

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Universite Saad Dahleb de Blida

Faculté des Sciences de L'Ingénieur

Département d'Aéronautique



PROJET DE FIN D'ETUDES

*L'Obtention du Diplôme d'études Universitaire Appliquées
en Aéronautique (DEUA)*

Option : Propulsion.

THEME



INTRODUCTION A LA REGULATION

Avec Exemples les Régulateurs:

FCU Sur JT8D

PMC Sur CF6-80 A3

FADEC Sur CFM 56-7B

Présenté Par :

- **M^r SEBBAGH Karim**
- **M^r GHENDOUF A.moumene**

Promoteurs :

- **M^r ZEDDAN Chakib**
- **M^r BENTRAD Hocine**

PROMOTION : 2005

REMERCIEMENT

Nous remercions tout d'abord « ALLAH » le tout puissant de nous avoir donné la force et le courage de finir ce modeste travail et ce malgré les multiples embûches qu'on a rencontré.

Nous tenons à remercier tout particulièrement :

- Notre promoteur **M' ZEDDAN CHAKIB.**
(Ingénieur à Air Algérie en propulsion)
- Notre Co-promoteur **M' BENTRAD HOCINE**
(Enseignant à l'Institut d'Aéronautique de Blida).

Et sans oublier chacun d'entre eux :

(Tous travaillants à Air Algérie)

- **M' TIKANUINE HACENE** (Chef d'Atelier au H 400)
- **M' GUELLATI KARIM** (travaillant au H 400)
- **M' BENZERROUK** (Chef de quart au service Opérations)
- **M' DJELLOULI MELIANI**
- **M' BRAHIMI RACHID.**

Nous remercions également :

Tous les enseignants de l'Institut d'Aéronautique de Blida qui nous ont suivis au cours de notre stage et qui ont fait de leurs mieux pour nous guider vers le bon chemin.

Et sans oublier,

Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'Aboutissement de ce travail..

KARIM

ABDELMOUMEN

DEDICACE

JE DEDIE CE TRAVAIL A :

En premier lieu à la mémoire de ma très chère
mère,

Et mon très cher frère « Azzedinne », que dieu
les accueillent
dans son vaste paradis.

Je le dédie également à mon très cher père,
à mes frères aînés Abdelmalek , et
particulièrement Kader
pour son aide et orientation.

Sans oublier mes chères sœurs :
Naima, Hafidha, Samia et Souâd pour leur
soutien moral.

A tous ceux qui portent le nom « GHENDOUF »

Je le dédie également à mes collègues de la
section :
Propulsion.

A mes amis :
Merouane, Redouane, Charif, Sofiane, Sid Ali,
Ramzi, Fouzi.

A celui avec qui j'ai partagé l'élaboration
de cet ouvrage
« KARIM » et sa famille.

A tout ceux que je connaît de près ou de loin.

Fayçal

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail tout d'abord à mes très chers parents qu'ALLAH les protège pour moi et qui m'ont épaulés tout le long de mes études jusqu'au couronnement de ces derniers.

*A Mrs AAKAB DJAMEL , ELAID CHETOUANE et Mr TEMMAR
Mon petit frère et ma petite sœur qui me sont très chers .*

*A toute ma famille ,tout particulièrement mon cousin
CHERCHALI FETHALLAH et mon oncle SEBBAGH RACHID .*

*TOUS mes collègues étudiants de ma promotion de l'institut
d'aéronautique et autres .*

Mes très chers amis :

*DOUIB TOUFIK, SALEM MOHAMED, KETIR REDA,
HARRAR DJALEL, KAOU DJAMEL, ROUAI HOCINE
et DJAFAR et d'autres.*

*Sans oublier mes amis et collègues de la 3^{ème} année ingénieur options
construction, opérations et installation de la promotion 2004/2005.*

*Spéciale pensée pour mes amis décédés au printemps de leur age qui sont :
ABSI MOHAMED , DJABELLAH MERWANE
et BOUSSOUS MOUNIR,*

Que DIEU les accueille en son vaste paradis amène .

KARIM

SOMMAIRE

| | PAGE |
|--|------|
| INTRODUCTION | |
| CHAPITRE I : GENERALITE | |
| I - GENERALITE | |
| 1- Différents types de Turboréacteurs. | 01 |
| 2- Eléments Constituants un turboréacteur. | 04 |
| 2-1- L'Entrée d'air. | 04 |
| 2-2- Le Compresseur. | 05 |
| 2-3- La chambre de combustion | 06 |
| 2-4- La Turbine | 06 |
| 2-5- La Tuyère d'éjection | 07 |
| 3- L'Entraînement des accessoires | 07 |
| 4- Différents systèmes équipant un Turboréacteur. | 09 |
| 4-1- Système de démarrage. | 09 |
| 4-2- Circuit d'huile | 09 |
| 4-3- Circuit carburant | 09 |
| 4-4- Système de prélèvement d'air | 12 |
| 5- Les paramètres régissant le fonctionnement d'un Turboréacteur | 13 |
| 5-1- Poussée et poussée spécifique | 13 |
| 5-2- Consommation horaire et consommation spécifique | 15 |
| 5-3- Taux de dilution | 16 |
| 5-4- Taux de compression | 16 |
| 5-5- Puissances | 16 |
| 5-6- Les Rendements | 17 |
| II- REGULATION | |
| 1- Définition et but | 18 |
| 2- Limitations | 19 |
| 2-1- L'entrée d'air | 19 |
| 2-2- Compresseur | 19 |

| | |
|---|----|
| 2-3- Chambre de combustion | 20 |
| 2-4- Turbine | 20 |
| 2-5- Tuyère | 20 |
| 3- Les paramètres influents et régimes | 21 |
| 3-1- Les paramètres influents | 21 |
| 3-2- Les régimes | 21 |
| 4- Influence des paramètres | 22 |
| 4-1- Influence des paramètres | 22 |
| 4-2- Influence des paramètres extérieurs | 23 |
| 5- Fonctions assurées par la régulation carburant | 25 |
| 5-1- Fonctions principales | 25 |
| 5-2- Fonctions auxiliaires d'un régulateur | 25 |
| 6- Types de régulation | 25 |
| 6-1- Régulation à un paramètre | 25 |
| 6-2- Régulation à deux paramètres | 27 |

CHAPITRE II : REGULATEUR HYDROMECHANIQUE FCU

GENERALITE

| | |
|--|----|
| 1- Dispositifs de sélection manuelle de la poussée | 29 |
| 1-1- Description | 29 |
| 1-2- Fonctionnement | 34 |
| 2- Régulation de T5 | 37 |
| 2-1- Correction barométrique | 38 |
| 2-2- Correction thermométrique | 38 |
| 2-3- Description et fonctionnement hydromécanique du dispositif d'asservissement de la came 3D à T2 | 41 |
| 3- Contrôle des accélérations et décélérations | 41 |
| 3-1- Evolution du dosage lors de l'arrêt du réacteur | 42 |
| 3-2- Evolution du dosage durant le démarrage du réacteur | 45 |
| 3-3- Evolution du dosage durant une accélération rapide | 46 |
| 3-4- Evolution du dosage durant une décélération rapide | 47 |
| 4- Fonctions auxiliaires | 47 |
| 4-1- Limitation de P4 | 47 |

| | |
|--|----|
| 4-2- Protection sur vitesse en cas de rupture arbre N2 du régulateur de carburant | 47 |
| 4-3- Démarrage et arrêt réacteur | 48 |
| 4-4- Ralenti en altitude et régulation de la poussée de ralenti a basse altitude | 50 |

CHAPITRE III : REGULATEUR ELECTRONIQUE A AUTORITE PARTIELLE

INTRODUCTION

| | |
|--|----|
| 1- Principe de régulation carburant | 52 |
| 2- Le régulateur principale de carburant MEC | 55 |
| 2-1- Fonctions assurées par le régulateur MEC | 55 |
| 2-2- Synoptique du MEC | 55 |
| 2-3- Composition interne du MEC | 57 |
| 2-4- Différents signaux utilisés par le MEC | 60 |
| 2-5- Régulateur de régime N2 | 61 |
| 2-6- Contrôle des accélérations et décélérations | 70 |
| 3- Le calculateur de poussée moteur PMC | 73 |
| 3-1- Fonctions assurées par le PMC | 73 |
| 3-2- Synoptique du PMC | 74 |
| 3-3- Explication du schéma synoptique | 75 |
| 3-4- Différents signaux utilisés par le PMC | 75 |
| 3-5- Mode d'action du PMC | 76 |
| 3-6- Fonctionnement normal du PMC | 78 |
| 4- Synoptique général | 80 |
| 5- Fonction auto-manette | 81 |
| 6- Commandes et contrôles de la poussée | 82 |
| 6-1- Fonctionnement du MEC + PMC | 83 |
| 6-2- Loi de calcul du PMC | 83 |
| 6-3- Commande et contrôle de la poussée avec PMC et sans auto-manette | 85 |
| 6-4- Système automatique de commande de poussée (PMC + auto-manette | 85 |
| 7- Anomalies de fonctionnement du PMC | 85 |
| 8- Test du PMC | 85 |

CHAPITRE IV : REGULATEUR ELECTRONIQUE A PLEINE AUTORITE FADEC

| | |
|---|-----|
| 1- Description | |
| 2- Fonctions assurées par ce système | 90 |
| 3- Composants du système FADEC | 92 |
| 3-1- L'unité de contrôle électronique EEC | 92 |
| 3-2- Unité hydromécanique HMU | 101 |

CHAPITRE V : MAINTENANCE

| | |
|--|-----|
| 1- Définition de la maintenance | 127 |
| 2- Objectifs de la maintenance | 127 |
| 3- Types de maintenance | 127 |
| 3-1- Maintenance corrective | 127 |
| 3-2- Maintenance préventive | 127 |
| 4- Evolution de la politique de maintenance | 128 |
| 5- Notion de « fiabilité » | 128 |
| 5-1- Définition de la fiabilité | 129 |
| 5-2- La relation (qualité-fiabilité) | 129 |
| 6- Différent mode d'entretien | 129 |
| 6-1- Entretien avec temps limite | 129 |
| 6-2- Entretien selon l'état | 129 |
| 6-3- Entretien en mode de surveillance du comportement condition monitoring | 130 |
| 7- Stratégie de la maintenance | 130 |
| 7-1- Entretien en ligne | 131 |
| 7-2- Entretien en atelier | 132 |
| 7-3- Schéma classique d'entretien long/Moyen courrier | 133 |
| 8- Document de maintenance | 135 |
| 8-1- Définition de quelque document | 135 |
| 8-2- Document utilisé lors de la maintenance non programmé | 136 |
| 8-4- Document utilisé comme support | 136 |

LISTE DES PARAMETRES

- A** : section de l'entrée d'air
A_c : section de la tuyère principale (core)
A_f : section de la tuyère du FAN
A_s : section d'éjection des gaz
 α : angle de la manette des gaz
 α : taux de dilution
- Ch** : consommation horaire
C_p : chaleur spécifique
C(sp) : spécifique
- EPR** : rapport manométrique
- F** : poussée
F_r : force de rappel du ressort
F(sp) : poussée spécifique
- K1, k2, k3, k4** : coefficients
- M0** : nombre de Mach à l'entrée d'air
M : débit de masse du fluide sortant
M(air) : débit massique de l'air
M(fuel) : débit massique de carburant
M(core) : débit de masse du flux chaud
M(FAN) : débit de masse du flux froid
- N** : régime
N1 : vitesse de rotation du corps basse pression
N2 : vitesse de rotation du corps haute pression
N_c : régime de consigne
N_r : régime réel
N(BP) : régime consigne basse pression
N(HP) : régime consigne haute pression
N'(HP) : régime réel haute pression
N'(BP) : régime réel basse pression
 η (th) : rendement thermodynamique
 η (g) : rendement global
 η (p) : rendement de propulsion
- P** : pression
P_b : servo pression de retour générer par la pompe HP
P_c : servo pression de contrôle
P(c) : puissance calorifique
P_{cb} : pression du corps régulé
P_{cr} : servo pression (regulated case pressure)
P_s : pression statique d'éjection du flux chaud

P_{ci} : pouvoir calorifique inférieur
P_f : pression statique d'éjection du flux froid
P(p) : puissance propulsive
P_{i2} : pression impact d'entrée corps basse pression
P(th) : puissance thermique
P_t : pression total
P_s : pression statique d'éjection des gaz
P_{sf} : servo pression filtrée
P(u) : puissance utile
P₀ : pression statique atmosphérique
P₃ : pression sortie compresseur BP
P₄ : pression sortie compresseur HP
Π : taux de compression

Q : pression dynamique
q_c : débit carburant (w_f)
q_l : débit d'air

R : constante des gaz parfaits
ρ : masse volumique
ρ₀ : masse volumique de l'air

TAT : température total de l'air
T_{i2} : température impact de l'entrée corps basse pression
T_{i(HP)} : température impact de l'entrée corps haute pression
T_s : température des gaz de sortie réacteur
T₀ : température de l'entrée d'air
T₂ : température entrée compresseur BP
T₄ : température sortie compresseur HP
T₅ : température entrée turbine

V : vitesse de l'écoulement
V_c : vitesse de sortie du flux chaud
V_f : vitesse de sortie du flux froid
V_s : vitesse d'éjection des gaz
V₀ : vitesse de vol

LISTE DES FIGURES

| FIGURE | PAGE | |
|--------|---|----|
| I-1 | Turboréacteur simple flux monocorps sec | 1 |
| I-2 | Turboréacteur simple flux double corps sec | 2 |
| I-3 | Turboréacteur simple flux monocorps avec PC | 2 |
| I-4 | Turboréacteur double flux double corps sec | 3 |
| I-5 | Turboréacteur double flux double corps sec avec soufflante arrière | 3 |
| I-6 | Turboréacteur double flux double corps avec PC | 4 |
| I-7 | Forme de l'entrée d'air | 5 |
| I-8 | Compresseur axiale simple corps | 5 |
| I-9 | Demi-coupe longitudinale d'un tube à flamme et de son enveloppe | 6 |
| I-10 | Turbine axiale | 6 |
| I-11 | Canal d'éjection pour moteur sec | 7 |
| I-12 | La boîte d'engrenage (gear box) | 8 |
| I-13 | Boîte de commande des accessoires (AGB) | 8 |
| I-14 | Circuit de carburant | 11 |
| I-15 | Turboréacteur simple flux | 14 |
| I-16 | Turboréacteur double flux | 15 |
| I-17 | Courbe d'adaptation compresseur turbine | 19 |
| I-18 | Limitation dues à la chambre de combustion | 20 |
| I-19 | Schémas représentant une régulation à programme | 26 |
| I-20 | Schémas représentant une régulation à boucle | 27 |
| II-1 | Schémas fonctionnel FCU | 31 |
| II-2 | Dosage et régime stabilisé | 37 |
| II-3 | Régulation de température T5 | 39 |
| II-4 | Dispositif de contrôle des accélérations et décélérations | 43 |
| II-5 | Graphique accélération décélération | 44 |
| II-6 | Dispositif de démarrage et arrêt | 49 |
| II-7 | Vue extérieure du régulateur de carburant | 51 |
| III-1 | Régulateur de régime N2 | 54 |
| III-2 | Synoptique du | 56 |
| III-3 | Régulateur principale MEC | 58 |
| III-4 | Vue extérieur du MEC | 60 |
| III-5 | Sélection du niveau de poussée et régulation N2 | 62 |
| III-6 | Limitation du régime N2 par le PMC et blocage du signal de limitation | 64 |
| III-7 | Domaine d'action du PMC | 65 |
| III-8 | Désactivation du PMC | 67 |
| III-9 | Ralenti minimum | 68 |
| III-10 | Ralenti d'approche | 69 |
| III-11 | Contrôleur d'accélération phase début d'accélération | 71 |
| III-12 | Synoptique du PMC | 75 |
| III-13 | Système automatique de commande de poussée (PMC automanette) | 77 |
| III-14 | Ecran de sélection de mode | 79 |
| III-15 | Evolution du niveau de poussée | 79 |
| III-16 | Synoptique | 80 |
| III-17 | Synoptique générale | 81 |
| III-18 | Fonction automanette | 82 |

| | |
|---|-----|
| III-19 Loi de calcul du PMC | 83 |
| III-20 Commande et contrôle de poussée avec PMC et sans automanette | 84 |
| III-21 Système automatique de commande de poussée (PMC+automanette) | 86 |
| IV-1 Contrôle réacteur interface | 91 |
| IV-2 Fonctionnement du système de contrôle | 91 |
| IV-3 Vue extérieur EEC | 93 |
| IV-4 Les différentes électrohydrauliques servo-vannes | 105 |
| IV-5 Amplificateur fluide | 105 |
| IV-6 Schémas de l'électrohydraulique servo-vannes | 106 |
| IV-7 Fonctionnement du doseur FMV | 108 |
| IV-8 FMV dans la position ouverte | 108 |
| IV-9 FMV dans la position fermée | 109 |
| IV-10 Clapet de décharge | 109 |
| IV-11 Système TBV | 112 |
| IV-12 Fonctionnement de la vanne TBV | 112 |
| IV-13 Système HPTACC | 115 |
| IV-14 Fonctionnement de la vanne HPTACC | 115 |
| IV-15 Système LPTACC | 117 |
| IV-16 Fonctionnement de la vanne LPTACC | 117 |
| IV-17 Système VSV | 119 |
| IV-18 Fonctionnement des VSV | 119 |
| IV-19 Système VBV | 121 |
| IV-20 Fonctionnement des VBV | 121 |
| IV-21 La vanne BSV(Vingt injecteurs en fonctionnement) | 125 |
| IV-22 La vanne BSV(dix injecteurs en fonctionnement) | 125 |

Liste des abréviations

| | |
|----------|--|
| * ACS | Commutateur de pack |
| * ADD | Centrale aérodynamique |
| * ADIRU | Centrale de référence inertielle de données aérienne |
| * AGB | Boite de commande des accessoires |
| * A/T | Auto manette |
| * BP | Basse pression |
| * BSV | Vanne de sélection injecteur |
| * CDP | Pression de décharge compresseur (P3) |
| * CIT | Température d'entrée compresseur |
| * CDU | Boite de commande et d'affichage |
| * CFMI | CFM internationale |
| * DEU | Unité d'affichage électronique |
| * EEC | Unité électronique du contrôle moteur |
| *EGT | Température des gaz d'échappement |
| * EHSV | Electrohydraulique servo vanne |
| * EPR | Rapport manométrique |
| * FADEC | Système de régulation électronique numérique à pleine autorité |
| * FCU | Unité de contrôle carburant |
| * FDA | Unité d'acquisition de données de vol |
| * FDR | Bande magnétique |
| * FMC | Ordinateur de gestion de vol |
| * FMV | Galet doseur carburant |
| * FRV | Vanne de retour carburant |
| * GE | General electric |
| * HMU | Unité hydromécanique |
| * HP | Haute pression |
| * HPSOV | Vanne d'arrêt haute pression |
| * HPTACC | Contrôle actif du jeu turbine haute pression |
| * LPT | Turbine basse pression |
| * LPTACC | Contrôle actif du jeu turbine basse pression |
| *LVDT | Transformateur différentiel variable linéaire |
| * MEC | Régulateur principale de carburant |
| * PC | Deuxième poste de combustion |
| * PLA | Position angulaire mécanique de la manette de poussée |
| * PW | Pratt et whitney |
| * RR | Rolls Royce |
| *RVDT | Transformateur différentiel variable rotatif |
| * TBV | Vanne de décharge transitoire |
| * TLA | Position angulaire électrique de la manette de poussée |
| * TRA | L'angle de resolver de poussée |
| * TTC | Calculateur de commande de poussée |
| * TRH | Limite de poussée |
| * TRP | Panneau de sélection de mode |
| * VBV | Vanne de décharge |
| *VSV | Stator à calage variable |

INTRODUCTION GENERALE

Dans le domaine de l'aéronautique l'un des soucis majeurs est de connaître le comportement d'un turboréacteur et l'évolution de ses performances à différents modes de fonctionnement .

Ces modes de fonctionnement sont justement de deux types :

Le mode adapté, pour lesquels différents organes qui constituent le moteur atteignent leurs caractéristiques nominales dans des conditions atmosphériques dites standards. Le deuxième mode est le hors adaptation, pour lequel les conditions atmosphériques , l'altitude et le nombre de Mach varient.

Les organes du moteur sont gérés par des systèmes de régulation, qui optimisent leur domaine de fonctionnement, ce qui se traduit par une optimisation des performances moteur.

CHAPITRE I

GENERALITE

I- GENERALITE

1- DIFFERENTS TYPES DE TURBOREACTEURS:

Les turboréacteurs sont des turbomachines qui appartiennent à la catégorie des propulseurs dits directs, car ils restituent une force dirigée vers l'avant nommée " **Poussée** ".

Cette force est principalement générée par la variation de vitesse des débits masses traversant ce type de moteur.

Les turboréacteurs sont classés en deux grandes familles qui sont :

- Les turboréacteurs **simple flux**,
- Les turboréacteurs **double flux**.

1-1- Turboréacteur simple flux, monocorps, sec:

Un turboréacteur est dit :

" **simple flux** " lorsque c'est un seul débit masse d'air qui traverse ses composants de l'amont à l'aval.

" **Sec** " s'il n'est pas équipé de la post-combustion (P.C).

" **Monocorps** " s'il possède un compresseur unique.

