

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Saad Dahleb Blida



INSTITUT D'AERONAUTIQUE



Pour l'Obtention du Diplôme d'Etudes Universitaires Appliquées En
Aéronautique

Option : PROPULSION



THEME

***ETUDE COMPARATIVE DU
REGULATEUR CARBURANT DU
REACTEUR CFM 56-7B ET LE
REGULATEUR CARBURANT DU
REACTEUR CF6 80-A3***

Etudié par :

Mr: YOUBI Boumediene

Mr: MEHDAOUI Rabah

Sujet proposé par :

Mr: BENOMAR Abdelkader

Mr: KBAB Hakim

Promotion 2005

DEDICACE

Je dédi ce modeste travail à ceux qui mon prodigué leurs confiances et m'ont encouragé à étudie sans lacune.

- A mes parents qui ont vécués beaucoup d'armature.

- A mon cher frère SMAIL qui j'aime très fort et j'éstime beaucoup.

- A mes deux sœurs.

- A moi même.

- A toute ma famille exprotiellement à mon oncle BOUSSOKAYA.

- A mes grandes mères et mes grands pères.

- A mon binôme RABAH et à toute sa famille.

- A mes collègues de BLIDA : REDOUANE (27), KARIM, RAFIK, SOFIANE, CHAWKI, MOKHTAR, REDOUANE (44), HAKIM, HOUCINE, WALID, SAID.

- A mes meilleurs amis de TLEMEN : HOUARI, SMAIL, DJAMEL, MOHAMED, KHOUAN, sans oublier mon très cher ami KABES AHMED qui j'aime beaucoup.

- A tous qui m'ont aidé de loin ou de prés.

- A tous qui me cher et que j'aime.

BOUMEDIENE

Dédicace

Je dédi ce modeste travail à ceux qui mon prodigué leurs confiances et m'ont encouragé à étudie sans lacune.

- A mes parents qui ont vécués beaucoup d'armature.

- A mon cher frère Abdelkarim qui j'aime très fort et j'estime beaucoup.

- A ma grande sœur et son mari et leurs enfants « Redha et kheireddine ».

- A mes sœurs.

- A moi même.

- A toute ma famille.

-A l'esprit de mes grandes Mères et de mes grands Pères.

- A mes collègues de BLIDA : REDOUANE (27) ,KARIM , RAFIK, CHAWKI , REDOUANE (44), SAID, HAKIM ,HOUCINE,MOUSSA.

- A mes meilleurs amis de TLEMCEN :Ahmed, Mouhamed, Hamlili, Abdellah, Abderrahim, Bedredine, Mahfoud, Benamare, Abdelhalim, Mourad.

- A tous qui m'ont aidé de loin ou de prés.

- A mon binôme Boumediene et à toute sa famille.

SOMMAIRE

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES DEUX MOTEURS.

I généralités sur le moteur CFM 56-7B.....	01
I-1 description du moteur CFM 56-7B.....	02
I-1-1 système d'inverseurs de poussée.....	03
I-1-2-station aérodynamique du moteur.....	04
I-1-3 les régimes.....	06
I-2 description CFM 56-7B.....	06
I-2-1 caractéristique du réacteur CF6 80-A3.....	07
I-2-2 Les composants du moteur CF6 80-A3.....	07
I-2-3 Fonctionnement du réacteur.....	12
I-2-4 Les différents circuits du réacteur.....	14

CHAPITRE II : LA REGULATION

II-1 principe de régulation.....	18
II-2 les différents types de régulation.....	20
II-3 différents types des régulateurs.....	23
II-4 paramètre influent.....	31
II-5 fonctions assurées par la régulation carburant.....	32
II-6 influence des paramètres.....	33
II-7 types de régulation.....	36
II-8 types de régulateurs.....	40
II-9 limitation de la température sortie turbine.....	42
II-10 limitation de survitesse.....	44
II-11 étude de la régulation turbo fan application CF6 80-A3.....	48
II-12 régulation débit carburant.....	49
II-13 description et fonctionnement des éléments de régulation.....	52
II-14 Description du système FADEC.....	68
II-15 Description de l'unité de contrôle électrique EEC.....	70
II-16 Le dispositif de régulation moteur HMU.....	73
II-17 Système de contrôle du moteur CFM56-7B.....	75
II-18 Paramètre fournis par le EEC.....	75
II-19 Indication moteur.....	83

CHAPITRE III : CIRCUIT CARBURANT DES DEUX MOTEURS

III- Circuit de carburant	94
II-2 circuit carburant avion	96
II-2-1 circuit carburant du moteur CFM 56-7B	97
III-2-1-1 rôle du circuit carburant	97
III-2-1-2 Description du circuit carburant	99
III-2-1-3 La pompe carburant	99
III-2-1-4 L'échangeur thermique huile/carburant moteur	101
III-2-1-5 Filtre principal carburant	102
III-2-1-6 Le servo réchauffeur carburant	102
III-2-1-7 l'échangeur d'huile / de l'alternateur (IDG)	102
III-2-1-8 Régulateur principal carburant (HMU)	103
III-2-1-9 Débitmètre	107
III-2-1-10 Filtre injecteur de carburant	107
III-2-1-11 La rampe carburant	108
III-2-1-12 Les injecteurs	108
III-2-1-13 Fonctionnement du circuit carburant	110
III-2-2 circuit carburant du moteur CF6 80-A3 :	112
III-2-2-1 rôle du circuit carburant	112
III-2-2-2 Description du circuit carburant	112
III-2-2-3 Fonctionnement du MEC	113
III-2-2-4 Fonctionnement du circuit carburant	114

CHAPITRE VI : LA COMPARAISON

VI- La comparaison	116
--------------------------	-----

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I :

Fig (I-1) Les modules du réacteur CFM 56-7B.....	5
Fig (I-2) Description générale du réacteur CF6 80-A3.....	17

CHAPITRE II :

Fig (II-1) Régulateur du débit carburant.....	20
Fig (II-2) Régulateur turbo-réacteur.....	21
Fig (II-3) Régulation turbo-moteur turbine liée.....	21
Fig (II-4) régulation turbo-moteur turbine libre.....	22
Fig (II-5) Régulation turbo-propulseur (conventionnelle).....	22
Fig (II-6) Régulation turbo-propulseur (non conventionnelle).....	23
Fig (II-7) Régulateur de vitesse mécanique simple.....	23
Fig (II-8) Limiteur de charge thermique.....	24
Fig (II-9) Régulateur de vitesse hydromécanique.....	25
Fig (II-10) Régulateur de température.....	26
Fig (II-11) Régulateur électrique.....	27
Fig (II-12) Dosage par actionneur à commande numérique.....	27
Fig (II-13) Exemple de régulation de vitesse (analogique).....	28
Fig (II-14) Exemple de régulation à commande numérique.....	28
Fig (II-15) dispositif de dosage barostatique.....	29
Fig (II-16) dispositif dit temporisé.....	29
Fig (II-17) dispositif de dosage P2-P0.....	30
Fig (II-18) dosage par servo-valve.....	31
Fig (II-19) schéma représentant une régulation à programme.....	37
Fig (II-20) schéma représentant une régulation à boucle.....	38
Fig (II-21) turboréacteur double corps double flux.....	40
Fig (II-22) Représentation d'une accélération non régulée.....	45
Fig (II-23) représentation d'une accélération régulée.....	46
Fig (II-24) Représentation d'une décélération régulée.....	47
Fig (II-25) Calculateur de poussée moteur (PMC).....	63

CHAPITRE III :

Fig (III- 1) Les composants du circuit carburant du CFM 56-7B.....	98
Fig (III- 2) La pompe carburant du moteur CFM 56-7B.....	100
Fig (III- 3) Les injecteurs du circuit carburant.....	109
Fig (II-4) Circuit carburant du moteur CFM 56-7B.....	111
Fig (III- 5) Circuit carburant du moteur CF6 80-A3.....	115

GLOSSAIRE

Anglais

Français

A)

AGB : Accessory Gear Box
APU : Auxiliary Power Unit
ACC : Active Clearance Control

Boite d'entraînement d'accessoires
Groupe auxiliaire de puissance
Contrôle actif de jeu

B)

Bleede Valve
Booster
BSV : Burner Staging Valve

Vanne de soutirage
Compresseur basse pression
Vanne de sélection d'injecteurs

C)

Combustor
Core module

Chambre de combustion
Module générateur de gaz

D)

Disch : Discharge

Décharge

E)

EEC : Electronic Engine Control

EGT : Exhaust Gas Temperature
EHSV :
EICAS : Engine Indicating and
Crew Alerting Systeme
ENG : Engine

Unité électronique de contrôle
moteur
Température des gaz d'échappement
Electrohydraulique servo vanne
Système d'indication des
Paramètres moteur et d'alarmes
moteur

F)

FADEC : Full Authority Digital
Electronic Control
FRV : Fuel Return Valve
FMV : Fuel Metering Valve
Fuel Flow Transmitter
Fuel Nozzel Filter
Fuel / Oil Heat Exchanger

Système de régulation électronique
numérique a plein autorité moteur
Vanne de retour carburant
Galet doseur carburant
Débitmètre
Filtre injecteur carburant
Echangeur de chaleur huile /carburant

H)

HMU : Hydro Mecanical Unit
HPSOV : High Pressure Shut
Off Valve

Régulateur principal carburant
Robinet carburant haute pression

HPTACC : High Pressure Turbine
Active Clearance

Contrôle actif du jeu turbine
haute pression

I)

IDG : Integrated Drive Generator
IDG Oil Cooler
Ignation System
Ignater Plug
IGV

Alternateur
Echangeur huile /carburant alternateur
Système d'allumage
Allumeur
Aubes de prerotation a calage
variable

L)

LBU : Lubrification unit
LPTACC : Low Pressure Turbine
Active Clearance
Lube Filter
LVDT : Linear Variable Displacement
Transducer

Unité de lubrification
Contrôle actif du jeu turbine
basse pression
Filtre principal d'huile
Transformateur différentiel variable
linéaire

N)

N1

Vitesse de rotation de l'attelage
basse pression

N2

Vitesse de rotation de l'attelage
haute pression

O)

Oil Tank
OSG : over speed governor

Réservoir d'huile
Gouverneur de survitesse

R)

Rev

Reverse

S)

Scavenge Oil Filtre
Scavenge Pump
ServoFuel Heater
Start Valve
Starter
Switch

Filtre de récupération d'huile
Pompe de récupération
Servo réchauffeur carburant
Vanne de démarrage
Démarreur
Interrupteur

T)

TAT : Total Air Temperature
TBV : Trensient Bleed Valve

Température totale de l'air
Vanne de décharge transitoire

V)

VBV : Variable Bleed Valve
VSV : Variable Stator Valve

Vanne de décharge
Stators a calage variable

INTRODUCTION

Un moteur d'avion doit satisfaire à un certain nombre d'exigences : une grande fiabilité, une long durée de vie, un faible poids une faible consommation et une faible surface frontale. Le facteur le plus important est la fiabilité. La durée de vie est un paramètre d'ordre économique particulièrement important en aviation commerciale. Quand au trois autres critères, ils dépendent du type d'avion pour le quel le moteur est prévu.

L'objectif de notre travail est d'élaborer une étude comparative entre deux systèmes de régulation du carburant des deux réacteurs le CFM 56-7B et le CF6 80-A3.

Pour mener a bien notre étude, nous avons devise le travail en quatre chapitre, dans le premier on a parlé sur les généralités des deux moteurs. Le deuxième est consacré a la régulation en générale. Par contre le troisième est une étude bien détaillée des deux circuits carburant et la régulation de chaque moteur. Le quatrième est une comparaison entre les deux dispositifs. Enfin une conclusion est tirée.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES DEUX MOTEURS

I- Généralités:

Le CFM 56 est un moteur (engin) qui a été développé à partir d'un programme qui date de 1974, issue d'une fusion d'une société occupant une place importante à l'échelle internationale (mondiale).

Donc, le CFM 56, est issue de la coopération de deux sociétés SNECMA-GENERAL ELECTRIC. SNECMA étant une société national d'étude et construction de moteur aéronautique, qui tient 50% de projet, et l'autre 50 % est assurée par General Electric.

CFM: Compressor Fan Motor**SNECMA**

FAN

GB (gear box)

LPT (turbine basse pression)

HPC (compresseur haut pression)

GENERAL ELECTRIC

corps

HPT (turbine haut pression)

C-C (chambre de combustion)

Ce moteur occupe une position commerciale très sure dans le marché d'aéronautique, il équipe les avions B737, série 600-700-800-900 BBJ.C40.

CARACTERISTIQUE DU MOTEUR:

- ❖ Modèle CFM56-7B
- ❖ Poussée 18000 a 27300 **Pounds**
- ❖ Diamètre du fan 61 Inch (1.55 mètres)
- ❖ Poids du moteur à vide 2358 kg
- ❖ Masse de la nacelle complète
- ❖ (Moteur+ capots) 3300 Kg

- ❖ Longueur 2,50 mètres
- ❖ Mach 0,8
- ❖ N1 max 5380 RPM (104%)
- ❖ N2 max 15183 RPM (105%)
- ❖ Taux de compression 32
- ❖ Débit d'air au décollage 385 Kg/h
- ❖ Vitesse moyenne d'éjection
- ❖ Des gaz (décolage) 295 m/s
- ❖ Consommation spécifique 0,59 a 35 Kft
- ❖ (0,59 Kg de carburant par Kgf de poussée et par heure).
- ❖ Taux de dilution 5,6 / 1.
- ❖ Générateur électrique 90 Kva
- ❖ Hydraulique 3000 psi a 34 gallons/min
- ❖ Pneumatique. limité à 45 PSI.
- ❖ Limite de démarrage de l'EGT 725°C
- ❖ EGT max 950°C

I-1 Description du moteur CFM 56-7B:

Le moteur CFM56-7B est un moteur double flux, double corps, une combustion annulaire équipée de 20 injecteurs et de deux allumeurs, est comprend trois (03) modules principaux :

- FAN ET BOOSTER.
- MODULE CORE.
- MODULE TURBINE BASSE PRESSION.

I-1-1 Système d'inverseurs de poussée:

Le système de poussée T/R change la direction de l'air éjecté par le Fan pour aider à la création d'une poussée inverse. L'équipage utilise la poussée inverse pour ralentir l'avion après atterrissage ou durant un décollage avorté (RTO). C'est-à-dire une accélération ARRET.

La direction du flux des gaz de turbine ne change pas durant l'inversion de poussée.

Le système T/R a un système de contrôle Hydrauliquement et un système d'indication.

Le système T/R a deux inverseurs de poussée:

- ❖ T/R 1 est l'inverseur de poussée du moteur 1(gauche)
- ❖ T/R 2 est l'inverseur de poussée du moteur 2(droit)

Chaque T/R a un côté droit et un côté gauche. chaque côté a des manches translats vers l'arrière (position déployée) pour inverse la poussée. Chaque manche travail indépendamment l'une de l'autre.

L'air éjecté par le Fan sort radialement et vers l'avant quand les manches translats sont dans la position déployée.

Quatre (04) charnières attachent chaque côté de T/R au mat. On doit désactiver l'inverseur de poussée avant d'ouvrir un côté du T/R six (06) sangles dans le bas des deux côtés les gardent ensemble.

Les composants suivants constituent un coté de l'inverseur de poussée:

- ❖ Manches translantes.
- ❖ Volets défecteurs type krueger (coté interne).
- ❖ Porte bouchage.
- ❖ Barres d'entraînement des portes de bouchage.
- ❖ Activateur d'ouverture.
- ❖ Sangle de tension.
- ❖ Cloison coupe feu.
- ❖ Portières d'accès.

I-1-2 Station aérodynamique du moteur :

Il y a des capteurs et des sondes aux cinq (05) station aérodynamiques sur le CFM56-7B :

- ❖ Station 0: air ambiant
- ❖ Station 12: entrée d'air.
- ❖ Station 25: sortie Compresseur **BP** entrée Compresseur **HP**.
- ❖ Station 30: sortie compresseur haute pression.
- ❖ Station 49.5: sortie 2eme étage turbine basse pression.
- ❖ Station 13: sortie stator Fan.
- ❖ Station 50: sortie turbine basse pression.

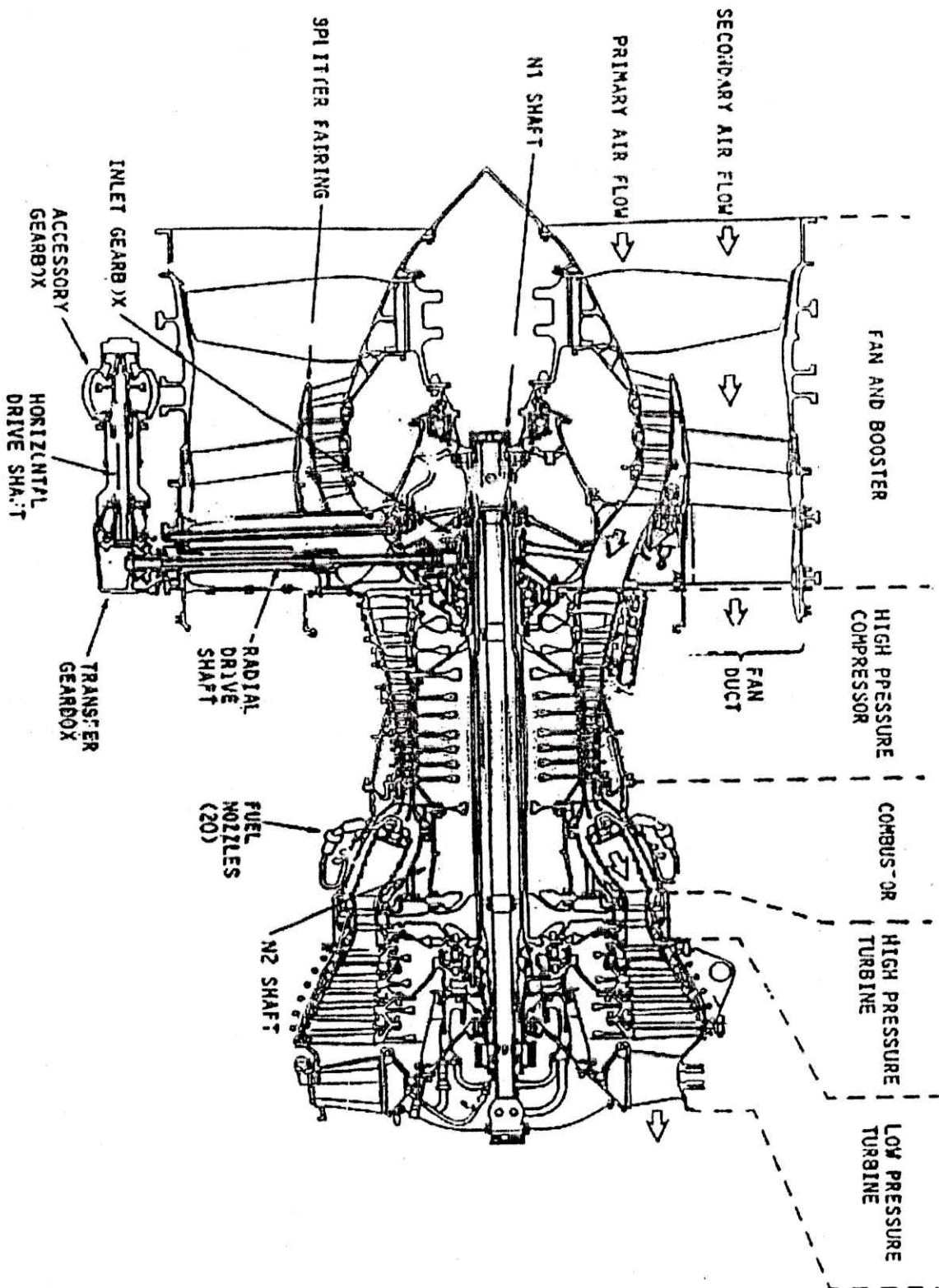


Fig (I-1) Les modules du réacteur CFM 56-7B

I-1-3 Les régimes :

Régime N1 :

- 100%= 5173 tr/min.
- 104%= 5380tr/min.

Régime N2 :

- 100%= 14460tr/min.
- 105%= 15183r/min.

EGT :

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

I-1-4 Les défèrent circuit du réacteur CFM 56-7B :

I-1-4-1 circuit de graissage :

Le rôle de 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.

I-1-4-2 circuit de démarrage :

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) boite d'allumage (gauche et droite).
- Deux (02) bougies.

I-1-4-3 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 indépendant gauche et droit.

- Circuit gauche :

Il comprend :

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

- Circuit droit :

Il comprend :

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

I-1-4-4 Circuit reverse :

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 couronne. En configuration normale la détente du flux secondaire assure 80% de la poussée totale.

I-2 Description du réacteur CF6-80A3:

Le réacteur *General Electric* CF6-80A3 est un turboréacteur double corps, double flux, développe une poussée de l'ordre 220 à 285KN, dont 77% due au flux secondaire et 23% due au flux primaire son taux de dilution est 4,66/ 1.

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 etA300-200) , BOEING(747-200,300,400 et767-200) et DOUGLAS MD-1

I-2-1 Caractéristiques Principales Du Réacteur CF6 80-A3:

- Poussée statique maximal :(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 : 0,368 Kg/h/daN.
- La poussée de croisière : Z = 3500 pieds, M=0,8, F=4800 daN.
- 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 : 2,96 m.
- Le débit d'air totale : 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-2-2-Les composantes du réacteur CF6 80-A3:

1. Entrée 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'entrée du compresseur dans tous les régimes de vol et permet aussi le ralentissement des filets d'air.

- ◆ Capot d'entrée d'air.

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 sorties du fan sont destinées à redresser l'écoulement avant l'entrée dans la tuyère.

- ◆ Capotage fan.

3. Compresseur:

Le mélange air-kérozène ne peut s'enflammer que dans certaines conditions de pression et de température, les constructeurs de moteur 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.

A) Compresseur basse pression (CBP):

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 (CHP):

Elle comporte 14 étages successifs, les six (06) 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, toute l'attelage est entraîné par une turbine à deux étages.

4. Chambre de combustion:

Elle est de type annulaire et elle se trouve à l'intérieure du (carter arrière compresseur) c'est dans cette chambre que la température d'air à la sortie du

compresseur (HP) augmente jusqu'à atteindre celle prévue pour le fonctionnement de la turbine.

5. La turbine

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

En générale les turbines rencontrées sur les turboréacteurs sont de type "axial" l'écoulement est parallèle à l'axe du moteur.

A. Turbine haute pression (THP):

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

B. Turbine basse pression (TBP):

Elle est composée de quatre étages, toute 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 les surfaces de carter en laissant passer de l'air secondaire du fan, cet écoulement d'air de refroidissement réduit les jeux radiaux de rotor au augmentant la durée de vie de la turbine.

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 palies vers l'arrière du réacteur.

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

L'attelage HP (compresseur haut pression HP 14 étages entraînés par une turbine HP à 2 étages) est supporté par 3 roulements.

7-Tuyère D'éjection :

Le but de la tuyère d'éjection est transformer l'énergie de pression des gaz chauds en énergie cinétique. C'est dans la tuyère d'éjection qu'a 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 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 sortant du générateur de gaz reste dirigé vers l'arrière.

8-Capotage Réacteur :

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.

- Capot fan.
- Capot reverse.
- Capot corps.

9-Boite d'entraînement 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 : Intet gearbox) et une boite de transfert (TGB : transfert gearbox).un arbre horizontal relie la boite de transfert au gearbox.

Le rapport de réductions des vitesses ; arbre horizontal, attelage HP est de 0.956/1.

Les différents accessoires entraînés par la gearbox sont :

- 2 pompes hydrauliques.
- Un bloc de pompes à huile de lubrification et récupération.
- Le démarreur
- L'alternateur (IDG)
- La pompe de carburant à haute pression (HP)
- Le régulateur carburant (MEC).

I-2-3 Fonctionnement du réacteur :

Le réacteur absorbe un flux d'air qui sera compressé par le compresseur (BP), ce air va en suite se mélanger avec le carburant injecté par les injecteurs dans la

8-Capotage Réacteur :

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.

- Capot fan.
- Capot reverse.
- Capot corps.

9-Boite d'entraînement 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 : Intet gearbox) et une boite de transfert (TGB : transfert gearbox).un arbre horizontal relie la boite de transfert au gearbox.

Le rapport de réductions des vitesses ; arbre horizontal, attelage HP est de 0.956/1.

Les différents accessoires entraînés par la gearbox sont :

- 2 pompes hydrauliques.
- Un bloc de pompes à huile de lubrification et récupération.
- Le démarreur
- L'alternateur (IDG)
- La pompe de carburant à haute pression (HP)
- Le régulateur carburant (MEC).

