérifier le fonctionnement exacte des (VBV, VSV et TBV).

En plus de la page INPUT MONITORING, il y a la page RECENT FAULTS (pannes récentes). Cette page permet d'afficher un message de l'anomalie sous forme de :

- DIGIT.
- TEXTE.

**B. MAINTENANCE DU SYSTEME ANTI-POMPAGE DU MOTEUR CF6 80 A3 :**

La maintenance de dispositif anti-pompage est réglementée par le constructeur. Pour que le système anti-pompage fonctionne normalement, il faut que les éléments suivants soient en bon état :

- vérins.
- Tuyauterie des veines ;
- Vannes de décharge.
- Stator à calage variable.
- Correcteur de calage.

Toute fois en cas d'anomalie le personnel de la maintenance doit faire un effort mental considérable afin de déterminer l'anomalie.

# Conclusion

A l'issue de notre travail, nous avons pris connaissance :

- du réacteur CF6 80 A3.
- Du réacteur CFM 56 7B.

L'étude faite concerne la comparaison des dispositifs anti-pompage des réacteurs CF6 80 A3 et CFM 56 7B.

Le dispositif anti-pompage de n'importe quel réacteur a pour mission principale le contrôle du débit à travers le compresseur, c'est-à-dire, éviter le pompage.

Sur le réacteur CF6 80 A3, le dispositif anti-pompage comprend :

- ❖ 12 vannes de décharge VBV.
- ❖ 6 stator à calage variable VSV.

Sur le réacteur CFM 56 7B, le dispositif anti-pompage

- ❖ 12 vannes de décharge VBV.
- ❖ 4 stator à calage variable VSV.
- ❖ Un vérin de décharge transitoire.

Nous avons constaté que sur le CFM56 7B, il y a une vanne de décharge transitoire en plus.

Sur le plan fonctionnement ;

- le CF6 80 A3 est commandé par le MEC, et le dispositif anti-pompage est trop mécanique.
- Le CFM56 7B est commandé par le EEC qui commande le HMU. Le dispositif anti-pompage est plus précis car c'est le calculateur qui gère le système.
- En plus sur le plan maintenance, nous avons constaté que la recherche de panne ;
- sur le CF6 80 A3 est faite par le personnel de la maintenance aéronautique.
- Sur le CFM56 7B, la EEC donne la solution à toute les anomalies.

Cependant nous pouvons conclure que le dispositif anti-pompage du CFM56 7B est plus amélioré que celui de CF6 80 A3.

Cette expérience nous a permis de mettre en pratique nos connaissances technique et de nous préparer pour une vie professionnelle dans le monde de l'aviation.

## ABREVIATIONS :

AC	: Courant alternatif.
A/C.A/P	: Avion
ACARS	: système de transmission des données numériques entre l'avion en vol et en sol et inversement .
ADIRU	: Centrale de référence inertielle des données aériennes.
AGB	: boîte de commande d'accessoires.
ALTN	: dégagement.
AOG	: appareil immobilisé.
APU	: unité de puissance auxiliaire.
ARINC	: organisme de gestion des télécommunications aéronautiques
A/T	: auto manette.
BITE	: équipement d'essai incorporé – contrôleur intégré.
BSI	: inspection endoscopique ( sans démontage du moteur ).
BSV	: vérin d'ouverture des clapets de décharge.
°C	: degré celsius.
CCDL	: canal de liaison des données de transmission.
CDS	: système de visualisation commune.
CDU	: boîte de commande et d'affichage.
CFMI	: CFM international.
CIP	: pression d'entrée compresseur.
CIT	: température d'entrée compresseur.
CSD	: entraînement à vitesse constante.
DAC	: moteur à chambre de combustion annulaire double.
DUE	: unité d'affichage électronique.
DOD	: dégât causé par un phénomène naturel.
DMS	: système de détection ( surveillance )débris.
ECAM	: electronic centralized aircraft monitor.
EEC	: unité de contrôle électronique.
ECU	: dispositif de régulation numérique du moteur.
EICAS	: système de contrôle des paramètres moteur et d'alerte équipage.
EGT	: température de sortie des gaz d'échappements.
EHSV	: système hydraulique a moteurs couple.
FAA	: bureau fédéral de l'aéronautique ( USA ).
FADEC	: système de régulation électronique numérique à pleine autorité du Moteur.
FAR	: réglementation fédérale de l'aviation civile.
FDAU	: boîtier de détection des données de vol.
FDR	: bond magnétique du vol.
FIM	: manuel de recherche de panne du constructeur.
FMC	: ordinateur de gestion du vol.