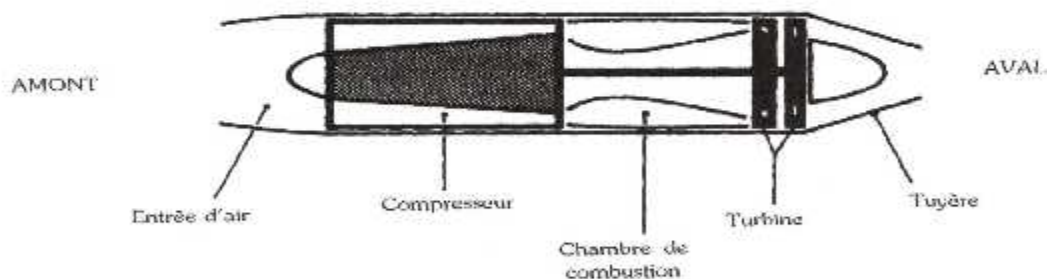


Fig. I-1 Turboréacteur simple flux monocorps sec

1-2- Turboréacteur simple flux, double corps, sec :

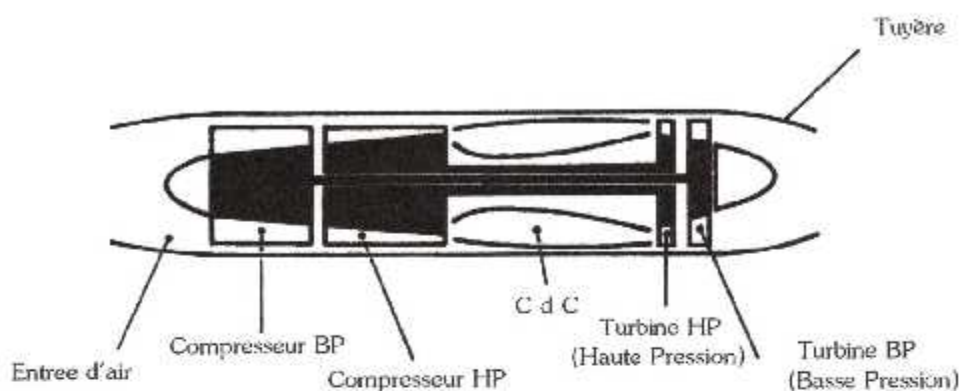


Fig. I-2 Turboréacteur simple flux double corps sec

1-3- Turboréacteur simple flux, monocorps, avec PC :

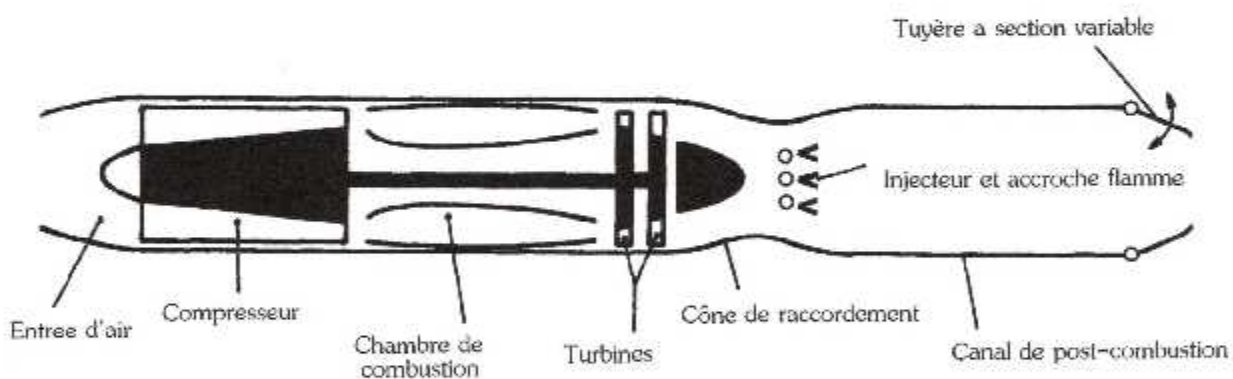


Fig. I-3 Turboréacteur simple flux monocorps avec PC

1-4- Turboréacteur double flux, double corps, sec :

a) Soufflante avant :

Ici le fan (soufflante) est intégré au compresseur basse pression et est entraînée par les turbines basse pression.

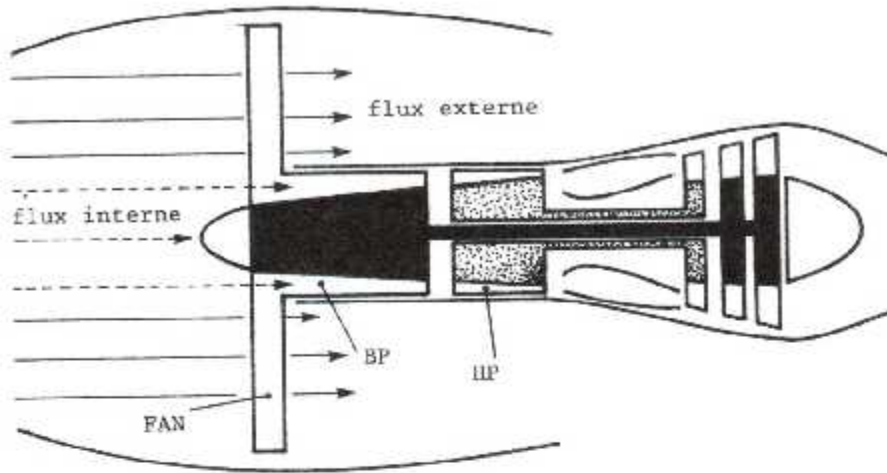


Fig. I-4 Turboréacteur double flux double corps sec

b)Soufflante arrière :

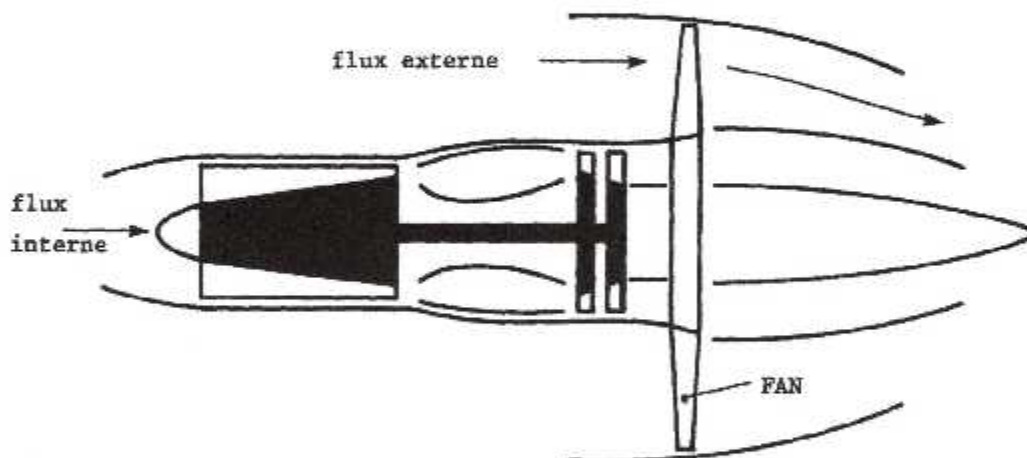


Fig. I-5 Turboréacteur double flux double corps sec avec soufflante arrière

NOTE :

Le By-pass est un réacteur double flux mais n'a pas de soufflante proprement dite, c'est l'air du compresseur basse BP qui se partage en deux parties :

- Une première partie suit le cycle chaud ;
- Une seconde partie qui passe dans le By-pass avant d'aller se mélanger au flux chaud en sortie tuyère.

1-5- Turboréacteur double flux, double corps, avec post-combustion :

Ce type de moteur a un taux de dilution α faible aux environs de **0,3** en sachant que le taux de dilution :

$$\alpha = (\text{débit masse secondaire}) / (\text{débit masse primaire}) \quad [I-1]$$

Les étages du compresseur BP gavent le compresseur HP et alimentent le canal PC.

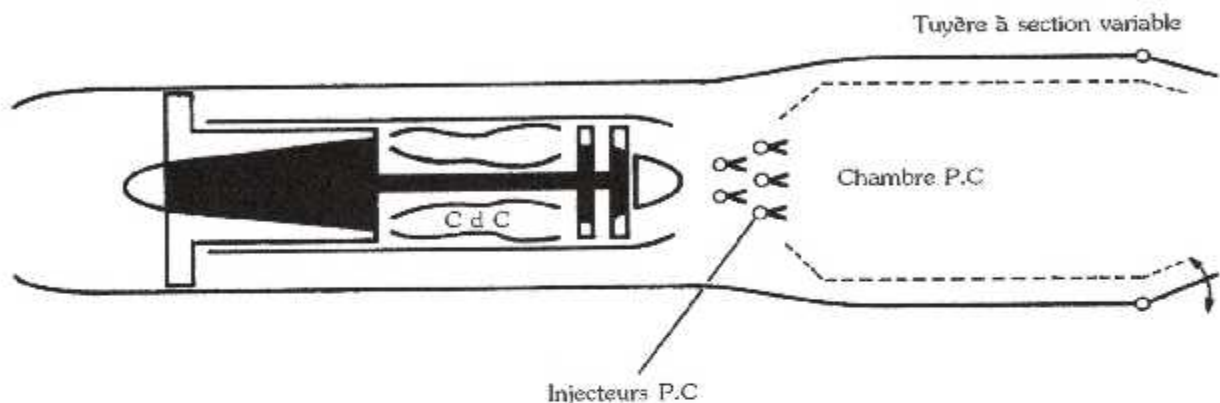


Fig. I-6 Turboréacteur double flux double corps avec PC

-2- Eléments constituant un turboréacteur :

Un turboréacteur se compose de l'amont à l'aval des éléments suivants :

- Entrée d'air
- Compresseur
- Chambre de combustion
- Turbine
- Tuyère d'éjection

2-1- L'entrée d'air :

Rôle :

L'entrée d'air se présente sous la forme d'un conduit, son rôle est de raccorder le milieu ambiant au moteur, en canalisant l'écoulement vers les aubes du compresseur de la manière la plus stable, et d'autre part permettre la distribution de l'écoulement au compresseur en maintenant le nombre de **Mach** à l'entrée compresseur aux environs de **0,5**, et cela dans tout le domaine de vol.

NOTE :

Le nombre de Mach est une unité de mesure qui est égale au rapport de la vitesse d'évolution du sujet considéré (écoulement, avion, ...) à la vitesse du son.

Les figures suivantes représentent respectivement l'entrée d'air subsonique et supersonique :

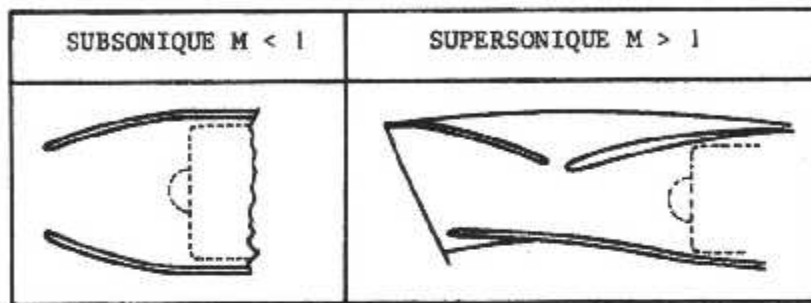


Fig. I-7 Forme de l'entrée d'air

2-2- Le compresseur :**Rôle :**

Le mélange air kérosène ne pouvant s'enflammer que dans certaines conditions de pression et de température, et c'est là le rôle du compresseur qui est d'amener le fluide dans les conditions minimales d'inflammation.

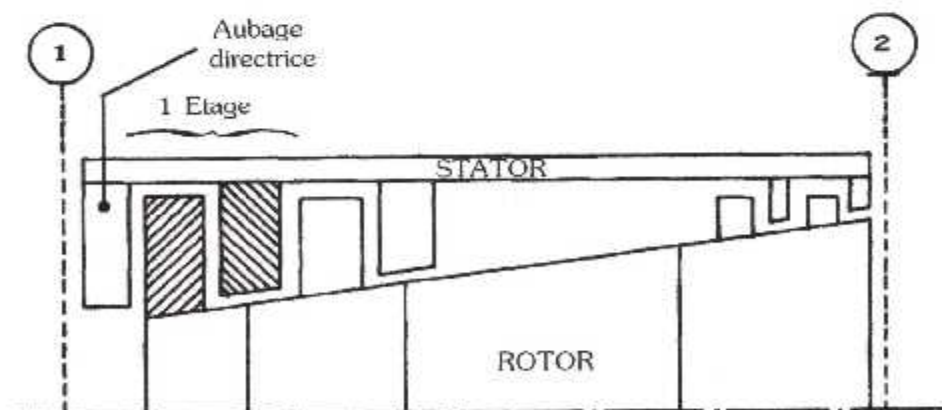


Fig. I-8 Compresseur axial simple corps

2-3- La chambre de combustion :

Rôle :

Elle assure le mélange air/carburant et permet la transformation de l'énergie chimique contenue dans le carburant en une énergie calorifique.

C'est le siège de la réaction chimique d'oxydo-réduction du combustible.

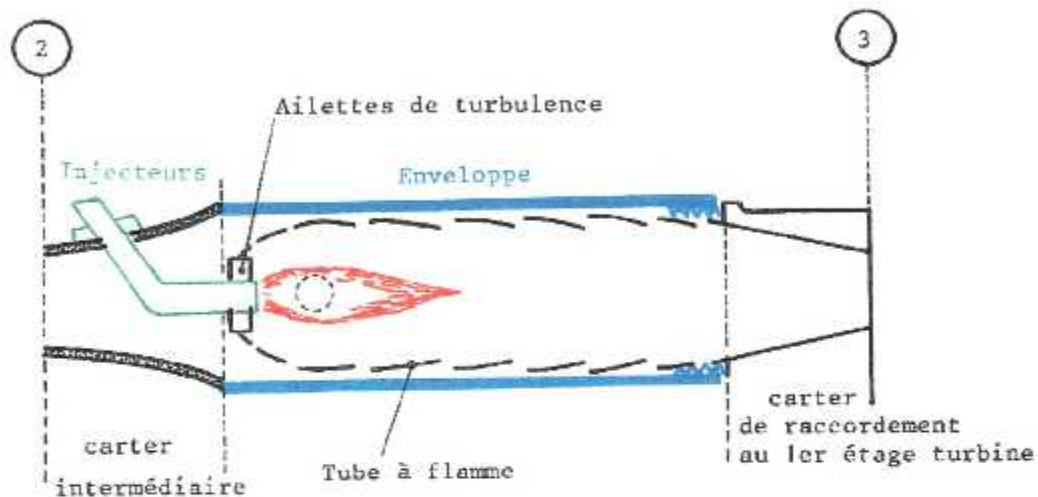


Fig. I-9 Demi-coupe longitudinale d'un tube à flamme et de son enveloppe

2-4- La turbine :

Rôle :

Les gaz chauds à haute pression et température sortent de la chambre de combustion et se détendent dans la turbine, qui transforme leur énergie de pression en énergie cinétique.

Une partie de l'énergie du jet sortant de la chambre de combustion servira à entraîner le compresseur et les accessoires, l'autre partie produira la poussée.

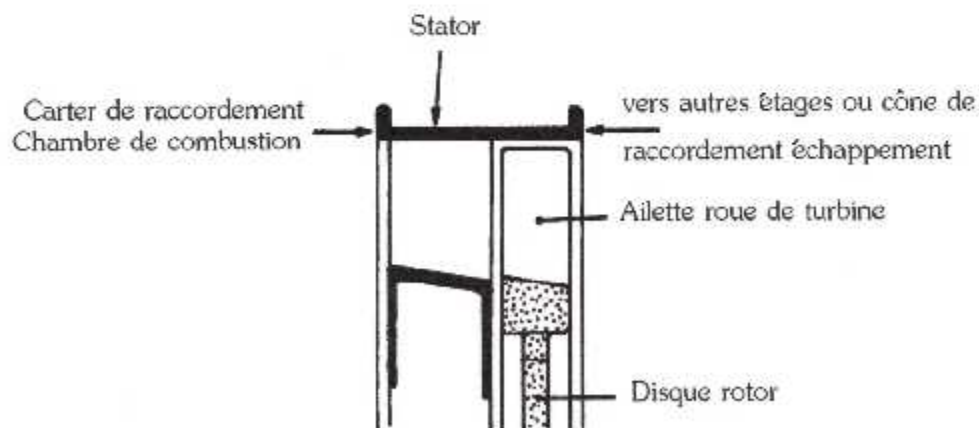


Fig. I-10 turbine axiale

2-5- La tuyère d'éjection :

Rôle :

Le rôle de la tuyère d'éjection est d'achever la transformation d'énergie de pression en énergie cinétique. C'est dans ce canal qu'est produite la poussée après la détente.

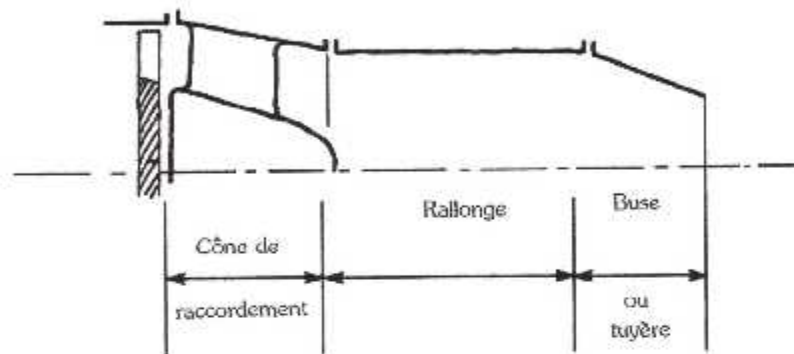


Fig. I-11 Canal d'éjection pour moteur sec

Comme le montre la figure précédente ce canal d'éjection se compose de :

- Un cône de raccordement, et d'une rallonge incluant les reverses -dispositif de frein par inversion de direction de poussée- et recevant les différentes sondes de pressions et de températures totales (permettant la mesure de ces dernières)
- Une tuyère à section fixe ou variable.

3-L'ENTRAÎNEMENT DES ACCESSOIRES :

La liaison entre l'attelage haute pression (HP) et les accessoires du réacteur est assuré par la boîte d'entraînement des accessoires la (Accessory gear box) voir (**figure I-12 et I-13**)

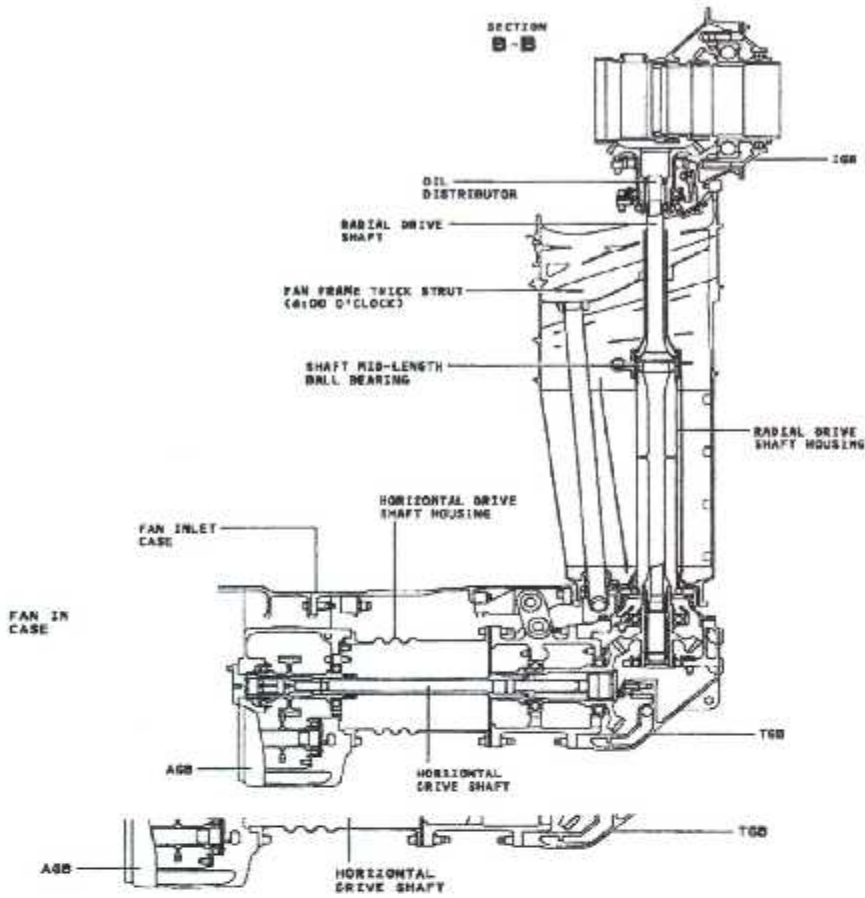


Fig. I-12 La boîte d'engrenage (gear box)

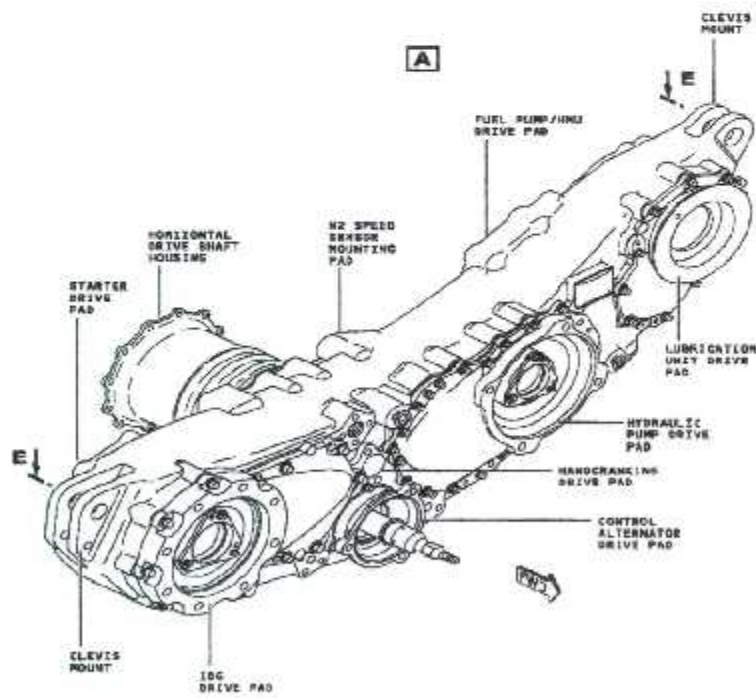


Fig. I-13 Boîte de commande des accessoires (AGB)

4- DIFFERENTS SYSTEMES EQUIPANT UN TURBOREACTEUR:

4-1-système de démarrage

4-2-circuit d'huile

4-3-circuit carburant :

4-3-1-généralité :

Le circuit d'alimentation carburant réacteur débute juste derrière le robinet coupe-feu.

Le circuit comprend :

- Un dispositif de mise en pression et débit, de réchauffage et de filtrage.
- Un système de dosage et de régulation carburant.
- Un dispositif d'injection carburant.

Ce circuit assure :

- Le refroidissement de l'huile réacteur ;
- L'alimentation des circuits hydrauliques d'asservissement et de contrôle du régulateur principal carburant ;
- L'alimentation des circuits hydrauliques de commande des dispositifs anti-pompage VSV et VBV ;
- Le refroidissement de l'huile de l'IDG (integrated drive generator) ;
- L'alimentation des injecteurs carburant de la chambre de combustion.

4-3-2-description du circuit carburant :

Le circuit de carburant comprend en générale :

- Pompe haute pression
- L'échangeur thermique carburant/huile
- Le filtre carburant
- Echangeur thermique secondaire carburant/ huile IDG
- Injection carburant

Voir (Fig. I-14).