I-2-3 Fonctionnement du réacteur :

Le réacteur absorbe un flux d'air qui sera compressé par le compresseur (BP), ce 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-2-4 Les différents circuits du réacteur :

I-2-4-1 circuit de ventilation nacelle :

La nacelle réacteur comprend trois compartiments principaux :

- entrée d'air.
- compartiment fan et accessoires.
- compartiment réacteur.

Chaque compartiment est isolé par des cloisons. Seuls, les compartiments du fan et accessoires ainsi que le compartiment réacteur, comportent une circulation d'air forcée.

I-2-4-2 circuit de refroidissement IDG :

L'huile du circuit de lubrification de l'IDG est refroidie par deux échangeurs thermiques :

- a- un échangeur thermique carburant réacteur / huile IDG.
- b- Un échangeur thermique air huile IDG.

I-2-4-3 Circuit de ventilation du PMC :

Le container du calculateur de poussée moteur (PMC) est installé sur le carter de fan en position 2 h. un circuit de ventilation assure son refroidissement.

Ce circuit est alimenté par une prise d'air statique à l'extérieur de la nacelle en position 4 h. une prise d'air en provenance du compresseur BP accélère la ventilation vers le PMC.

I-2-4-4 Circuit de drainage :

Le circuit de drainage évacue vers l'extérieur de la nacelle, les vapeurs et fuites éventuelles en provenance :

-du réacteur :

* gaines d'étanchéité des tuyauteries carburant.

* rampe d'injection carburant.

*du réservoir d'huile

- des accessoires

-du mât réacteur

II-2-4-5 circuit de graissage :

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

Le circuit d'huile se compose de :

- ❖ Réservoir
- ❖ Pompes
- ❖ Filtre équipé d'un by-pass
- ❖ Clape de surpression
- ❖ Injecteurs

II-2-4-6 Circuit de démarrage :

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 ($2S < P < 55\text{PSI}$)

II-2-4-7 circuit d'indication de réacteur :

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

- Des indications suivantes : N1, N2, EG, niveau vibratoire, débit carburant e quantité d'huile, température e pression d'huile.
- Des voyants d'alarme au panneau central pilote
- Du système d'ECAM

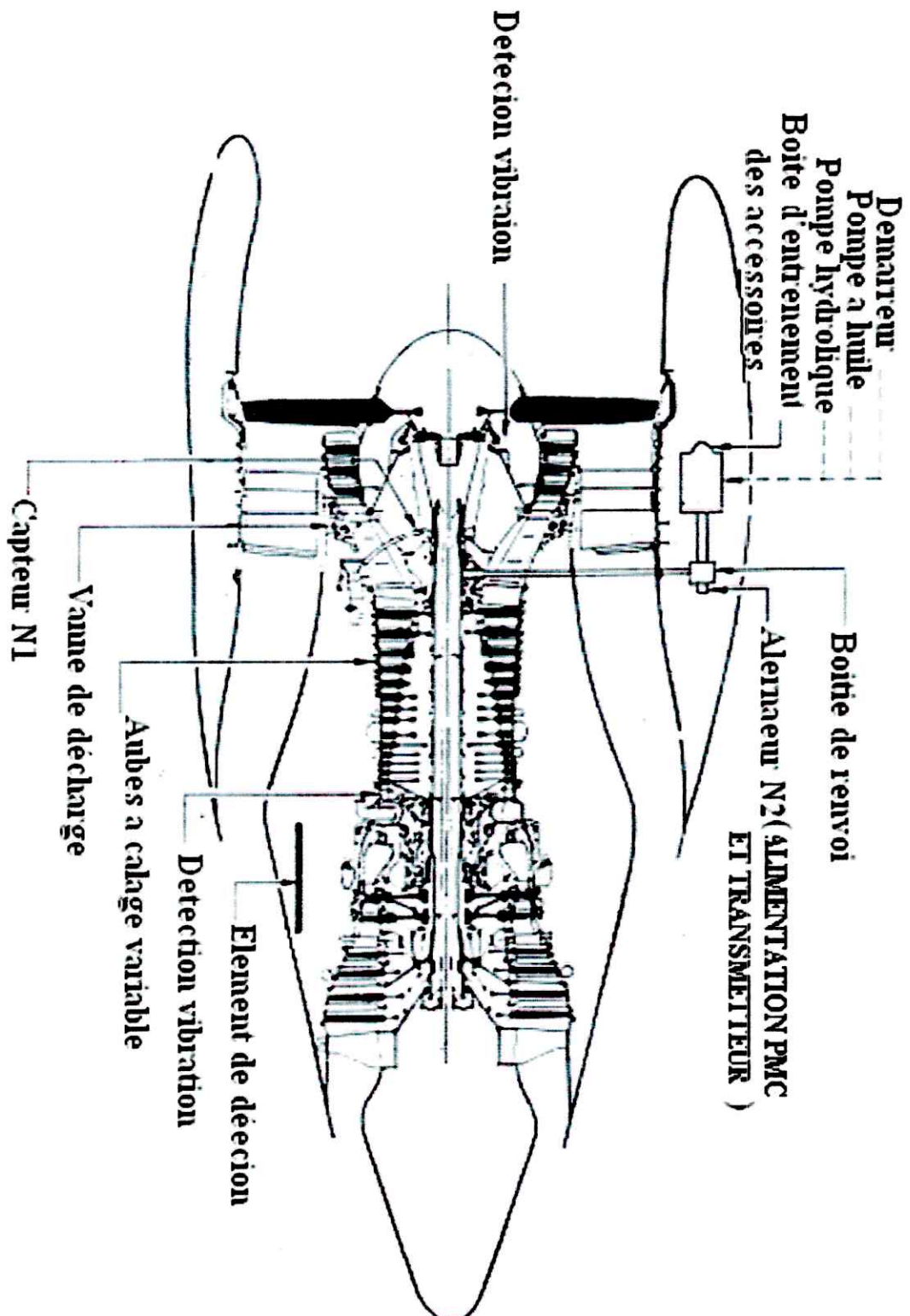


Fig (I-2) Description générale du réacteur CF6 80-A3

CHAPITRE II
LA REGULATION

II-1 Principe de la régulation:

Introduction:

La régulation est un système automatique, interposé entre la manette des gaz sur la quelle agit le pilote et, les injecteurs qui pulvérisent le carburant dans la chambre de combustion.

Son rôle est de maintenir le moteur dans sa zone de fonctionnement optimale donc à l'intérieur de toutes les limitations, quelle que permet une alimentation en kérosène contrôlé du réacteur dans tous les domaines de vol.

Nous allons donc énumérer les limitation liées aux différents éléments constituant le turboréacteur.

1-Entrée d'air:

Celle-ci n'entraîne en général, par de limitations sur les aéronefs subsoniques commerciaux.

2-Compresseur:

Le compresseur est limité par N max, le pompage (sur accélération, aux faibles régimes), il doit en outre être conçu pour résister à des contraintes importantes (force centrifuge, thermiques) et est limitée à un mach entrée compresseur voisin 0,6 à 0,8.

D'autre part, vu l'accroissement des taux de compression, la pression compresseur est également limitée pour protéger les parties internes

3-Chambre de combustion:

Parmi les principales limitations dans la chambre de combustion, le dosage, car la combustion n'est possible que dans un certain domaine de ce dernier et au dessus d'une certaine pression, dite pression minimale d'inflammation.

4-Turbine:

La turbine est soumise à une température élevée et, à des efforts centrifuges importants se traduisant par une limitation (résistance au fluage).

Les calculs et essais détermineront une température maximale à ne pas dépasser (communiqué par le constructeur), il en est de même pour le régime de rotation de l'attelage.

5-Tuyère:

La tuyère en elle-même, n'occasionne par de limitations. Par contre, des installations spéciales comme les reverses, peuvent se traduisent par des limitations, pour éviter les risques de pompage par manœuvre intempestives des reverses

Nous retiendrons donc les limitations essentielles suivantes:

- *Pompage du compresseur.
- *extinction de la chambre de combustion.
- *fluage de la turbine.

Elle consiste à agir sur le seul paramètre physique généralement disponible, le débit de carburant injecté dans la chambre de combustion

NOTE:

Une régulation détermine un signal de sortie (débit carburant Q) en fonction d'un ou plusieurs signaux d'entrée.

On peut distinguer les régulations dites de programme dans les quelles on mesure les variation susceptible d'influencer le paramètre de référence et les dispositifs auto-régulateurs ou à boucle qui mesurent le paramètre de référence et agissent sur le débit jusqu'au retour au point nominal.

Par ailleurs, la régulation peut être mécanique, hydromécanique, pneumatique ou électronique.

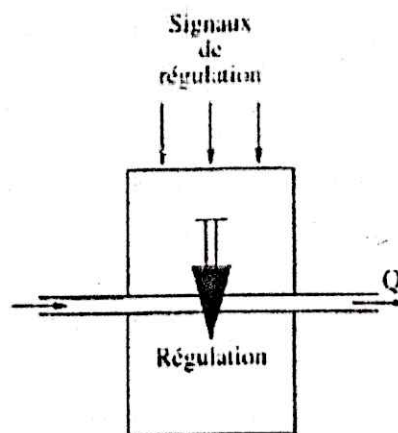


Fig (II-1) Régulateur du débit carburant

II-2 Les différents types de régulation:**II-2-1 Régulation turbo-réacteur:**

La régulation dose le débit sélectionné par la commande en fonction de signaux de référence .le plus souvent, elle limite la vitesse de rotation, la température des gaz et évite les accélérations trop brutales ($\Delta Q/\Delta T$) entraînant le pompage.

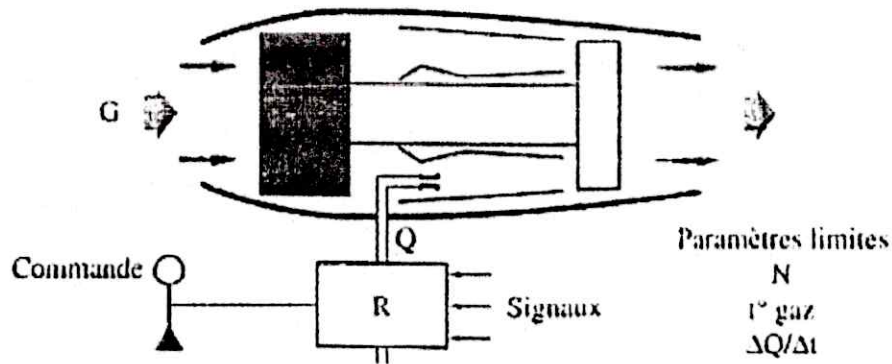


Fig (II-2) Régulateur turbo-réacteur.

II-2-2 Régulation turbo-moteur:

L'exigence principale est celle d'une vitesse de rotation unique, maintenue constante quel que soit le couple appliqué .il s'agit donc d'adapter le moteur au récepteur en régulant le débit carburant .cette régulation est réalisée par un régulateur R qui dose le débit Q en fonction d'une détection de vitesse de rotation N.

Dans le cas d'une turbine libre .l'exigence de vitesse de rotation est reportée sur la turbine libre et le régulateur R dose le carburant Q en fonction de la rotation turbine libre N .le générateur de gaz s'adapte aux variation de puissance appliquée ,en accélérant ou décélérant.

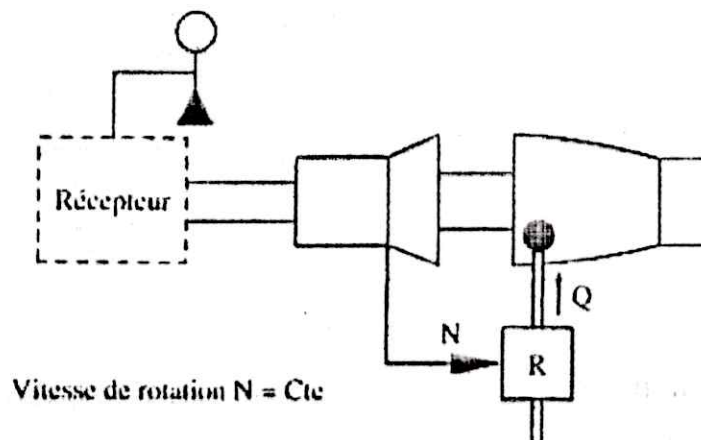


Fig (II-3) Régulation turbo-moteur turbine liée.

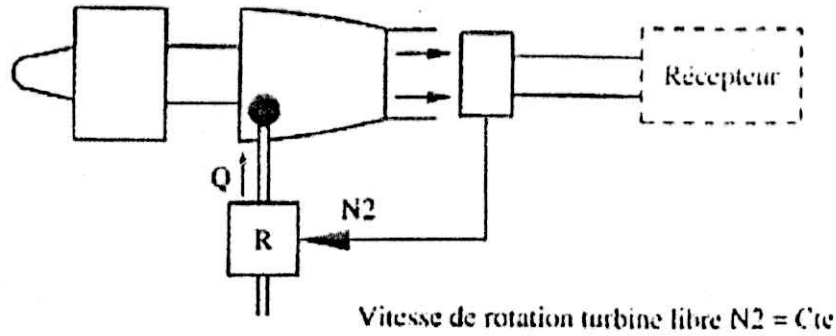


Fig (II-4) régulation turbo-moteur turbine libre.

II-2-3 Régulation turbo-propulseur :

Le récepteur est constitué par l'hélice et il faut alors assurer la régulation moteur et la régulation hélice.

Dans le turbo-propulseur dit "conventionnel" ,la régulation hélice adapte le couple résistant au couple moteur afin de maintenir la vitesse constante .pour une position donnée de la manette ,la puissance West alors fixe ;le débit carburant Q est simplement réglé pour évite le dépassement de certains paramètres.

Dans le cas d'un turbo-propulseur dit "non conventionnel",la régulation carburant adapte le moteur aux conditions de l'hélice pour maintenir la vitesse N constante .la puissance W varie automatiquement ,même pour une position fixe de la manette

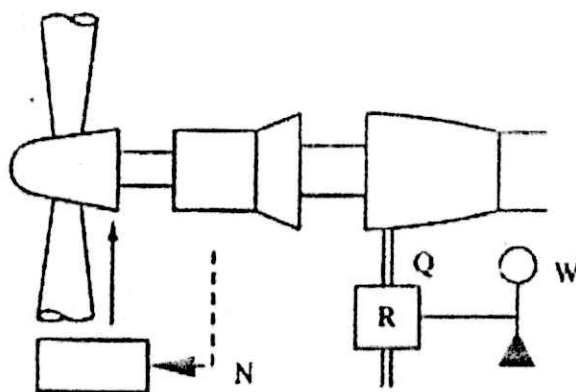


Fig (II-5) Régulation turbo-propulseur (conventionnelle).

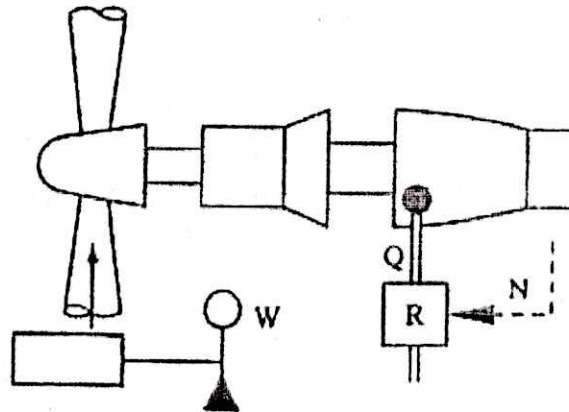


Fig (II-6) Régulation turbo-propulseur (non conventionnelle).

II-3 Différents types de régulateurs:

Il est, bien entendu, exclu d'envisager, dans le cadre de ce simple paragraphe, tous les types de régulateur .aussi, nous bornerons à mentionner les plus utilisés dans les machines TURBOMECA.

A. Régulateur de vitesse mécanique simple (type proportionnel):

La détection de vitesse s'effectue par un dispositif à masselotte entraîné mécaniquement. la correction (signal de sortie) est réalisée par un doseur de carburant dont la position est liée à la détection .Ce type de régulateur a une réponse rapide, mais il présente un statisme plus ou moins important.

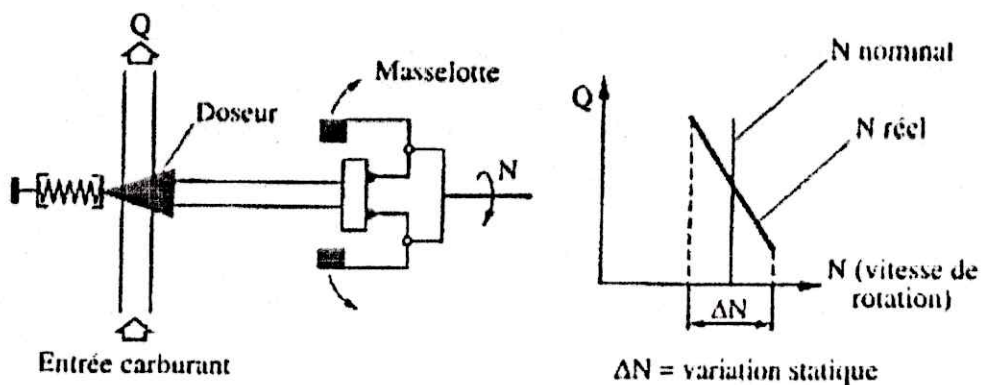


Fig (II-7) Régulateur de vitesse mécanique simple.

- **Limiteur de charge thermique (type P2-P0) :**

Dans ce type de régulateur, on utilise la relation qui lie la température turbine au débit carburant et à la différence de pression ($P2-P0$), soit $Q=K(P2-P0)$ le limiteur ne dose pas directement le débit, mais détermine une différence de pression ΔP ou K , image de la charge thermique. Cette différence de pression est utilisée pour limiter la charge et ainsi la température par l'intermédiaire de la régulation tachymétrique. On utilise ce type de limiteur comme régulateur hélice d'un turbo-propulseur.

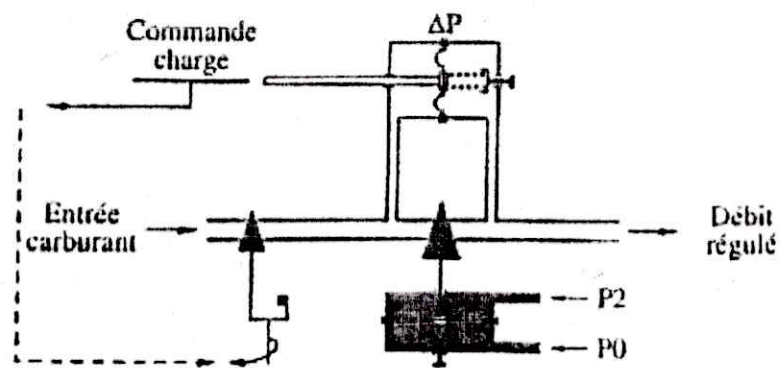


Fig (II-8) Limiteur de charge thermique.

B. Régulateur de vitesse hydro-mécanique (isodrome type intégral) :

C'est un régulateur de vitesse hydro-mécanique muni d'un dispositif d'amortissement. La détection de vitesse est réalisée par masselotte et la correction par un doseur de carburant. L'écart entre la vitesse réelle et la vitesse de consigne est traduit en pression hydraulique par un système comprenant une pompe, un tiroir de distribution, un dispositif d'amortissement et un piston de travail.

Ce type de régulateur a, lui aussi, un temps de réponse relativement rapide mais il ne possède aucun statisme. De ce fait, la vitesse est maintenue constante pour le débit régulé très différent.

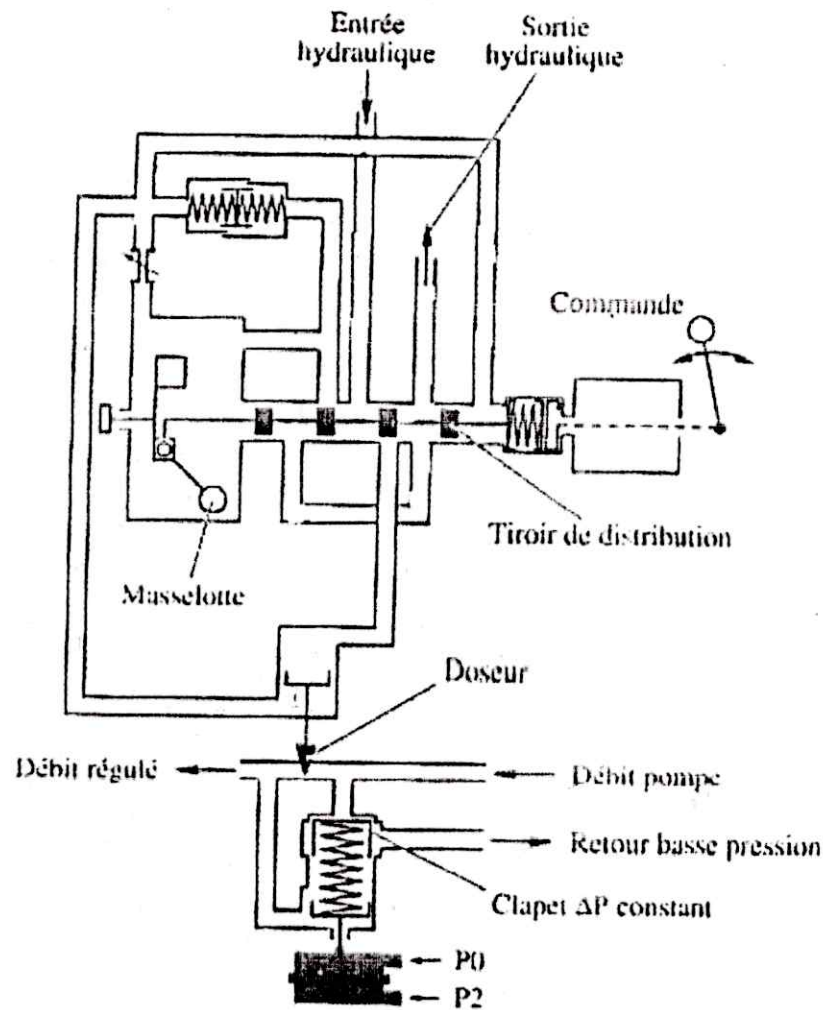


Fig (II-9) Régulateur de vitesse hydro-mécanique.

Le débit est rendu uniquement fonction de la position du doseur par un clapet qui maintient une différence de pression ΔP constante. Le calage de ce clapet, fonction de la différence de pression d'air $P_2 - P_0$, permet de limiter la température turbine et d'éviter la sus température en régime transitoire extrême.

C. Régulateur de température (type T1 P1):

Il s'agit d'une régulation de programme où les deux variable choisies sont la pression d'entrée P_1 et la température d'entrée T_1 .le régulateur comprend un jeu de dilames soumis à la température T_1 et une capsule soumis à

la pression P_1 . les déformations de ces deux éléments permettent, par un système de levier, la commande d'un doseur de carburant. Ainsi, le débit est dosé afin de maintenir la température turbine dans des limites déterminées.

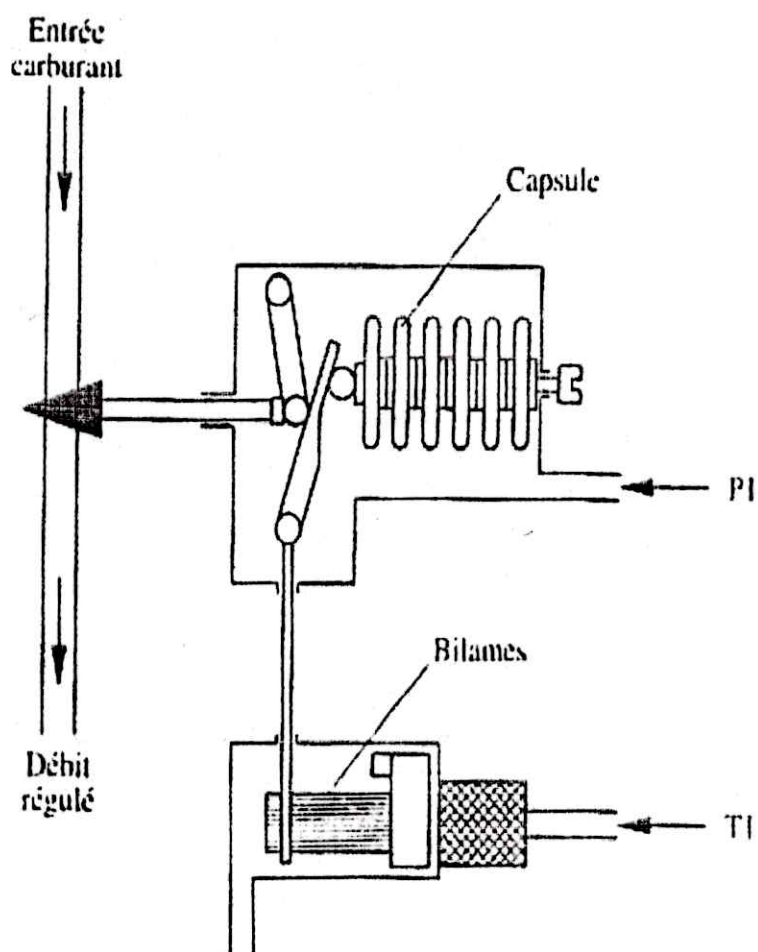


Figure (II-10) Régulateur de température.