<b>FMV</b>	: vanne de dosage carburant.
<b>FOD</b>	: dégât causé par des corps étrangers.
<b>FRV</b>	: contrôle de la valve de retour carburant.
<b>HDS</b>	: arbre d'entraînement horizontal.
<b>HMU</b>	: dispositif de régulation du moteur.
<b>HPC</b>	: compresseur haute pression.
<b>HPT</b>	: turbine haute pression.
<b>HPTCC</b>	: contrôle de jeu HPT.
<b>HPTCCV</b>	: valve de HPTCC.
<b>HPSOV</b>	: robinet d'arrêt HP.
<b>IDG</b>	: générateur d'entraînement intégré.
<b>IGB</b>	: boîtier du dispositif d'admission.
<b>IGV</b>	: aube de pré rotation à calage variable.
<b>LPC</b>	: compresseur basse pression.
<b>LPT</b>	: turbine basse pression.
<b>LPTACC</b>	: contrôle du jeux turbine BP.
<b>LVDT</b>	: transformateur différentiel variable linéaire.
<b>MEC</b>	: régulateur carburant.
<b>N1</b>	: vitesse de rotation de l'attelage basse pression.
<b>N2</b>	: vitesse de l'attelage haute pression.
<b>OGV</b>	: aubage directeur de sortie.
<b>PMC</b>	: calculateur de poussée moteur.
<b>PN</b>	: référence de pièce.
<b>P0</b>	: pression de l'air statique.
<b>PS3</b>	: pression de décharge compresseur.
<b>PS12</b>	: pression de l'air statique de l'entrée fan.
<b>PS13</b>	: pression de l'air statique de l'entrée fan.
<b>PT</b>	: pression de l'air totale.
<b>RDS</b>	: arbre d'entraînement radial.
<b>RPM</b>	: nombre de tour par minute.
<b>SNECMA</b>	: société d'étude et de construction de moteur d'aviation.
<b>T3</b>	: température de 9 <sup>ème</sup> étage de compresseur HP.
<b>T25</b>	: température d'air à la sortie de compresseur HP.
<b>TAT</b>	: température d'air totale.
<b>TBV</b>	: vanne de décharge et de transition.
<b>TGB</b>	: boîtier de renvoi d'angle de poussée.
<b>TLA</b>	: manette de commande d'angle de poussée.
<b>TRA</b>	: la résolution d'angle des reverses.
<b>TRS</b>	: inverseur de poussée.
<b>VBV</b>	: vannes de décharge.
<b>VSV</b>	: stator à calage variable.

# Bibliographie

## **OUVRAGES**

CF6-80 A1/A3 ENGINE MANUAL

GEK 72501-VERSION 4010  
REVISION N° 41-GEAE-OCTOBER 1991

CF6-80 A3 BASIC ENGINE AND SYSTEM PMC  
TECHNOLOGIE DES TURBOREACTEUR G.LEHMANN ET POURRET Edition :  
ENAC-TOULOUSE 1986

## **CD-ROM**

Manuel de maintenance d'avion Boeing AMM 10/2001  
Manuel de maintenance d'avion Boeing FIM 10/2002

## **THESES**

Système anti-pompage du CFM-56 7B 2002

Système anti-pompage du CF6-80 A3 1995

Circuit d'air du CFM-56 7B 2002

Maintenance du réacteur CF6-80 A3 1994

## **SITES INTERNET**

[www.CFM.56.com](http://www.CFM.56.com)  
[www.snecma -moteur.com](http://www.snecma -moteur.com)