4-3-3-commandes et contrôles du circuit carburant réacteur :

Les commandes et contrôles que l'on trouve sur tous les circuits carburant sont les suivants :

-les commandes :

- Une manette de gaz
- Une manette de démarrage

-les contrôles :

- Un indicateur de débit carburant
- Un indicateur de colmatage filtre carburant

Suivant les motorisations et les types de circuit employés, on peut trouver également :

- Un indicateur de pression carburant.
- Un indicateur de température carburant.

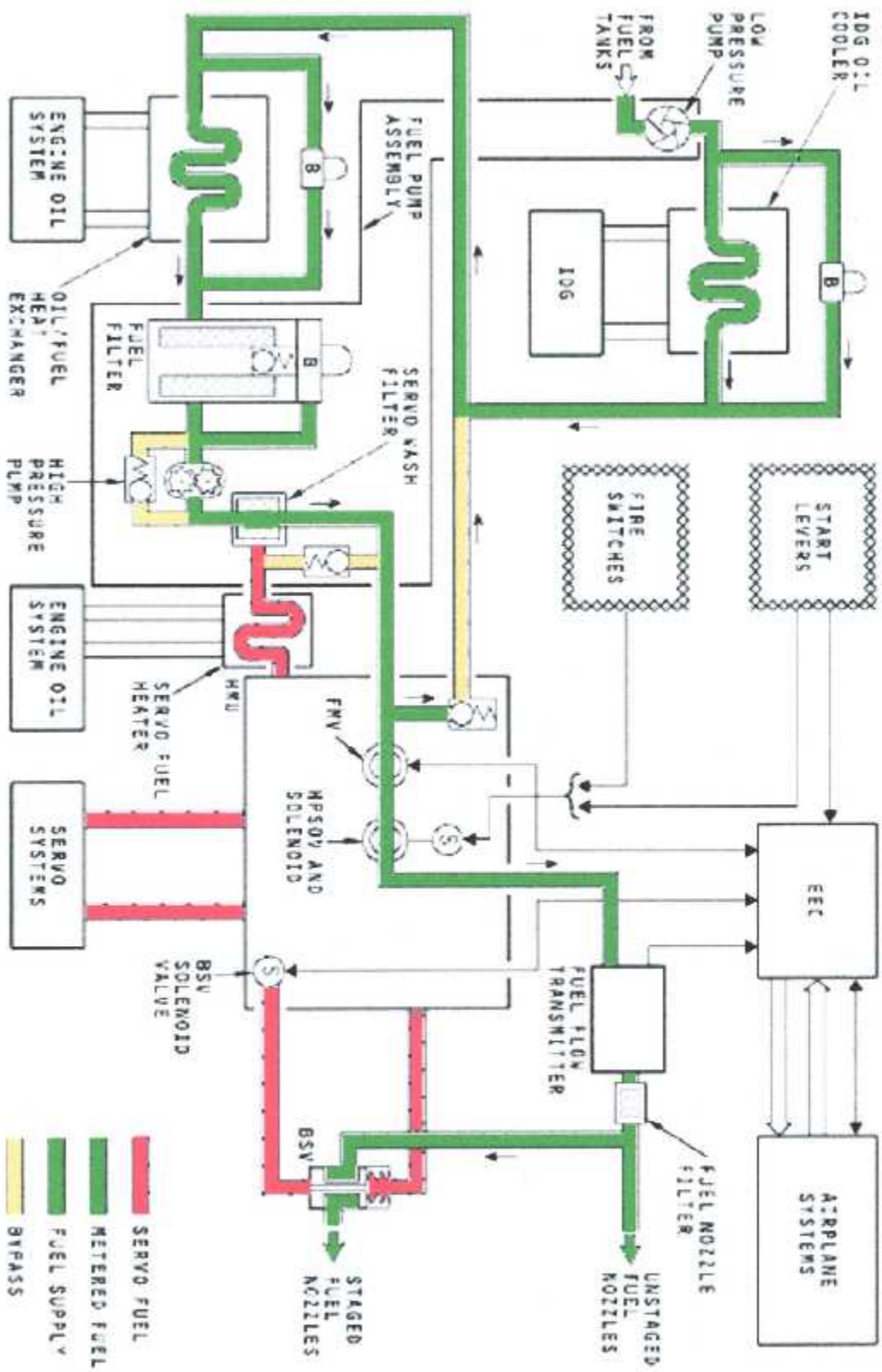


FIG. I-14 CIRCUIT DE CARBURANT

4-4-système de prélèvement d'air :

En ce qui concerne l'énergie pneumatique, elle sera prélevée sur les compresseurs du réacteur.

4-4-1-moyens de prélèvements :

L'énergie pneumatique est prélevée à différents étages des compresseurs :

- Sur le fan par une écope
- Sur le compresseur HP à l'aide de collecteur de prélèvements à différents étages.

La priorité de prélèvements est définie par des vannes actionnées au poste et ensuite régulées en pression par une vanne régulatrice de pression.

4-4-2-fonctions des différents prélèvements :

A bord d'un avion de transport, les besoins en air comprimé sont divers :

- Conditionnement d'air (ventilation, pressurisation, climatisation)
- Dégivrage nacelles et voilure
- Réchauffage de divers compartiments et accessoires
- Alimentation de moteur ou de vérins pneumatiques
- Alimentation d'échangeurs
- Pressurisation des réservoirs....

4-4-3-influence des prélèvements d'air :

Tous prélèvement d'air pénalise les performances du moteur. Il se traduit donc pour une même masse de carburant injecté par :

- Diminution de poussée
- Une augmentation de température turbine.

Les principales et les plus importantes sources de prélèvement sont le conditionnement d'air et le dégivrage.

Ainsi dans certaines phases de vol, décollage et montée, une partie de ces prélèvements ne sera pas utilisée pour rétablir les performances du moteur.

| Conditionnement D'air | Dégivrage entrée D'air | Dégivrage aile | poussée |
|-----------------------|------------------------|----------------|------------------|
| OFF | OFF | OFF | Poussée nominale |
| OFF | ON | ON | -5,5 % |
| ON | OFF | OFF | -2,2 % |
| ON | ON | ON | -7,5 % |

En cas de condition givrantes, les fonctions dégivrages peuvent être utilisées, mais les prélèvements seront pris en compte dans les performances de vol.

Certains débits faibles ou permanents ne sont pas pris en compte par l'utilisateur, mais le conditionnement d'air cabine et le dégivrage demandent des débits importants et amènent des limitations d'emploi du GTR plus restrictives. De ce fait, toutes fois où le GTR est utilisé à ses limitations normales, il sera nécessaire de réduire le paramètre de poussée (E.P.R. ou Nt/mn).

Exemples :

- a) - 2 % de N1 si il y a utilisation des groupes de conditionnement d'air au décollage. (Ceci amène, éventuellement, une diminution de la masse maxi décollage).
- b) - 2 % points d'E.P.R si il y a utilisation du dégivrage en montée (en poussée maxi continue).

5- LES PARAMETRES REGISSANT LE FONCTIONNEMENT D'UN TURBOREACTEUR :

5-1- Poussée et poussée spécifique :

5-1-1- Poussée :

La poussée est la force née de la variation de la quantité de mouvement entre l'entrée du turboréacteur et sa sortie.

Pour un turboréacteur simple flux, la poussée est :

$$F = m(\text{air}) (V_s - V_0) + (P_s - P_0)A_s + m(\text{fuel})V_s \quad [I-2]$$



Fig. 1-15 Turbo reacteur simple flux

Avec :

- $m(\text{air})$: Débit masse de l'air
- $m(\text{fuel})$: Débit masse du carburant
- V_0 : Vitesse de vol.
- V_e : Vitesse d'éjection des gaz.
- P_0 : Pression statique atmosphérique.
- P_e : Pression statique d'éjection des gaz.
- A_e : Section d'éjection des gaz.

Le terme $(P_e - P_0) A_e$ est généralement très faible, et peut être nul lorsque la tuyère est adaptée, c'est-à-dire $P_e = P_0$

Concernant le double flux on aura :

$$F = m(\text{core}) \cdot (V_c - V_0) + m(\text{fan}) \cdot (V_f - V_0) + (P_c - P_0) A_c + (P_f - P_0) A_f + m(\text{fuel}) V_c \quad [I-3]$$

Avec :

- $m(\text{core})$: Débit masse du flux chaud (core)
- $m(\text{fan})$: Débit masse du flux froid (fan).
- $m(\text{fuel})$: Débit masse du carburant.
- V_0 : Vitesse de vol.
- V_c : Vitesse de sortie du flux chaud.
- V_f : Vitesse de sortie du flux froid.
- P_0 : Pression statique atmosphérique.
- P_c : Pression statique d'éjection du flux chaud.
- P_f : Pression statique d'éjection du flux froid.
- A_c : Section de la tuyère principale (core).
- A_f : Section de la tuyère du fan.

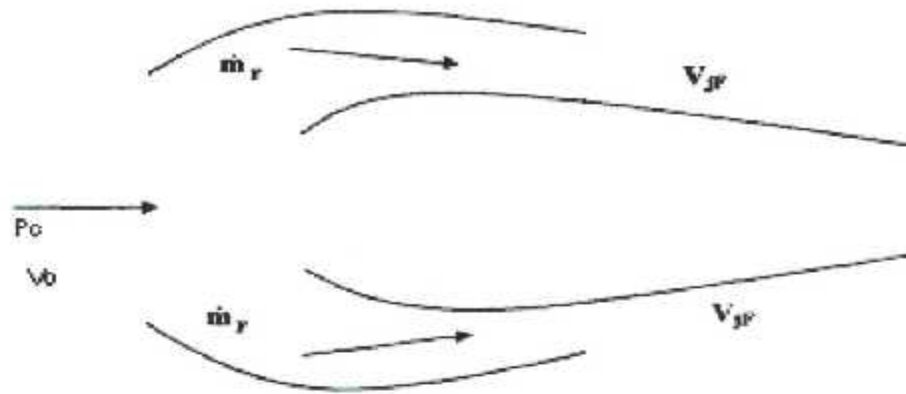


Fig. 1-16 Turbo recteur double flux

5-1-2- Poussée spécifique :

C'est le rapport entre la poussée du moteur et le débit masse d'air le traversant, soit :

$$F(\text{sp}) = \frac{F}{m(\text{air})} \quad [1-4]$$

5-2- Consommation horaire et consommation spécifique :

5-2-1- Consommation horaire :

C'est la quantité de carburant consommée en une heure :

$$Ch = 3600 \cdot m(\text{fuel}) \quad [1-5]$$

5-2-2- Consommation spécifique :

C'est un paramètre très important caractérisant un turboréacteur, car elle conditionne le temps de vol et le rayon d'action de l'appareil.

Elle est définie comme étant le rapport de la consommation horaire sur la poussée du réacteur :

$$C(\text{sp}) = \frac{Ch}{F} \quad [1-6]$$

D'après le second principe de la thermodynamique, P_c est la source chaude et la puissance théorique perdue sous forme de chaleur qui a été cédée à la source froide et a pour expression $m \cdot C_p \cdot (T_s - T_0)$.

Avec :

m : Débit masse du fluide sortant.

C_p : Chaleur spécifique à pression constante.

T_s : Température des gaz à la sortie du réacteur.

T_0 : Température de l'atmosphère dans laquelle se diluent les gaz chauds.

D'où :

$$P_{th} = P_c - m \cdot C_p \cdot (T_s - T_0) \quad [I-11]$$

5-5-3- Puissance utile :

En réalité le réacteur ne fonctionne pas suivant le cycle théorique, car il y a des pertes à l'intérieur du réacteur. Donc elle est égale à la différence entre la puissance cinétique du jet à la sortie du réacteur et la puissance cinétique de l'air qui entre dans ce dernier.

Pour un simple flux :

$$P_u = \frac{1}{2} m(\text{air}) \cdot (V_s^2 - V_0^2) + \frac{1}{2} m(\text{fuel}) \cdot V_s^2 \quad [I-12]$$

Et pour un double flux :

$$P_u = \frac{1}{2} m(\text{core}) \cdot (V_c^2 - V_0^2) + \frac{1}{2} m(\text{fan}) \cdot (V_f^2 - V_0^2) + \frac{1}{2} m(\text{fuel}) \cdot V_c^2 \quad [I-13]$$

5-5-4- Puissance propulsive :

Cette puissance permet la création de la poussée, et donc de propulser l'aéronef à la vitesse V_0 . Elle est le produit de la poussée et de la vitesse de vol :

$$P_p = F \cdot V_0 \quad [I-14]$$

5-6- Rendements :

Le rendement est défini comme étant le rapport de la puissance de sortie à celle de l'entrée.

5-6-1- Rendement thermodynamique :

Ce rendement est le rapport de la puissance utile à la puissance calorifique :

$$\eta(\text{th}) = \frac{P_u}{P_c} \quad [\text{I-15}]$$

5-6-2- Rendement de propulsion :

Le rendement de propulsion est le rapport de la puissance de propulsion à la puissance utile.

$$\eta(\text{p}) = \frac{P_p}{P_u} \quad [\text{I-16}]$$

5-6-3- Rendement global :

C'est le rendement total du turboréacteur, et qui est défini comme étant le rapport de la puissance de propulsion à la puissance calorifique. Aussi, il est le produit des deux rendements ; thermodynamique et propulsif :

$$\eta(\text{g}) = \frac{P_p}{P_c} = \eta(\text{th}) \cdot \eta(\text{p}) \quad [\text{I-17}]$$

II- REGULATION:**1- DEFINITION ET BUT :**

La régulation est un système automatique, interposé entre la manette des gaz sur laquelle 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 l'intervalle délimité par toutes les limitations qui sont le seuil minimal et maximal à ne pas dépasser, quelque soient les variations des paramètres externes et ordres pilote, ce qui permet une alimentation en carburant contrôlée du réacteur et ça dans tous les domaines de vol.

2- LIMITATIONS :

On va énumérer les limitations liées aux différents constituants du turboréacteur.

2-1- L'entrée d'air :

Les avions subsoniques commerciaux, en général ne sont pas concernés par des limitations, si ce n'est pour des cas nécessitant la présence d'entrées d'air additionnelles. Sur les avions supersoniques -- qu'ils soient militaires ou commerciaux, la présence d'entrée d'air à section variable nécessite l'incorporation d'un régulateur commandant cette dernière et adaptant le débit d'air de la manche à celui du compresseur et ça quelque soit le domaine de vol.

2-2- Compresseur :

Le compresseur est limité par le **pompage** - qui est un retour du débit d'air subvenant à l'accélération et aux faibles régimes - en outre il doit être conçu pour résister à des contraintes (centrifuges et thermiques) et son entrée est limitée par un nombre de mach aux alentours de 0,5 à 0,6. D'un autre côté, les taux de compression (étant le rapport de la pression sortie compresseur à celle de son entrée) croissants et qui avoisinent 30, ce qui impose une limitation de la pression compresseur pour protéger des parties internes.

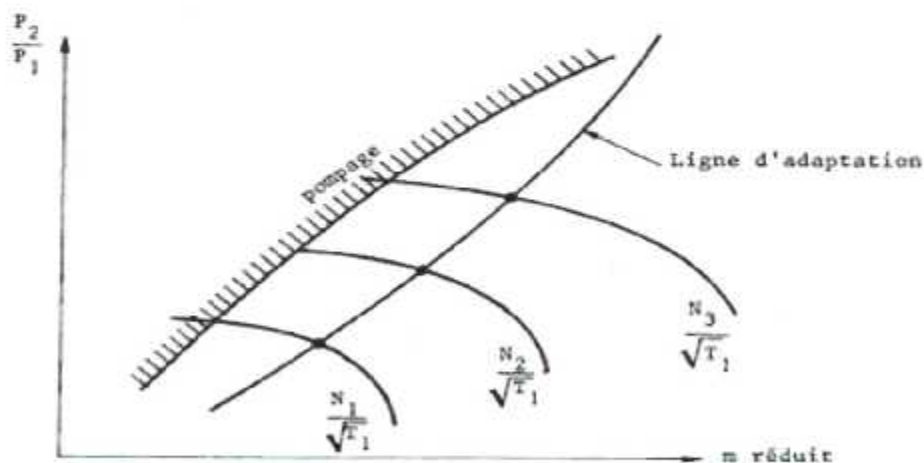


Fig. I-17 Courbe d'adaptation compresseur-turbine

2-3-Chambre de combustion :

La combustion n'est pas possible que pour un dosage et une pression minimale d'inflammation donnés.

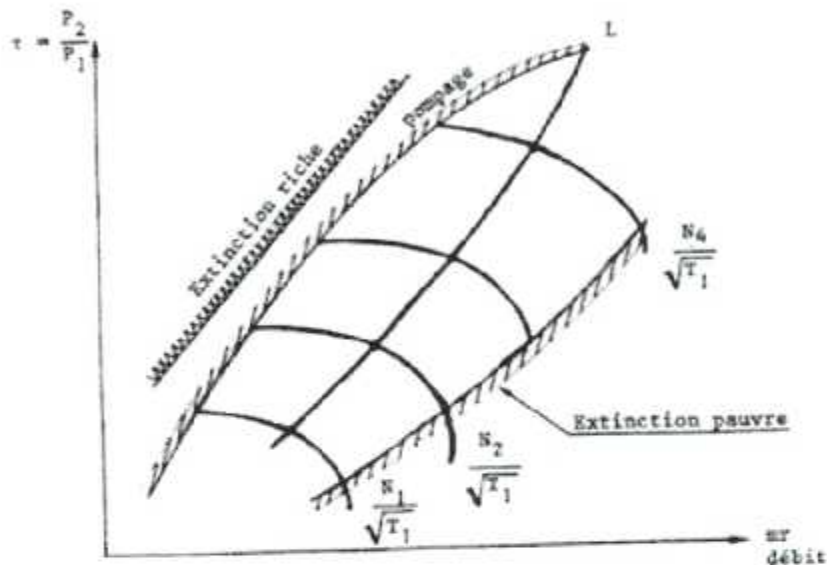


Fig. I-18 limitations dues à la chambre de combustion

2-4-Turbine :

La turbine est limitée par une température maximale et un régime de rotation de l'attelage à ne pas dépasser. Cette limitation au régime est due aux efforts centrifuges importants qui donnent naissance au phénomène du fluage et dont les aubes turbine doivent y résister.

2-5- Tuyère :

La tuyère n'est pas soumise à des limitations. Mais les dispositifs installés comme les reverses sont soumis à des limitations qui sont le temps et le domaine d'utilisation.

Nous concluons donc que les principales limitations sont :

- ✓ Pompage du compresseur
- ✓ Extinction de la flamme dans la chambre de combustion
- ✓ Fluage des aubes turbine

3- LES PARAMETRES INFLUENTS ET REGIMES:

3-1- Les paramètres influents :

Ces paramètres sont classés en deux grandes catégories :

3-1-1- Paramètres subis :

Ce sont les paramètres sur lesquels on ne peut agir et, qui sont les paramètres externes exemple P0, T0.

3-1-2- Paramètres dits de commande :

Contrairement aux paramètres précédents, ce sont des paramètres sur lesquels on peut agir, par exemple : le débit carburant, la section de la tuyère.

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 manette des gaz et le débit carburant fourni aux injecteurs.

Ce régulateur dose la quantité de carburant admissible dans la chambre de combustion, et ça en tenant compte des paramètres externes, des limitations et de l'ordre du pilote (position de la manette des gaz).

3-2- Les régimes :

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

Il est nécessaire de considérer deux régimes de fonctionnement :

- ✓ les régimes stabilisés
- ✓ les régimes transitoires

3-2-1- Régimes stabilisés :

Le réacteur est en régime stabilisé lorsque ces paramètres de commandes sont fixes. la puissance motrice fournie par les turbines équilibre la puissance absorbée par les compresseurs et accessoires.

Il existe quatre régimes stabilisés fondamentaux qui sont :

- **LE REGIME DE DECOLAGE** : C'est le régime donnant la poussée maximum admissible durant un temps très court. Il est utilisé seulement au décollage et sa durée d'utilisation est limitée à cause du fluage.
- **LE REGIME MAXI CONTINU** : C'est le régime donnant la poussée maximum pouvant être utilisée sans limitation de temps.
- **LE REGIME MAXI CROISIERE** : Régime donnant la poussée maxi admissible pour le vol de croisière.
- **LE REGIME DE RALENTI VOL ET SOL** : Régime donnant le minimum de poussée.

3-2-2- Régimes transitoires :

Afin de permettre le passage entre deux régimes stabilisés, l'équilibre entre puissances (turbines, compresseurs-accessoires) doit être rompu, pour cela, un des deux (ou les deux) paramètres de commandes peuvent varier. C'est le cas lors d'une accélération ou d'une décélération. Pendant cette période le réacteur fonctionnera en 'régime transitoire'.

Notons que ce dernier doit être le plus rapide possible tout en respectant les limitations (Décrochage compresseur, surchauffe, extinction...).

4- INFLUENCE DES PARAMETRES :

4-1- Influence des paramètres de commandes à paramètres extérieurs fixes :

A section tuyère fixe :

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

La température des gaz étant proportionnelle à la consommation carburant, on a donc la relation suivante :

$$\begin{aligned} F &= k_1 CH \\ V(\text{Tuyère}) &= \sqrt{k_2 CH} \\ T(\text{Turbine}) &= k_3 CH \end{aligned} \quad [I-18]$$

Avec :

CH : Consommation horaire.

k : Coefficient

D'autre part, si CH augmente, alors l'énergie de pression dans la chambre croît, la turbine récupère alors une partie plus importante d'énergie et donc la vitesse de rotation de l'attelage augmente, ce qui se traduit par :

$$N = k_4 CH \quad [I-19]$$

Avec :

N : Vitesse de rotation de l'attelage.

4-2- Influence des paramètres extérieurs sur la poussée du moteur à paramètres de commandes fixes :

Pour N = cst, CH = cst et à vitesse de vol V0 fixe, on a :

4-2-1- Influence de la pression atmosphérique :

V0 et T0 fixes.

On a :

$$m(\text{air}) = \rho_0 V_0 A = \frac{P_0}{R.T_0} V_0 A \quad [I-20]$$

Avec :

m(air) : débit d'air

ρ_0 : Masse volumique de l'air atmosphérique

V0 : Vitesse de vol

A : Section de l'entrée d'air

P0 : Pression atmosphérique

R : Constante des gaz parfaits

T0 : Température à l'entrée d'air.

Si :

P0 augmente \implies m(air) croît (et ça d'après la relation 3)

La poussée étant proportionnelle au débit d'air, on aura donc l'augmentation de cette dernière.

4-2-2- Influence de la température :

Avec le même raisonnement que précédemment, si $P_0 = \text{cst}$; V_0 fixe et, si T_0 augmente, m (air) diminuera et ça d'après la relation (3). Ce qui implique la diminution de la poussée F .