D. Régulateur électronique:

Les fonctions de régulation peuvent aussi être réalisées par des systèmes électroniques comme le montre le schéma ci-dessous :

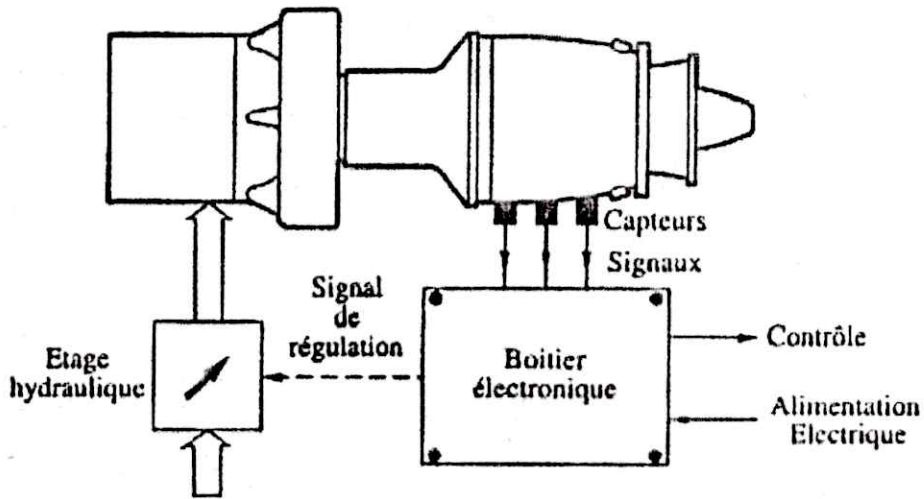


Fig (II-11) Régulateur électrique.

• L'étage hydraulique:

Transforme le signal élaboré par le calculateur électronique en signal hydraulique (dosage de débit carburant, servo-commande de volets...). Nous nous bornerons à citer ici les types suivants:

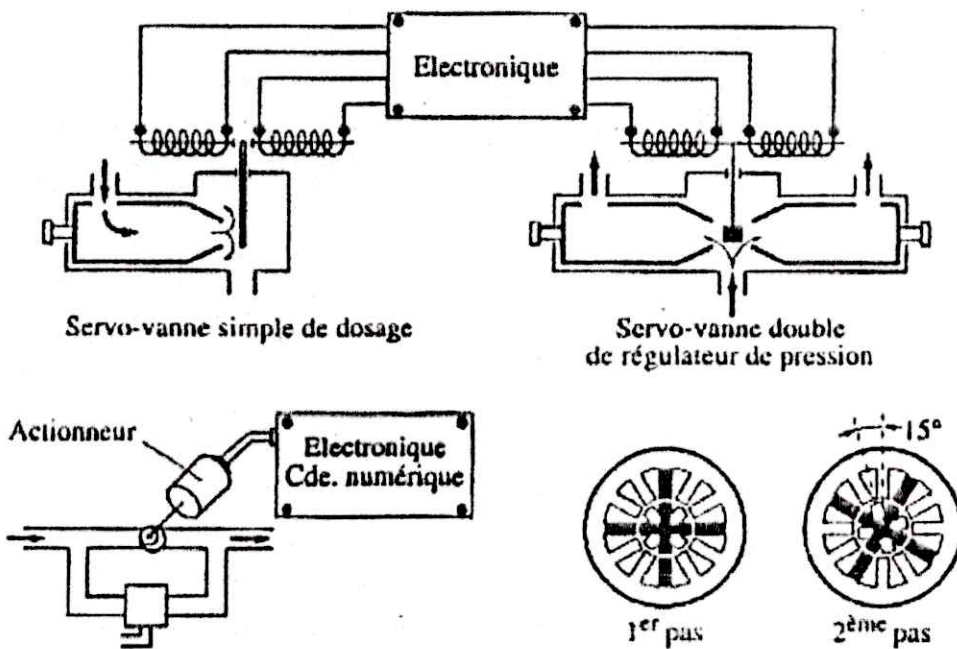


Fig (II-12) Dosage par actionneur à commande numérique.

• **L'étage électronique:**

Traite les différents signaux captés et élaborent un signal de sortie transmise à l'étage hydraulique de correction. Nous nous bornerons ici à simplement illustrer un système à commande analogique et un système à commande numérique.

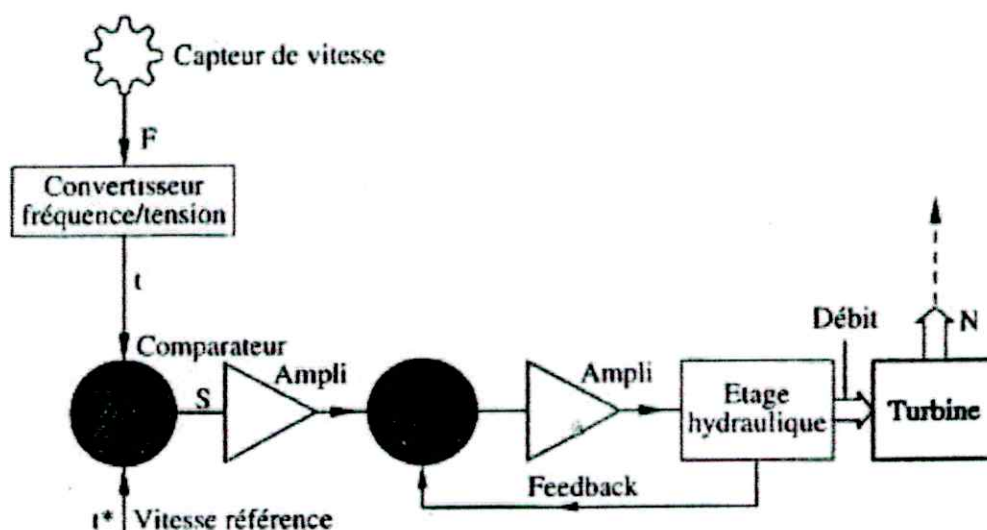


Fig (II-13) Exemple de régulation de vitesse (analogique).

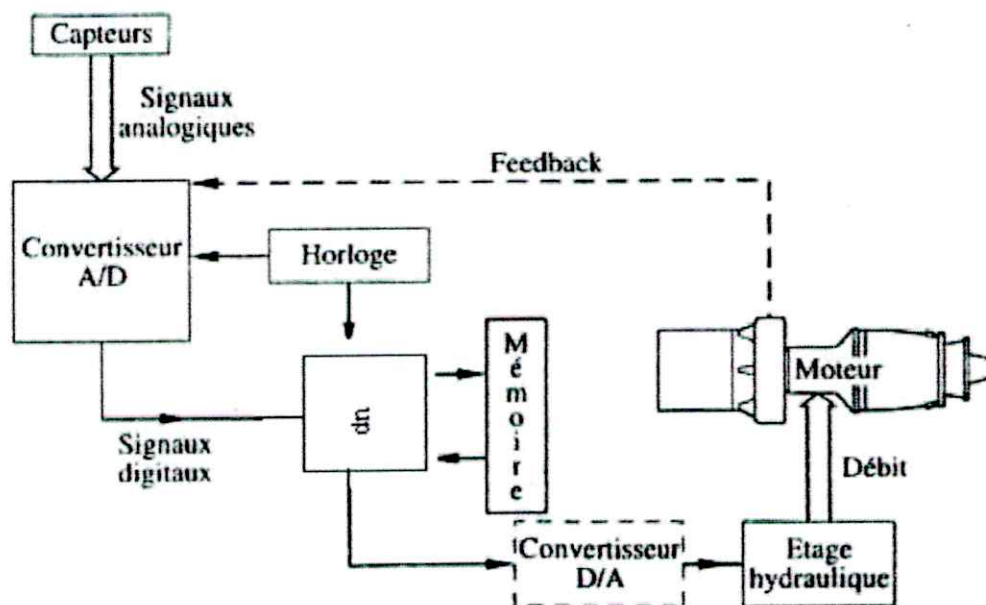


Fig (II-14) Exemple de régulation à commande numérique.

➤ Dispositif barostatique:

Le carburant est alors dosé en fonction de la pression atmosphérique P_0 . Le dispositif comprend une capsule anéroïde dont les déformations commandent un doseur de carburant

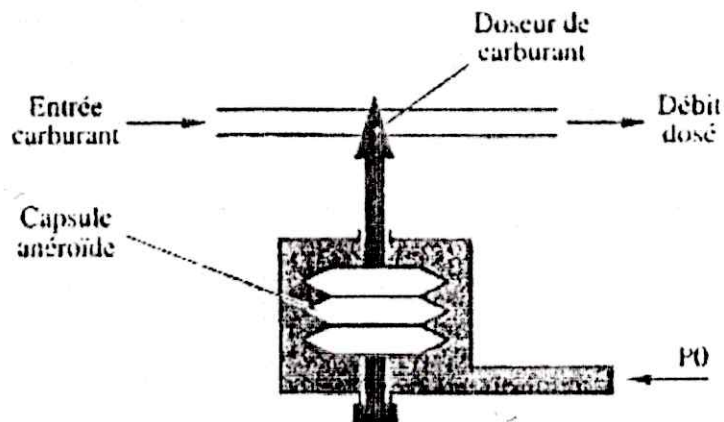


Fig (II-15) dispositif de dosage barostatique.

➤ Dispositif dit " d d t " (dispositif de démarrage temporisé) :

Il assure une augmentation de débit progressive dans le temps. Le dispositif comprend un doseur lié à une membrane soumise à des pressions différentielles.

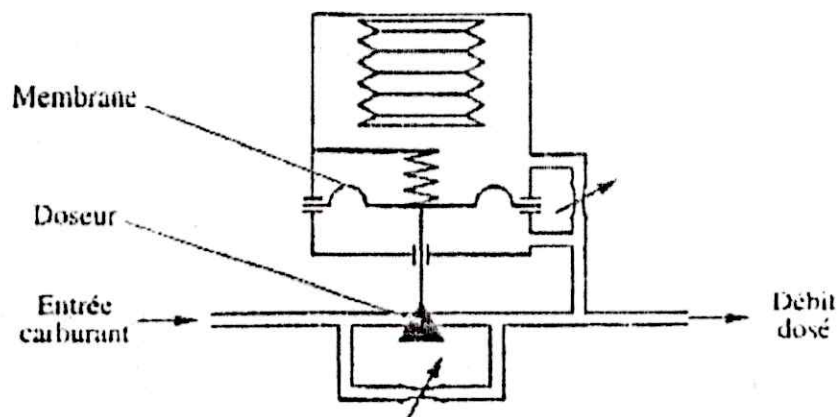


Fig (II-16) dispositif dit temporisé.

➤ Dispositif de type P2-P0:

Il est constitué d'une membrane soumise d'une part à la pression sortie compresseur P2 d'autre part à la pression ambiante P0. La membrane est solidaire d'un doseur qui détermine donc le débit en fonction de la différence de pression P2-P0, image de débit d'air.

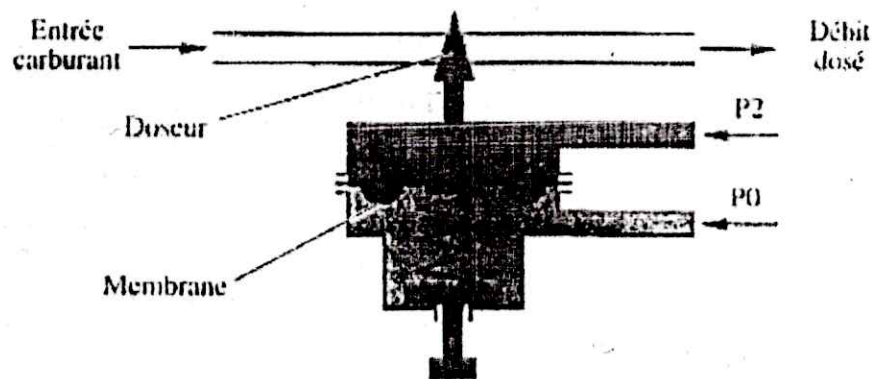


Fig (II-17) dispositif de dosage P2-P0

➤ Dispositif servo-valve :

La servo-valve est constituée d'un clapet palette se déplaçant devant un gicleur potentiométrique. Le débit est fonction de la position de la palette, elle même commandée par un ou plusieurs solénoïdes. Le courant de commande des solénoïdes est élaboré par un calculateur électronique en fonction de signaux de référence. On peut mentionner, par exemple, un signal assurant une loi d'accélération progressive corrigé par la température des gaz t4.

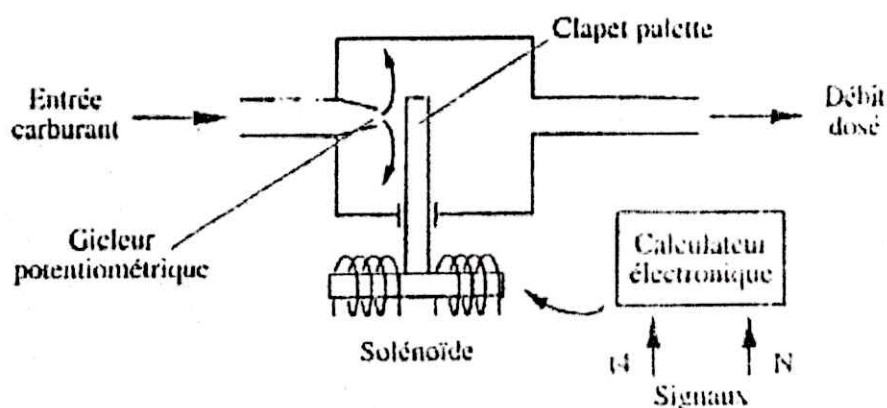


Fig (II-18) dosage par servo-valve

II-4 Paramètres influents:

Ces paramètres sont classés en deux grandes catégories:

II-4-1 paramètres subis:

Ce sont les paramètres sur lesquels on ne peut agir, qui sont les paramètres externes (p_0 , T_0).

II-4-2 paramètres dits de commandes:

Contrairement aux autres, ce sont des paramètres sur lesquels on peut agir, comme le débit carburant, la section de la tuyère et le nombre de tour.

Afin de tenir compte des paramètres externes, maintenir le moteur dans sa zone de fonctionnement normale et pour soulager l'action de l'équipage, un régulateur carburant est interposé entre la commande des gaz et le débit carburant aux injecteurs.

Ce dernier dose la quantité de carburant admissible dans la chambre de combustion compte tenu des paramètres externes, des limitation et de l'ordre pilote.

II-5 Fonction assurées par la régulation carburant:

Pour pouvoir respecter les limitation tout en assurant un bon fonctionnement du moteur, les régulateurs assurent les fonctions principales et auxiliaires suivant:

II-5-1 Fonctions principales :

-Sélection manuelle ou automatique de la poussée (tout déplacement de la commande des gaz se traduira par l'augmentation de la poussée).

-Sécurité des régimes transitoires, limitant l'accélération en évitant le pompage lors de l'accélération et l'extinction pauvre lors de la décélération.

-Correction altimétrique qui maintient à même position manette un dosage carburant constant quelle que soit l'altitude.

II-5-2 Fonction auxiliaires :

-Contrôle des dispositifs anti-pompage aux faibles régimes.

-Contrôle des ralentis sol, vol à la configuration avion.

-Contrôle du démarrage et arrêt réacteur.

-Contrôle de fonctionnement et gestion de la poussée reverses.

-Limiteurs du régime de rotation N et de la température des gaz d'échappements EGT.

-contrôle du jeu (Nacelle par rapport au carter).

A paramètres extérieurs fixes et, à paramètres de commandes fixes doit correspondre un point de fonctionnement, en général un régime de fonctionnement.

On distinguera deux régimes de fonctionnement :

a) Régimes stabilisés :

Les paramètres de commandes sont fixes, la puissance turbine est absorbée par le compresseur et accessoires, on peut donc cité les régimes suivants:

- Le régime de décollage <<NTO>> (limité en temps à cause du fluage).
- Le régime maximum continu <<NMCT>> (illimité en temps).
- Les régimes de ralet vol et sol <<Nrv>>, <<Nrs>.
- Le régime de croisière <<Ncrui>>

b) régimes transitoires:

Afin de permettre le passage entre deux régimes stabilisées, un des deux (ou les deux) paramètres de commandes peuvent varier. C'est le cas lors d'une accélération ou d'une décélération.

Notons aussi que le régime transitoire doit être le plus rapide possible tout en respectant les limitations.

II-6 Influence des paramètres :

II-6-1 Influence des paramètres de commande à paramètres extérieurs fixe:

A section de tuyère fixe :

Nous savons que la poussée F est proportionnelle à la vitesse d'éjection, que cette dernière varie comme la racine carrée de la température des gaz d'éjection.

II-6-2-2 Influence de la température:

Avec le même raisonnement que précédemment, si $P_0 = \text{cte}$; V_0 fixe et, si T_0 augmente, ma va diminuer.

Ce qui implique que F diminue.

II-6-2-3 Influence de l'altitude:**a) A V_0 fixe et Z (altitude) qui augmente:**

Lorsque l'altitude croît, la pression P_0 et la température T_0 diminuent.

Aussi, le débit masse d'air est fonction de ρ_0 , or ρ_0 diminue avec Z_0 .

Donc la poussée du moteur va diminuer.

b) A altitude Z constante:

Pour $N = \text{cte}$, $CH = \text{cte}$, et ma fixe, nous allons varier la vitesse de vol V_0 , ce qui implique une variation du nombre de mach.

Nous savons pour un turboréacteur simple flux simple corps, la poussée est exprimée comme suit :

$$F = ma (V_3 - V_0) = \rho_0 V_0 A (V_3 - V_0)$$

D'autre part, nous pouvons étudier l'évolution des deux termes ma , $(V_3 - V_0)$ et ainsi connaître l'influence de M_0 .

Pour une EGT maintenue constante, V_j est constante, ceci se traduit par une forte diminution du terme $(V_j - V_0)$ si V_0 croît.

On peut alors dire que pour une augmentation du nombre de mach à altitude fixe et, à ma fixe, la poussée diminue.

II-6-2-4 Influence de l'humidité:

A des altitudes pressions élevées (voisinage du sol), l'entrée d'air fonctionne en convergent aérodynamique externe, ce qui se traduit par une diminution des températures et pressions statiques et si de plus, l'atmosphère est relativement humide, l'eau peut changer d'état et se transformer en givre qui va adhérer au col des lèvres de l'entrée d'air.

En augmentant la vitesse de vol, l'épaisseur de la couche de givre va s'accroître et peut se détacher des lèvres sous l'effet des vibrations du moteur et du poids de la glace et, si ces blocs de glaces sont intégrés par le fan, les risques de rupture d'ailettes sont élevés.

Aussi par sécurité, toute entrée d'air est équipée d'un dispositif d'antigivrage, ce qui nécessite un prélèvement d'air chaud en provenance du compresseur haute pression, entraînant de ce fait une diminution de poussée.

II-7 types de régulation**II-7-1 régulation à un paramètre :**

Le paramètre régulé est soit N ou EGT (cas des moteurs GE et CFMI) ou alors, EPR ou EGT (cas des moteurs PW, IAE et RR), ce dernier est choisi bien évidemment en fonction du débit carburant.

On distingue de cette régulation :

II-7-1-1 Régulation à programme (loi):

La relation entre N et CH dépend des conditions extérieures, p_0 et T_0 , on peut alors concevoir un régulateur qui mesurant les paramètres P et T et connaissant la loi $N=f(CH)$, positionne le robinet du carburant pour obtenir le régime désiré, d'où le nom de régulation à programme.

On peut représenter cette fonction par le schéma ci-dessous:

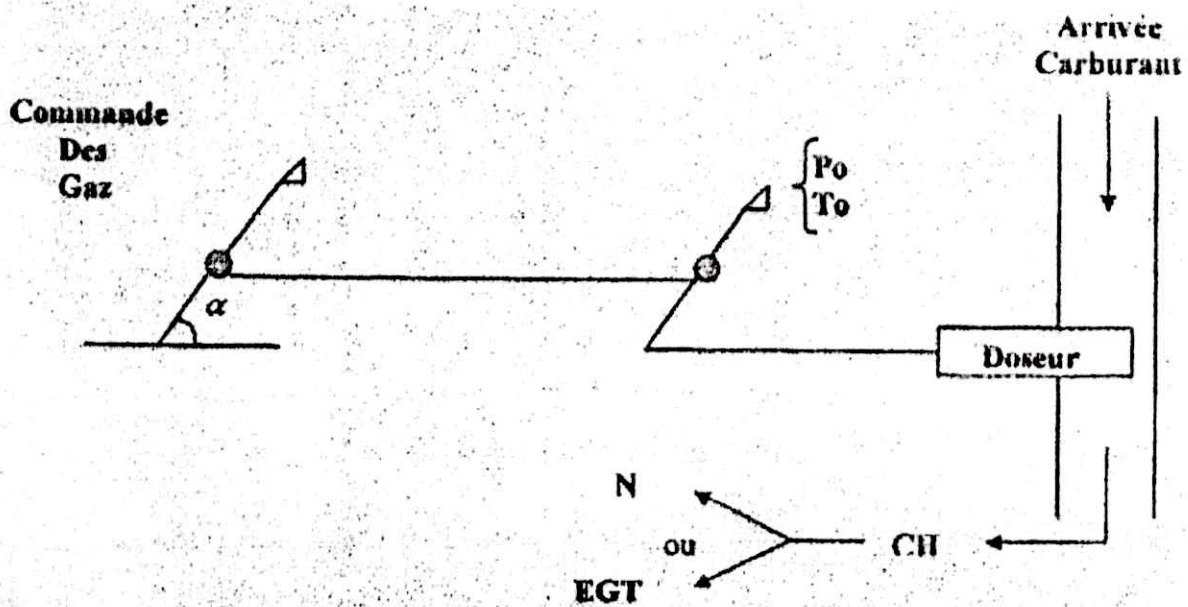


Fig (II-19) schéma représentant une régulation à programme

En général le programme est conçu suivant les lois de l'atmosphère standard. Ce type de régulation est simple, relativement aisé à développer donc peu onéreux.

Il est aussi stable mais imprécis, cette précision dépend de l'étendue du programme et de la sensibilité des capteurs.

Malheureusement, si l'atmosphère réelle est différente de l'atmosphère standard, le paramètre régulé de sortie peut s'écarter de celui de consigne, ce qui conduit à dépasser les limitations permises.

Cette régulation est donc souvent accompagnée d'un limiteur de survitesse, pour ainsi protéger le moteur.

II-7-1-2 Régulation à boucle:

Puisque avec la régulation précédente, le paramètre de sortie peut, dans certain cas, être différent de celui de consigne, ces dispositifs ont été améliorés par l'introduction d'un élément comparateur.

Ce dernier compare le signal de sortie au signal de consigne. Si un écart est détecté, il corrige la position du doseur jusqu'à trouver l'équilibre ($N_e = N_s$).

On peut représenter cette fonction par le schéma ci-dessous:

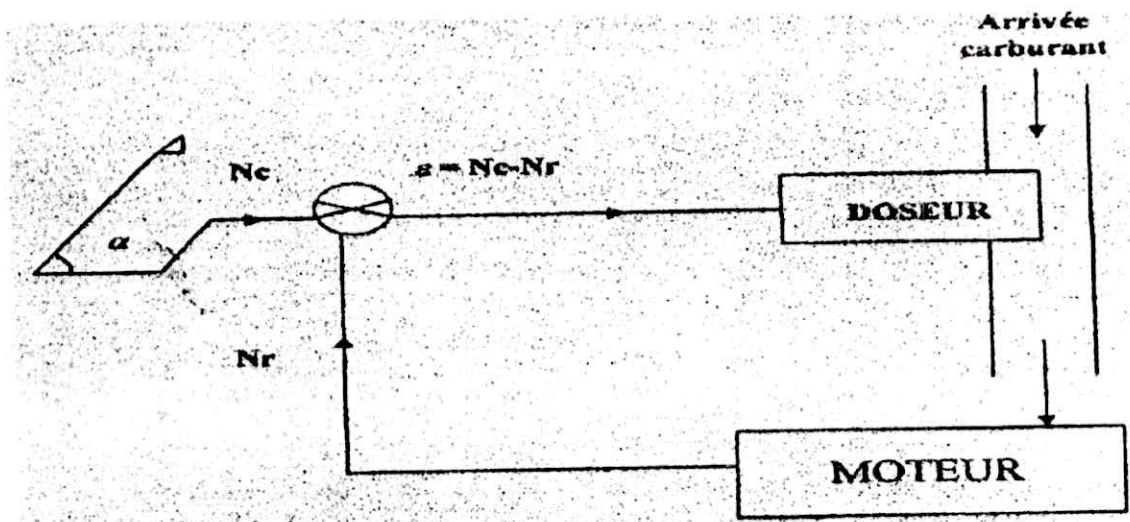


Fig (II-20) schéma représentant une régulation à boucle

Nous remarquons que le signal de sortie est réinjecté dans le programme, d'où le nom de boucle.

Cette régulation, très précise mais instable, se retrouve dans tous les systèmes dite asservis, et est très utilisée de nos jours, pratiquement toutes les régulation tachymétries (le paramètre régulé est N) sont à boucle.

II-7-2 Régulation à deux paramètres:

Pour la plus grande partie des moteurs, les régulations sont tachymétriques, le constructeur s'arrange pour que la limitation N max couvre la limitation EGT max.

C'est une solution de faciliter si l'on veut tirer les performances maximales, il faut alors concevoir un régulateur à deux paramètres N et EGT.

Si l'on veut concevoir un régulateur à deux boucles la première étant la tachymétrie, la seconde devras réagir sur le paramètre de commande de la précédente (doseur carburant).l'élément commun peut alors recevoir des ordres différents, voir même incompatibles.

Une telle régulation est complexe, cela a conduit les constructeurs à introduire un paramètre dit de déformation, qui peut être:

- La section variable.
- Les aubages de prérotations.
- Les portes by-pass d'un double flux,.....etc.

Ce dispositif permettra d'obtenir une vitesse d'éjection maximale et, à régime étant optimal d'obtenir un débit et taux de compression très élevée, ce qui procure la poussée maximale.

Néanmoins, l'utilisation prolongée dans ces conditions entraîne un potentiel turbine plus faible (fluage), ce qui explique que ce dispositif est surtout utilisé sur turboréacteur d'aéronefs militaires.

II-8 Types de régulateurs:

II-8-1 Régulateur hydromécanique:

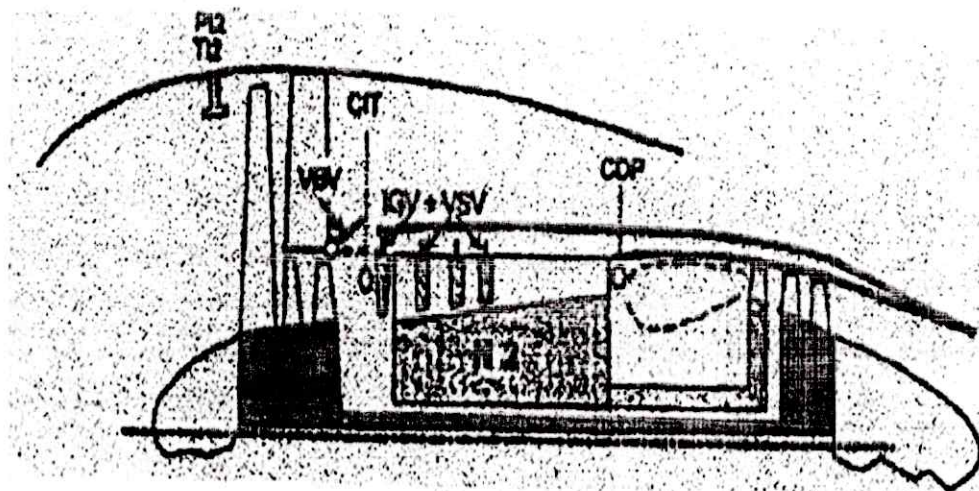


Fig (II-21) turboréacteur double corps double flux.

La survitesse et la surchauffe, sont les principales limitations se trouvant sur le corps haute pression, sa régulation est donc basée sur le N_2 ou l'EGT.

On trouve donc un programme élémentaire basé sur le N_2 qui va calculer le N_2 de consigne (N_{2c}) en fonction de la position manette TLA et de la Pt_2 .

Ce dernier est corrigé par une boucle, permettant de maintenir à position de commande de gaz fixe le N_{2c} à une valeur constante quelle que soit les

variations des paramètres externes, assurant la fonction sélection manuelle de la poussée.

Deux autres boucles sont disposées relativement au pilotage des dispositifs anti-pompage, la première assure la position des stators à calage variable IGV +VSV quand à la deuxième, celle du pilotage des vannes de décharge VBV.

Le contrôleur reçoit l'information de la température entrée compresseur haute pression CIT afin d'élaborer le régime réduit de ce dernier et, modifie le déplacement du doseur en fonction de la réponse GDP de ce compresseur, permettant ainsi la réalisation de la fonction "sécurité des régimes transitoires".

II-8-2 régulateur à autorité partielle:

Comme nous venons de voir sur le type de régulateur précédant, la régulation maintient un N_2 constant.

Bien qu'une loi existe reliant N_1 et N_2 comme la poussée de ces moteurs est Proportionnelle au N_1 , l'équipage doit réajuster ce paramètre, si ce dernier varie en fonction des paramètres ambiants.

Afin d'améliorer la conduite de ce type de moteur, une boucle Supplémentaire N_1 vient se rajouter à la régulation hydraulique. D'autre part, comme ces réacteurs sont dotés d'un calculateur de poussée adaptée PMC, le calcul de N_1 est confié à ce dernier, qui élabore le N_1 de consigne N_{1c} qu'il compare au N_1 réel, de façon à modifier la position du doseur jusqu'à ce que $N_{1\text{réel}}=N_{1c}$.

Cette fonction PMC agit en tant que correcteur, de telle façon à affiner la régulation principale, c'est d'ailleurs pour cette raison que cet ensemble est appelé: *Régulateur à autorité partielle*.

II-8-3 Régulateur à pleine autorité:

La fiabilité de l'ensemble précédant démontrée, les motoristes ont été naturellement tentés de confier au calculateur numérique toutes les fonctions préalablement réalisées par le régulateur hydraulique.

A partir de 1988, les moteurs de forte caractéristique sont donc équipés d'un FADEC dont l'unité de calcul ECU composée de deux canaux identiques, commande un régulateur principal carburant (HMU).

Ces moteurs ayant peu évolué pendant cette courte transition, les fonctions principales sont restées les mêmes, et sont les suivantes:

FMV, VSV, VBV, HPTACC, LPTACC, BSV.

A ces fonctions principales, se rajoutent des fonctions auxiliaires, telles que:

- Contrôle de l'alimentation électrique de l'ECU.
- Contrôle de refroidissement de l'ECU.
- Contrôle de refroidissement de l'échangeur de chaleur de l'IDG.
- Séquence de démarrage automatique ou manuelle.
- Surveillance et stockage des données moteur pour la gestion des alarmes et la maintenance.
- Affichage des paramètres de conduites et de contrôle moteur (en cas de ses propres sondes Pt2, Tt2).

II-9 limitation de la température sortie turbine:

L'étude des turbines montre que le moteur est limité de température turbine et que cette dernière est proportionnelle à l'apport de carburant.

La quantité de carburant maximale correspond à la poussée maximale obtenue aux essais des paramètres ambiants données.

On conçoit aisément que pour des températures extérieures supérieures aux conditions de l'essai avec le même débit carburant maximal on atteigne des températures turbine supérieures à l'EGT max.

Afin, de respecter cette limitation, le constructeur est amené à prévoir un limiteur de température automatique, dès que la température maximal, est atteinte.

La poussée et le débit carburant n'étant pas maximal, autrement dit, à une masse avion donnée, lorsque la température extérieure dépasse celle des conditions de l'essai, la poussée des moteurs étant plus faible, il faudra réduire la charge marchande dans certain cas.

Le motoriste fournit aux utilisateurs une courbe à P0 donnée et N constant, ayant la forme illustrée sur la figure ci-dessous.

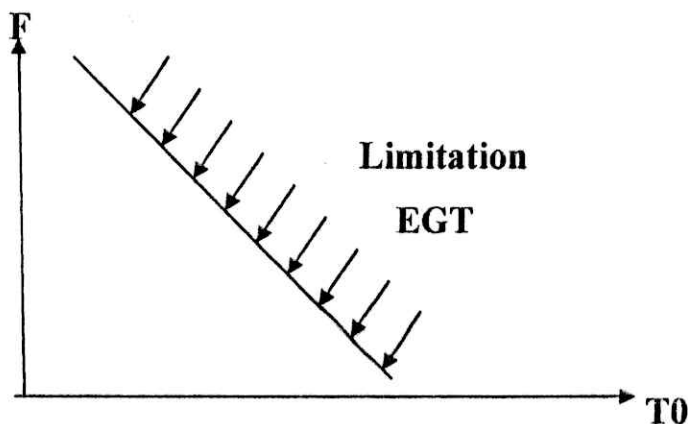


Figure: Evolution $F=fct(T0)$

On remarque sur cette courbe, qu'aux faibles températures on dispose d'une poussée élevée.

Afin d'améliorer la durée de vie des parties chaudes du moteur, les constructeurs vont volontairement limiter la poussée des moteurs, plus exactement, le moteur développe une poussée constante jusqu'à une température extérieure critique, au-delà de la quelle la limitation EGT intervient à nouveau.

La courbe précédente prend alors la forme ci-après

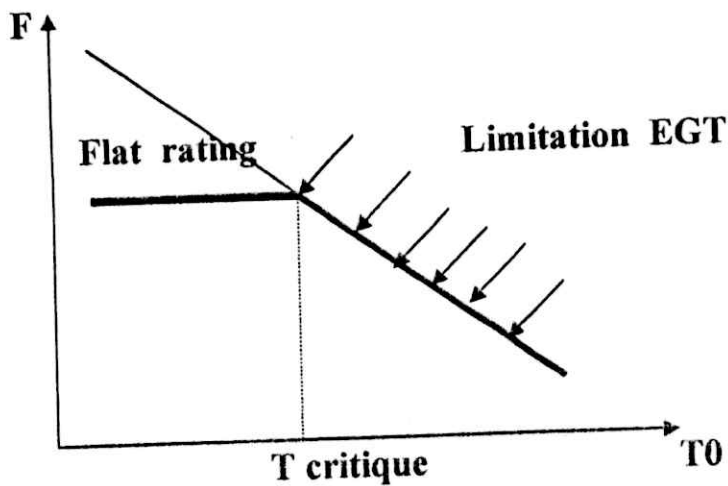


Figure: Evolution $F=fct(T_0)$ avec limitation de F

Celle-ci est valable à une pression P_0 donnée, donc à une altitude donnée.

<<Flat rating>> est une fonction réalisée par le régulateur, celui-ci compare la température T_0 à la température critique

Et donc si $T_0 < T_c$; la poussée est maximale.

Et si $T_0 > T_c$; la limitation EGT intervient, ce qui se traduit par une poussée inférieure à la poussée maximale.

II-10 Limitation de survitesse :

II-10-1 Accélération brusque:

Nous avons déjà vu, que le lieu des points de régimes stabilisés est représenté par la ligne d'adaptation.

Examinons, ce qui se passe entre deux régimes stabilisés l'or d'une accélération par exemple.

Pour que le mobile puisse accélérer, il faut à puissance absorbée compresseur constante, augmentation de la puissance turbine, or, celle-ci est proportionnelle

d'une part aux débits masse des ailettes rotor et, d'autre part à la différence de température totale entre l'entrée et la sortie turbine ΔT_t

Donc à RPM constant (ma constant), il est nécessaire par l'ouverture du doseur carburant de modifier le rapport m_f/m_a de la chambre de combustion afin que la température entrée turbine augmente, ce qui se traduit par l'augmentation de ΔT_t et provoque l'accroissement de régime de l'attelage.

Supposons, donc que partant d'un régime stabilisé correspondant au point A_0 situé sur l'iso rotation N_a nous désirons accroître la poussée, donc atteindre le point de fonctionnement stabilisé situé à l'intersection de l'iso rotation de N_c et la ligne d'adaptation.

Pour cela, par la commande des gaz, augmentons le débit carburant, la modification du dosage de la chambre de combustion entraîne une augmentation de la température des gaz de combustion T_{t4} , ce qui diminue la masse volumique de ces derniers, provoquant une diminution du débit.

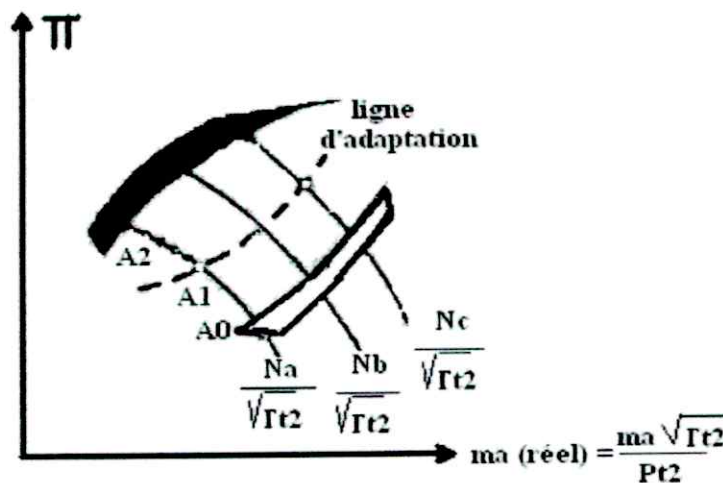


Fig (II-22) Représentation d'une accélération non régulée

Par inertie le mobile compresseur conservant son régime, le point de fonctionnement se déplace sur l'iso rotation N_a réduit de A_0 à A_1 , comme illustré sur la figure ci-dessus

Si l'apport de débit carburant est trop important, la forte augmentation de Tt_4 résultante, provoque une forte diminution du débit d'air, le point de fonctionnement se déplace alors rapidement vers la ligne de pompage

(de A_1 à A_2) ce qui fait entrer le compresseur en pompage.

A fin d'y remédier, les motoriste installent entre la commande des gaz et l'arrivée du carburant aux injecteurs un dispositif nommé limiteur décélération (contrôleur d'accélération) qui dose l'apport de carburant en fonction de la réponse du mobil.

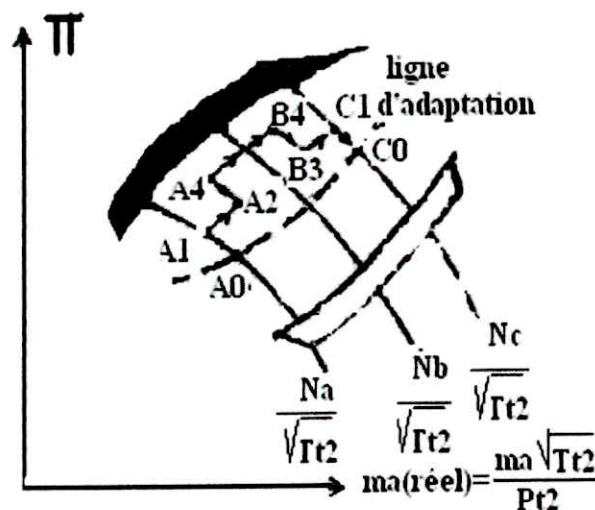


Fig (II-23) représentation d'une accélération régulée

Le déplacement des points de fonctionnement peut alors être représenté par la trajectoire : $A_0 - A_1 - A_3 - A_4 - B_4 - B_3 - C_1 - C_0$ illustré sur la figure précédente tout en évitant le pompage et l'extinction riche vers les forts régimes.

Ce dispositif doit permettre une variation rapide du régime, telle que le moteur puisse passer du Nrs à $NMTO$ en moins de 8 secondes et du Nrv à $NMCT$ En moins de 5 secondes, ces délais peuvent au premier abord sembler importants, mais posent de sérieux problèmes de réalisation, compte tenu des inerties importantes des GTRDF à fort taux de dilution actuels

II-10-2 Décélération brusque :

Pour une décélération du mobile, partant du point de fonctionnement stabilisé C_0 et, diminuant rapidement le débit carburant, par inertie, le régime se conserve, sachant que :

$$N = \pi \cdot d_{fan} / 60$$

Tel que : $\pi = 3.1416$

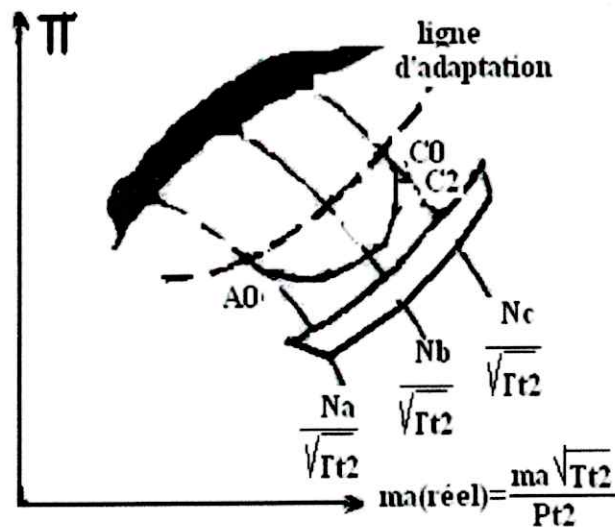


Fig (II-24) Représentation d'une décélération régulée

Et, si la diminution du débit carburant est trop rapide, le point de fonctionnement se déplace vers l'extinction pauvre sur l'iso rotation N_c réduit par le trajet $C_0 \rightarrow C_2$.

Afin d'éviter l'extinction pauvre sur décélération, les motoristes confient aux limiteurs d'accélération cette fonction, en faisant déplacer les points de fonctionnement transitoires par le chemin représenté sur la figure ci-dessus.

II-11 Etude de la régulation turbo fan application CF6-80A3 :**Introduction :**

Le régulateur de carburant remplit un certain nombre de fonction essentielle car il sert d'intermédiaire entre le pilote et le moteur.

II-11-1 Généralités :

Bien entendu, son premier rôle est d'ajuster le débit de carburant de façon à faire varier la poussée en réponse aux mouvements de la manette. Pour que cet ajustage se fasse sans danger pour le moteur, le régulateur contient un mécanisme limiteur agissant pendant les accélérations et les décélérations suivant des lois prés tabliers. Il est également conçu pour limiter automatiquement la pression dans la chambre de combustion et éventuellement le régime N_2 et l'EGT.

Enfin, il établit en position de raleti (idle) une poussée minimum adaptée aux circonstances du vol.

II-11-2 Terminologie :

Le régulateur de carburant et ses systèmes annexes portent dans la littérature spécialisée des dénominations extrêmement variées de plus, la régulation des moteurs est actuellement en pleine mutation technologique due à l'introduction des commande numériques et à une intégration de plus en plus poussée de la commande du moteur à la commande automatique du vol.

- **Terminologie Générale Electrique :**

Chez Général Electric, l'on considère le fait que le régulateur contient, Plus du mécanisme de dosage du carburant, divers systèmes hydro- mécaniques annexes (commandes des stators orientables, ajustage du jeu des turbines,... etc.), d'ou le terme de «Main Engine Control» utilisé pour désigner l'ensemble. On utilise d 'autre part le terme «Power Management Control» (PMC) pour désigner le boîtier séparé contenant l'équipement électronique de calcul.

II-12 Régulation de débit carburant :

II-12-1 Principale :

Le vérin du doseur carburant (**governor servo**), est commandé hydrauliquement par un régulateur centrifuge. Ce régulateur est entraîné par l'attelage **HP**, il est donc asservi au régime **N2**.

En régime stabilisé, pour chaque valeur de tarage du ressort du régulateur centrifuge, le régime **N2** reste constant.

Le débit carburant calibré par le doseur détermine le niveau d'énergie développé par le générateur de gaz. Cette énergie est pour assurer :

- L'entraînement des compresseurs et des accessoires.
- La génération du flux primaire (23% de la poussée totale réacteur).
- L'entraînement du fan et la génération du flux secondaire (77% de la poussée totale).

Il suffit donc de modifier le générateur de gaz et, ainsi, sélectionner le **N1** correspondant à la poussée nécessaire calculée.

Le tarage de ce ressort est mécaniquement par la manette de poussée. Par ailleurs, l'évolution du niveau de poussée est soumise à certaines limitations,

et les impératifs de gestion du vol nécessitent l'utilisation de programmes complexes pour conduire le réacteur aux régimes optimal. Pour tenir compte de ces conditions, le PMC et certains équipements du MEC, ont la possibilité de modifier le tarage du ressort du régulateur N2, donc le régime N2, sans déplacer la manette de poussée.

II -12-2 Régulateur principal carburant MEC :

II-12-2-1 Fonction principales :

- Sélection de la poussée en fonction :
 - De la position manette.
 - Du signal PMC de limitation
- Régulation du régime N2.
- Contrôle des accélérations et décélérations.

II-12-2-2 Fonctions auxiliaires :

- limitation de la pression interne réacteur.
- limitation de la vitesse de rotation N2 maxi.
- Sélection du régime N2 ralenti minimum.
- Correction du régime N2 de ralenti d'approche en fonction de la température T_2 et de l'altitude.
- En cas de panne du PMC :
 - Blocage du signal PMC de limitation N2 en attente d'une sélection manuelle de la poussée.
 - Correction du régime N2 à poussée normale d'utilisation en fonction de T_2 et altitude.

-Transmission de la position doseur vers le PMC. (Metering valve position Transducer)

II-12-3 Calculateur de poussée moteur (PMC) :

II-12-3-1 Fonction principale :

Le PMC est un calculateur digital électronique qui 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 programmée (TCC : Thrust Control Computer)
- Des conditions du vol. (ADC : Air Data Computer).
- De la position manette.
- des limitations réacteur

II-12-3-2 Fonction auxiliaire :

-Emission d'un signal « FAIL FIXED» afin d'amener ou de maintenir suivant la cas, la limitation de régime N2 à sa valeur la plus basse, quelle que soit la position manette.

II-13 Description et fonctionnement des éléments de régulation :**II-13-1 Régulateur principal carburant (MEC) :****II-13-1-1 différents signaux utilisés par le MEC :**

- **Régime N2 :**

Le régulateur centrifuge est entraîné par la boîte d'accessoires, il est donc asservi au régime N2.

- **Température T2 :**

La température T2 est relevée sur un tube de ventilation dont l'orifice se trouve à l'extérieur de l'entrée d'air du FAN en position 4h. Ce détecteur est type hydrodynamique, il comprend une capsule chargée d'hélium et un clapet hydraulique. Ce clapet soumis aux pressions PC (control pressure = $P_b + 220 \text{ PSI}$) et P_b (by-pass pressure = 8 à 115 PSI) délivre un signal hydraulique (P7) proportionnel à l'évolution de la température T2.

- **Température T_{2,5} (CIT Compressor Inlet température) :**

La température T_{2,5} est relevée à l'entrée d'air du compresseur HP. Ce détecteur est monté sur le carter intermédiaire de fan en position 4h30. Le principe de fonctionnement de ce détecteur est identique au détecteur de T2.

- **Pression P0C (ambient pressure) :**

L'orifice de pression ambiante est situé à la partie inférieure droite du MEC. Elle enregistre donc la pression ambiante qui régule dans la zone des accessoires.

- **Pression statique P₃ (CDP Compressor Discharge pressure) :**

La prise de pression P₃ se trouve en arrière du compresseur HP, sur le carter diffuseur. Un transmetteur hydrodynamique est intégré au MEC. Il émet un signal hydraulique proportionnel à l'évolution de pression de refoulement du compresseur HP.

- **Position manette de poussée :**

Le signal position manette est transmis mécaniquement au régulateur N2 par l'intermédiaire de tringlerie et câbles jusqu'au levier de commande sur le MEC.

- **Ralenti minimum :**

Possible qu'avec les reverses rentrées : un signal électrique « ralenti minimum » est transmis au MEC dans les configurations avion suivantes :

- a) Lorsque les bords de bord d'attaque aile sont rentrés et que le dégivrage nacelle n'est pas utilisé.
- b) Lorsque l'amortisseur de train avant est comprimé.

- **Signal de limitation de poussée :**

Le signal électrique de limitation de poussée émis par le PMC est transmis à un régulateur N2 par l'intermédiaire d'un moteur couple intégré au MEC. .

- **Signal de blocage de limitation : (TRIM FAIL FIXED)**

Le signal électrique TRIM FAIL FIXED émis par le PMC est transmis à un solénoïde de blocage sur le MEC.