4-2-3- Influence de l'altitude :

4-2-3-1- V_0 fixe et Z qui augmente:

Lorsque l'altitude augmente, la pression P_0 et la température T_0 diminuent. Aussi, le débit masse d'air est fonction de ρ_0 d'après la relation précédente ; or ρ_0 est inversement proportionnel à Z . Ce qui entraîne la diminution de la poussée du moteur.

4-2-3-2- altitude Z constante :

Pour $N = \text{cst}$, $CH = \text{cst}$ et $m(\text{air})$ fixe, nous allons varier la vitesse de vol V_0 , ce qui conduit à une variation du nombre de mach.

Nous savons que pour un turboréacteur simple flux simple corps, la poussée est donnée par la relation :

$$F = m(\text{air}) \cdot (V_s - V_0) = \rho_0 V_0 A \cdot (V_s - V_0) \quad [\text{I-21}]$$

Avec :

V_s : vitesse de sortie (ou éjection) des gaz d'échappement.

D'autre part, nous pouvons étudier l'évolution des deux termes $m(\text{air})$, $(V_s - V_0)$ et ainsi connaître l'influence du nombre de mach M_0 .

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

On peut dire donc, que pour une augmentation du nombre de mach à altitude constante et, à $m(\text{air})$ fixe, il y aura une diminution de poussée .

4-2-4- Influence de l'humidité :

L'humidité a peu d'influence sur le turboréacteur mais non négligeable, car les dosages réels étant faibles dans les phases délicates comme l'approche, par mesure de sécurité l'allumage est dans certains cas maintenu. Une fonction spéciale est prévue pour cela.

L'influence combinée de la température et de l'humidité peut entraîner le givrage de l'entrée d'air du turboréacteur et des filtres carburant.

5- FONCTIONS ASSUREES PAR LA REGULATION CARBURANT :

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

5-1-Fonctions principales :

- Sélection manuelle ou automatique de la poussée (tout déplacement de la manette des gaz se traduira par l'augmentation ou la diminution de la poussée).
- Sécurité des régimes transitoires, limitant l'accélération en évitant le pompage sur accélération et l'extinction pauvre sur décélération.
- Correction altimétrique qui maintient à une même position de la manette des gaz un dosage carburant constant quelle que soit l'altitude.

5-2-Fonctions auxiliaires d'un régulateur :

Suivant les constructeurs, le régulateur intègre des fonctions auxiliaires lesquelles sont en règle générale :

- Contrôle du démarrage et arrêt réacteur.
- Contrôle du ralenti sol et vol.
- Limitation du régime de rotation maximum (N)
- Limitation de la température turbine (EGT : exhaust gas temperature).
- Commande des dispositifs anti-pompage aux faibles régimes.
- Commande des dispositifs de contrôle de jeux.
- Contrôle du fonctionnement et gestion de la poussée reverses.

6- TYPES DE REGULATION:

6-1- Régulation à un paramètre :

La régulation sera basée sur le choix d'un paramètre caractéristique du moteur, lequel est fonction du débit carburant. Le paramètre régulé est soit N soit EGT (cas des moteurs GE et CFMI) ou alors, EPR ou EGT (cas des moteurs PW, IAE et RR) ce dernier est choisi en fonction du débit carburant.

La régulation est basée sur 2 lois principales :

- La régulation à boucle
- La régulation à programme.

6-1-1 régulation à programme (loi) :

La relation entre Net CH dépend des conditions extérieures, P_0 et T_0 ; on peut alors concevoir un régulateur qui mesurant les paramètres P_0 et T_0 et connaissant la loi $N=F(CH)$ positionne le robinet de carburant pour obtenir le régime (d'où le nom de régulation à programme). On peut représenter cette fonction par le schéma suivant

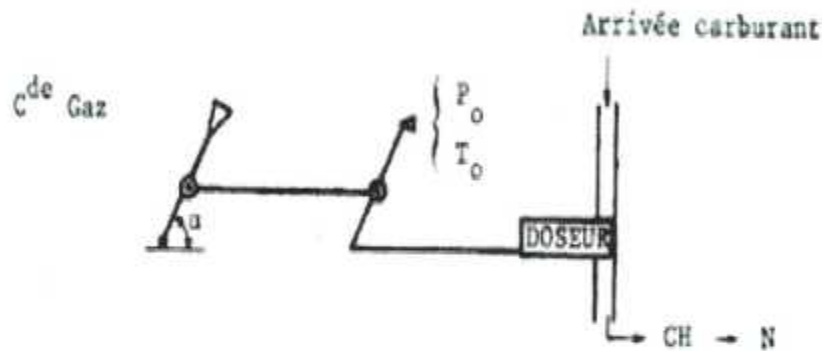


Fig. I-19 Schémas représentant une régulation à programme

En générale, le programme est basé sur les lois de l'atmosphère standard, il peut donc apparaître pour des paramètres donnés par les capteurs (différents de ceux de l'atmosphère standard) un écart entre le paramètre régulé de sortie et celui de consigne engendrant des dépassements de limitation. Il est donc nécessaire d'avoir des protections pour le moteur (ex : limiteur de vitesse).

6-1-2 régulation à boucle :

Celui-ci constitue une amélioration du système précédent ; en effet on a vu précédemment que l'on constatait un déséquilibre entre le paramètre de sortie et la valeur du paramètre de consigne. Afin d'obtenir l'égalité, un comparateur mesure l'écart entre les deux paramètres et va agir sur le robinet carburant afin de satisfaire l'égalité.

Ce fonctionnement peut être représenté par le schéma ci-dessous :

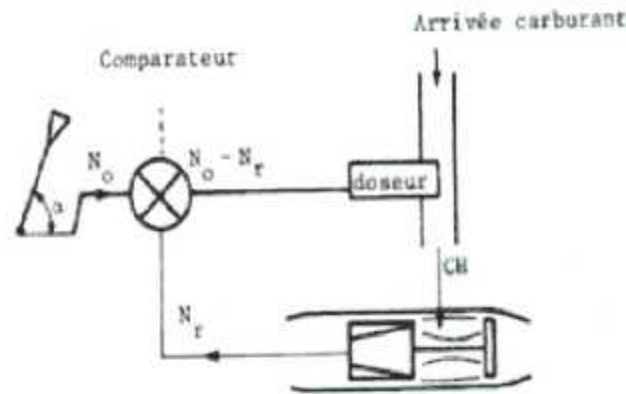


Fig. I-20 Schémas représentant une régulation à boucle

Parce que le signal de sortie est réinjecté dans le programme, ce type de Régulation est appelé à boucle.

Ce système est très précis (la précision de l'organe de détection), par contre il est par définition instable (puisqu'il recherche constamment le zéro), ce qui nécessite l'emploi de dispositif anticipateur et amortissement (temps de réponse).

6-2-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 facilité. Si le but est de tirer les performances maximales, il faut alors concevoir un régulateur à deux paramètres, N et EGT .

La conception d'un régulateur à deux boucles, la première étant la tachymétrie la seconde devra réagir aussi sur le paramètre de commande de la précédente (le doseur carburant). L'élément commun peut alors recevoir des ordres différents, voire même incompatibles, une telle régulation est complexe. Cela a conduit les constructeurs à introduire un paramètre dit de déformation, qui peut être :

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

Ce dispositif permettra d'obtenir une vitesse d'éjection maximale et, le régime étant optimal permet d'obtenir ainsi un débit de carburant adéquat et un taux de compression très élevé, ce qui procure la poussée maximale.

Notons que dans la pratique, les constructeurs ont choisi des régulations hybrides à boucle et à programme en même temps.

Un programme se superpose à la boucle d'asservissement, ce qui permet d'obtenir la précision et la stabilité.

CHAPITRE II

REGULATEUR HYDROMECHANIQUE

FCU

GENERALITE :

Le FCU (fuel control unit) est un régulateur hydromécanique permettant le contrôle automatique du système de carburant. Il Programme l'écoulement de ce dernier en fonction de la position de la manette de poussée et des données des différentes sondes du moteur.

Nous rappelons que le régulateur de débit assure les trois principales fonctions suivantes :

- Sélection manuelle de la poussée
- Régulation de la température d'entrée turbine **T5**
- Contrôle des accélérations et décélérations

Les sous-ensembles du régulateur seront classés en quatre catégories :

- a) Ceux qui se rattachent aux dispositifs de sélection manuelle de la poussée
- b) Ceux qui se rapportent aux dispositifs de régulation de **T5**
- c) Ceux qui ont trait aux dispositifs de contrôle des accélérations et des décélérations
- d) Ceux qui se rapportent aux fonctions auxiliaires

Durant l'étude des différents sous-ensembles il serait prématuré d'essayer de rattacher le fonctionnement propre à chacun d'eux au fonctionnement d'ensemble du régulateur. Une synthèse sera faite dans la partie -3.

1-Dispositifs de selection manuelle de la Poussee:

1-1-Description :

Ces dispositifs sont répartis en deux groupes formant les deux sections principales du régulateur :

La section régulatrice du débit de carburant comprenant :

- Le doseur.
- Le tiroir régulateur de pression différentielle

La section calculatrice comprenant :

- Un mécanisme de commande
- Le régulateur a masselottes et la came à trois dimensions (came 3 D)
- La capsule P4
- Le levier multiplicateur "f"

Le corps du régulateur est rempli de carburant provenant des orifices de fuite des Servo-mécanismes et assurant la lubrification de la timonerie de la section calculatrice. Un canal assure le retour de ce carburant à l'entrée du 2^{ème} étage de la pompe HP.

Voir (Fig. II-1)

1-1-1-Le doseur :

Le doseur est constitué par un tiroir creux qui, en couissant dans une fourrure, découvre plus ou moins une lumière. Le carburant HP admis à l'intérieur du tiroir s'écoule par cette lumière vers la sortie du régulateur. Comme une pression différentielle constante est maintenue à travers le doseur la section découverte détermine le débit de carburant allant au réacteur.

Le doseur est commandé hydrauliquement ; à cet effet son extrémité inférieure forme un servo-piston. La face supérieure de celui-ci est soumise en permanence à la haute pression de carburant tandis que la face inférieure supporte une pression d'asservissement commandée par un tiroir distributeur ou "tiroir de commande doseur".

Ce tiroir est actionné par le levier multiplicateur "f". Un ressort, travaillant en traction, assure une liaison entre ce levier et le doseur. Le tiroir de commande doseur coulisse dans un cylindre percé de lumières. L'une de celles-ci est en relation avec la source de carburant HP ; une autre est reliée au circuit d'asservissement du doseur.

Lorsque, sous l'action du levier multiplicateur "f", le tiroir de commande doseur descend, le circuit d'asservissement est mis en relation avec le corps de régulateur (pression faible). La pression d'asservissement diminue, le doseur descend (il y a ouverture doseur, donc accroissement du débit de carburant) en augmentant progressivement la traction du ressort sur le levier multiplicateur. Il en résulte le retour du tiroir de commande à sa position "neutre" et la stabilisation du doseur.

Un déplacement du tiroir vers le haut engendrerait la séquence inverse.

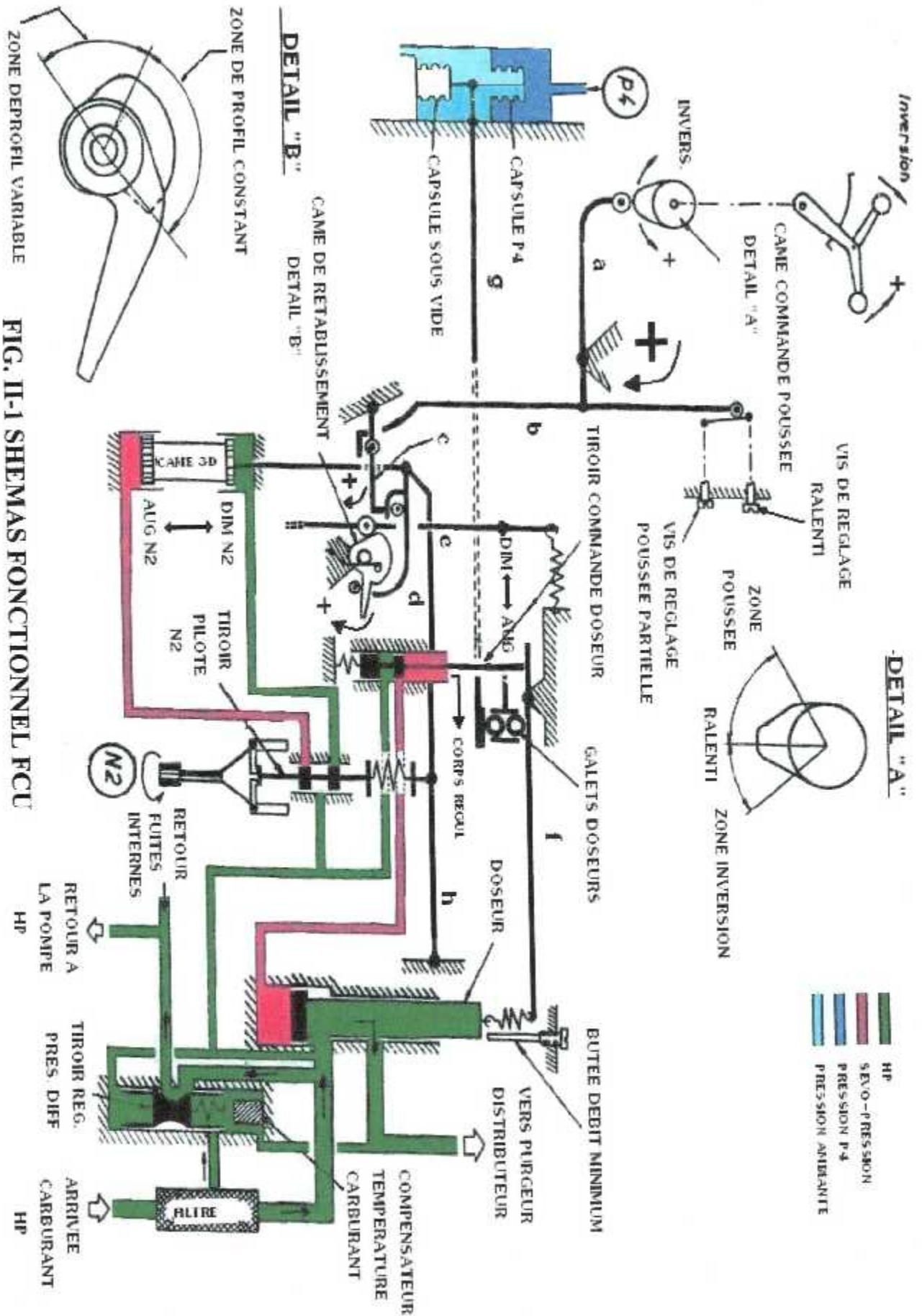


FIG. II-1 SHEMAS FONCTIONNEL FCU

1-1-2-Le tiroir régulateur de pression différentielle :

Il est appelé que ce tiroir maintient une pression différentielle constante (40 PSI) à travers le doseur. Le carburant en excédent est renvoyé à l'entrée du 2^{ème} étage de pompe HP. Le constructeur a intégré au tiroir régulateur un bilame de compensation de température carburant.

Lorsque cette température varie, le bilame modifie la tension du ressort ce qui permet de maintenir, pour une position donnée du doseur, un débit massique constant vers le réacteur.

1-1-3- Le mécanisme de commande :

Il comporte une came commandée par le pilote à l'aide des manettes de poussée ou d'inversion de poussée. Cette came attaque l'extrémité d'un levier "a" lié mécaniquement à une timonerie comprenant les leviers "b", "c", "d" (levier de sommation), "e" (levier doseur) et la came de rétablissement. Le levier doseur "e" commande les galets doseurs.

Le contact entre les différents leviers et cames est maintenu par l'action de deux ressorts agissant respectivement sur l'extrémité supérieure du levier doseur "e" et sur la came de rétablissement.

Sur la (**Fig. II-1**) les manettes et les cames de commande de poussée sont représentées dans la position RALENTI.

Une manœuvre de la manette de poussée dans le sens positif engendre un déplacement horizontal, vers la droite, des galets doseurs.

Lors d'une manœuvre du levier d'inversion, sens inversion, le sens de rotation de la came est inversé mais l'action sur les galets doseurs est inchangée par rapport au cas précédent.

Lorsque la manette de poussée (ou le levier d'inversion) est ramenée vers RALENTI, les galets doseurs se déplacent vers la gauche.

L'extrémité supérieure du levier "b" s'appuie sur un chemin de roulement dont l'inclinaison peut être modifiée à l'aide de vis de réglage du ralenti et de la 'poussée partielle'.

1-1-4-Le régulateur à masselottes et la came 3D :

Le régulateur à masselottes doit fournir au régulateur de débit une mesure de la vitesse de rotation N_2 du réacteur. A cet effet, il comporte deux masselottes entraînées par l'attelage HP du réacteur. Sous l'influence de la force centrifuge ces masselottes exercent une force sur un tiroir pilote qui supporte également la poussée d'un ressort. Ce tiroir se trouve donc soumis à deux forces antagonistes.

Le tiroir pilote, qui coulisse dans une furrure percée de 3 lumières, commande hydrauliquement un servo-piston supportant la came 3D, l'une des lumières est en relation avec le circuit HP tandis que les deux autres sont reliées respectivement aux chambres supérieure et inférieure du cylindre contenant le servo-piston.

Le ressort du tiroir pilote s'appuie sur une coupelle attelée à un levier "de réaction" (levier "h"). L'extrémité droite de ce levier comporte un pivot solidaire de la structure du régulateur de débit tandis que l'extrémité gauche est articulée sur la tige du servo-piston.

A chaque valeur de N_2 correspond une position déterminée du servo-piston. Si N_2 augmente, les masselottes en s'écartant sous l'effet de la force centrifuge poussent le tiroir pilote vers le haut. Celui-ci en se déplaçant comprime le ressort. La chambre supérieure du cylindre du servo-piston se trouve alors alimentée en carburant HP tandis que la chambre opposée est mise en relation avec le corps du régulateur de débit (pression faible).

En raison de la différence entre les pressions appliquées sur ses faces le servo-piston se déplace progressivement vers le bas en ramenant le tiroir pilote également vers le bas à l'aide du levier de réaction "h". Lorsque le tiroir atteint sa position neutre le servo-piston se stabilise.

La position du servo-piston et, par conséquent, celle de la came 3 D se trouve donc automatiquement asservies à la vitesse de rotation N_2 .

Le servo-piston est attelé au levier de "sommation" "d" qui peut modifier la position des galets doseurs par l'intermédiaire de la came de rétablissement et du levier doseur "e". En conséquence, une augmentation de N_2 provoque le déplacement des galets vers la gauche, tandis qu'une diminution de N_2 détermine un déplacement des galets vers la droite.

Remarque :

Afin de diminuer l'effet des frictions sur les mouvements verticaux du tiroir pilote ce dernier est mis en rotation par le dispositif d'entraînement des masselottes.

1-1-5-La capsule P4 :

Nous savons qu'il s'agit d'une capsule soumise extérieurement à la pression de refoulement compresseur **P4** et chargée de transmettre aux galets doseurs une force fonction de **P4**. Elle est attelée à une capsule sous vide. La face interne de la capsule **P4** ainsi que la face externe de la capsule sous vide sont soumises à la pression ambiante. Les capsules exercent sur les galets doseurs, à l'aide d'un levier (levier "g") une force dont l'intensité dépend du débit d'air à travers le réacteur.

Remarque :

Dans l'éventualité d'une avarie de la capsule **P4**, la pression **P4** se trouvant appliquée sur la capsule sous vide, le dispositif continue à fonctionner.

1-1-6-Le levier multiplicateur :

Le levier multiplicateur " f " supporte la poussée des galets doseurs et actionne le tiroir de commande de doseur.

1-2-Fonctionnement :

Cette étape comprendra deux parties distinctes. Nous étudierons en premier lieu le fonctionnement hydro-mécanique du dispositif de sélection manuelle de la poussée et, dans cette première phase, nous ne rechercherons pas à rattacher ce fonctionnement à celui du réacteur. En second lieu, nous verrons comment ce dispositif permet de modifier le régime du réacteur.

1-2-1-Fonctionnement hydromécanique :

En réalisant le dispositif représenté sur la (**Fig. II-1**) le constructeur a poursuivi un triple but :

- a) Obtention d'une proportionnalité du débit du carburant (q_c) par rapport au débit d'air (q_l).
- b) Possibilité pour le pilote de modifier cette proportionnalité, c'est-à-dire de modifier le dosage (rapport q_c/q_l).
- c) Possibilité pour la vitesse N2 de réagir sur le dosage.

Partant d'une situation d'équilibre entre les forces en présence dans le système constitué par la capsule P4 (levier "g"), les galets doseurs, le levier multiplicateur (levier "f") et le doseur.

Supposons que le débit d'air q_l augmente. La pression P4 augmente et la force (signal q_l) Exercée par la capsule sur le levier multiplicateur – par l'intermédiaire du levier "g" et des galets doseurs- s'accroît. Il y a rupture d'équilibre, le levier multiplicateur pivote légèrement dans le sens anti-horaire, le tiroir de commande du doseur descend, le doseur s'ouvre, le débit de carburant augmente. Simultanément l'augmentation de la traction du ressort du doseur sur le levier ramène progressivement le tiroir vers sa position initiale. Lorsque le tiroir atteints sa position neutre le doseur se stabilise.

L'équilibre des forces en présence est à nouveau réalisé. Le débit de carburant q_c s'est accru proportionnellement au débit d'air q_l . Cette proportionnalité de q_c par rapport à q_l serait également assurée dans le cas d'une diminution du débit d'air.

Partant toujours d'un état d'équilibre, supposons que les galets doseurs se déplacent vers la droite ; ceci revient à appliquer la force de la capsule (signal q_l) à l'extrémité d'un bras de levier plus long. Il y a rupture d'équilibre. La traction du ressort du doseur n'est plus suffisante pour retenir le levier multiplicateur, celui-ci pivote légèrement dans le sens Anti-horaire, le tiroir de commande doseur descend, le doseur s'ouvre, le débit de carburant augmente.

Ainsi, pour un débit d'air q_l inchangé, le mouvement vers la droite des galets a provoqué un accroissement du débit de carburant q_c . La relation entre q_l et q_c a été modifiée.

Le dosage q_c/q_l est donc fonction de la position horizontale des galets doseur ; lorsque ceux-ci se déplacent vers la droite le doseur augmente ; il diminue, au contraire, lorsqu'ils se déplace vers la gauche.

En conclusion, sachant que la position des galets est déterminée par celle de la manette de poussée et par la vitesse N_2 , nous pouvons dire que le signal q_1 fourni par la capsule P4 est multiplié par un signal q_c/q_1 ou dosage, défini par la manette de poussée et N_2 . Il en résulte un signal de sortie q_c qui commande l'ouverture du doseur et, par suite, détermine le débit de carburant.

1-2-2-Action sur le réacteur :

Le graphique de la (Fig. II-2) montre la relation existant entre la vitesse de rotation N_2 et le dosage en régimes stabilisés (ligne a-c). Les mécanismes que nous venons d'étudier permettent de modifier N_2 par action sur le dosage. En augmentant le dosage on augmente N_2 , en diminuant le dosage on diminue N_2 . Il y a stabilisation de N_2 lorsque l'offre en dosage correspond à la demande du réacteur.

Lorsque le pilote fait tourner la came de commande de poussée, à partir du ralenti pour obtenir la poussée du décollage :

- 1) Le levier « a » pivote dans le sens horaire, le levier « b » en s'abaissant laisse pivoter, également dans le sens horaire, le levier « c », le levier de sommation « d » ainsi que la came de rétablissement et le levier doseur « e ». les galets doseurs sont poussés vers la droite. Le dosage augmente (ligne a-b du graphique).
- 2) Le dosage étant maintenant supérieur aux besoins du réacteur, pour tourner au ralenti la vitesse de rotation N_2 augmente (suivie en cela par N_1).
- 3) Sous l'action du régulateur à masselottes, de plus en plus sollicité par la force centrifuge, le servo-piston portant la came 3D se déplace vers le bas en faisant pivoter, dans le sens anti-horaire, le levier de sommation « d », la came de rétablissement, le levier doseur « e ». les galets doseurs reviennent vers la gauche. Le dosage diminue (Ligne de rétablissement b-c)
- 4) Lorsque les galets doseurs, dans leur mouvement vers la gauche, passe par la position qui donne le dosage correspondant aux besoins du réacteur en régime stabilisé, les vitesses N_2 et N_1 , ainsi que la poussée, cessent d'augmenter. Le réacteur se stabilise (point c).

Une rotation de la came de commande de poussée vers le ralenti engendrerait la séquence inverse (ligne c-d-a).

Il est bien évident que c'est l'importance du déplacement initial de la came, par le pilote, qui détermine la vitesse N_2 finale de stabilisation. A chaque position de la came de poussée correspond une ligne de rétablissement donnée (lignes pointillées du graphique).

A titre indicatif, le débit de carburant injecté dans le réacteur, au niveau de la mer, en condition standard, est de l'ordre de 3700 kg/h au décollage (point c) et de 400 à 450 kg/h au ralenti (point a).

Le ralenti en altitude est déterminé par une "butée de débit minimum" qui limite la fermeture du doseur. Le débit minimum (200 kg/h environ) étant, de ce fait, invariable, la vitesse de rotation au ralenti augmente avec l'altitude. Ceci permet de maintenir une combustion satisfaisante.

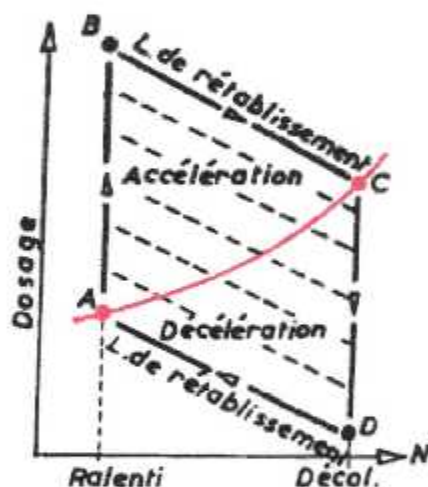


Fig. II-2 Dosage en régime stabilisé

2- Régulation de T5 :

Sur le JT8D, c'est la température d'entrée turbine T5 qui est régulée.

Le but recherché par le constructeur est le maintien d'une température T5 constante, pour une position fixe de manette de commande réacteur, quelles que soient les conditions de pression et de température de l'air à l'entrée du compresseur. Pour obtenir ce résultat, le régulateur de débit doit opérer sur le débit de carburant. En d'autres termes, il serait possible, si cela présentait un intérêt pratique, de graduer le secteur de la manette de commande du réacteur JT8D en température T5.

A chaque position de manette correspond une température **T5** déterminée, indépendante de la pression et de la température d'entrée compresseur.

Une correction automatique dite de "barométrique" et une autre correction, dite "thermométrique" s'avèrent nécessaire.

Le choix de cette méthode de régulation a été dicté par le souci de toujours faire travailler le réacteur dans les conditions optimum de poussée et de rendement ainsi que de longévité turbine.

Voir (Fig. II-3)

2-1-Correction barométrique :

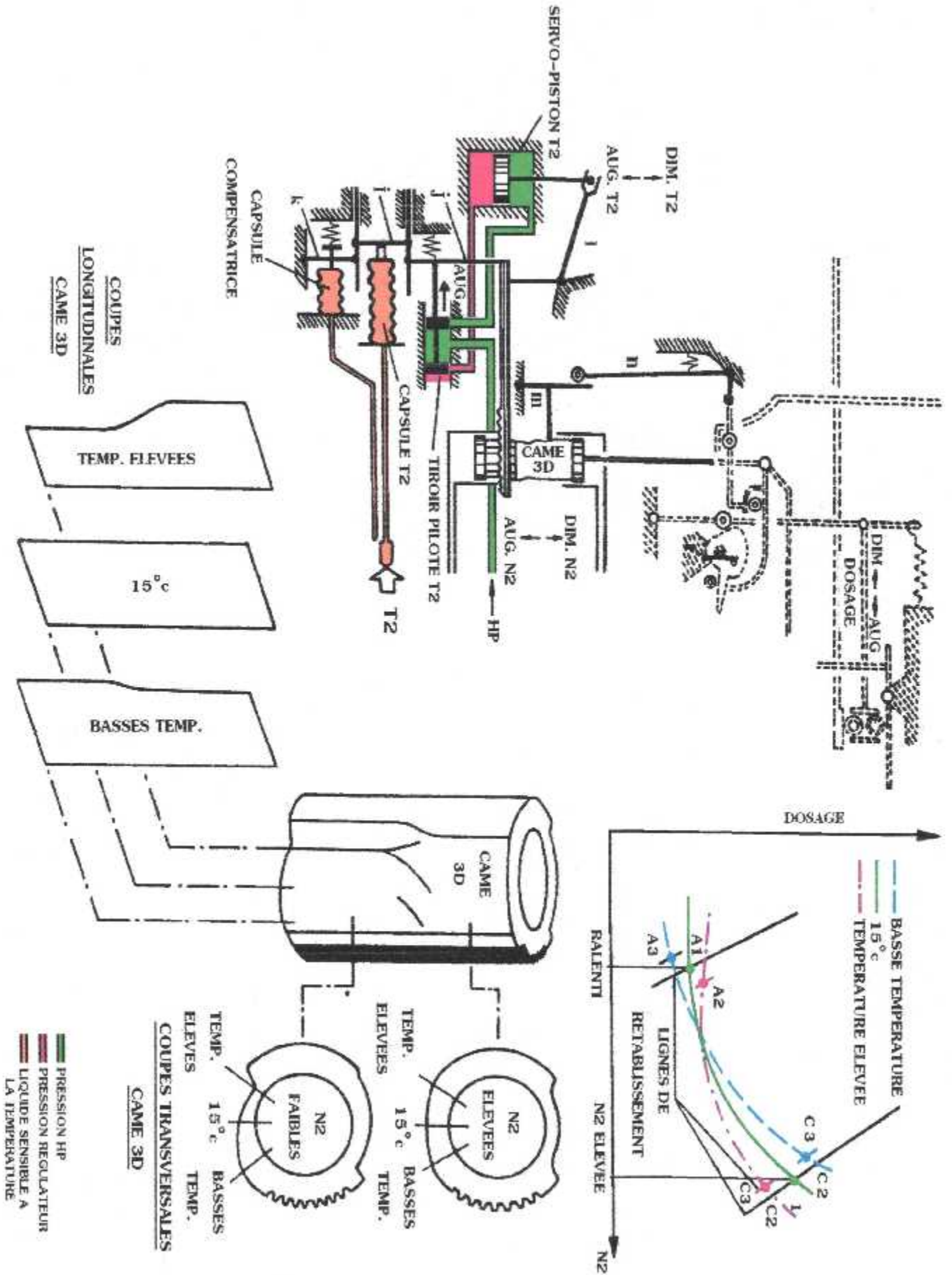
Les variations de pressions d'entrée compresseur, pour un débit de carburant donné, perturbent l'équilibre du réacteur. En effet ces variations engendrent des modifications du débit massique d'air à travers le réacteur. Celles-ci, à leur tour, entraînent des variations de dosage et, par conséquent, de **T5** ainsi que de **N1** et **N2**. Puisque sur le JT 8 D la température **T5** doit être maintenue constante, pour une position fixe de manette, il est nécessaire que le régulateur de débit modifie automatiquement le débit de carburant.

Il n'y a pas, à proprement parler, dans le régulateur de débit un dispositif spécial de correction barométrique. En effet les variations de débit massique d'air à travers le réacteur sont détectées par la capsule **P4**. Celle-ci modifie la force qu'elle transmet aux galets doscur et il en résulte un changement de position du doseur et, par suite, une correction du débit de carburant. Le dosage reste le même et la température **T5** reste constante. De plus, bien que ce ne soit pas là le but recherché, les vitesses **N1** et **N2** sont également maintenues constantes.

2-2-Correction thermométrique :

Les variations de température d'entrée compresseur, pour un débit de carburant donné, perturbent également l'équilibre d'un réacteur. En effet, ces variations engendrent elles aussi des modifications du débit massique d'air à travers le réacteur. Celles-ci, à leur tour, entraînent des variations de dosage et, par conséquent de température **T5**, ainsi que de **N1** et **N2**. Le débit de carburant doit donc être modifié.

FIG. II-3 REGULATION DE TEMPERATURE T5



Cependant, le processus de correction thermométrique est plus complexe que celui de correction barométrique, parce que les effets de la température sur le réacteur sont plus importants que ceux de la pression.

Lorsque la température d'entrée compresseur change, les variations de débit massique d'air sont évidemment détectées par la capsule P4. Cette capsule modifie le débit de carburant, par l'intermédiaire du doseur, proportionnellement au débit d'air, c'est-à-dire à dosage constant. Mais ceci ne suffit pas à maintenir la même température T5. En effet T5 est égale à la somme de la température T4 (sortie compresseur HP) et de l'élévation de température dans la chambre de combustion. Le fait de maintenir le dosage constant ne conduit qu'à conserver la même élévation de température dans la chambre mais ne peut empêcher T4 de varier (dans le même sens que la température d'entrée compresseur). Il est bien entendu que dans ces conditions pour que T5 reste constante une modification du dosage doit intervenir.

Le graphique de la (Fig. II-3) nous aidera à comprendre ce qui va se passer. Sur ce graphique nous voyons trois courbes qui représentent les besoins du réacteur en dosage, en régimes stabilisés, à une faible température ambiante, à 15° c, à une température ambiante élevée.

Une augmentation de température d'entrée compresseur engendre la séquence suivante :

- 1) Le dosage étant resté le même est devenu supérieur aux besoins du réacteur pour continuer à tourner à la même vitesse. Donc N2 augmente.
- 2) Sous l'action du régulateur à masselottes les galets doseurs se déplacent vers la gauche en diminuant le dosage (parcours C1- C2).
- 3) Lorsque les galets passent par la position qui correspond aux nouveaux besoins du réacteur N2 se stabilise (point C2 ou "l'offre correspond à la demande").

Une diminution de température engendrerait la séquence inverse.

Cependant, la régulation de T5 obtenue de cette façon n'étant pas suffisamment rigoureuse, une correction supplémentaire est apportée par la came 3D dont la position angulaire est, à cet effet, asservie à la température T2 d'entrée compresseur.

Lorsque la température T_2 varie, la came 3D, en tournant, modifie la position des galets doseurs, par l'intermédiaire des leviers "M" et "N" agissant sur le levier "C". La stabilisation du réacteur est alors obtenue aux points C 3 à température élevée et C' 3 à basse température.

Ceci permet le maintien d'une T_5 constante (aux points C1, C3, C' 3)

Remarque :

les changements de T_2 engendrent de légères variations de N_2 (dans le même sens que T_2).

Au ralenti, l'asservissement de la came 3D à T_2 est utilisé, non pour réguler T_5 mais pour maintenir une poussée constante, à basse altitude, quelle que soit la température extérieure (stabilisation aux points A1, A2, A3).

2-3-Description et fonctionnement hydro-mécanique du dispositif

D'asservissement de la came 3D à T_2 :

Une sonde de mesure de T_2 , logée dans le carter d'entrée d'air, est reliée par un tube capillaire à une capsule située dans le régulateur de débit. Sonde, tube et capsule sont remplis d'un liquide à coefficient de dilatation élevé. Les variations de T_2 produisent des elongations ou contractions de la capsule. Celle-ci commande un servo-piston par l'intermédiaire d'un tiroir pilote actionné à l'aide des leviers "i" et "j".

Ainsi la position verticale du servo-piston est déterminée par T_2 .

Le fonctionnement hydro-mécanique de l'ensemble est comparable à celui du dispositif permettant l'asservissement de la came 3D par le levier "l" et une crémaillère.

Les effets des changements de température dans le corps du régulateur ou à l'extérieure de celui-ci (carter réacteur) sur la capsule T_2 et son tube capillaire sont annulés par une capsule compensatrice reliée à un tube capillaire cheminant dans la même gaine que celui de la capsule T_2 .

3-Contrôle des accélérations et décélérations :

Lors d'un déplacement rapide de la came de poussée par le pilote, dans le sens accroissement de poussée, en l'absence d'un mécanisme de contrôle d'accélérations les galets doseurs prendraient immédiatement une position donnant un dosage excessif.

Il en résulterait une surchauffe, le pompage du compresseur et une possibilité d'extinction "riche" ; c'est pourquoi un contrôle automatique des accélérations est indispensable.

Pour une température extérieure donnée, il existe pour chaque vitesse de rotation un dosage maximum qui ne doit pas être dépassé. Ce dosage permet une accélération relativement rapide sans risque pour le réacteur. En conséquence le levier doseur comporte, à sa partie inférieure, une extension qui, en venant s'appuyer sur la came 3D, empêche les galets doseurs de prendre une position donnant un dosage excessif durant les accélérations rapides.

Le dosage maximum pouvant être toléré par le réacteur, pour une vitesse de rotation donnée, varie avec la température d'entrée compresseur. La correction nécessaire est apportée, par la came 3D qui, en tournant sous l'action de la capsule T2 modifie la position du levier doseur.

Durant une décélération rapide, une diminution excessive du dosage pourrait amener une "extinction pauvre". Afin d'éliminer cette éventualité le dosage de décélération sera déterminé par la came de rétablissement qui comporte, à cet effet, une zone de profil constant. Voir (Fig. II-4) et (Fig. II-5).

3-1-Evolution du dosage lors de l'arrêt du réacteur :

Lorsque le réacteur s'arrête, la diminution progressive de la vitesse N2 est ressentie par le régulateur à masselottes ; par conséquent le servo-piston portant la came 3D remonte en déplaçant les galets doseurs vers la droite. Après un certain déplacement les galets se trouvent immobilisés, le levier doseur venant buter sur la came 3D. Puisque le levier doseur ne peut plus bouger – alors que le servo-piston continue à monter en actionnant le levier de sommation et la came de rétablissement – cette dernière came perd contact avec le levier doseur.

Un peu avant que le servo-piston n'arrive à fond de course la came 3D présente au levier doseur un petit bossage auxiliaire. Celui-ci, en repoussant le levier doseur, déplace légèrement les galets doseurs vers la gauche.

FIG. II-4 DISPOSITIFS DE CONTROLE DES ACCELERATIONS ET DECELERATIONS

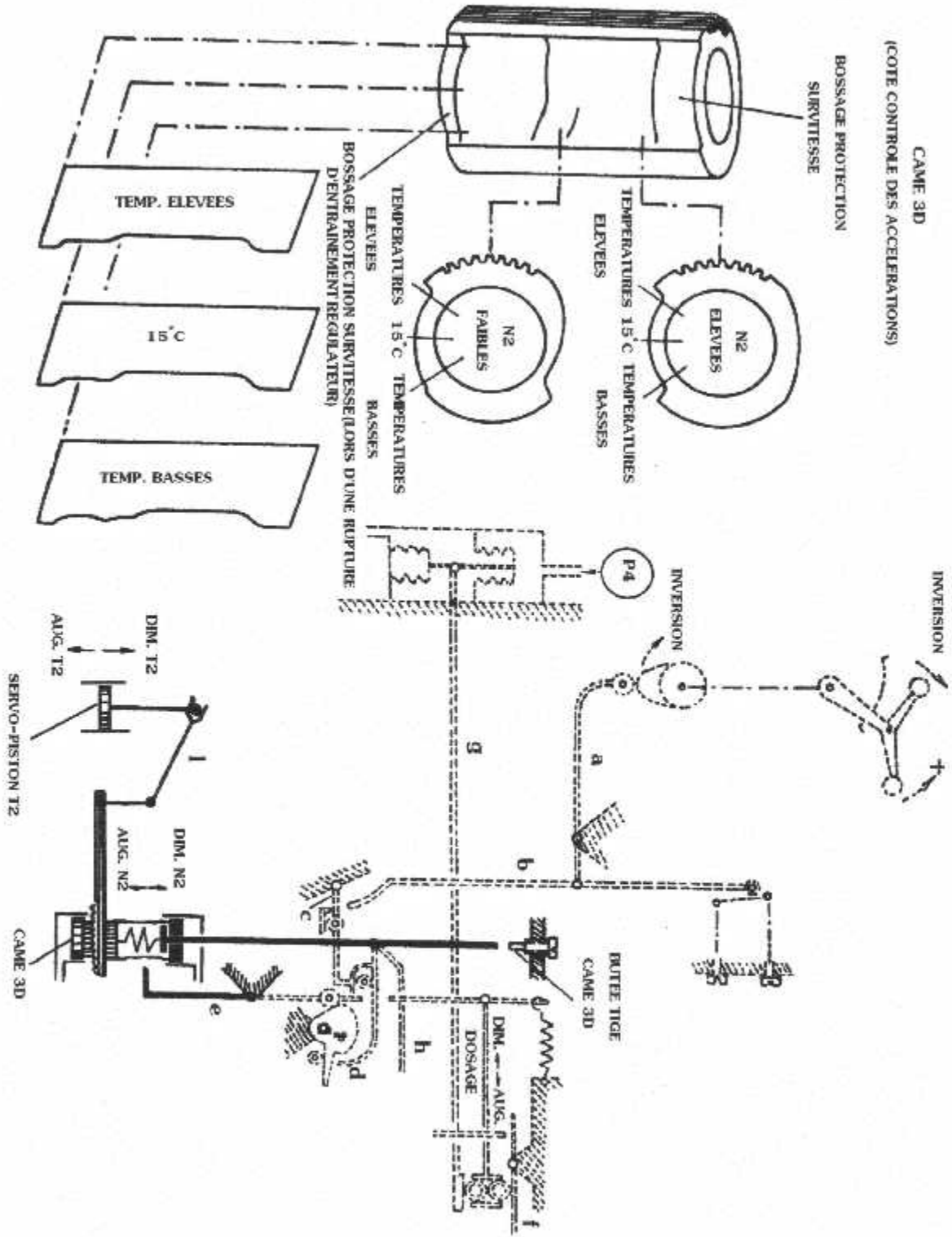
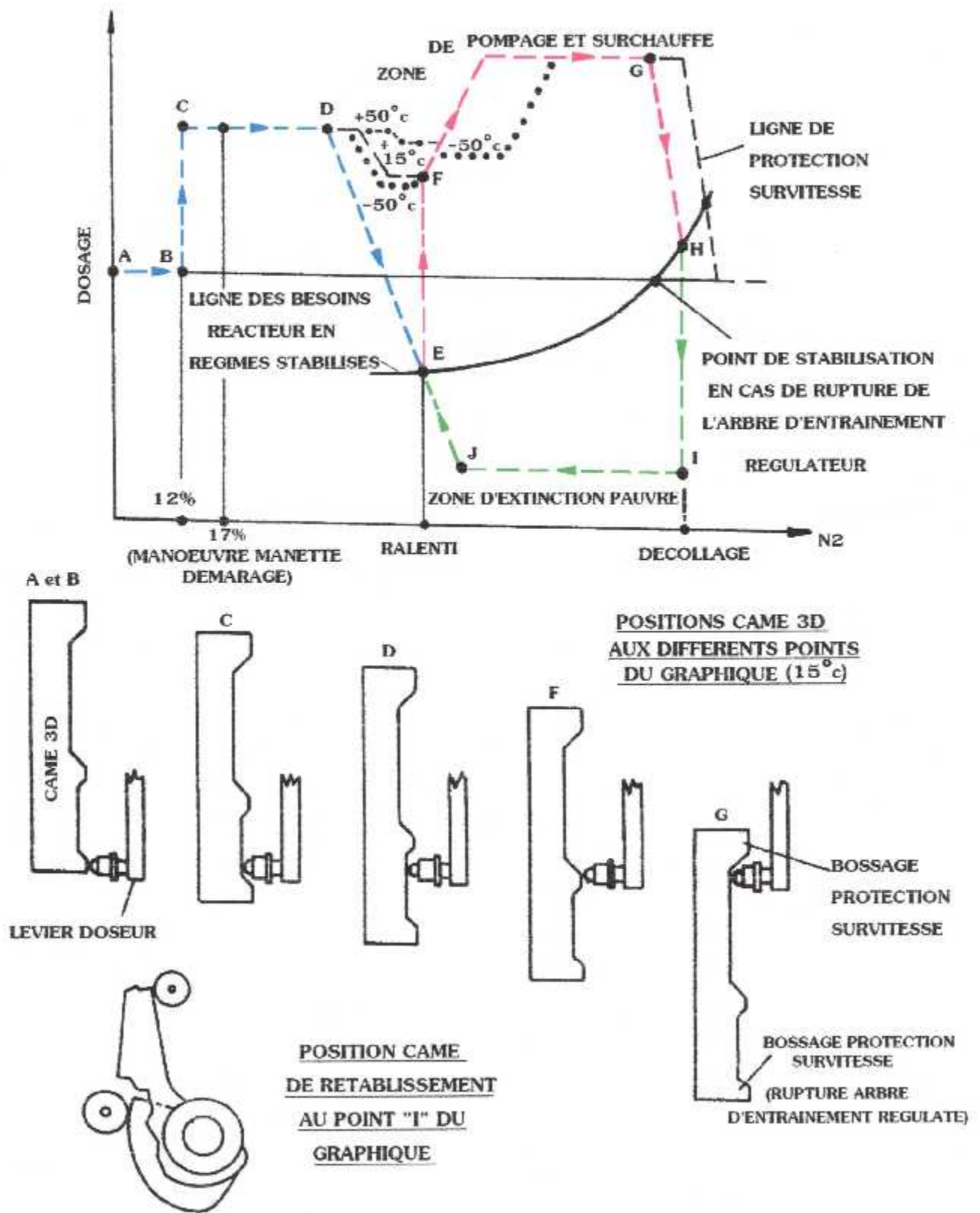


FIG. II-5 GRAPHIQUE ACCELERATION DECELERATION



Nous noterons que la tige du servo-piston portant la came 3D, tige à laquelle est attelé le levier de réaction "h", ne suit pas le servo-piston jusqu'à la fin de sa course vers le haut.