II-13-1-2 Régulateur de régime N2 :

Le régulateur centrifuge utilise les pression **PC** et **Pb** pour commander le vérin de doseur (governor servo pressure).

13-1-2-1 Sélection de niveau de poussée :

Les déplacements angulaires du levier de commande de poussée sur le MEC sont représentés dans la figure précédente. Ce levier assure le tarage du régulateur N2 par l'intermédiaire d'une came et de tringlerie.

Le paramètre d'affichage de la poussée est le régime N1. En cas d'affichage manuel de la poussée, la manette de poussée peut être avancée jusqu'à l'obtention du régime calculé.

13-1-2-2 Régulation du régime N2 :

Lorsque aucune action extérieure n'entraîne de variation du tarage du régulateur centrifuge le régime N2 reste constant.

13-1-2-3 Limitation de la poussée :

En fonctionnement normal, le PMC est activé lorsque le contacteur « **ENG TRIM** » n'est pas enfoncé et que les voyants « **FAULT** » et « **OFF** » sont éteints.

Le signal électrique émis par le PMC a pour but de limiter la poussée, donc le régime N1, à sa valeur optimum. Ce signal, commande le moteur couple du MEC auquel est asservi un vérin hydraulique. Ce vérin limite le tarage du régulateur N2. Le niveau d'énergie développé par l'ensemble HP diminue et interdit tout dépassement du régime N1 optimum (**N1 commandé**).

Cette limitation (TRIM) peut atteindre au maximum 5% du régime N1 au décollage.

13-1-2-4 Blocage du signal de limitation PMC : (FAIL FIXED SIGN L)

Lorsque le PMC émet un signal de blocage le gong monocoup retenti, les voyants « ENG TRIM FAULT » et « ENGINE » s'allument au poste de pilotage.

Le solénoïde de blocage, commande un vérin hydraulique qui contrecarre l'action du vérin du moteur couple. Dans ce cas, le régime N2 est maintenu à la valeur obtenue lors du « TRIM ». Ce régime peut représenter le minimum ou le maximum du « TRIM ».

Cette situation nécessite deux actions, l'une consiste à enfoncer le contacteur « ENG TRIM » (le voyant off s'allume), l'autre à réajuster manuellement le niveau de poussée par action sur la manette. Le PMC est désactivé.

13-1-2-5 Régulation du niveau de poussée en fonction des conditions ambiantes :

En cas de désactivation du PMC, le moteur couple et le solénoïde de blocage ne sont plus alimentés. Le régime N2 est optimisé par le MEC en fonction de l'altitude P0C et de la température d'entrée d'air T2.

Pour une même position manette, la poussée reste sensiblement constante.

Dans ce but, une capsule anéroïde soumise à la P0C et un vérin commandé par la sonde hydromécanique T2 positionne une came à trois dimensions

Le programme de ce système entraîne une modulation du tarage du régulateur N2 en fonction des variations d'altitude et de température T2.

13-1-2-6 Régime de ralenti :**-Ralenti minimum :**

N'est possible qu'avec les reverses rentrées soit : avion au sol, amortisseur train avant comprimé, ou configuration becs de bord d'attaque rentrés et dégivrage nacelle sur arrêt.

Le solénoïde de ralenti minimum est alimenté, le vérin hydraulique de ralenti n'est pas soumis à la pression PC. Si la manette de poussée est en butée arrière, le tarage du régulateur N2 est à sa valeur minimum ; le régime N2 évolue en fonction de l'altitude, de la température entrée d'air. La came à trois dimensions, asservie à la P0C et à la T2 possède un deuxième programme. Celui-ci commande le tarage du régulateur N2 afin d'obtenir le ralenti minimum à une valeur entre 58.5 et 64.9% de N2 (fonction de P0C et T2).

-Ralenti d'approche :

Lorsque l'antigivrage est utilisé, le régime N2 doit être plus élevé. De plus, lorsque l'avion est en configuration approche, (becs sortis) une remise rapide de poussée réacteur peut être nécessaire. Afin d'obtenir un temps d'accélération aussi faible que possible, le régime N2 de ralenti est conservé à une valeur nominale de 75.3%. Cette valeur standard, évolue en fonction de l'altitude (P0C) et température T2 fig. (4-9). Dans cette configuration, le solénoïde de ralenti n'est pas alimenté et le vérin de ralenti est soumis à la Pression PC.

II-13-1-3 Contrôleur des accélérations et décélérations :

L'ensemble du dispositif a pour but :

-Le contrôle du dosage carburant/air durant les régimes transitoires.

- La limitation de la pression interne **P3** (CDP Compressor Discharge Pressure).
- Une protection en cas de survitesse **N2** importante .Le programme de fonctionnement du contrôleur est défini en fonction de quatre paramètres principaux.

- débit carburant : matérialisée par une came et levier suiveur de position doseur. (FLF : Fuel Lever Follower).

- P3** ou **CDP** : un transmetteur hydromécanique positionne une came qui représente le signal de pression interne réacteur.
- température d'entrée d'air du compresseur **HP** :(**T_{2.5}** ou **CIT**) la sonde hydrodynamique déplace axialement une came à trois dimensions en fonction de l'évolution de la température d'entrée.
- régime **N2** : un régulateur centrifuge déplace angulaires la came **3D** au fur et à mesurer de l'évolution du **N2**.

13-1-3-1 Fonctionnement:

Les différents composants du contrôleur d'accélération commandent un tiroir limiteur (**LIMIT PILOT VALVE**) Fig (4-10). Les déplacements axiaux de celui-ci entraînent les variations de débit des circuits **PC** et **Pb** du régulateur **N2**. Ces variations de débit ont pour conséquence une influence sur la vitesse de déplacement doseur sur les temps d'accélération et décélération du réacteur.

a) début d'accélération :

Le régulateur **N2** commande une ouverture du doseur. La **P3** est faible. Le pilote valve du contrôleur limite la servo-pression de commande du

doseur afin d'éviter l'augmentation rapide du débit carburant tant que le débit d'air compresseur n'est pas suffisant.

b) Augmentation de la pression P3 :

La pression **P3** augmente. La came **CDP** entraîne une augmentation de la servo-pression doseur. Le débit carburant augmente progressivement sans entraîner de surchauffe.

c) Augmentation du régime N2 :

Le régulateur centrifuge entraîne en rotation de la came **3D** dont le défilement du profil entraîne une augmentation de débit carburant d'autant plus rapide que le régime **N2** est plus élevé.

d) Augmentation de température T_{2.5} :

La came **3D** se déplace axialement vers la gauche. De par sa conicité, elle entraîne une réduction de la servo-pression doseur et en conséquence, une augmentation du temps d'accélération ainsi qu'une limitation de température devant turbine en régime transitoire.

e) limitation pression interne :

Le profil de la came **CDP** entraîne une réduction de débit carburant lorsque la **P3** atteint **445 PSI**.

f) protection en cas de survitesse importante :

La butée interne normale du régulateur N2 est réglée à 110,4 %. Encas de dépassement important ($N2 > 112.2 \%$), le régulateur centrifuge du contrôleur d'accélération commande une augmentation de la section de passage de la by-pass valve. La ΔP doseur diminue et le débit carburant chute.

g) Fonctionnement en décélération :

Le contrôleur régule le dosage carburant/air de façon à éviter tous risques d'extinction consécutive à un dosage pauvre. Les éléments de régulation sont identiques à ceux de la phase accélération.

II-13-1-4 Dispositifs anti-pompage :

La protection anti-pompage du réacteur CF6-80A3 est assurée par deux dispositifs :

- Dispositif anti-pompage de l'ensemble basse pression.
- Dispositif anti-pompage de l'ensemble haute pression.

13-1-4-1 Dispositif anti-pompage de l'ensemble basse pression :

Ce dispositif est équipé de douze (12) vannes de décharge appelées (VBV, Variable Bleed Valves) sont disposées en arrière du compresseur basse Pression. Elle sont interconnectée par un anneau de commande et actionnées par deux vérins hydrauliques.

C'est le régulateur de carburant (MEC) qui détermine la position des vannes de décharge. Il actionne les deux vérins en utilisant le carburant du circuit d'alimentation du réacteur. Un câble de retour d'asservissement transmet au MEC la position des vannes de décharge dont le but est de diminuer les risques de pompage du compresseur lorsque celui-ci travaille en dehors des conditions optimales de fonctionnement, c'est à dire, à bas régime et en décélération rapide.

Les risque de pompage d'un compresseur sont plus importants lorsque son débit d'air est faible et lorsque sont rapport manométrique de compression est élevé.

Dans ces conditions, le régulateur carburant commande l'ouverture progressive des vannes. Il amène ainsi une diminution du rapport manométrique du compresseur basse pression en évacuant vers l'extérieur une partie du débit d'air primaire.

A régime élevé.0 et stabilisé, en condition standards, le réacteur fonctionne à son régime d'adaptation, les VBV sont fermées.

13-1-4-2 Dispositif anti-pompage de l'ensemble haute pression :

L'angle d'incidence de l'écoulement de l'air, par rapport au profil des ailettes des rotors, des compresseurs axiaux, varie en fonction :

- Des conditions d'écoulement à l'entrée de l'étage.
- De la vitesse de rotation du rotor compresseur.

Lorsque l'angle d'incidence est trop faible, l'efficacité et le rendement du compresseur diminue, et lorsque cet angle devient trop important, l'épaisseur de

la couche limite augmente et l'écoulement peut devenir tourbillonnaire et entraîner un décrochage aérodynamique de l'étage.

13-1-4-3 Paramètres fournis par le EEC :

Le EEC transmet comme paramètre de base : **P0, P12, P3, T12, T25, T49.5, N1, N2, WF**, (débit carburant), plus les positions de vannes.

La position du moteur sur l'avion (**1 ou 2**) et son **N0** de séries des mots d'état de maintenance donnant des information des pannes détectés (le cas échéant) dans la **EEC** ou l'un quelconque des organes installés sur le moteur et dans la nacelle : **HMU**, vanne de refroidissement de la **EEC**, boîtiers d'allumage, vannes, capteurs,...

En option, le EEC peut aussi transmet les paramètres **P13, P25, t3, T5**.
Tous ces paramètres sont transmis sous forme digitale.

➤ **Capteurs :**

De nombreux capteurs mesurent les paramètres nécessaires à la commande, la régulation, la surveillance du moteur.

➤ **Capteurs de pression :**

Ce sont des capteurs contenant un cristal de quartz en vibration et dont la fréquence varie avec la pression.

PS 13 : Pression statique de flux secondaire.

P 25 : Pression total de l'air à l'entrée du compresseur haute pression.

PS 12 : pression statique de l'air à l'entrée de la soufflante.

PS 30 : pression statique de l'air à la sortie du compresseur haute pression.

(HP du 9^{ème} étages).

➤ **Capteurs de température :**

Soit des fils en platine enroulés sur un mandrin céramique, dont on mesure la résistance.

On peut corriger l'angle d'incidence de l'écoulement d'air par une variation commandée de l'angle de calage des aubes de pré rotation à calage variable (**IGV** : Inlet Guide Vanes) à l'entrée d'air du compresseur haute pression, et des aubes de stator à calage variable dans les cinq (**05**) premiers étages du compresseur haute pression.

L'ensemble des aubes de pré rotation (**IGV**) et des stators à calage variable constitue le dispositif anti-pompes du compresseur haute pression (**VSV**)

Les leviers de commande des **VSV** d'une même rangée d'aubes sont reliés à un anneau de commande. Les six anneaux de commandes des **VSV** sont entraînés par deux barres de commande disposées symétriquement de chaque côté du compresseur haute pression.

Cette commande est assurée par le régulateur carburant (**MEC**) qui, au moyen de deux vérins hydrauliques, fait varier la position des **VSV**, dont le but est de conserver la valeur de l'angle d'incidence de l'écoulement constante, par rapport aux ailettes du compresseur, quelque soit le régime.

En conditions standard, à régime réacteur élevé, le compresseur fonctionne à un régime d'adaptation qui lui assure un rendement optimum. Les **VSV** sont en

position « ouverte », et à bas régime, ce compresseur s'éloigné de son régime d'adaptation, l'angle de calage des aubes augmente progressivement jusqu'à sa valeur maximale, pour un régime N2 inférieur au ralenti, les VSV sont dit en position « fermée ».

II-13-2 Calculateur de poussée moteur (PMC) :

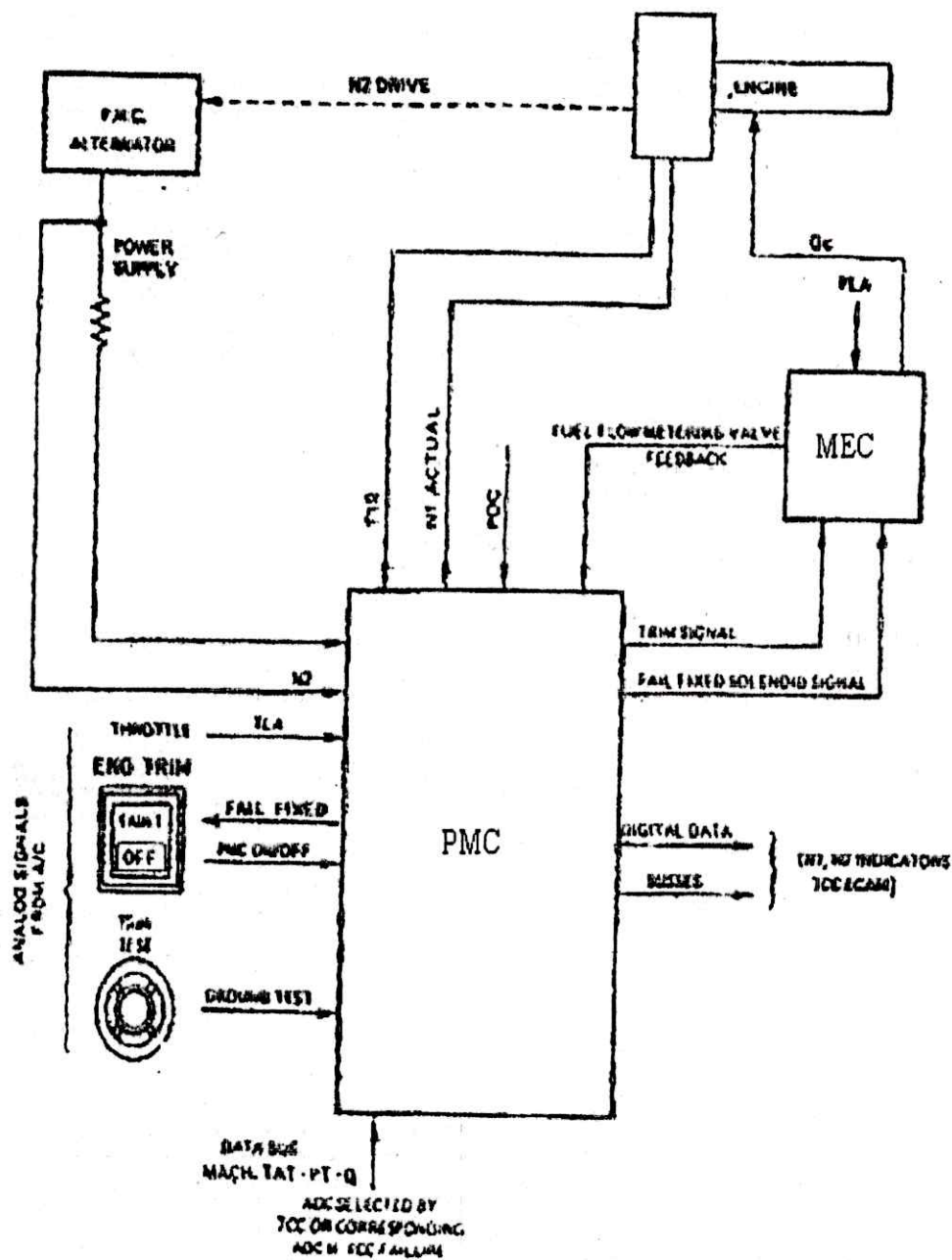


Fig (II-25) Calculateur de poussée moteur (PMC)

Le boîtier de PMC est installé sur le carter de sortie du fan en position 2h. Il est supporté par des amortisseurs de vibrations. Il est alimenté électriquement par l'alternateur de contrôle N2. Il comporte un circuit de ventilation.

II-13-2-1 Différents signaux utilisés par le PMC :

a) Signaux digitaux en provenance de la centrale aérodynamique ADC (Air Data Computer) sélectionnée par le TCC (Thrust Control Computer) :

- Mach M.
- Température totale TAT (Total Air Température).
- Pression totale Pt.
- Pression dynamique Q.

Nota : Le PMC calcule la valeur de la P0 à partir des valeurs de Pt et Q.

En cas de panne de TCC, le PMC utilise les informations en provenance directe de la centrale ADC n°1 pour le GTR1 et ADC n°2 pour le GTR2.

En cas de panne ADC, les informations proviennent des capteurs propres du PMC.

b) Signaux analogiques en provenance du poste d'équipage :

- position manette de poussée indiquée par un transmetteur (TLA : Transducer Lever Angle) situé à la partie inférieure du bloc manette.
- Contacteur principal PMC, position « On » ou « Off ».
- signal de test au sol, (utilise l'alimentation de bord 115 volts, 400Hz).

c) Signaux analogiques en Provence du GTR :

- Régime N1 réel (actuel N1).
- Débit carburant : le transmetteur de position doseur renseigne le PMC sur la valeur du débit instantané de carburant (ΔP doseur constante).

Nota : lorsque le PMC détecte une anomalie de valeur des paramètres, température TAT, ou pression Pt ou Q fournis par les centrales ADC, il utilise deux autres signaux fournis par le GTR.

- T₁₂ : la température d'entrée d'air du réacteur est mesurée par une sonde électrique montée en station 12, à la position 4h30.
- Pression P0C : un transmetteur fournit la pression ambiante prise à l'extérieur du boîtier PMC.

Par contre, en cas de défection du signal de mach, le PMC calcule ce paramètre à partir des autres signaux Pt et P, ce qui lui permet de rester opérationnel et de minimiser les effets de cette panne.

II-13-2-2 Fonctionnement normal du PMC :

Un écran TRP (Thrust Rating Panel) au panneau central pilotes, permet la sélection du mode de fonctionnement réacteur correspondant à la phase de vol programmée.

- GA-TO** Décollage ou remise de poussée.
- MCT** Régime maxi continu.
- CL** Régime de montée.
- CR** Régime de croisière.

FLEX TO Décollage a poussée réduite.

Le signal de sélection de mode est transmis au calculateur de commande de la poussée TCC. Ce calculateur de commande fait partie des systèmes automatique de vol. le TCC comporte entre autres deux calculateurs :

- a) Le calculateur de « N1 limite » qui tient compte aussi de la position des vannes de prélèvement d'air.
- b) Le calculateur auto manette qui détermine la position de la manette de poussée.

Nota : c'est le TCC qui transmet la valeur du régime « N1 limite », d'une part, à l'écran « THR LIMIT » du TRP pour affichage, d'autre part, à l'indicateur N1, pour positionnement de l'index triangulaire de N1 limite.

Pour élaborer le régime N1 optimum (N1 commandé), le PMC utilise les informations suivantes :

- position manette (TLA).
- mach P0 et TAT.
- Données mémorisées concernant le programme de fonctionnement réacteur afin de faciliter l'affichage de la poussée, réduire le régime N1, conserver les marges de sécurité EGT et éviter les surchauffes.

Le signal « N1 commandé » est transmis :

- A l'indicateur de N1 pour positionnement de l'aiguille de N1 commandé.
- Au calculateur auto manette du TCC, à titre de retour d'asservissement (position manette).
- Au calculateur de limitation de poussée.

II-13-2-3 Mode d'action du PMC :

Le calculateur de limitation de poussée (ou de régime N1), compare le signal N1 commandé avec le signal N1 réel et élabore le signal de limitation. Il transmet ce dernier signal au moteur couple du MEC qui limite le régime N2 pour obtenir un N1 réel égal au N1 commandé.

Durant les phases de transition, les aiguilles « N1 commandé » et N1 réel sont décalées sur l'indicateur N1.

Lorsque le régime N1 réel aura atteint le N1 commandé, les deux aiguilles seront superposées.

Nota : le PMC ne tient pas compte des prélèvements air dans son calcul de N1 commandé.

II-13-2-4 Anomalies de fonctionnement du PMC :

Le PMC peut détecter 80% des pannes de fonctionnement du système de limitation de poussée réacteur.

Dans ce cas, il émet un signal de blocage du signal de limitation « **FAIL FIXERD** » qui entraîne :

- l'alimentation du solénoïde de blocage du signal de limitation sur le MEC.
- l'activation des alarmes.
- « **Eng Trim. Fault** » et « engine » allumé.
- Gong moco coup.

Nota : À l'issue de la manœuvre du contacteur « **ENG TRIM FAULT** » l'alimentation électrique du moteur couple et du solénoïde de blocage est coupée. Le **PMC** est désactivé. Le voyant blanc « **ENG TRIM OFF** » est allumé.

II-13-2-5 Test du PMC :

Le **PMC** peut être testé au sol, réacteur à l'arrêt. Lors du test, le **PMC** est alimenté en **115V, 400Hz** par l'intermédiaire du bouton poussoir **TRIM TEST** situé au panneau de maintenance. Il génère son propre signal **N1** fonction du déplacement des manettes de poussée.

Le test devra être effectué **TCC** et **ADC** sur « **ON** ». Dans le cas contraire, le **PMC** recevra l'information **TAT** de la sonde **T12**. Cette information peut être faussée par une exposition au soleil ou un **GTR** encore chaud.

Manette de poussée sur ralenti, bouton poussoir « **ENG TRILM** » sur **OFF**, légende « **OFF** » allumé bouton poussoir pendant 2'' puis s'éteint.

Les deux aiguilles **N1** commandé et **N1** actuel se déplacent jusqu'à **54%** de **N1**. En déplaçant les manettes de poussée les deux aiguilles de **N1** se déplacent également.

Lors de ce test, **90%** des défauts du système peuvent être détectés. Ce test est inhibé lorsque le **GTR** est en fonctionnement.

II-14 Description du système FADEC :

Le **FADEC** est un ensemble de système électronique et numérique à microprocesseur pour contrôler la gestion du turboréacteur, ainsi qu'un

appareil de sécurité pour prévenir des pannes sérieuses sur le moteur, il calcule la quantité de carburant à injecter au moteur, en fonction de la manette de gaz TLA et de la température des gaz d'échappement (EGT) et de la pression de compresseur.

Il est composé d'un calculateur de contrôle moteur EEC (ou ECU) et d'un système de régulateur hydraulique.

Le système FADEC de chaque moteur consiste en deux canaux de la EEC (Unité Control Électrique) qui sont associés en périphérie, cette dernière est l'ordinateur du système FADEC, il commande le moteur d'après l'équipage ou la commande automatique de la poussée (auto manette) dans toute la gamme de régime autorisée de la poussée. La surveillance continue du fonctionnement du moteur empêche le franchissement des limites calculées.

Le FADEC exécute les opérations de service suivantes :

- **Contrôle de moteur :**
 - Contrôle de régulation carburant.
 - Contrôle de gestion de puissance.
 - Contrôle de la BSV (Burner Starting Valve).
 - Contrôle de la vanne de retour carburant FRV.
 - Contrôle de la vanne de décharge (VBV).
 - Contrôle du stator à calage variable (VSV).
 - Contrôle actif de jeux turbine haute pression (HPTACC).
 - Contrôle actif de jeux turbine basse pression (LPTACC).

• Intégration de moteur / avion :

- mise en marche automatique.
- contrôle de la poussée inverse.
- indication moteur.
- données de maintenance du moteur.
- condition de données surveillance.

II-15 Description de l'unité de contrôle électrique EEC :

Le EEC est un calculateur double canaux A et B ou chacun contrôle les différent composant du système moteur.

Les canaux sont opérationnels de manière permanente (se localise a 2 :00h) si l'un des canaux est défectueux et le canal dans le control ne peut pas contrôler la position VBV, les valves seront mises en position d'ouverture faible.

L'unité de contrôle électronique réacteur (EEC) assure les fonctions suivantes :

- Contrôle de la poussée réacteur.
- Contrôle du débit d'air du compresseur.
- Refroidissement des accessoires du réacteur.
- Refroidissement des carters turbine « haute ou basse pression ».
- La protection des paramètres limites.
- Le système de teste incorporé a l'équipement (BITE).
- La détection des pannes.
- Les indications des pannes.

- Les indications statut.
- Contrôle du circuit reverse.
- Contrôle du circuit démarrage.

Le EEC emploie des données d'entrée et calcule les sorties de carburant et de commande motrice pour avoir une bonne gestion et éviter le mauvais fonctionnement.

Le EEC se consiste en plusieurs connections électroniques et pneumatiques, elle est connectée avec les système et composants moteur / avion suivant :

- Fiche d'identification.
- Unité hydromécanique (HMU).
- Système contrôle d'air moteur.
- Capteur moteur.
- Système contrôle carburant.
- Alternateur EEC.
- Système d'allumage.

II-15-1 Connexion avion :

- Système d'écran commun (CDS).
- Unité d'affichage électronique DEU.
- Calculateur de gestion de vol FMC.
- calculateur d'auto manette.
- Levier de démarrage.
- Indication moteur et carburant.
- Unité d'acquisition des données de vol (FDAU).

- Unité de référence inertielle des données d'air (ADIRU).
- Interrupteur anti incendie.
- Manette de poussée.
- But de transfert.

II-15-2 Alimentation électrique du EEC :

Le EEC est alimentée en **28 VDC** a partir du réseaux avion quand le moteur ne tourne pas ou quand sa vitesse est encore faible, au démarrage (N_2 <à 12%) et par son alternateur tri phase qui lui est propre dès que le moteur tourne a plus 15% de N_2 normal.

Au sol, 5 minutes après l'arrêt du moteur, l'alimentation avion est automatiquement coupée pour éviter des heurs avion inutile de fonctionnement de EEC.

S'alimentation en AC 115V lors de la sélection du boiter d'allumage.

II-15-3 Interface principale :

Le EEC reçoit des entrée de :

- Unité interface de commande de train (LGCLU).
- Unité de référence a interface a inertie de données aériennes (ADIRU).
- régulateur de carburant (HMU).
- Système centralisé enregistreur de données de fonctionnement des équipements et de détection des pannes (FDAU).
- les calculateurs (ordinateur) de climatisations du poste de pilotage et de la cabine des passagers.
- le feu et le système anti givrage.

Le EEC envoie des sorties aux :

- calculateur de surveillance de prise d'air (BMC).
- calculateur central d'alarme (FWC).
- calculateur de gestion d'affichage (DEU).
- calculateur de gestion de vol (FMC).
- système centralisé enregistreur de données de fonctionnement des équipements et de détection des pannes (CFDIU).

On distingue une unité d'interfaces moteur (EIU) pour moteur, elle se connecte par l'interface de l'EEC correspondante.

II-16 Le dispositif de régulation moteur HMU :

La HMU utilise la dose de carburant pour la combustion et la pression servo-carburant pour l'exploitation des systèmes de moteur, elle emploie aussi des commandes électrique d'entrée de EEC, est les convertie grâce a des moteur- couple et servo-vanne, en ordre hydraulique pour l'opération d'alimentation de carburant envoyé aux injecteurs et pour la commande de dispositif anti-pompage et des vanne de contrôle actif de jeux, elle reçoit également des commandes du levier de démarrage de l'avion, et de commutateur de poignée de feu pour contrôler quelque opérations d'écoulement de carburant.

Le HMU à six cerveaux- vanne et des moteurs couple qui règlent les signaux électriques de commande envoyée par le EEC en commande hydraulique.

Le HMU contrôle hydrauliquement le cerveau – vanne (EHSV) leurs opération et les différents système suivant :

- Vanne de dosage carburant (FMV).
- Vanne de haute pression (HPSOV).
- Vanne de charge transitoire (TBV).
- Vanne de contrôle active du jeu turbine haute pression (HPTACC).
- Vanne de contrôle active du jeu turbine basse pression (LPTACC).
- Vanne de décharge (VBV).
- Vanne stator a calage variable (VSV).

II-16-1 La vanne de stator carburant (FMV) :

Elle est commandée par un moteur – couple qui pilote un petit vérin le couple à deux bobines indépendantes, isolées électriquement chacune recevant ces proportionnellement à la position de la vanne et maintient leurs différents constantes en régulent la qualité de carburant envoyée vers la pompe BP et la FRV (vanne de retour carburant).

Des capteurs mesurent la position du papillon de la vanne (FMV) et transmettent ce retour d'ordre au EEC pour fermer la vanne.

La fermeture de FMV lors de fonction du moteur au sol a des conditions suivantes :

- température des gaz d'échappement a train la limite lors de démarrage.
- Le moteur est en régime ralenti, la vitesse diminue a 50% de N₂ mais l'EGT est on limite de démarrage.

II-16-2 Vanne haute pression HPSOV :

Perm et l'écoulement du carburant vers la condition des injecteurs, au ralentie le levier de démarrage envoie un signal vers le DEU celui-ci envoie le signal au EEC qui cause l'ouverture de FMU, la pression du carburant en aval du FMU permet l'ouverture de la vanne HPSOV a solénoïde l'excitation de ce dernier contrôle la position du papillon.

II-17 Système de contrôle du moteur CFM56-7B :

La surveillance du fonctionnement de réacteur est effectuée à partir :

- D'indicateur situés au panneau central du pilotes.
- Les vitesses de rotation (N1, N2).
- Mesure du débit carburant.
- Température des gaz d'échappement.
- Pression d'huile.
- Quantité d'huile.
- Ecran de visualisation électronique (DUES) système d'écran commun (CDS).
-

II-18 Paramètre fournis par le EEC :

Le EEC transmet comme paramètre de base : P0, P12, P3, T12, T25, T49, T5, N1, N2, plus les positions des vannes.

La position du moteur sur l'avion (1 ou 2) et son N₀ de séries des mots d'état de maintenance donnant des information des pannes détectés dans le EEC ou l'un quelconque des organes installés sur le moteur et dans la nacelle :

HMU, vanne de refroidissement de la EEC, boîtiers d'allumage, vanne, capteurs,...

En option, le EEC peut aussi transmettre les paramètres **P13, P25, T3, T5**.

Tous ces paramètres sont transmis sous forme digitale (mots série de **25 bits**, transportant soit des valeurs numériques, soit des booléens d'état)

➤ **Capteurs :**

De nombreux capteurs mesurent les paramètres nécessaires à la commande, la régulation, la surveillance du moteur.

➤ **Capteurs de pression**

Ce sont des capteurs contenant un cristal de quartz en vibration et dont la fréquence varie avec la pression.

-**PS 13** : pression statique de flux secondaire.

-**P 25** : pression total de l'air à l'entrée du compresseur haut pression.

-**Ps 12** : pression statique de l'air à l'entrée de la soufflante.

-**PS 03** : pression statique de l'air à la sortie d compresseur haut pression (HP du 9^{ème} étage).

➤ **Capteurs de température :**

Soit des fils platine enroulés sur un mandrin céramique, dont on mesure la résistance.

Deux (02) sondes **T25** placée sur le capot d'entrée d'air et mesurant la température de l'air en aval du compresseur basse pression (**BP**).

Soit des rompes de thermocouple chromel-alumelle montées en parallèles.

*T49, 5 (EGT) ; cette température est affichée au poste d'équipage et utilisé pour logique LFTCC et pour le démarrage.

*T3 ; utilisée dans les logiques RACC, HPTACC, BSV.

*T-CASE ; pour le système HPTACC.

*T5

➤ Capteurs de piézo-électrique :

Ce sont des capteurs constituant des accéléromètres pour la mesure des vibrations. Ils contiennent une masse inerte, attaché à une pièce en matériaux piézo-électriques. On distingue deux (02) capteurs, montés sur le carter de soufflante.

➤ Tachymètre :

L'arbre dont on mesure la vitesse de rotation est muni d'une roue en matériau ayant un certain nombre de dents, le passage de chaque dent modifie le flux magnétique produit par l'aimant, la variation du flux est détectée par la bobine, qui envoie une tension proportionnelle à la vitesse de rotation. La roue montée sur l'arbre basse pression (BP) comporte une dent plus haute que les autres, qui donne la référence de phase pour l'équilibrage de pales de soufflante.

Un capteur comporte trois (03) têtes magnétiques, chacune ayant un aimant, une pièce polaire et un enroulement. Elle envoie leurs signaux respectivement aux voies A et B de la EEC, et au calculateur de vibration EVMU.

➤ **Vitesse de rotation N1 :**

N1, vitesse de rotation du rotor basse pression (BP) en pourcentage (%), c'est le paramètre principal de conduit moteur. Il est présenté sous forme analogique et digitale, les indications deviennent rouges si N1 est à 102%, l'équipage est alerté par une alarme sonore et l'allumage de voyant, un message apparaît demandant au pilote de réduire la vitesse du moteur ; et si N1 dépasse 104% de stopper le moteur. Le moteur valeur maximale atteinte et mémorisée pour la maintenance (le moteur doit être déposé).

Remarque :

Le capteur N1 est monté sur un bras du capteur de soufflante, juste derrière le palier N°2.

➤ **Vitesse de rotation N2 :**

N2, vitesse de rotation du rotor haute pression (HP) en pourcentage (%), est présentée sous forme digital seulement, l'indication devient rouge si N2 atteint 105%.les même alarmes et procédures que pour le dépassements de N1 sont données à l'équipage.

Remarque :

Le capteur N2 est monté sur le relais d'accessoires.

➤ **Vibration :**

Les signaux de capteur sont transmis à un calculateur, l'EVMU (unité de surveillance de vibration moteur). Un seul capteur est utilisé à la fois (le seconde est en secours du premier). L'EVMU fournit les indications de vibration des

deux (02) rotors, par analyse du spectre de signal d'ensemble est prise en compte de vitesse de rotation N1 et N2 ; le signal d'ensemble est filtrés par des filtres de bande étroites asservis sur N1 et N2. On obtient ainsi les valeurs maximums correspondantes aux N1 et N2 actuelles et de l'impulsion de référence, calcules la phase et l'amplitude de déséquilibre de la soufflante.

En fin, l'EVMU stocke en mémoire les valeurs de phase et d'amplitude des deux (02) rotors lorsque le moteur est neuf ou vient d'être équilibré. Ces valeurs sont utilisées pour définir les seuils consultatifs ; si les vibrations d'un moteur dépassent le seuil motorisé, d'indication VIB clignote.

➤ **Température des gaz d'échappement (EGT) :**

Les huit (08) sondes (thermocouples) qui mesurent la température dont le plan 49.5 (distributeur 2^{eme} étages de turbine basse pression) sont reliées en parallèle, l'indication est présentée sous forme analogique et digital.

Elle devient de couleurs ambre au-dessous de 885°C. Les mêmes alarmes et procédures que pour les dépassement de N1 et N2 sont données à l'équipage. Si l'EGT dépasse 890°C, la valeur maximum atteinte est mémorisée pour la maintenance.

EEC transmet un signal EGT vers :

- EGT digital.
- le cardant digital.
- pointeau.
- reset.

La chaîne de mesure comporte huit (08) thermocouples et quatre (04) harnais en chromel-alumelle et un indicateur situé sur le panneau central de cabine de pilotage.

➤ **L'indicateur comprend :**

-Une aiguille elle indique la température en degré Celsius mesurée entre les étages turbine haute pression et basse pression.

-Un compteur numérique, indique la température réelle des gaz d'échappement, l'indication affichée au compteur est dépendante de celle donnée par l'aiguille. La panne de l'une n'entraîne pas systématiquement la panne de l'autre.

-Un repère rouge, indique la température des gaz d'échappement maximum admissible **950°C**.

-Un voyant ambre, est situé en haut à droite du panneau central **CDU**.

-Un reset test assure le bon fonctionnement de l'indicateur. Quand appuie sur se dernier il permet :

Le déplacement des aiguilles indicatrices de température et de sur chauffe vers le repère rouge (**950°C**).

a) **Débitmètre :**

Il mesure le débit carburant de **0 à 6360 kg/heure**, avec erreur maximum de **45 kg/ heure**.

Le carburant traverse deux (**02**) turbines en série, liées par un ressort de rappel équilibrant le couple fournit par le passage du carburant du fait de la différence de calage des petites ailettes des deux turbines.

Ces dernières portent chacune un aimant ; ces deux aimant passent devant deux enroulements, dans signaux électriques sont exploiter pour mesure de leur déphasage.

b) sonde du moteur :

Le EEC emploie des données d'entrée des divers sondes (Sensor) du moteur pour calculer les sorties du carburant et de contrôle du moteur pour l'opération de ce dernier, on compte : N1 speed sensor, N2 speed Sensor, T49.5 Sensor, HPTCC Sensor, T12 Sensor, T3 Sensor, PT25 Sensor, P0 Sensor, Ps3 Sensor.

c) commande du carburant :

Le EEC envoie des commandes à la correcte du combustible pour la combustion. Le EEC commande le débit carburant nécessaire pour maintenir une poussée requise (en fait un N1 requis, car N1 rend bien compte du niveau de poussée donnée par le moteur), selon les demandes pilote auto manette et les paramètres extérieurs tout en respectant les limites imposées. Pour cela le EEC reçoit des :

- les signaux électriques représentant les ordres pilote (signaux directement reçus par des capteurs de position de la manette) et les ordres auto- manette.
- Les signaux de calculateur d'interface moteur et ceux des centrales aérodynamiques.
- Les signaux de ces différents capteurs.

Et elle fournit ses ordres électriques à la vanne de dosage carburant N2 correspondant au NA requis, en tenant compte des limites.

NA requis la valeur peut-être calculée en fonction des ordres donnés par des fonctions suivantes, selon la décision du pilote, la configuration avion et la phase de vol :

-Commande manuelle de la poussée (selon position manette TLA : angle de levier de poussée).

-Auto manette ralenti sol (N2 fixe, N1 quelconque).

-Ralenti vol descente, vers loi de P3 minimum (N1, N2 quelconque).

-Ralenti vol approche.

-Alpha-floor (ordre de remise des gaz immédiats l'avion à une incidence excessive).

* Décollage de poussée.

➤ **Limite** : Les contraintes ont respecté concernant les paramètres suivants :

-N1 : vitesse du mobile BP.

-N2 : vitesse du mobile HP.

-WF : débit carburant.

-P3 : pression de charge du compresseur.

-Et les dérivées de ces paramètres.

Ces contraintes sont les suivantes :

-N1 ralenti $< N1 < N1 \text{ max} = 3500 \text{ tr/min.}$

-N2 ralenti $< N2 < N2 \text{ max} = 15300 \text{ tr/min.}$

-P3 min ralenti $< P3 < P3 \text{ max.}$

-FF min ralenti $< FF < FF \text{ max}$ (limite mécanique d'ouverture de la FMV)

-Limite de la déclaration $< FF/P3 < \text{limite d'accélération.}$

-Respect des limites autorisées pour EGT (pendant le démarrage seulement).

-Respect des lois anti-pompage.

-Respect des vitesses corrigées limite N1 et N2.

II-19 Indication moteur :

II-19-1 Indication du système d'huile :

Le système d'huile du moteur fournit des données sur le système d'huile à la DEUS. L'écran moteur primaire et secondaire sur le panneau d'instrument central (P2) affiche ces données.

- *Quantité d'huile dans le réservoir.
- *Pression d'huile.
- *Température d'huile.
- *L'état du filtre de récupération.

Ces composants surveillent le système d'huile :

- *Transmetteur de quantité.
- *Transmetteur de pression d'huile.
- * Sonde de température.
- *Transmetteur de colmatage du filtre récupération.

Le transmetteur de quantité d'huile envoie des données de quantité d'huile directement CDS/DEUS.

Les trois autres composants envoient les données au DEU à travers le EEC. L'ensemble sonde température/pression (T/P) contient le transmetteur de pression d'huile et la sonde de température d'huile.

II-19-2 localisations des composants du système d'indication :

Les compteurs de système d'indication d'huile de moteur sont sur le côté gauche du carter fan.

Transmetteur de pression d'huile, sur l'ensemble sonde de température / pression 10 : 00.

Sonde température d'huile, sur l'ensemble sonde température / pression position 10 :00

Transmetteur de colmatage du filtre de récupération, sur l'ensemble filtre récupération position 08 :00.

Le transmetteur de quantité d'huile est sur le réservoir d'huile sur le coté droit du carter fan.

On ouvre les capots fan pour accéder à ces composants.

➤ **Système d'indication de quantité d'huile :**

Le système d'indication de quantité d'huile affiche les données d'huile sur l'écran secondaire.

Le système d'indication de quantité d'huile utilise un transmetteur de quantité envoie les données de quantité directement à la DEU.

Le transmetteur de quantité d'huile est une sonde à résistance électrique. Il utilise un aimant flottant et des capteurs anchés (en forme de anches) pour donner l'information sur le niveau.

Le transmetteur de quantité d'huile a un connecteur pour transmettre les données à la DEU.

Le DEU fournit un signal d'excitation au circuit de la sonde du transmetteur de quantité d'huile, quand l'aimant flottant se déplace vers le haut ou vers le bas le niveau d'huile, les interrupteurs ouvrent ou ferment différents circuits de résistance.

La sonde émet un signal proportionnel au niveau d'huile qui va au DEU. Cette dernière affiche la quantité d'huile sur l'écran.

L'écran secondaire affiche la quantité en US Quarts. Le plein est de (22L). Un message de basse quantité d'huile s'affiche quand t-il y'a moins de (4.2L) d'huile.

➤ **Système d'indication de pression d'huile :**

Le système d'indication de pression d'huile affiche les données de pression d'huile sur l'unité d'écran (DU).

Le système d'indication de pression d'huile utilise un transmetteur de pression d'huile pour mesurer la pression d'huile à la sortie de la LBU. Le transmetteur de pression d'huile envoie les données de pression d'huile à la DEU à travers la EEC.

Le transmetteur de pression d'huile à deux (02) éléments censures dans un seul logement. Chaque élément est connecté avec un canal la EEC à travers un connecteur. La sonde température / pression contient le transmetteur de pression différentielle entre la sortie de la pompe de récupération (conduite de récupération palier avant TGB) et la cavité TGB

Le transmetteur de pression d'huile envoie un signal électrique à la EEC ; cette dernière convertit ce signal en un signal ARING 429 et l'envoi au DEU; cette dernière affiche usuellement la pression d'huile sur l'écran secondaire.

L'unité d'écran (DU) avec l'écran secondaire affiche la pression d'huile en deux (02) indicateurs verticaux et deux (02) indicateurs digitaux, un pour chaque moteur. Un pointeur montre la pression d'huile en PSI différentielle (PSI) sur chaque indicateur vertical.

Chaque a deux (02) marqueurs index. Le marqueur index ambré montre la limite ambrée de pression d'huile. Le marqueur index rouge montre la limite rouge de pression d'huile.

- Si la pression d'huile est entre la limite ambrée et la limite rouge, l'affichage digital est la boîte autour de cet affichage sonde ambrée. La pression d'huile est dans l'intervalle de précaution.
- Si la pression d'huile est sur la limite rouge, l'affichage digital et la boîte autour de cet affichage devient rouge. La pression est dans l'intervalle de sur limite.

➤ **Message de basse pression d'huile :**

Quand la pression d'huile est au-dessous de la limite rouge, la EEC envoie un signal au DEUS. Ceci laisse le DEU afficher un message de basse pression d'huile ambré.

Il y a un seul message de basse pression d'huile pour chaque moteur. Il s'affiche sur l'écran primaire.

Le message de basse pression ambré clignote pendant 10 secondes puis s'affiche continuellement quand la pression d'huile est au-dessous de limite rouge.

Le DEUS évite le mode de clignotement pour le décollage et l'atterrissage.

Pendant le démarrage, le EEC prévient l'indicateur et le pointeur d'un changement à l'ambrier ou le rouge.

➤ **Système d'indication de température d'huile :**

Le système d'indication de température d'huile affiche les données de température d'huile sur l'unité d'écran (CDS).

Le système d'indication de température d'huile utilise une sonde de température pour mesurer la température à la sortie de la LBU. La sonde de température transmet les données de la température au DEUS à travers le EEC.

La sonde de température d'huile a deux (02) éléments dans un seul logement.

Chaque élément est connecté avec un canal de l'EEC.

Il y a seulement un seul câble pour les deux canaux. La sonde de température / pression contient la sonde de température.

La sonde de température d'huile obtient les données de température des conduites de refoulement du palier avant et TGB. La sonde de température envoie un signal électrique au EEC. Le EEC convertit ce signal ARNIC 429 et l'envoie à la DEUS. Cette dernière affiche habituellement la température d'huile sur l'écran secondaire.

La température d'huile est affichée sur deux (02) indicateurs verticaux et deux (02) afficheurs digitaux, un pour chaque moteur. Un pointeur montre la température d'huile en degrés Celsius (°C) sur chaque indicateur.

Chaque indicateur vertical a deux (02) marqueurs index.

Le marqueur index ambré montre la limite ambrée de température.

Le marqueur index rouge montre la limite rouge de température.

- ❖ Si la température est entre la limite ambrée et la limite rouge, l'afficheur digital et la boîte qui l'entoure est ambrés. La température d'huile est dans l'intervalle de précaution.
- ❖ Si la température d'huile dépasse la limite rouge, l'afficheur digital et la boîte qui l'entoure est rouge. La température d'huile est dans l'intervalle de sur limite.

➤ Système d'avertissement de by-pass du filtre a huile :

Le système d'avertissement de by-pass à huile affiche les données d'état du filtre de récupération sur le CDS.

Le système d'avertissement de by-pass à huile utilise un transmetteur de colmatage du filtre de récupération. Le transmetteur se ferme avant l'ouverture de la valve de by-pass du filtre le transmetteur de colmatage du filtre envoie la donnée de by-pass au DEUS à travers le EEC.

Le transmetteur de colmatage du filtre de récupération est connecté avec le EEC par un seul connecteur. Le filtre de récupération possède un transmetteur de colmatage du filtre.

Le transmetteur de colmatage du filtre de récupération surveille la différence de pression entre l'entrée et la sortie du filtre de récupération. Quand le transmetteur de colmatage du filtre de récupération se ferme, il envoie un signal électrique au EEC qui le convertit en un signal ARNIC 429 et l'envoie au DEUS qui affiche habituellement le message de by-pass du filtre de récupération sur l'écran central supérieure.

➤ Message de by-pass filtre :

Quand le transmetteur de colmatage du filtre de récupération se ferme, le EEC envoie un signal au DEUS qui crée un message qui affiche sur le DEU sous la forme « OÏL FILTRE BYP ».

Le message de by-pass du filtre clignote pendant 10 secondes et ensuite continuellement.

II-19-3 Indication au cockpit :

Comme les autres jets de transport, le cockpit a un :

- * Panneau supérieur arrière.
- * Panneau supérieur avant.
- * Panneau à témoin lumineux (incluant l'auto pilot).
- * Unité d'écran commun CDS.
- * Panneau électrique avant CDU.
- * Stand de contrôle.
- * Panneau électrique arrière.

Il y a six (06) écrans à cristaux liquide plats pour afficher les données du vol et les données moteur. Le système d'instrument de vol électronique (EFIS) montre les instruments de vol primaire et les données de navigation dans un format PFD/ND.

Les indications avion et moteur au cockpit sont réparties comme suit.

II-19-3-1 Système d'écran commun (CDS) :

Le système d'écran commun CDS a deux fonctions :

Il fournit les données système avion à l'équipage et permet le contrôle des écrans. Les données avion sont affichées dans l'unité des six (06) écrans plats DU. Les données sont :

- L'écran externe et interne commandant de bord.
- L'écran externe et interne copilote.
- L'écran supérieur et inférieur.

Le DEU externe et interne affiche les données primaires de vol et de navigation.

Le DEU supérieur affiche les données d'instrument primaire motrices et carburantes.

Le DEU inférieur est normalement éteinte ou affiche des données d'instrument moteur secondaire ou des données système sous des conditions spécifiques.

DEU : Calculateur électronique d'affichage.

II-19-3-2 Unité électrique d'affichage DEU :

Deux (02) unités électroniques d'écran DEU reçoivent les données provenant des capteurs et systèmes avion. Les DEU fournissent ces données au DEU.

Normalement, le DEU 1 fournit les données à l'écran externe et interne du commandant de bord et le DUS supérieur. Le DEU 2 fournit les données à l'écran externe et interne du copilote et le DUS inférieure. Si nécessaire un DEU fournit les données au six (06) DEU.

Les DEU sont l'interface entre les DEU de la CDS et les systèmes moteur pour afficher les données suivantes :

- N1.
- N2.
- EGT.
- Indication de dégivrage thermique.
- Débit carburant.

- Carburant consommé.
- Pression d'huile.
- Température.
- Quantité d'huile.
- Vibration moteur.
- Pression hydraulique.
- Quantité hydraulique.
- Message d'alerte équipage.
- Message limite auto poussée.
- Mode de pousse.
- Température d'air total.

II-19-3-3 Panneau supérieur arrière :

Il est situé au centre (vers l'arrière) à la portée de l'équipage pour atteindre les systèmes avion et quelques interfaces moteur.