A une certaine position du servo-piston la tige s'immobilise contre une butée ("butée tige came 3D"). Le servo-piston continuant seul son mouvement n'est plus asservi à N2.

3-2-Evolution du dosage durant le démarrage du réacteur :

Au début de mise en route les pièces internes du régulateur sont dans les positions indiquées dans la partie 3-1 :

- La came 3D est à fond de course vers le haut
- Le levier doseur est appuyé sur la came 3D
- La came de rétablissement n'est pas en contact avec le levier doseur.

Le dosage ("fictif" puisque le réacteur ne tourne pas encore et que la manette de démarrage est sur arrêt) correspond à une poussée légèrement inférieure à la poussée de décollage (point A du graphique de la (fig. II-5).

L'entraînement et l'accélération de l'attelage N2 par le démarreur engendrent la séquence suivante :

Du point A au point B (voir graphique) : le dosage fictif ne change pas car le régulateur à masselottes n'est pas encore suffisamment sollicité par la force centrifuge.

B à C : A 12% N2, sous l'effet de la force centrifuge le régulateur à masselottes commence à faire descendre la came 3D. Celle-ci efface rapidement son bossage de protection survitesse sous le levier doseur. Le dosage augmente. La tige de la came 3D est entraînée dans le mouvement de cette dernière vers le bas.

C à D : la came 3D continue à descendre (plus lentement puisque l'asservissement à N2 est maintenant réalisé). Le dosage ne varie pas car le levier doseur s'appuie sur une zone de profil constant (à noter que le dosage devient "effectif" à 17% N2 quand la manette de démarrage est placée sur marche).

En se déplaçant la came 3D fait également tourner la came de rétablissement par l'intermédiaire du levier de sommation.

D à E : au point D, la came de rétablissement reprend contact avec le levier doseur, celui-ci tire les galets doseurs vers la gauche. Le dosage diminue. Lorsqu'il y a correspondance entre l'offre et la demande pour tourner au ralenti (point E) la vitesse N2 se stabilise.

3-3-Evolution du dosage durant une accélération rapide :

L'action de manoeuvrer rapidement la came de commande de poussée, à partir du ralenti, pour obtenir la poussée de décollage, engendre la séquence suivante :

E à F : les galets doseurs se déplacent vers la droite, le dosage augmente. Au point F, le mouvement des galets est arrêté par la prise de contact du levier doseur avec la came 3D. La fin du mouvement de rotation imposé par le pilote à la came de poussée est donc sans effet sur la position des galets ; la came de rétablissement perd contact avec le levier doseur.

F à G : le dosage étant devenue supérieure aux besoins du réacteur, la vitesse de rotation augmente. Le régulateur à masselottes, de plus en plus sollicité par la force centrifuge, fait descendre la came 3D. Celle-ci modifie, comme nécessaire, la position des galets doseurs afin d'éviter le pompage du compresseur et la surchauffe turbine. En se déplaçant vers le bas, la came 3D fait également tourner la came de rétablissement dans le sens anti-horaire.

G à H : au point G, le contact est repris entre la came de rétablissement et le levier doseur, qui, par suite, perd contact avec la came 3D. Les galets doseurs se déplacent vers la gauche en diminuant le dosage. Lorsqu'il y a correspondance entre l'offre et la demande pour tourner au régime de décollage (point H) la vitesse N2 se stabilise.

Remarque :

Dans l'éventualité d'une avarie mécanique du levier de sommation ou de la came de rétablissement la réduction de dosage G-H ne serait pas assurée ; une réduction de "secours" serait alors opérée par le levier doseur, sous l'action d'un bossage de "protection survitesse" situé à la partie supérieure de la came 3D.

3-4-Evolution du dosage durant une décélération rapide :

L'action de manœuvrer rapidement la came de commande poussée, à partir du régime de décollage, pour obtenir le régime de ralenti, engendre la séquence suivante :

H à I : les galets doseurs se déplacent vers la gauche, le dosage diminue. Mais au point I, la came de rétablissement, qui tourne dans le sens anti-horaire, présente sa zone de profil constant au levier doseur. Il en résulte l'arrêt du mouvement des galets (ce qui prévient l'extinction "pauvre"). La fin du mouvement de rotation imposé par le pilote à la came de poussée est sans effet sur la position des galets.

I à J : le dosage étant devenu inférieure aux besoins du réacteur, la vitesse de rotation diminue.

Le régulateur à masselottes fait monter la came 3D. Celle-ci, par le levier de sommation, fait basculer progressivement la came de rétablissement dans le sens horaire. Cependant, ceci est sans effet sur le dosage car la came de rétablissement présente toujours au levier doseur sa zone de profil constant.

J à E : au point J, par suite du basculement progressif de la came de rétablissement, c'est la zone de profil variable qui est présentée au levier doseur. Les galets doseurs se déplacent vers la droite. Le dosage augmente. Lorsqu'il y a correspondance entre l'offre et la demande pour tourner au ralenti (point E), la vitesse N₂ se stabilise.

4- Fonctions auxiliaires :

4-1-Limitation de P₄ :

Il est appelé que le boîtier de la capsule P₄ contient un piston (Fig. II-7) soumis à P₄, qui diminue progressivement l'action de la capsule sur les galets doseurs lorsque P₄ atteint une valeur préjudiciable à la tenue mécanique du réacteur. La poussée se trouve alors limitée à une valeur un peu supérieure à la poussée de décollage.

4-2-Protéction survitesse en cas de rupture arbre N₂ du régulateur de carburant :

Dans le cas d'une rupture de l'entraînement du régulateur à masselottes les galets doseurs sont renvoyés, suivant le même processus décrit dans la partie 3-1 dans la position finale. Le dosage obtenu donne une poussée légèrement inférieure à la poussée de décollage.

Ainsi le bossage auxiliaire situé à la partie inférieure de la came 3D prévient une survitesse du réacteur consécutive à une perte du signal N2. Il n'est plus possible de commander le réacteur par la manette de poussée (suite perte de contact entre levier doseur et came de rétablissement). Evidemment le fonctionnement du dispositif permettant l'arrêt du réacteur n'est pas affecté par l'incident.

4-3-Démarrage et arrêt réacteur :

Lors du démarrage et l'arrêt du réacteur l'établissement et la coupure du débit de carburant sont obtenus à l'aide d'une soupape (SOUPAPE DE DEMARRAGE ET ARRET) commandée hydrauliquement par un tiroir actionné par la MANETTE DE DEMARRAGE. C'est le carburant haute pression qui fournit l'énergie hydraulique nécessaire.

Nous rappelons que la manette de démarrage, située sur le pylône, comporte deux positions :

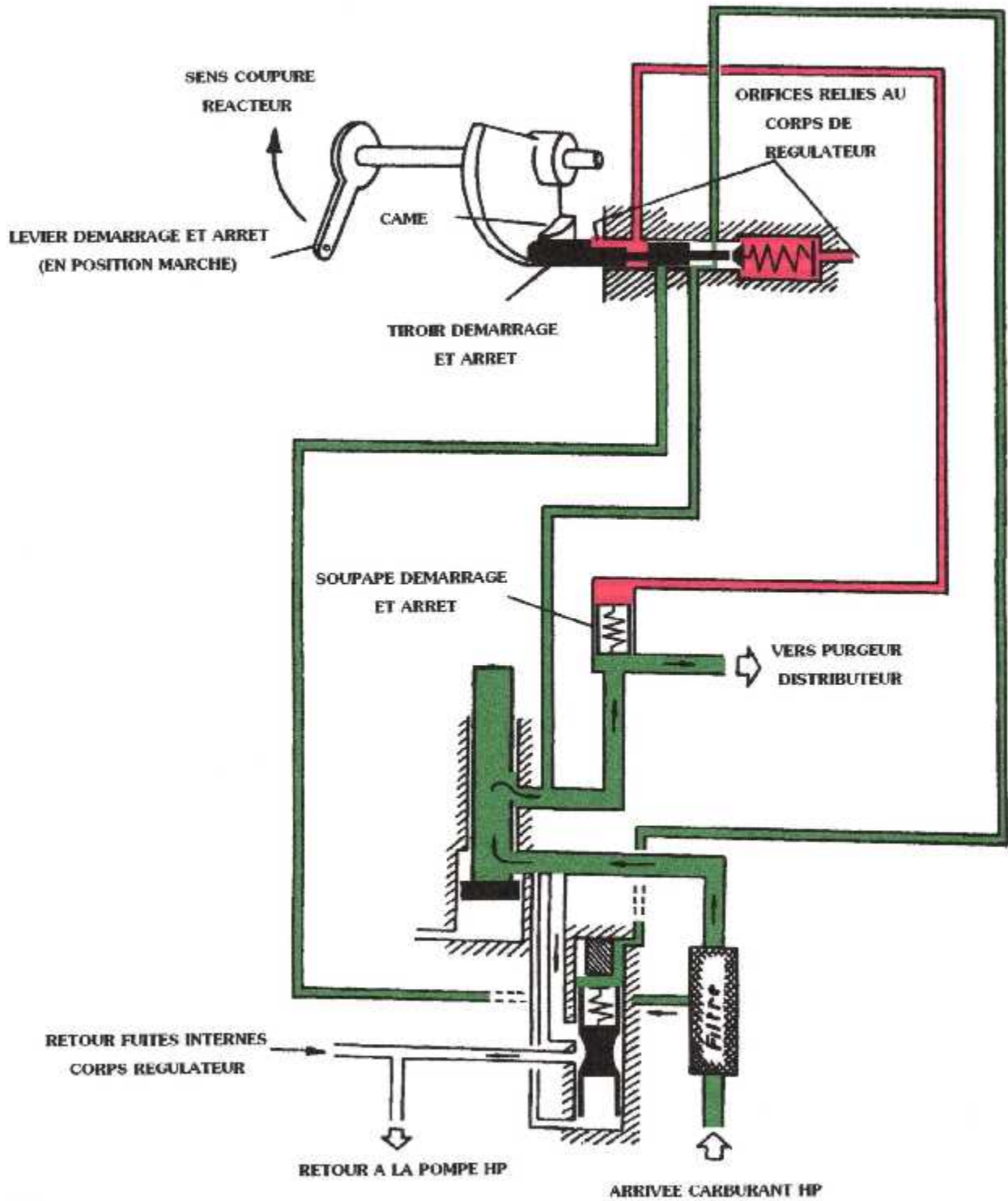
- ARRET soupape de démarrage et d'arrêt fermé
- MARCHE soupape de démarrage et d'arrêt ouverte.

Sur la (Fig. II-6) la soupape et son tiroir de commande sont représentés dans la position qu'ils occupent lorsque le levier de démarrage est sur MARCHE avec réacteur en fonctionnement. La face supérieure de la soupape est soumise à l'effort d'un ressort et, par l'intermédiaire du tiroir, à la pression du corps du régulateur. Les forces exercées sur la face supérieure de la soupape étant relativement faibles, la soupape est maintenue ouverte par la pression de sortie du régulateur (pression aval doseur) qui est appliquée sur la face inférieure.

On notera par ailleurs que c'est par l'intermédiaire du tiroir de démarrage et d'arrêt que la face supérieure du tiroir régulateur de pression différentielle est soumise à la pression aval doseur.

Le déplacement de la manette de démarrage de la position MARCHE à la position ARRET engendre.

FIG. II-6 DISPOSITIF DE DEMARRAGE ET ARRET



a) L'ouverture du tiroir régulateur de pression différentielle

En se déplaçant vers la droite, sous l'action de la commande de démarrage, le tiroir de démarrage et d'arrêt coupe l'arrivée de pression aval doseur au tiroir régulateur de pression différentielle et, en ouvrant une soupape, remplace cette pression par celle du corps de régulateur. Le tiroir régulateur de pression différentielle fonctionne alors comme un simple clapet de surpression et by-pass le carburant refoulé par la pompe HP.

Ceci est particulièrement important dans le cas d'un réacteur stoppé en vol et tournant en auto-rotation (moulinet). En effet, dans ce cas, la pompe HP débite toujours du carburant alors que la soupape de démarrage et d'arrêt est fermée. Il n'y a plus d'écoulement à travers le doseur donc plus de pression différentielle. En l'absence d'un dispositif spécial le tiroir régulateur de pression différentielle resterait fermé et c'est le clapet de surpression de la pompe HP qui devrait s'ouvrir pour by-passer le carburant refoulé par la pompe (sous une pression élevée).

En provoquant l'ouverture du tiroir régulateur, comme expliqué précédemment on évite à la pompe des conditions de fonctionnement défavorables.

b) Fermeture de la soupape de démarrage et d'arrêt.

Dans son mouvement vers la droite le tiroir de démarrage et d'arrêt met en relation une arrivée HP avec la soupape de démarrage et d'arrêt. Les forces appliquées sur la face supérieure de la soupape provoquant la fermeture de cette dernière et, par suite, la coupure du débit de carburant.

Remarque :

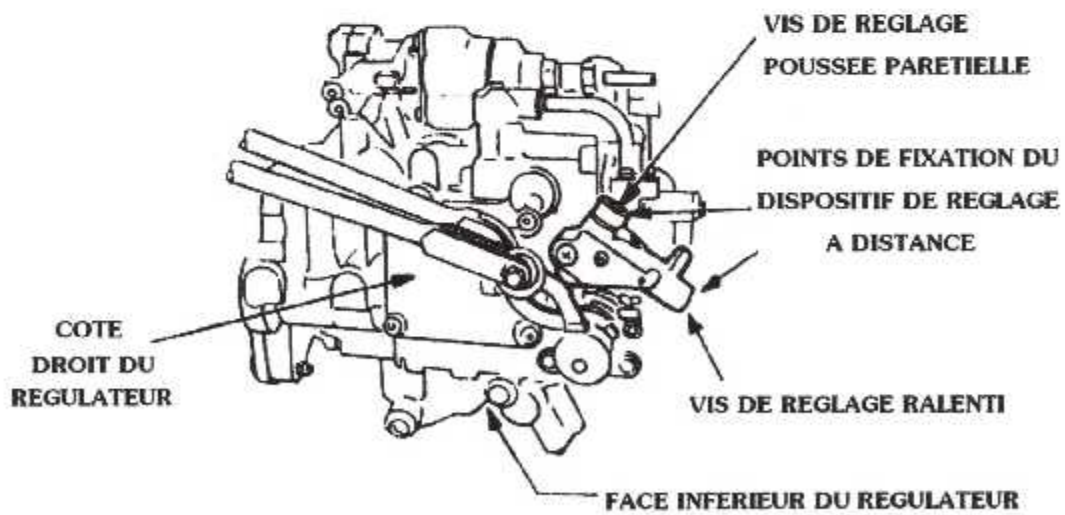
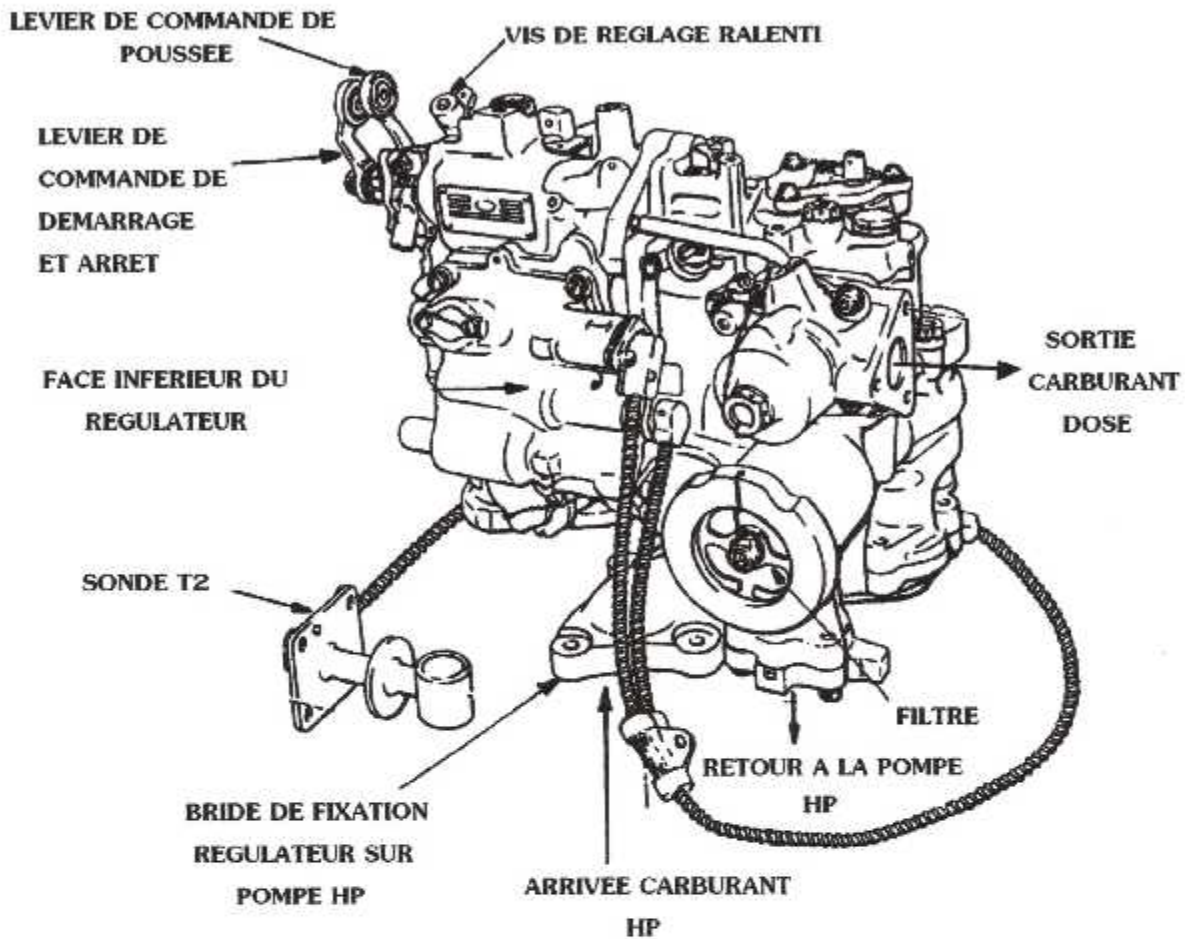
En raison de la présence du ressort sur la face supérieure de la soupape, la pression de sortie du régulateur (pression aval doseur) doit atteindre, au démarrage, une valeur minimum déterminée pour que la soupape puisse s'ouvrir.

Cette pression minimum est nécessaire pour un refroidissement correct des servo-mécanismes.

4-4- Ralenti en altitude et régulation de la poussée de ralenti à basse altitude :

Voir fin des chapitres 1-2-2 et 2-2.

Fig. II-7 VUES EXTERIEURES DU REGULATEUR DE CARBURANT



CHAPITRE III

REGULATEUR ELECTRONIQUE

A AUTORITE PARTIELLE

INTRODUCTION :

Comme nous avons pu voir dans le chapitre précédent, le régulateur agit sur le corps haute pression. Vu que dans un double flux actuel, environ 80 % de la poussée est produite par le corps basse pression.

Ce qui a amené les constructeurs à optimiser la conduite du moteur, en régulant le corps basse pression ; donc la régulation carburant agit sur les deux corps. Et pour aboutir à cela, deux régulateurs sont employés, le premier nommé **MEC** (Main Engine Control) utilisé pour le contrôle des régimes transitoires avec respect des limitations de surchauffe et de pompage, ainsi que le dégrossissage du régime stabilisé, et un autre régulateur nommé **PMC** (Power Management Computer) qui est électronique et ayant pour rôle d'afficher le régime basse pression en stabilisé. Le régulateur de carburant pour la régulation à autonomie partielle est composé de deux parties :

- Le régulateur principal de carburant : **MEC**
- Le calculateur de poussée moteur : **PMC**

1- PRINCIPE DE REGULATION CARBURANT :

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, correspond une section précise du doseur carburant et un régime N2 déterminé.

En utilisation normale, si aucun changement n'intervient sur le tarage du régulateur centrifuge, le régime N2 reste constant.

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

- L'entraînement des compresseurs et des accessoires
- La génération du flux primaire (environ 20 % de la poussée totale réacteur)
- L'entraînement du fan et la génération du flux secondaire (80 % de la poussée totale).

Il suffit donc de modifier le tarage du régulateur centrifuge pour faire varier le niveau d'énergie développée par le générateur de gaz et, ainsi, sélectionner le N1 correspondant à la poussée nécessaire calculée.