- Interrupteurs EEC.
- Témoin **ENGINE CONTROL**.
- Témoin **ALTN**.

II-19-3-4 Panneau supérieur avant :

Il est situé au centre (vers l'avant) à la portée de l'équipage pour atteindre les systèmes avion et quelques interfaces moteur :

- Interrupteurs de démarrage moteur.
- Interrupteurs d'allumage.
- Interrupteur de l'APU.
- Interrupteur des pompes carburant.
- Témoin **ENG VALVE CLOSED**.

- Témoin **FILTRE BY-PASS** (de carburant).

II-19-3-5 Panneau de témoin lumineux :

Les témoins maîtres lumineux qui sont en interface avec les systèmes moteur sont localisés dans ce panneau, vu sa situation, pour avertir et alerter l'équipage des dysfonctionnements des systèmes.

II-19-3-6 Panneau électrique avant :

Il inclut les deux (02) unités d'écran de contrôle (CDU). Le CDU est en interface avec les systèmes avion pour :

- ❖ Enregistrement des anomalies.
- ❖ Les excédants moteurs.
- ❖ Configuration logicielle.
- ❖ Tests de maintenance.

II-19-3-7 Stand de contrôle :

Il contient la manette des gaz, les leviers des volets et aérofreins, le frein de parking, les trimes manuelle et les leviers de démarrage moteur.

II-19-3-8 Panneau électronique arrière :

Il contient les interrupteurs d'extinction d'urgence des deux moteurs et de l'APU (en cas d'incendie) et les radios de communication et de navigation.

II-19-3-9 Panneau de surveillance de vibration avion :

Les systèmes **AVM** se consiste en :

- Conditionneur de signal **AVM**.
- Accéléromètre de vibration du roulement N°1.
- Accéléromètre **FFCCV**.

Le système **AVM** fournit en permanence les données de vibration du moteur à la **CDS**. Il utilise le **N1**, **N2** et les données autant que signal analogique pour la **DEU** et l'unité d'acquisition des données du vol (**FDAU**). Les données sont affichées sur l'écran central supérieur (**P2**) en unité.

CHAPITRE III

CIRCUIT CARBURANT DES DEUX MOTEURS

III- Circuit de carburant :

III-1-Généralités :

Il existe plusieurs types de carburant destinés spécifiquement au moteur à réaction, il faut signaler que la plupart de ces moteurs peuvent fonctionner presque indifféremment avec n'importe quel type de carburant et même en prenant certaines précautions avec de l'essence d'aviation. Deux types de carburant ont été développés. Pour fixer son choix sur l'un ou l'autre type, un exploitant se base sur des critères distincts tel que la sécurité en cas d'incendie, les conditions climatiques qui s'imposent et qui influent sur les carburants, tout deux sont des mélanges d'hydrocarbures.

• **Le kérosène :**

Il présente l'avantage que son point éclair est assez élevé (+38°C) qui est en effet un produit ne dégageant pas de vapeurs dangereuses.

Dans les conditions habituelles de température il peut être donc utilisé sans précautions particulières, et il provoque un danger moindre en cas d'incident au sol que le carburant coupé d'essence, son point de congélation est plus bas (-40°C). Sa densité est plus grande que celle du carburant à coup large.

Sa volatilité est si faible qu'il n'y a que très peu de pertes par évaporation.

Son appellation officielle est JET A, on rencontre aussi le :

- JET au plus bas point de congélation est de -50°C.
- JP8 le plus bas point de congélation est de -50°C.
- JP-5 le plus bas point de congélation est de -50°C.

➤ JP-5 kérosène de coup étroite a haut point éclair (+60°C)

• **Les qualités de carburant :**

La norme française AIR 3405 exige les conditions de qualité suivantes :

- Pouvoir calorifique élevé.
- Densité : non limité, elle est généralement de 0.8 et varie les conditions atmosphériques.
- Point éclair : 38°C
- Viscosité : centistokes à -18°C.
- Point de congélation : - 40°C.

Le kérosène a été fabriqué par certification du pétrole brut puis raffiné par un traitement chimique à l'acide sulfurique.

• **Propriétés physiques et chimiques des carburants :**

Afin de diminuer sa teneur soufre, le choix des carburants utilisés dépend de leurs propriétés physiques et chimiques, ses propriétés sont :

-La stabilité :

Le manque de la stabilité donne naissance pendant le stockage à des produits lourd qu'on appel les gommes et qui sont nuisibles à la pulvérisation et au fonctionnement des organes du circuit de carburant.

-Point éclair :

La diminution du point éclair augmente les risques d'incendie.

-Qualité de lubrification :

Suffisante pour assurer le bon fonctionnement des organes de régulation de débit.

-Point de congélation :

(-40°C) en volant à une haute altitude. Notre système utilise le carburant JET A-1, JET B

Le choix d'utilisation de ce type de carburant est pour avoir le maximum des performances des moteurs et de l'avion.

L'utilisation d'un carburant non spécifié réduit les performances aussi bien des moteurs que de l'avion, avec une maintenance très coûteuse.

En conclusion les essences utilisées dans l'aviation doivent répondre à des normes et à des exigences spécifiques :

- Pouvoir calorifique élevé.
- Point de congélation bas.
- Peu volatile.
- Contenance de l'ordre de 0.03% en soufre.

II-2 circuit carburant avion :

• Réservoir et pompes :

On a trois réservoirs, deux sont disposés sur les ailes (réservoir principal) et un autre (réservoir central) sur le fuselage

On distingue des jauges de remplissage disposé dans le fuselage de l'aile droite (vue de l'arrière), la circulation du carburant au niveau du réservoir est assurée par des pompes électriques plongées à l'intérieur, une très

grande sécurité dont le câblage et l'isolation d'alimentation des pompes sont pris en compte.

Il existe donc, deux (02) pompes situées dans le réservoir central (une en arrière et une en avant), plus deux (02) autres dans chaque réservoir principal.

II-2-1 circuit carburant du moteur CFM 56-7B :

III-2-1-1 rôle du circuit carburant :

Le rôle du circuit carburant est d'assurer :

- L'alimentation et la régulation des vingt (20) injecteurs (pour le CFM56-7B).
- L'alimentation des deux vérins des vannes de décharge (VBV)
- L'alimentation des deux vérins des stators à calage variable (VSV)
- L'alimentation de la vanne de refroidissement carter turbine haute pression (HPTACC).
- L'alimentation de la vanne de refroidissement carter turbine basse pression (LPTACC).
- L'alimentation de la vanne de décharge transitoire (TBV)
- Refroidissement de l'huile de graissage moteur
- Refroidissement de l'huile de graissage alternateur (IDG).
- L'alimentation des circuits hydrauliques d'asservissement et de contrôle du régulateur principal carburant (HMU).

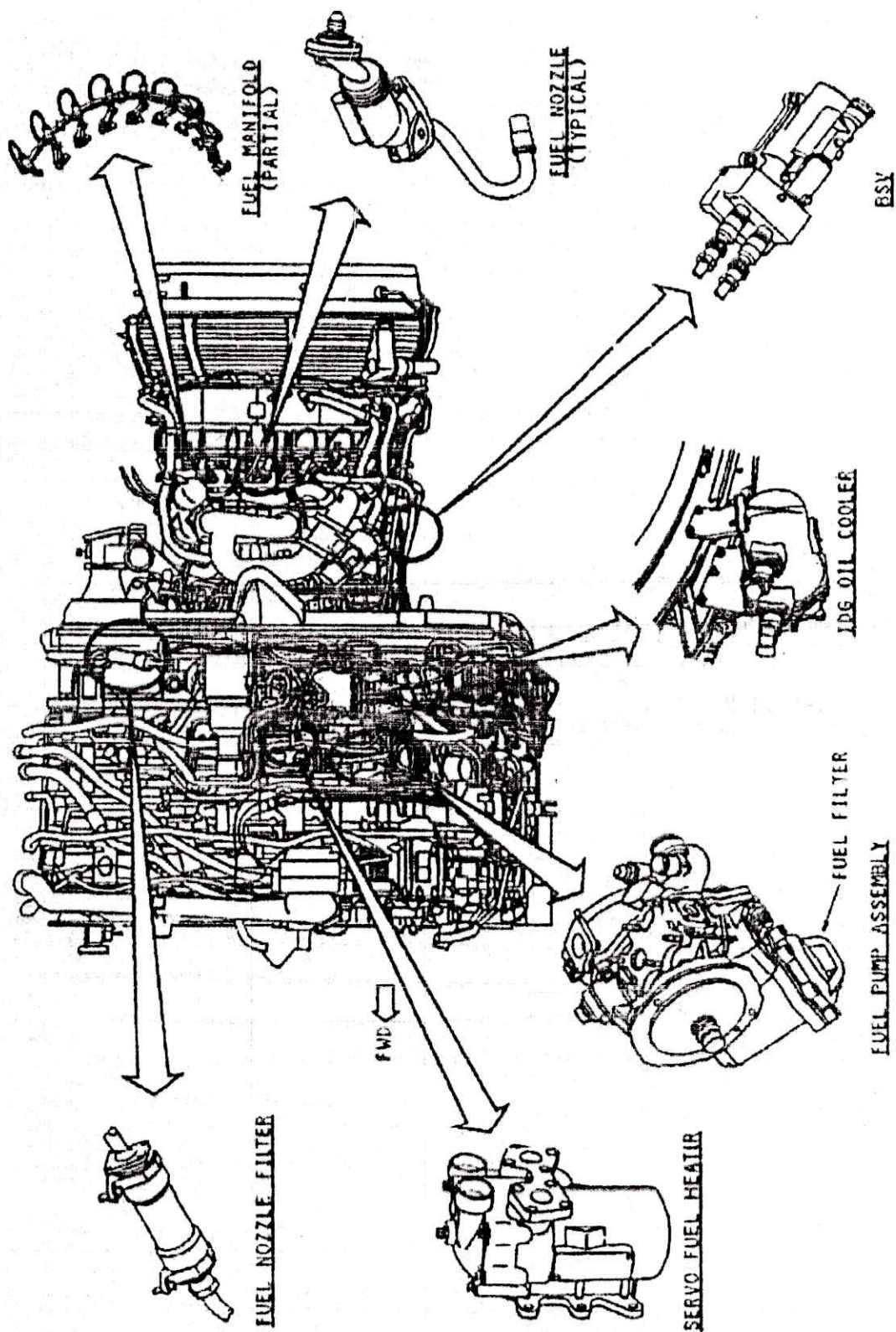


Fig (III- 1) Les composants du circuit carburant du CFM 56-7B

III-2-1-2 Description du circuit carburant :

Le circuit carburant est entièrement intégré dans la nacelle 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 (HMU).
- Un servo réchauffeur carburant.
- Un (01) transmetteur de débit carburant.
- Un (01) filtre injecteurs.
- Une vanne de sélection d'injecteurs (BSV).
- Une (01) rampe injecteurs.
- Vingt (20) injecteurs.

III-2-1-3 La pompe carburant :**- Description de la pompe :**

La pompe carburant se compose de deux étages le 1^{ier} étage pompe (centrifuge) est une pompe de gavage permettant l'alimentation du 2^{ème} étage pompe (à engrenages) afin d'éviter le phénomène de cavitation.

Elle se compose aussi d'un filtre inter étage équipé d'un by-pass taré 4 PSI et d'un clapet de surpression qui a pour rôle d'éviter la détérioration de tous les composants en cas de surpression.

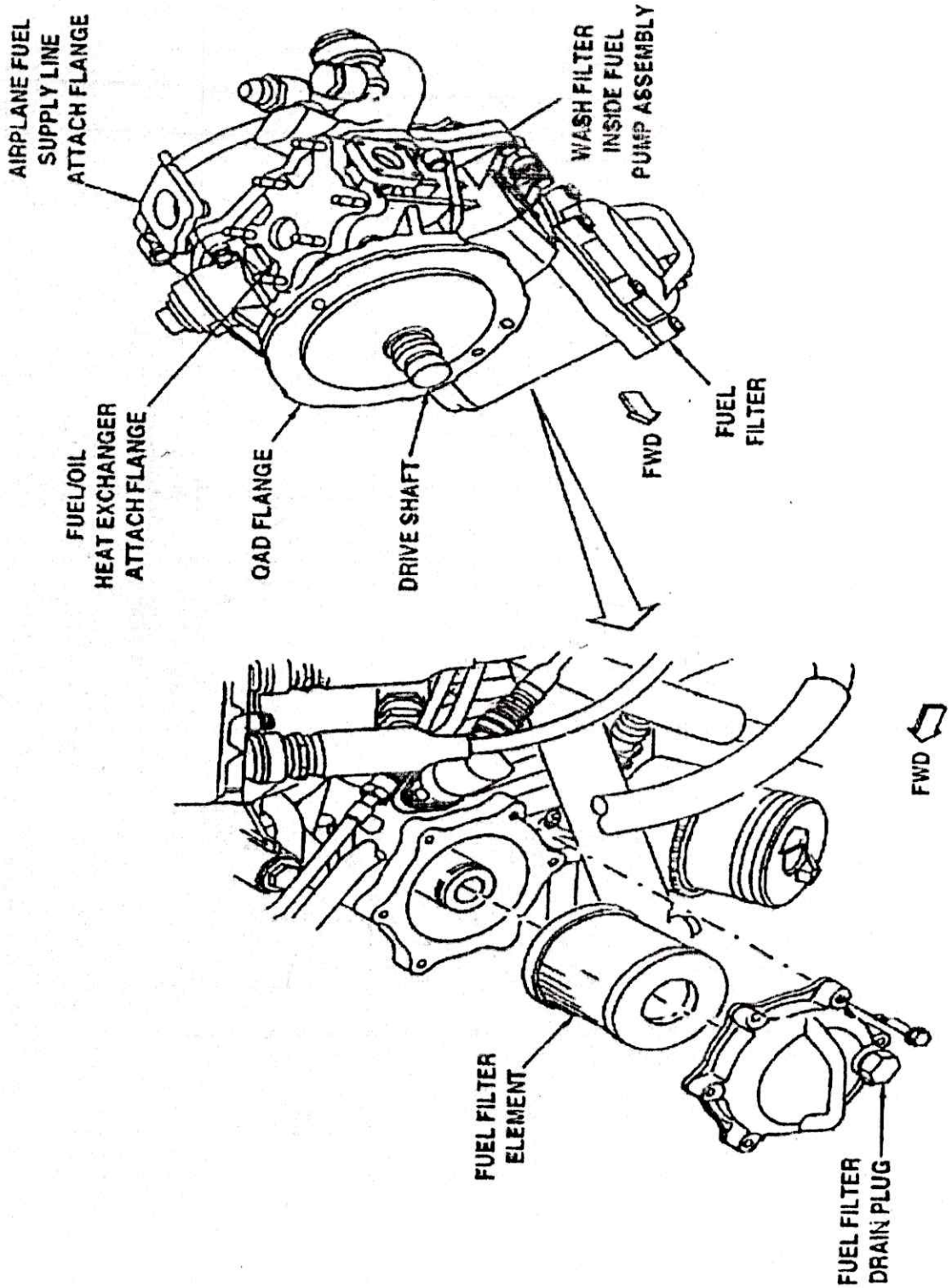


Fig (III- 2) La pompe carburant du moteur CFM 56-7B

- Les caractéristiques de la pompe carburant :

- Elle est attachée avec une bride de fixation à la face arrière de la gearbox au coté gauche du châssis fan avec un couple d'attache /détache rapide.

Elle se compose de deux étages :

- 1^{ère} étage centrifuge.
- 2^{ème} étage à engrenages.
- Le poids : 22 kg
- Le débit max : 257 L/min.
- La pression max de la pompe centrifuge : 125 PSI.
- La pression max de la pompe à engrenages : 1145 PSI.

III-2-1-4 L'échangeur thermique huile/carburant moteur :

L'échangeur thermique est un compartiment à double fonction, il utilise l'huile de récupération pour réchauffer le carburant afin de lui fournir des conditions optimales à la combustion, et éviter toute formation de givre.

La seconde fonction est de refroidir l'huile de récupération pour une conservation des qualités frottantes afin d'obtenir une lubrification meilleure et efficace.

Le carburant circule sans interruption dans les tubes du noyau, il entre un orifice d'admission et coule le long du noyau, lors du contact avec ce dernier, l'huile est refroidie (convection forcée).Ensuite, après avoir été guidé par des chicanes, l'huile sort par l'orifice de sortie.

Il est équipé d'un clapet de surpression permettant à l'huile de récupération de by-pass l'échangeur en cas de colmatage par des résidus

ou une huile visqueuse en temps froid. cette by-pass est tarée entre 123.4 et 137.9 PSI pour le CFM56-7B

III-2-1-5 Filtre principal carburant :

C'est un filtre jetable, il est de 15 microns pour le CFM56-7B .Ce filtre est équipé d'un by-pass taré à 11.5 PSI pour le CFM56-7B

III-2-1-6 Le servo réchauffeur carburant :

Ce réchauffeur à pour rôle de réchauffer le carburant d'asservissement avant d'entrer dans le régulateur principal carburant (HMU) et éviter toute formation de givre pouvant entraîner un disfonctionnement des servocommandes, et de ce fait l'arrêt moteur.

III-2-1-7 l'échangeur d'huile / de l'alternateur (IDG) :

Il est localisé juste après la pompe 1^{er} étage carburant pour le CFM56-7B. Il est pour rôle de refroidir l'huile passe à travers les tubes de la matrice noyau remplis de carburant. L'échangeur carburant refroidi en permanence l'huile de l'alternateur par échange thermique. Pour le CFM56-7B, l'échangeur air / huile est localisé a la sortie du FAN position 6h30, par conséquent l'huile est refroidie en permanence grâce au flux secondaire.

III-2-1-8 Régulateur principal carburant (HMU) :

- Rôle du régulateur principal carburant :

Le rôle de régulateur principal carburant consiste a :

- Assurer le dosage du carburant à tous les régimes moteurs.
- Convertir les signaux électriques en provenance de l'unité électronique de contrôle moteur (EEC) en agissant sur les électrohydrauliques servo vannes (EHSV) afin de commander les servocommandes des :
 - Galet doseur (FMV).
 - Vanne de décharge (VBV).
 - Stator a calage variable (VSV).
 - Vanne de refroidissement carter turbine haute pression (HPTACC).
 - Vanne de refroidissement carter turbine basse pression (LPTACC).
 - Vanne de décharge transitoire (TBV) seulement pour le CFM56-7B.

- Les composants du régulateurs principal carburant (HMU) :

- Une (01) prise électrique pour chaque canal (A et B) de la EEC.
- Un (01) solénoïde du robinet carburant haute pression (HPSOV).
- Un (01) indicateur du robinet carburant haute pression (HPSOV).
- Un (01) drain.
- Un (01) bouchon de pression (PCR).
- Un (01) galet doseur (FMV).
- Un (01) robinet carburant haute pression (HPSOV).
- Une (01) by-pass commandée par une différence de pression
- Un gouverneur de survitesse mécanique (OSG).
- Six (06) électrohydrauliques servocommandes (EHSV).

- Un (01) servo régulateur de pression.
- Un (01) solénoïde de la vanne de sélection d'injecteur (BSV).
- Une (01) tuyauterie carburant.

• **Le galet doseur (FMV) :**

La vanne de dosage carburant (FMV) est commandée par un moteur couple qui pilote un petit vérin. Le moteur couple a deux bobines indépendantes, isolées électriquement, chacune recevant ses ordres d'un canal du EEC. Le débit carburant varie proportionnellement à la position de la vanne de dosage. Un dispositif compare les pressions à l'amont et à l'aval de la vanne et maintient leurs différences constantes en régulant la quantité de carburant envoyée vers la pompe BP et à la FRV. Des capteurs (résolvais) mesurent la position de la vanne FMV et transmettent ce « retour d'ordre » du EEC pour boucler l'asservissement.

• **By-pass :**

La vanne de by-pass est une vanne dont le rôle principal est de dériver l'excédent carburant du régulateur vers la pompe carburant 2^{ème} étage. La by-pass est tarée à une pression différentielle de 50 PSI pour le CFM56-7B.

• **Régulateur de différence de pression :**

Le clapet de pression différentielle est taré à 50 PSI pour le CFM56-7B. Lorsque cette différence est atteinte la by-pass s'ouvre

• Un gouverneur de survitesse (OSG) :

Le HMU comprend un régulateur mécanique à masselottes qui limite le débit carburant de façon à éviter que ne dépasse 105.2 % pour le CFM56-7B. Pour cela, le régulateur agit sur le dispositif à ΔP constante qui maintient constante la différence de pression entre l'amont et l'aval de la FMV et dérive le carburant en excès vers le circuit BP de la pompe. Ce régulateur fournit donc une protection qui est indépendante du EEC.

• Electro-hydraulique servo vanne (EHSV) :

Le régulateur principal carburant (HMU) comprend six (06) électrohydrauliques servo vannes. Leur rôle est de convertir les commandes électriques provenant du EEC en signaux hydrauliques. Elles sont destinées pour les fonctions suivantes :

- Galet doseur (FMV)
- Vérins des vannes de décharge (VBV).
- Vérins des stators à calage variable (VSV).
- Vannes de refroidissement du carter turbine haute pression (HPTACC).
- Vanne de refroidissement du carter turbine basse pression (LPTACC)
- Vanne de décharge transitoire (TBV) uniquement sur le CFM56-7B

IL est à noter que le régulateur principal carburant (HMU) du réacteur CFM56-7B offre plus d'avantages que celui du CF6 80-A3

- Les tuyauteries sont identifiées par des lettres facilitant ainsi aux personnels de la maintenance de ne pas se tromper lors du montage.

- On trouve une vanne de décharge transitoire (TBV) sur le CFM56-7B donc le contrôle du débit d'air a travers le compresseur haute pression est amélioré ce qui signifie que les risques de pompage sont amoindris.

- **vanne de sélection d'injecteurs (BSV) :**

Elle est attachée au dessous du moteur a la position 6h00. La BSV est conçue afin de réduire le débit carburant vers les vingt (20) injecteurs.

Elle est munie de deux positions :

- Ouverte : lors du démarrage (25 % à 55 % N₂) et au delà de 80 % N₂
Dans ce cas le carburant passe par les 20 injecteurs.
- Fermée : lors du ralenti (56 % à 76 % N₂) et lors des trois ralentis moteur qui sont :

- Ralenti sol.....N₂=66 %
- Ralenti vol.....N₂=72 %
- Ralenti approche.....N₂=72 %-79 %

Dans ce cas le carburant passe par dix injecteurs seulement.

- **Avantages de la BSV :**

- Diminuer les contraintes thermiques au niveau de la chambre de combustion et la turbine.
- Diminuer le coût.
- Diminuer la consommation.
- Augmenter la durée de vie de la chambre de combustion et de la turbine.

III-2-1-9 Débitmètre :

Le rôle du débitmètre est de mesurer la quantité de carburant qui va vers les injecteurs

Il est localisé sur le FAN à la position 10h00 pour le CFM56-7B.

III-2-1-10 Filtre injecteur de carburant :

Le filtre injecteur carburant est localisé en position 11h00 sur le carter FAN avant l'entrée des injecteurs. On le trouve uniquement au niveau du CFM56-7B il est utilisé pour filtrer les particules restantes avant de distribuer le carburant aux injecteurs. L'équipement est muni d'un by-pass pour le carburant non filtré quand l'élément filtrant est colmaté.

Le colmatage de l'élément filtrant induit une augmentation de pression différentielle à 87 PSI, celui correspond a un seuil de by-pass.

Cette pression différentielle active l'ouverture de la valve et le carburant by-pass l'élément filtrant.

• **Les composantes du filtre injecteur :**

Le filtre injecteur est composé de :

- Une cuvette.
- Un élément filtrant avec la maille métallique scellée avec la résine époxyde.
- Une valve de by-pass.
- Une connection d'admission.

• Avantage du filtre injecteur :

- Evite toutes impuretés vers les injecteurs.
- Il est accessible et nettoyable.

III-2-1-11 La rampe carburant :

La tuyauterie carburant fournit le carburant aux vingt (20) injecteurs du CFM56-7B.

Pour ce dernier nous remarquons qu'elle se compose de deux parties :

- Une partie alimente les dix injecteurs staged (muni d'une BSV).
- Une partie alimente les dix (10) injecteurs un staged.

III-2-1-12 Les injecteurs :

Les injecteurs de carburant sont des assemblages soudés. Ils délivrent soigneusement un jet de carburant calibré pour la combustion dans les turboréacteurs.

Dans les circuits carburant des deux réacteurs les injecteurs sont de duplex, ils comportent le flux primaire et le flux secondaire.