Le tarage de ce ressort est assuré mécaniquement par la manette de poussée. Par ailleurs, l'évolution du niveau de poussée est soumis à certaines limitations, et les impératifs de gestion du vol nécessitent l'utilisation de programmes complexes pour conduire le réacteur aux régimes optimaux. Pour tenir compte de ces conditions, le PMC (Power Management Control) et certains équipements du MEC (Main Engine control), ont la possibilité de modifier le tarage du ressort du régulateur N2, donc le régime N2, sans déplacer la manette de poussée. Voir (Fig. III-1)

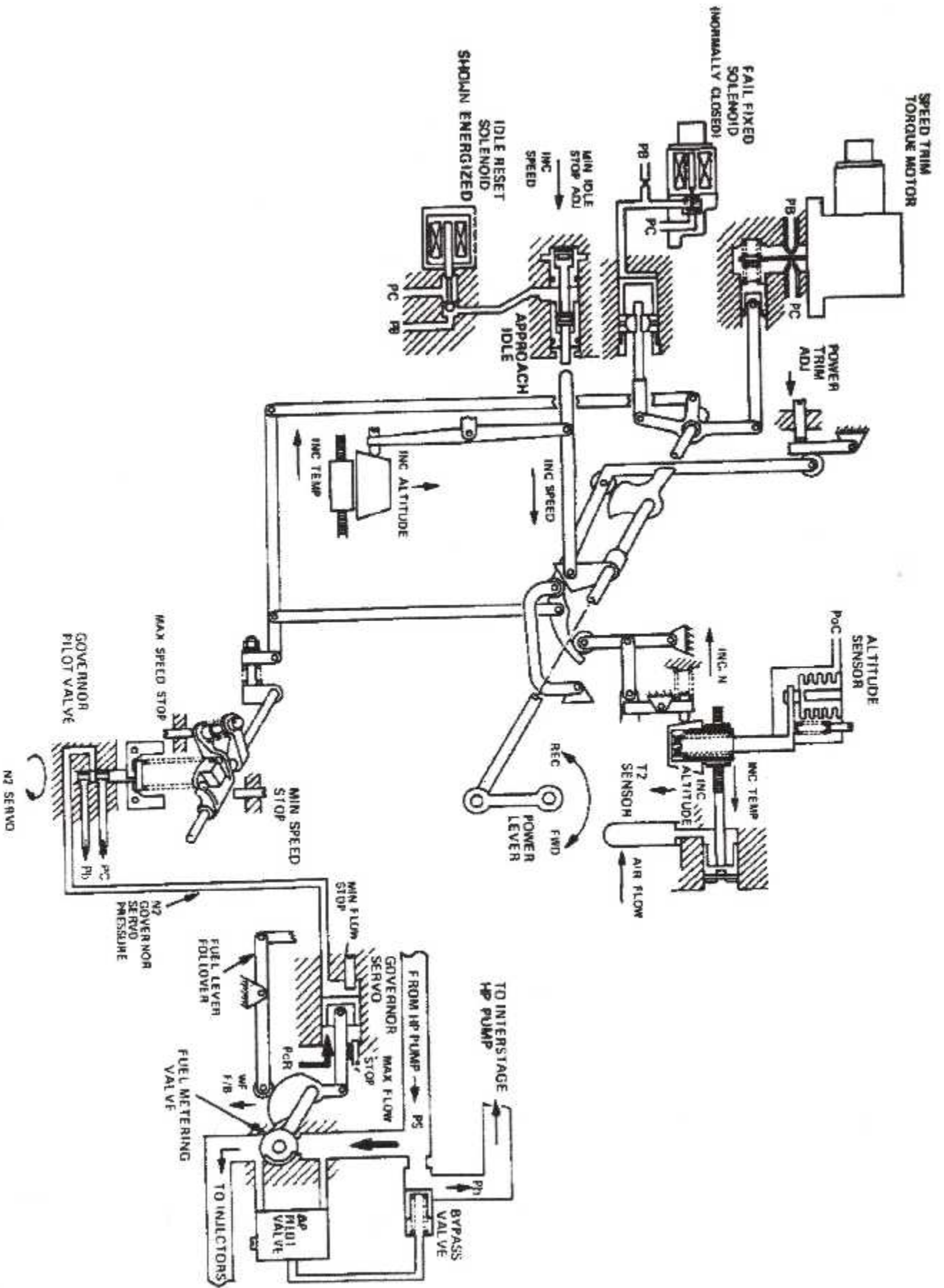


FIG. III - 1 REGULATEUR DE REGIME N2

2- LE REGULATEUR PRINCIPAL DE CARBURANT MEC (Main Engine Control) :

2-1- Fonctions assurées par le régulateur principal carburant MEC :

2-1-1- Fonctions principales :

Le MEC assure les fonctions principales suivantes :

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

2-1-2- Fonctions auxiliaires :

- Limitation de la pression interne du réacteur.
- Limitation de la vitesse de rotation N2 max.
- Sélection du régime N2 de ralenti minimum.
- Correction du régime N2 de ralenti d'approche en fonction de la température T2 et de l'altitude.
- En cas d'avarie du PMC.
 - Blocage du signal PMC de limitation N2 en attente d'une sélection manuelle de la poussée.
 - Correction des régimes N2 à poussée normale d'utilisation en fonction de T2 et altitude.
- Transmission de la position doseur vers le PMC grâce au transmetteur de position (Metering valve position transducer).

2-2- Synoptique du MEC :

Elles ne seront mentionnées que les fonctions principales à savoir :

- Sélection de la poussée (N(HP) : régime haute pression).
- Contrôle d'accélération.

- Lutte contre le pompage avec les VSV (Variable Stator Vanes) et les VBV (Variable Bleed Vanes).

Voici la synoptique du MEC avec :

α : Angle de la manette des gaz

$T_i(HP)$: Température impact de l'entrée corps HP (haute pression)

P_{i2} : Pression impact de l'entrée corps BP (basse pression)

P_3 : Pression sortie compresseur HP

$N'(BP)$: Régime réel

$V'SV$: Retour position réelle stator

$V'BV$: Retour position réelle vanne de décharge

WF : Débit carburant

Et $\epsilon = N(HP) - N'(HP)$

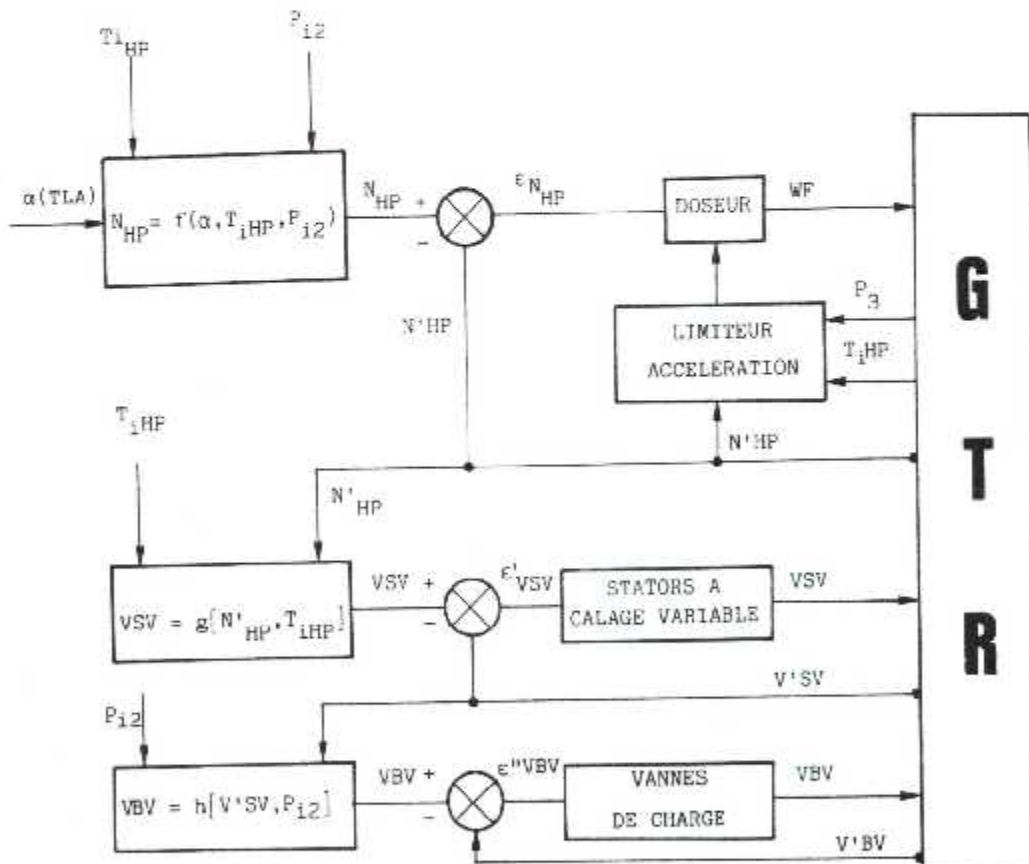


Fig. III-2 Synoptique du MEC

2-3-Composition interne du MEC :

Le MEC est composé de : Voir (Fig. III-3) et (Fig. III-4)

a) Un ensemble de régulation des servo-pressions :

Un piquage de carburant est effectué sur la canalisation d'alimentation du MEC

(Ps: Supply pressure) pour alimenter les différents régulateurs de servo-pressions :

- Pf (Filtered pressure): Alimentant les deux autres régulateurs de servo-pression de Pc et Pcr ainsi que le régulateur des dispositifs anti-pompage.
- Pc (Control pressure): Représente la source d'énergie hydraulique faisant fonctionner les servomécanismes du MEC.
- Pcr (Regulated case pressure) : Elle constitue une pression relative d'équilibrage à l'intérieur du carter du MEC pour les différents servomécanismes, et assurant aussi la lubrification de l'ensemble.

b) Un doseur (metering valve) :

C'est une vanne à commande hydraulique. Elle assure le calibrage du débit carburant allant vers les injecteurs, et en faisant varier le dosage air/carburant cette vanne permet la sélection et la régulation du régime N2.

La commande du doseur est faite par un régulateur centrifuge de N2 via une servo-pression (N2 governor servo pressure). La position du vérin du doseur est déterminée par l'équilibre entre cette servo-pression et la Pcr (regulated case pressure). En l'absence de pression, aucun ressort ne positionne le doseur.

c) Un régulateur de ΔP (ΔP pilot valve) :

Il permet l'obtention d'un débit carburant proportionnel à la section de passage du doseur. Pour cela, il régule à une valeur constante la différence de pression entre l'amont et l'aval du doseur.

Comme le débit de la pompe HP est toujours supérieur aux besoins du réacteur, et lorsque la ΔP atteint sa valeur maximale, le régulateur de ΔP commande l'ouverture de la by-pass valve qui renvoie l'excédent de carburant dans le circuit inter étage.

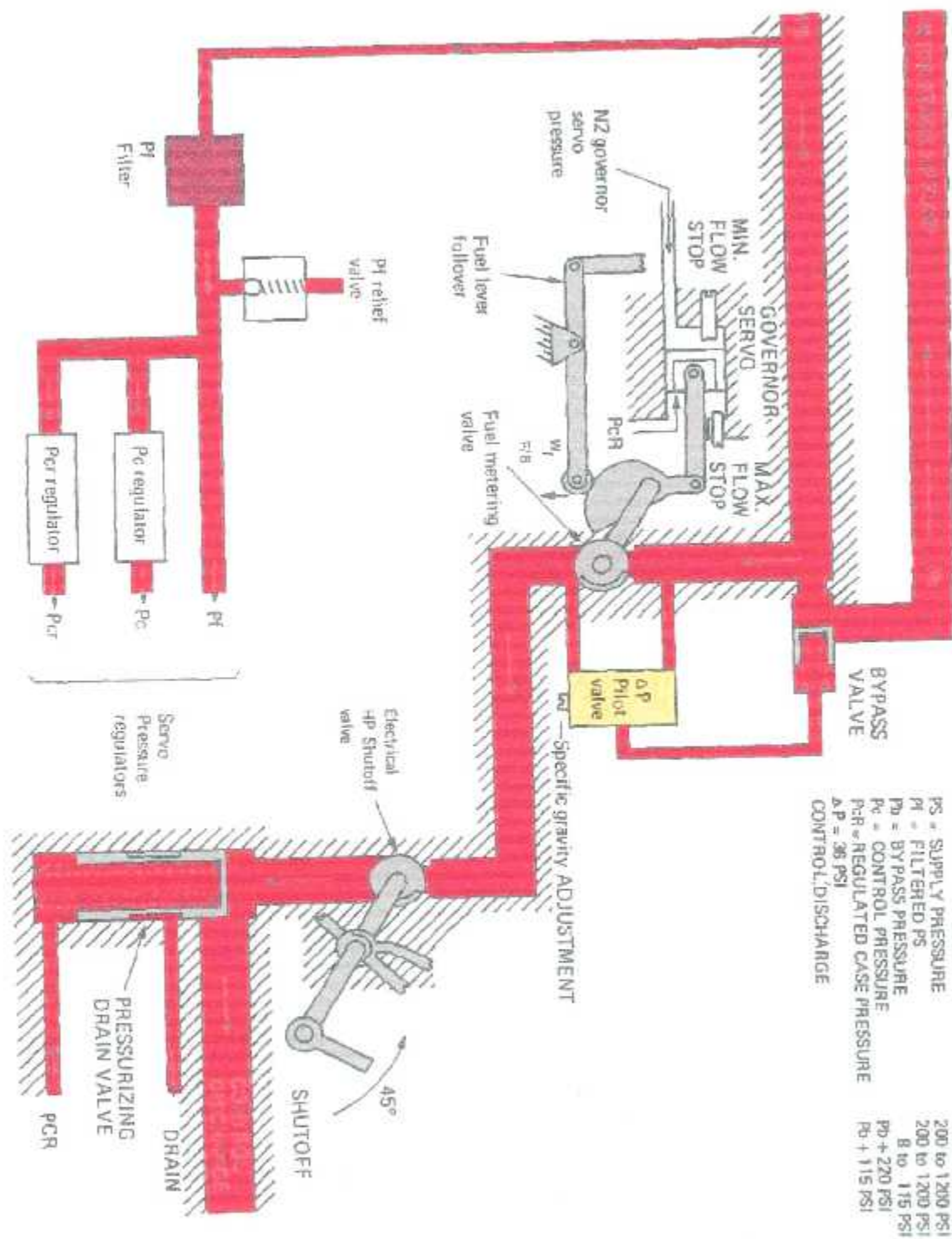


FIG. III-3 REGULATEUR PRINCIPALE MEC

Le correcteur de densité (specific gravity adjustment) permet d'adapter la valeur de la ΔP en fonction de la nature et la masse volumique du carburant utilisé.

avec :

Pb : Pression de by-pass.

d) Une vanne haute pression carburant (HP shut off valve) :

Elle est incorporée au MEC et possède deux positions :

- Pleine ouverture
- Fermeture complète

Elle est utilisée pour la mise en route et l'arrêt du réacteur.

e) Une vanne de mise en pression et drainage (pressurizing drain valve) :

Elle est située entre le MEC et les injecteurs de carburant.

- Lors de la mise en route du réacteur elle n'autorisera le passage du carburant vers les injecteurs que lorsque les servo-pressions de régulation ont atteint leur valeur normale, et cela grâce à un ressort associé à l'action de la pression Pcr, maintient la vanne fermée tant que la pression délivrée par la pompe HP n'atteint pas une valeur donnée.
- Lors de l'arrêt du réacteur, la fermeture de la vanne HP carburant entraîne, d'une part la chute de la pression d'injection, (control discharge), d'autre part, l'ouverture de la by-pass valve du régulateur de ΔP du doseur. Le ressort de la vanne de mise en pression repousse dès lors le tiroir (compartiment), et permet le drainage de la rampe d'injection carburant vers le circuit extérieur d'évacuation.

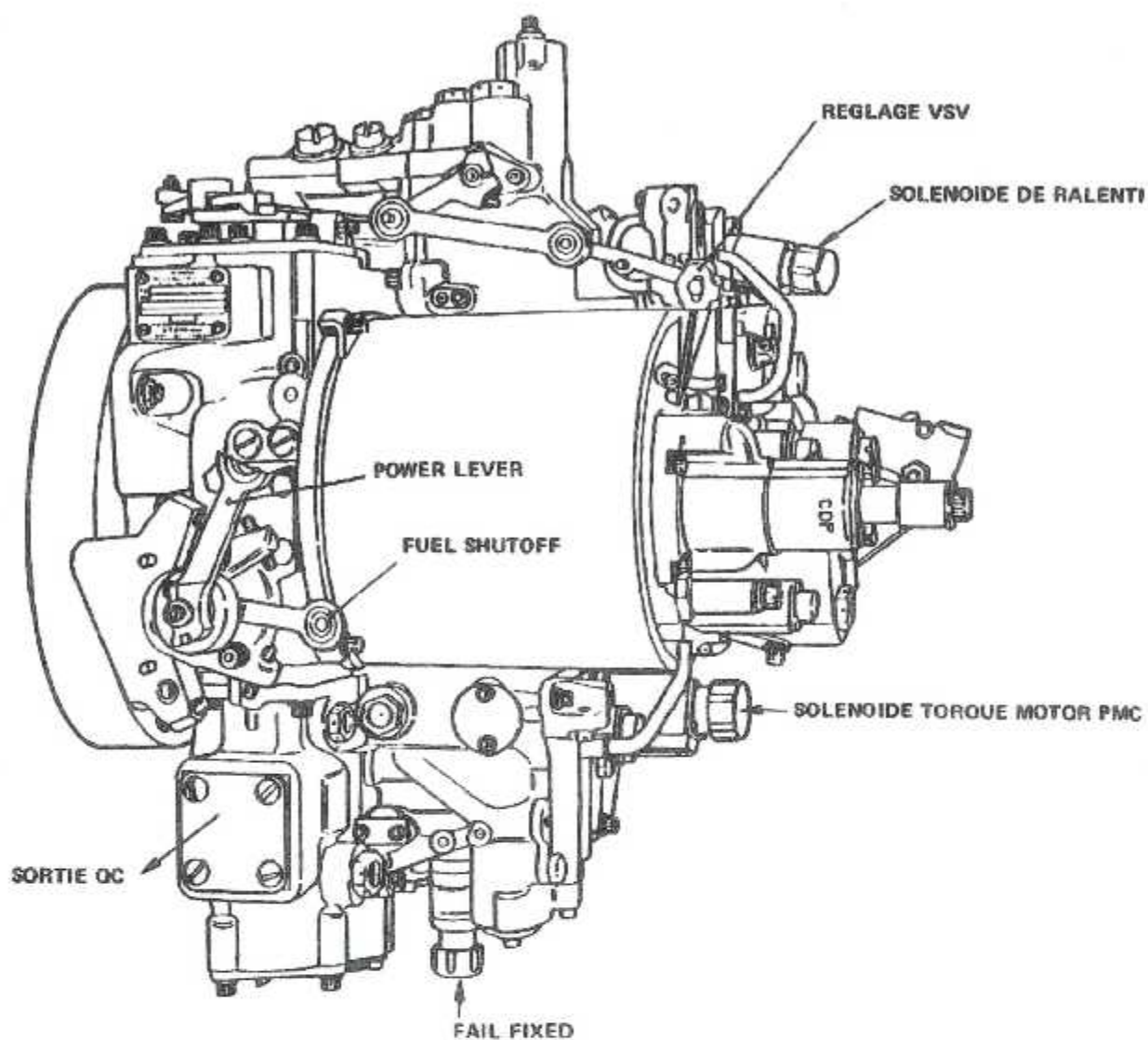


Fig. III-4 Vue extérieure du MEC

2-4-Différents signaux utilisés par le MEC :

- Régime N2
- Température T2
Relevée à l'entrée d'air du FAN.
- Température T2.5 (CIT compressor inlet temperature)
Relevée à l'entrée du compresseur HP.
- Pression P0C (température ambiante)
Enregistrée dans la zone des accessoires.

- Pression statique P3 (CDP compressor discharge pressure)
Relevée à l'arrière du compresseur HP.
- Position manette de poussée
Ce signal est transmis mécaniquement au régulateur N2 grâce à un système de Tringleries et câbles jusqu'au levier de commande sur le MEC.
- Ralenti minimum
N'est possible qu'avec les reverses rentrées : un signal électrique " ralenti minimum" est transmis au MEC dans les configurations avion suivantes :
 - a) Lorsque les becs du 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 au régulateur N2 par l'intermédiaire d'un moteur couple intégré au MEC. (SPEED TRIM TORQUE MOTOR).
- 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.

2-5- Régulateur de régime N2 :

Le régulateur centrifuge utilise les pressions Pc et Pb pour commander le vérin du doseur (governor servo pressure). Voir (Fig. III-5)

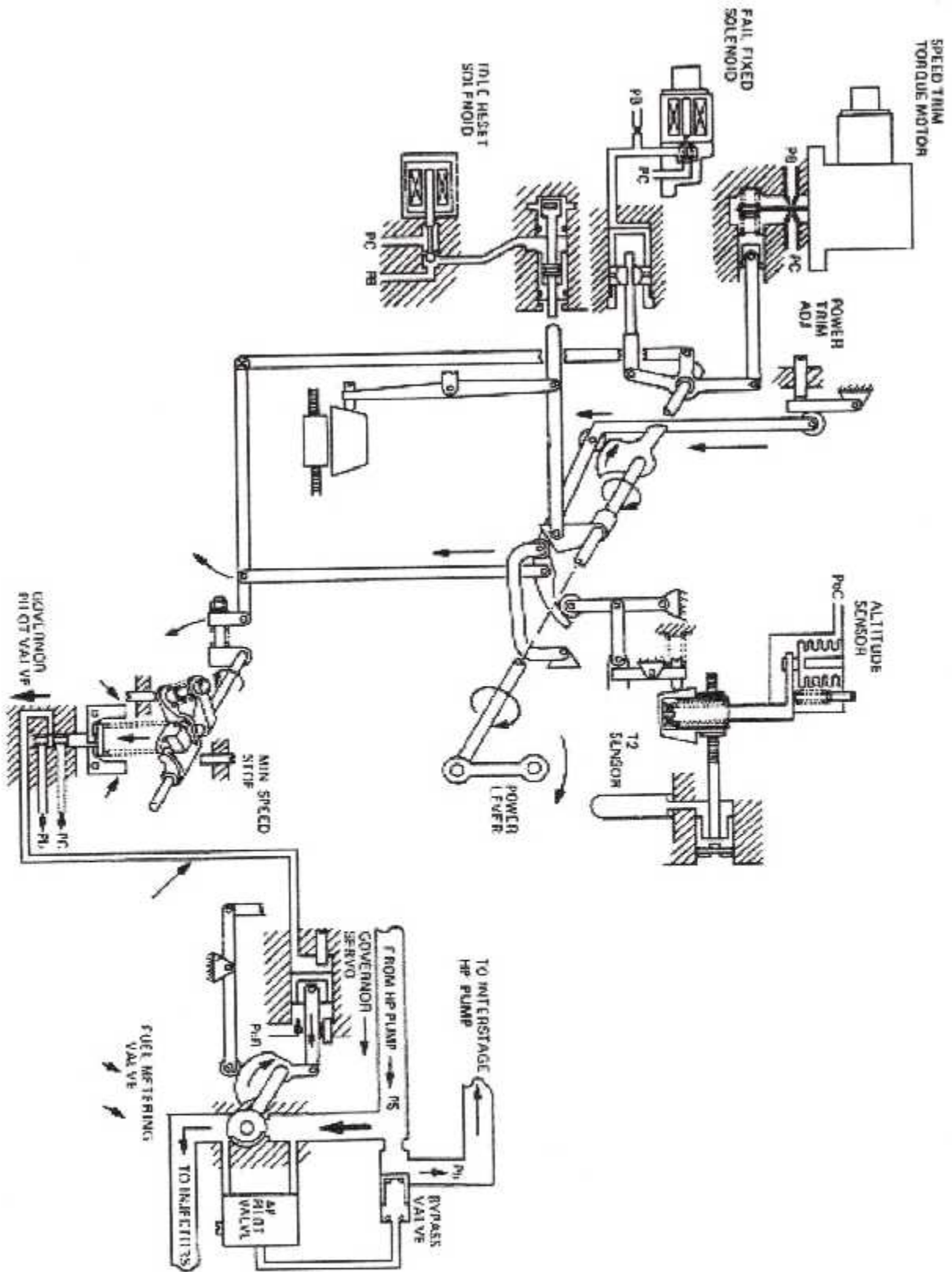


FIG. III-5 SELECTION DU NIVEAU DE POUSSEE ET REGULATION N2

a- Sélection du niveau de poussée :