- Nombre d'injecteurs : vingt (20) duplex.
- Le flux primaire est taré à 15 PSI.
- Le flux secondaire est taré à 125 PSI.
- Poids : 1.28 livres (0.58 kg)
- Il y a 16 injecteurs standard repérés par une bande bleue.
- Quatre (04) injecteurs à débit élevé repérés par une bande en aluminium placés d'une manière adjacente aux allumeurs.

Les injecteurs à haut débit ont été conçus pour éviter une éventuelle extinction de la flamme lors d'une décélération et de faciliter le démarrage moteur.

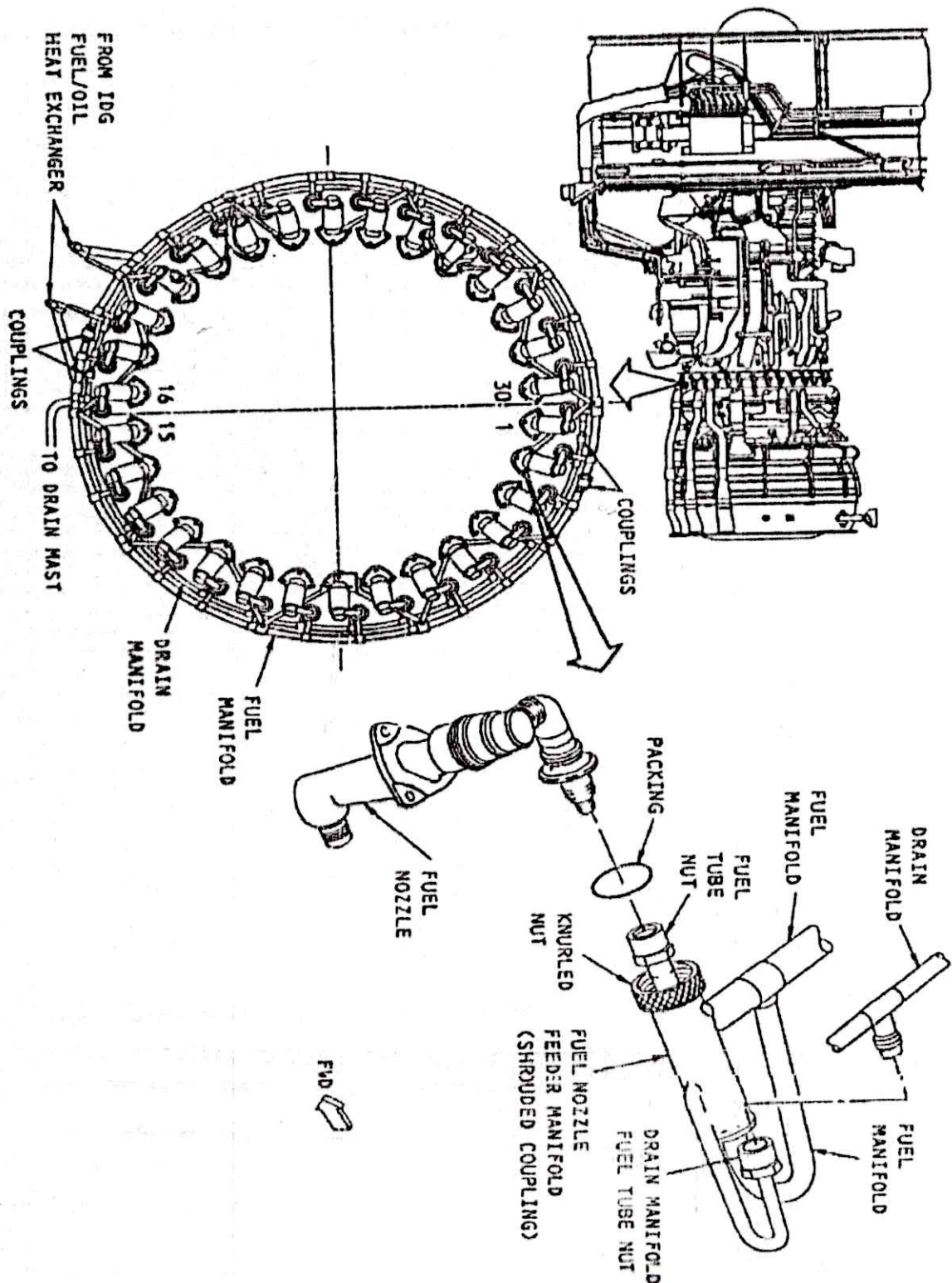


Fig (III- 3) Les injecteurs du circuit carburant

III-2-1-13 Fonctionnement du circuit carburant :

Le carburant des réservoirs d'avion entre à l'étage basse pression de la pompe carburant à deux (02) étages et la quitte pour aller vers l'échangeur huile / carburant alternateur ensuite vers l'échangeur principal huile / carburant moteur ce dernier envoie de nouveau le carburant vers la pompe à travers le filtre et entre dans l'étage haute pression où la pression du carburant sera augmentée et prend deux directions.

- Une part (de loin la plus grande) traverse la HMU, passe par le doseur asservi FMV (valve de régulation carburant) puis va au débitmètre et enfin aux injecteurs.
- L'autre part va d'abord au réchauffeur carburant des asservissements puis au HMU pour élaborer les pressions d'asservissements nécessaires à toutes les électrohydrauliques servo vannes (VSV, VBV, vanne de contrôle actif des jeux, BSV et TBV).
- La surveillance du circuit carburant CFM56-7B :
 - * Sur l'écran inférieur panneau P2.
 - Une indication de consommation carburant.
 - * Sur le panneau P5 carburant.
 - Un noyau colmatage filtre carburant.

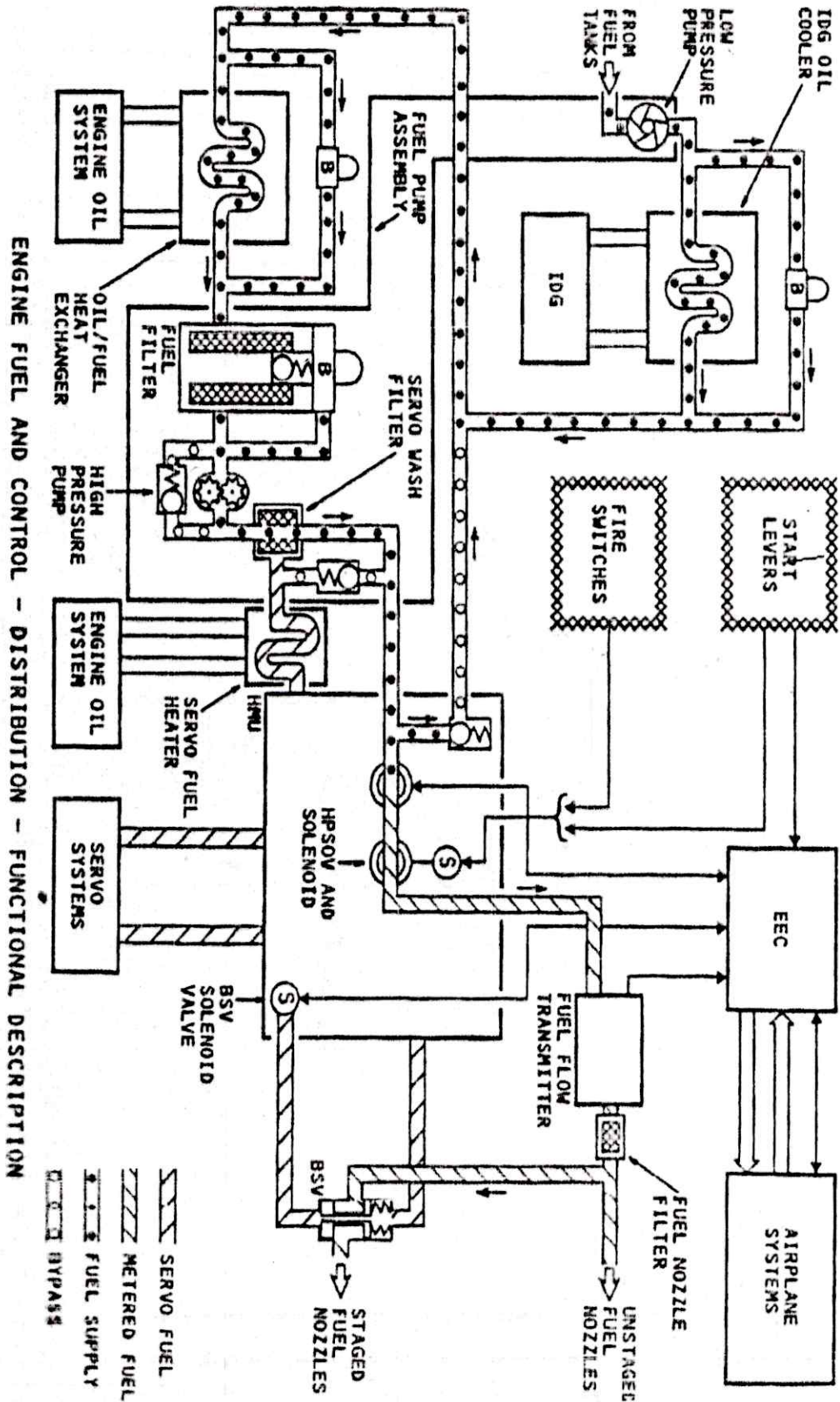


Fig (II-4) Circuit carburant du moteur CFM 56-7B

III-2-2 circuit carburant du moteur CF6 80-A3 :

III-2-2-1 rôle du circuit carburant :

Le rôle du circuit carburant est d'assurer :

- L'alimentation des (30) injecteurs
- L'alimentation des deux vérins des vannes de décharge (VBV).
- L'alimentation des deux vérins des stators à calage variable (VSV).
- Le refroidissement de l'huile de graissage alternateur (IDG).
- Le refroidissement de l'huile de graissage moteur.

III-2-2-2 Description du circuit carburant :

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

- Une (01) pompe carburant à haute pression.
- Un (01) échangeur thermique principal (carburant / huile) réacteur.
- Un (01) filtre principal.
- Un (01) régulateur principal carburant (MEC).
- Un (01) échangeur thermique secondaire (carburant /huile) de l'alternateur (IDG).
- Un (01) débitmètre.
- Une (01) rampe d'injecteur carburant.
- Trente (30) injecteurs.

III-2-2-3 Fonctionnement du MEC :

Le régulateur principal carburant (MEC) équipe le CF6 80-A3 comprend :

- Un (01) ensemble de régulations des servo pressions.
- Un Galet doseur.
- Un régulateur de pression différentielle.
- Une vanne carburant haute pression.
- Une (01) vanne de mise en pression et de drainage.

- **Fonctionnement principal :**

- **-Sélection de la poussée en fonction :**

- De la position manette.
- Du signal du PMC de limitation.
- Régulation des régimes N1 et N2.
- Contrôle des accélérations et de décélération rapides.
- Etablissement des débits d'air par l'intermédiaire des dispositifs anti-pompages VSV / VBV.
- Elaboration de programmes de commande de la valve de contrôle des jeux A.C.C.

- **Fonctionnement auxiliaire :**

- Limitation de la pression interne réacteur.
- Limitation de vitesse de rotation N1 maxi fonction P0, T2.
- Limitation de vitesse de rotation N2 maxi fonction P0, T2.

- Limitation du débit de carburant maximum.
- Sélection du régime des ralenties N2 fonction P0, T2.
- contrôle de survitesse N2.
- protection de la température devant turbine BP fonction T2.
- ouverture, fermeture robinet HP carburant.
- Limitation de la vitesse de rotation N fonction P0, T2 en inversion de poussée.
- Transmission position manette TLA vers PMC.

III-2-2-4 Fonctionnement du circuit carburant :

La surveillance du circuit carburant est réalisée à partir :

- D'un indicateur de consommation sur la planche centrale pilote.
- Colmatage filtre carburant.
- D'une indication de pression carburant de la pompe 1^{ère} étage.

Toutes ces indications apparaissent pour le CF6 80-A3 sur l'ECAM

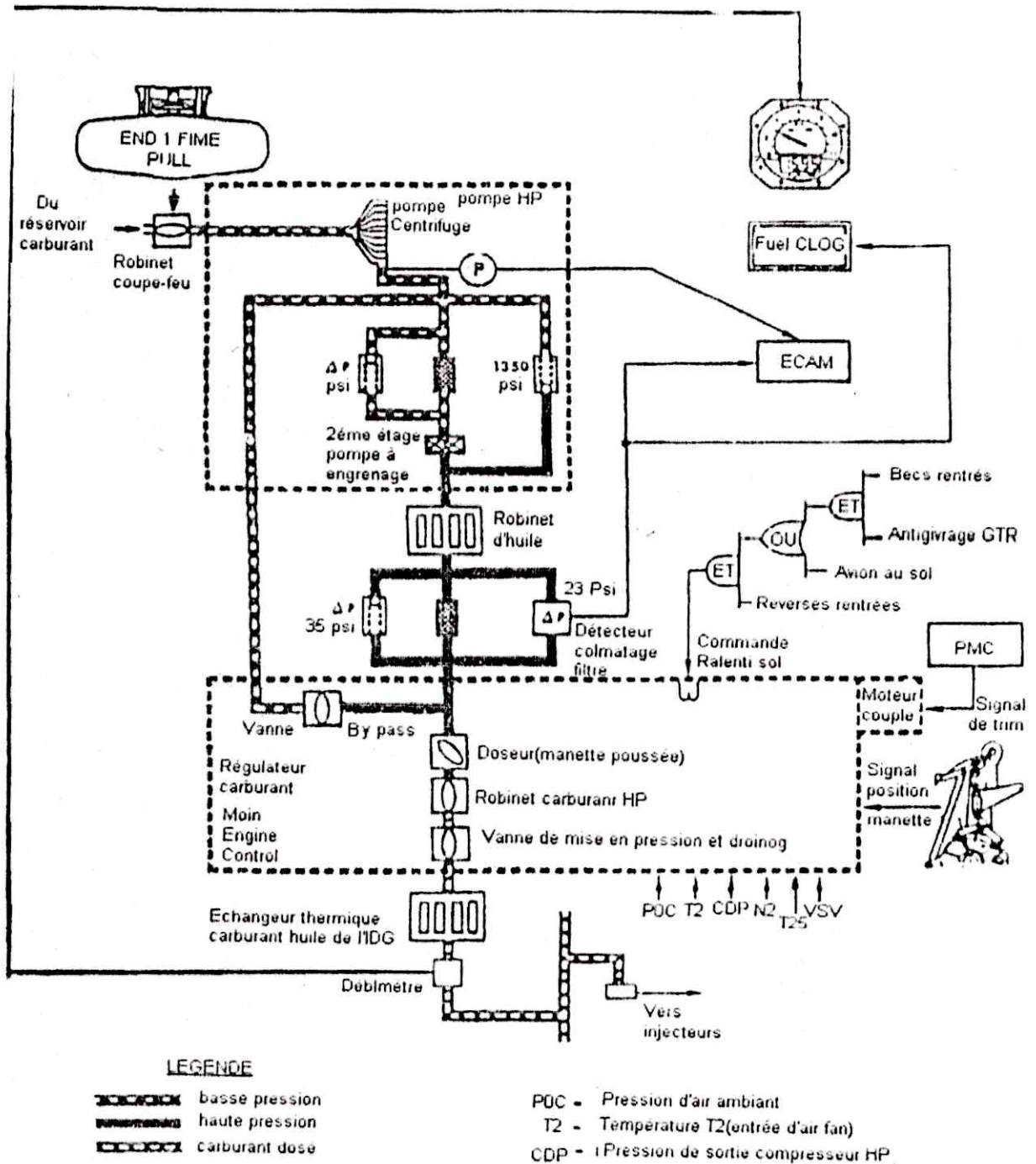


Fig (III- 5) Circuit carburant du moteur CF6 80-A3

CHAPITRE IV
LA COMPARAISON

Comparaison entre les deux dispositifs

CF6 80-A3	CFM 56-7B
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 12 vannes de décharge (VBV). ➤ 6 étages stator à calage variable (VSV). <ul style="list-style-type: none"> ▪ VBV commandé par deux vérins (gauche, droit). ▪ Vérin VBV et VSV commandés par le MEC (régulateur principale carburant) ▪ Le Mec et commandés par le PMC (calculateur de la poussée moteur). ▪ Un correcteur de calage, son rôle est retarder le programme de la fermeture des VBV ouverture VSV de 180 à 300 secondes. ➤ Calculateur moteur (PMC) : <ul style="list-style-type: none"> • Il comporte 7 prises électriques identifiées de J1 à J7. • Information que reçoit le PMC : <ul style="list-style-type: none"> -manette de poussée. -N1 -N2 -pression ambiante -T12 <p>Il conçoit également les informations suivantes de la centrale aérodynamique (ADC) :</p> <ul style="list-style-type: none"> -TAT. -PT. -mach. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 12 vannes de décharge (VBV). ➤ 4 étages stator à calage variable (VSV). ➤ Une vanne de décharge transitoire (TBV). <ul style="list-style-type: none"> ▪ VBV commandé par deux vérins (gauche, droit). ▪ Vérin VBV et VSV commandés par le EEC via une électrohydraulique servo vanne située dans le régulateur principal carburant (HMU). ▪ TBV commandée par le EEC à travers un électrohydraulique servo vanne situé dans le HMU. ➤ Calculateur moteur (EEC) : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Il comporte 10 prises électrique de J1 à J10 plus une prise d'indentification moteur (P11). ▪ Information que reçoit le EEC : <ul style="list-style-type: none"> -manette de poussée. -N1 -N2 -EGT. -T12. -T25. -P25. -T3. -PS3. -pression ambiante.

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fonction de PMC : <ul style="list-style-type: none"> a- contrôle de poussée moteur. b- Affiche le N1. c- Affiche le N2. ➤ Régulateur principal carburant (MEC). <ul style="list-style-type: none"> ▪ Il est entraîné par la pompe carburant HP. ▪ Il comprend : <ul style="list-style-type: none"> -Un galet doseur. -Un robinet carburant haute pression. -Une vanne de mise en pression et de drainage. -Un by pass. ▪ Composants alimentés par le MEC : <ul style="list-style-type: none"> -30 injecteurs. - 02 vérins VBV. - 02 vérins VSV. 	<p>Il reçoit également les information suivantes de centrale aérodynamique (ADIRU) :</p> <ul style="list-style-type: none"> -TAT. -PT. -P0. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fonction de EEC : <ul style="list-style-type: none"> a- contrôle la poussée moteur. b- Contrôle tous les systèmes (carburant, graissage, démarrage, indication, reverses, air). c- Affiche les pannes des 10 derniers vols. ➤ Régulateur principal carburant HMU. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Il est entraîné par la pompe carburant HP. ▪ Il comprend : <ul style="list-style-type: none"> -Un galet doseur. -Un robinet carburant haute pression (HPSOV). - 6 électrohydrauliques servo valve (EHSV). -Un solénoïde. -Un by pass. 2 prises électrique (canal A/ canal B). ▪ Composants alimentés par la HMU : <ul style="list-style-type: none"> -20 injecteurs. - 02 Vérins VBV. - 02 Vérins VSV. - 01 Vanne de refroidissement
--	---

<p>Vérins VBV : Deux vérins situés en position 2h30-8h30 commandent les 12 vannes de décharge.</p> <p>Vérins VSV : Deux vérins localisés en position 3h-9h commandent 6 VSV. La commande des vérins VBV et VSV se fait de la façon suivante :</p> <ul style="list-style-type: none"> -came 3D -régulateur centrifuge (N2). -tiroir VSV. -câble de retour d'asservissement VSV. -came VBV. -sonde température T25. 	<p>carter turbine haute pression (HPTACC). - 01 Vanne de refroidissement de carter turbine basse pression (LPTACC). - 01 Vanne de décharge transitoire (TBV). -Solénoïde de la vanne de sélection d'injecteurs (BSV).</p> <p>Vérins VBV : Deux vérins situés en position 4h-10h commandent vannes de décharge.</p> <p>Vérins VSV. Deux vérins localisés en position 2h-8h commandent 4 VSV. La commande des vérins VBV et VSV se fait à partir de EEC via les électrohydrauliques servo vanne (EHSV) du HMU. L'EEC reçoit les informations suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ VBV : <ul style="list-style-type: none"> -position VSV. -N1. -N2. -T25. -position manette. -P0. -PT. -TAT. ▪ VSV : <ul style="list-style-type: none"> -N1. -N2. -T25. -P0. -TAT. -PT. ▪ TBV : <ul style="list-style-type: none"> -N2. -T25.
---	--

<p>La commande VSV, VSV est purement mécanique car elle fait appel aux :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Régulateur centrifuge. -Came 3D. -Came VBV. -Câble de retour d'asservissement. -Correcteur de calage. 	<p>La commande VBV, VSV est nettement améliorée car c'est l'EEC qui gère les VBV et les VSV. 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>
---	---

- Le système de régulation carburant du réacteur **CFM56-7B** :
 - la régulation du débit carburant.
 - l'alimentation des vérins **VSV, VBV**.
 - vanne de refroidissement carters turbine basse et haute pression.
 - vanne de décharge transitoire l'unité électronique de contrôle moteur (**EEC**) assure les fonctions suivantes :
 - La commande de la poussée.
 - L'affichage des paramètres **N1, EGT, N2**, débit carburant, pression d'huile, température d'huile.
 - Colmatage filtre carburant.
 - Colmatage filtre d'huile.
 - Alarme baisse de pression d'huile.
 - Mémoriser les anomalies moteur (pannes des dix (**10**) derniers vols).
 - Afficher les anomalies des dix (**10**) derniers vols.
 - Afficher le code des anomalies.
 - Faciliter la maintenance.

• Le système de régulation du réacteur **CF6-80A3** assure :

- la régulation carburant.
- l'alimentation des vérins **VBV** et **VSV**.
- le refroidissement de l'huile moteur et alternateur.

Le refroidissement du carter turbine basse pression est assuré par une vanne de refroidissement commandée pneumatiquement.

Le calculateur de poussée moteur assure les fonctions suivantes :

- la commande de poussée.
- l'affichage de **N1** et **N2**.

Les alarmes et indications moteur sont affichées sur le système **ECAM** (système de surveillance centralisée de l'avion).

CONCLUSION

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

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

L'étude faite concerne la comparaison entre les deux systèmes de régulation du carburant des deux réacteurs CFM 56-7B et CF6 80-A3 qui sont :

- Le système de régulation carburant du réacteur **CFM56-7B** qui assure :
 - la régulation du débit carburant.
 - l'alimentation des vérins **VSV, VBV**.
 - vanne de refroidissement carters turbine basse et haute pression.
 - vanne de décharge transitoire l'unité électronique de contrôle moteur (**EEC**).

- Le système de régulation du réacteur **CF6-80A3** qui assure :
 - la régulation carburant.
 - l'alimentation des vérins **VBV** et **VSV**.
 - le refroidissement de l'huile moteur et alternateur.

Cependant nous pouvons conclure que le système de régulation du moteur **CFM 56-7B** est plus amélioré que celui de moteur **CF6 80-A3**.

BIBLIOGRAPHIE

- [1]-TRAINING MANUAL BOEING 767-300
- [2]-TRAINING MANUAL GENERAL ELECTRIC
- [3]-LINE AND BASE MAINTENANCE CFM 56-7B

Les thèses :

- [4]- « Etude comparative entre les circuits carburant des deux réacteurs
CF6 80-C2 FADEC et CFM 56-7B » 2002 / 2003
Proposé par : Benomar Abdelkader
Réalisé par : Abdelli nabil, Bouazza fethy.
- [5]- « Etude comparatives des dispositifs anti pompage des réacteurs
CF6 80-A3 et CFM 56-7B » 2003
Proposé par : Benomar Abdelkader.
Réalisé par : Moulla idir, teldji smail.

SITES INERNET :

WWW.GE.COM

WWW.BOEING.COM

ملخص

إن دراستنا تركز أساسا على المقارنة بين أنظمة توزيع الوقود للمحركين النفاثين CFM56-7B و CF6-80A3 و هما من محركات الجيل الجديد ، وهذا مرورا بوصف كامل للمحركين النفاثين ، ودراسة معمقة لدارات كل محرك ثم التعرض لوصف نظام توزيع الوقود.

Résumé

Notre étude est basée essentiellement sur une comparaison entre deux système de régulation de carburant des deux réacteurs le CFM 56-7B et le CF6 80-A3, on passant par des généralités sur les deux réacteurs et une étude approfondie de leurs circuits du carburant ainsi que l'étude des fonctions des deux régulateurs.

Summary

Our study is based primarily on a comparison between two system of fuel regulation of the two engines the CFM 56-7B and the CF6 80-A3, on passing by general information on the two engines and a thorough study their circuits of the fuel as well as the study of the functions of the two regulators.