Le levier de commande de poussée sur le MEC 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.

b- Régulation du régime N2 :

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

c- Limitation de la poussée :

Voir (Fig. III-6)

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 N1 optimum (N1 commandé). Cette limitation (TRIM) peut atteindre au maximum 5% de N1 de décollage. (Fig. III-7)

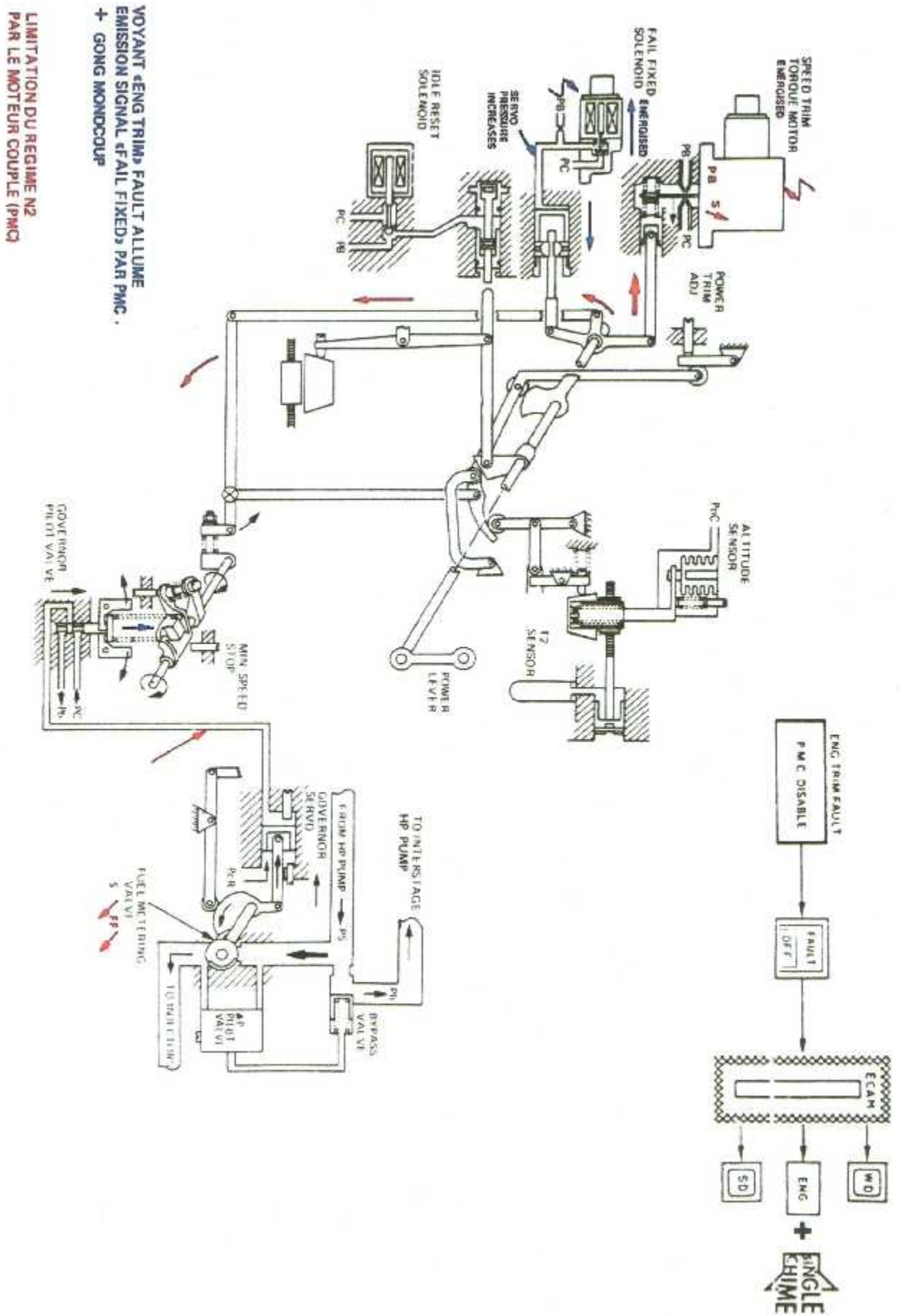


FIG. III-6 LIMITATION DU REGIME N2 PAR LE PMC ET BLOCAGE DU SIGNAL DE LIMITATION

VOYANT «ENG TRIM» FAULT ALLUME
 EMISSION SIGNAL «FAIL FIXED» PAR PMC.
 + GONG MONOCOUP

LIMITATION DU REGIME N2
 PAR LE MOTEUR COUPLE (PMC)

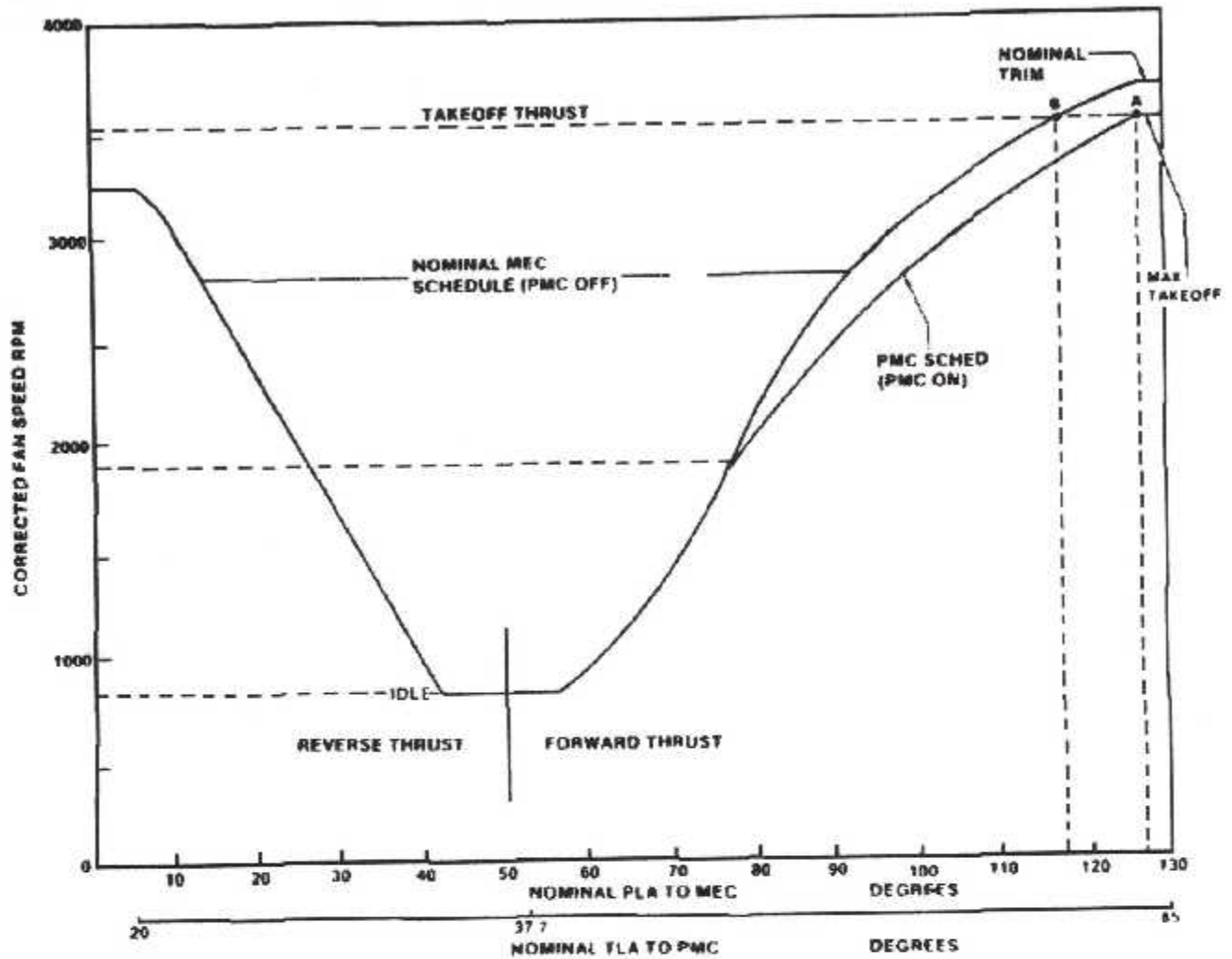


Fig. III-7 Domaine d'action du PMC

d- Blocage du signal de limitation PMC (FAIL FIXED SIGNAL)

Lorsque le PMC émet un signal de blocage le gong mono coup retentit, les voyants "ENG TRIM FAULT" et "ENGINE" s'allument au poste de pilotage. Voir (Fig. III-7)

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". Dans cette situation il faut enfoncer le contacteur "ENG TRIM" (le voyant off s'allume), et réajuster manuellement le niveau de poussée en actionnant la manette. Le PMC est désactivé.

Voir (Fig. III-6)

e- Régulation du niveau de poussée en fonction des conditions ambiantes :

En cas de désactivation du PMC, ni le moteur couple ni le solénoïde de blocage ne sont alimentés. Le régime N2 est optimisé par le MEC en fonction de l'altitude P0C et la température T2. Pour cela, une capsule soumise à P0C et un vérin commandé par la sonde hydromécanique T2 positionnent une came à 3 dimensions. Voir (Fig. III-8)

f- Régime de ralenti :**f-1- Ralenti minimum :**

Il n'est possible qu'avec les reverses rentrées.

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. La came 3 D est asservie à P0C et T2 possède un deuxième programme qui commande le tarage du régulateur N2 afin d'obtenir le ralenti minimum à une valeur entre 58,5 et 64,9 % de N2. Voir (Fig. III-9)

f- 2- Ralenti d'approche :

Lorsque l'avion est en configuration approche, c'est-à-dire 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, est fonction de l'altitude (P0C) et de la température T2. Dans cette configuration, le solénoïde de ralenti n'est pas alimenté et le vérin de ralenti est soumis à la pression PC. Voir (Fig. III-10)

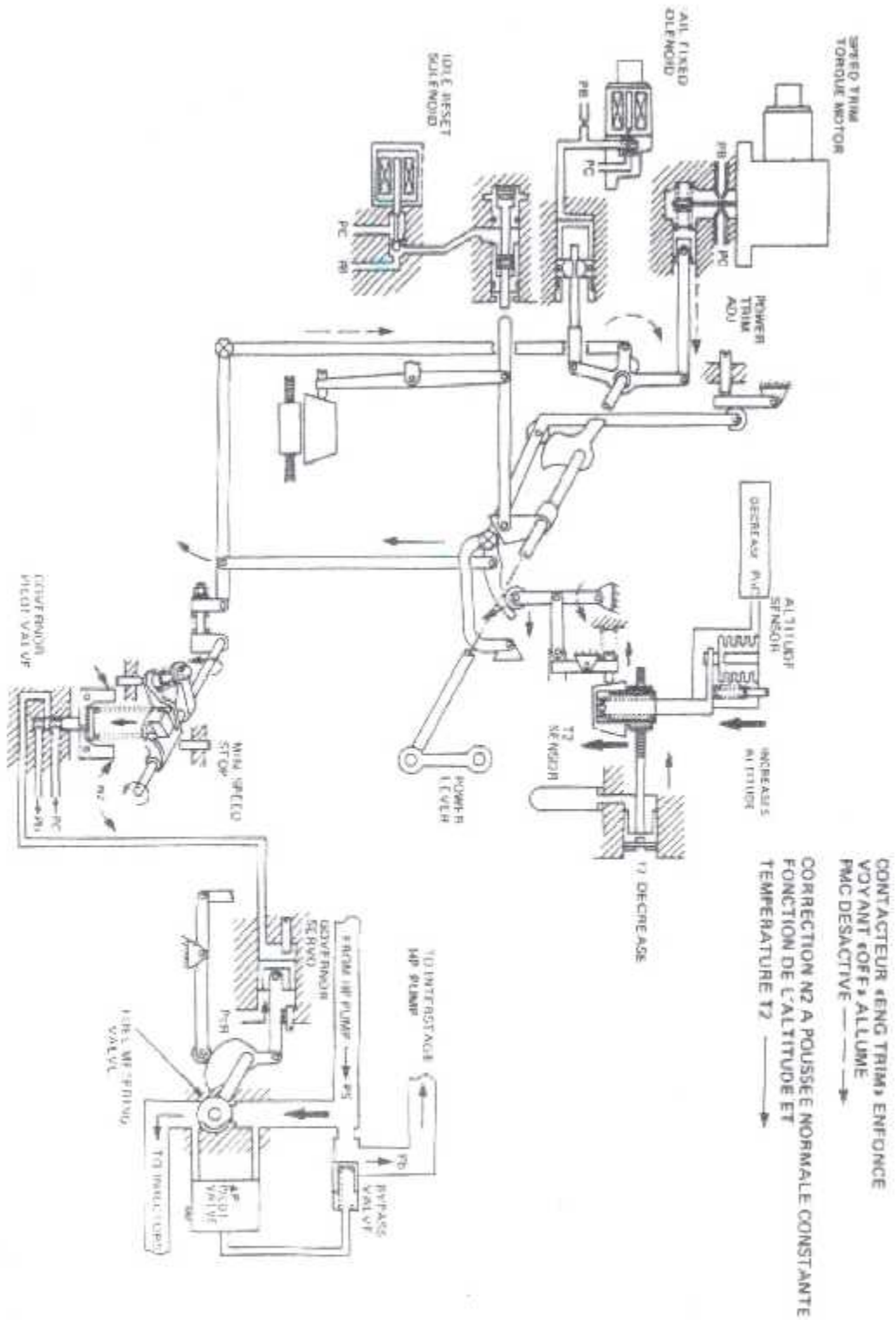


FIG. III-8 DESACTIVATION DU PMR

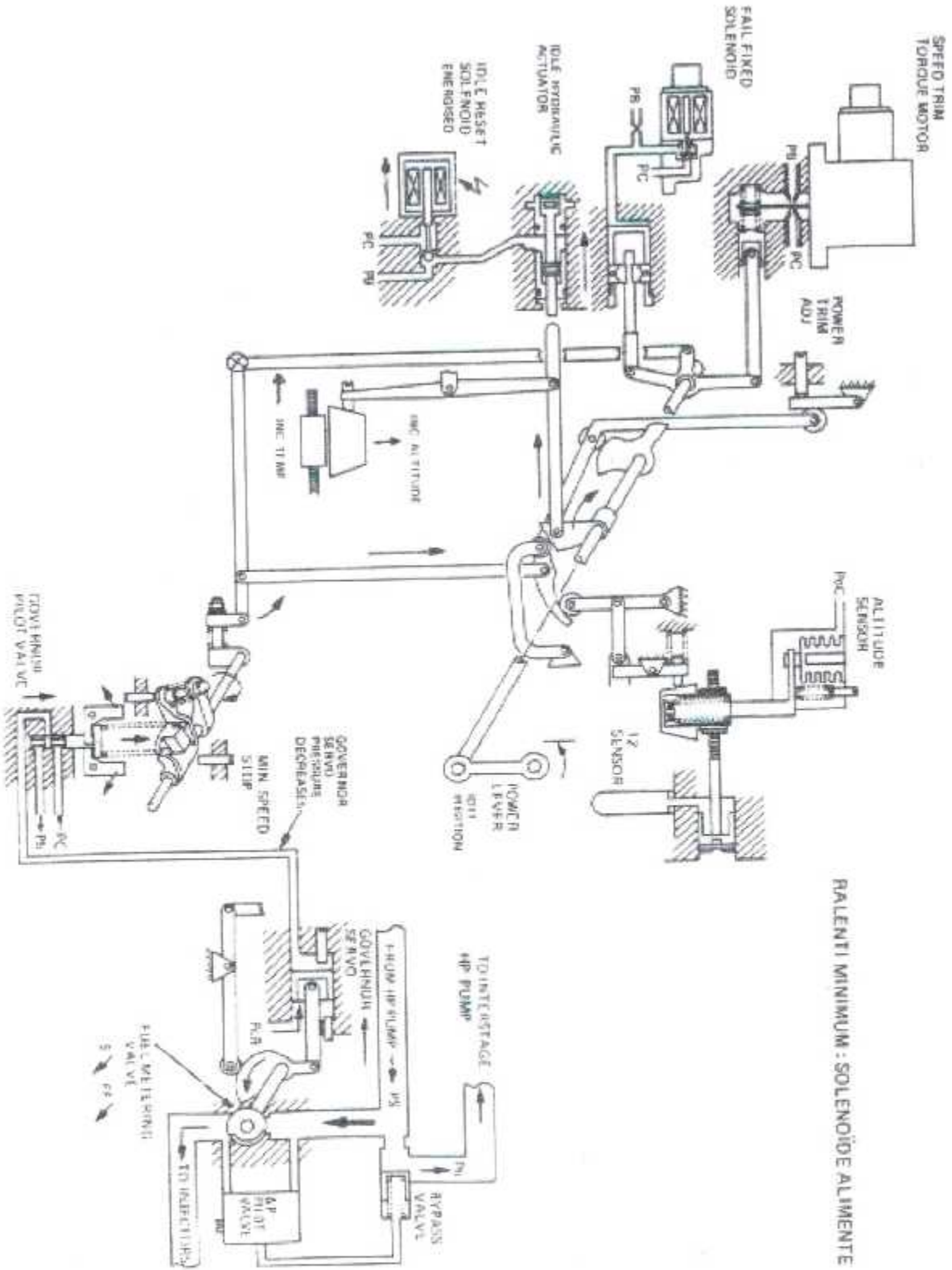


FIG. III-9 RALENTI MINIMUM

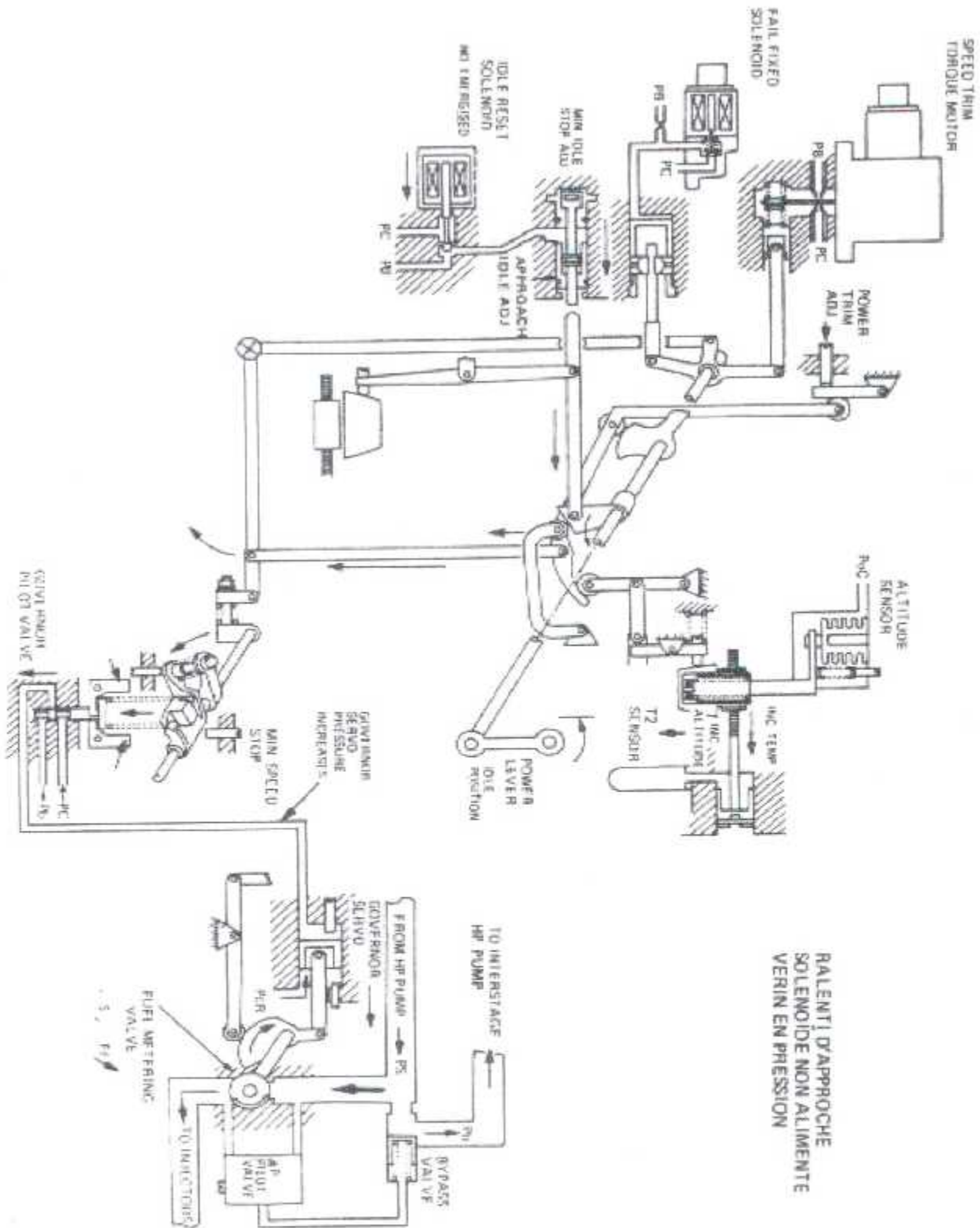


FIG. III-10 RALENTI D'APPROCHE

2-6- Contrôle des accélérations et décélérations :

Ce dispositif a pour but :

- Le contrôle du dosage (air/carburant) durant les régimes transitoires.
- La limitation de la pression interne P3 (CDP)
- Une protection en cas de survitesse N2 importante.

Le fonctionnement de ce dispositif est régit par quatre paramètres principaux :

a- Débit carburant :

Il est matérialisé par une came et un levier suiveur de position doscur. (Fuel lever follower).

b- P3 ou CDP :

Un transmetteur hydromécanique positionne une came qui représente le signal de pression interne réacteur.

c- Température d'entrée d'air du compresseur haute pression : **(T2,5 ou CIT)**

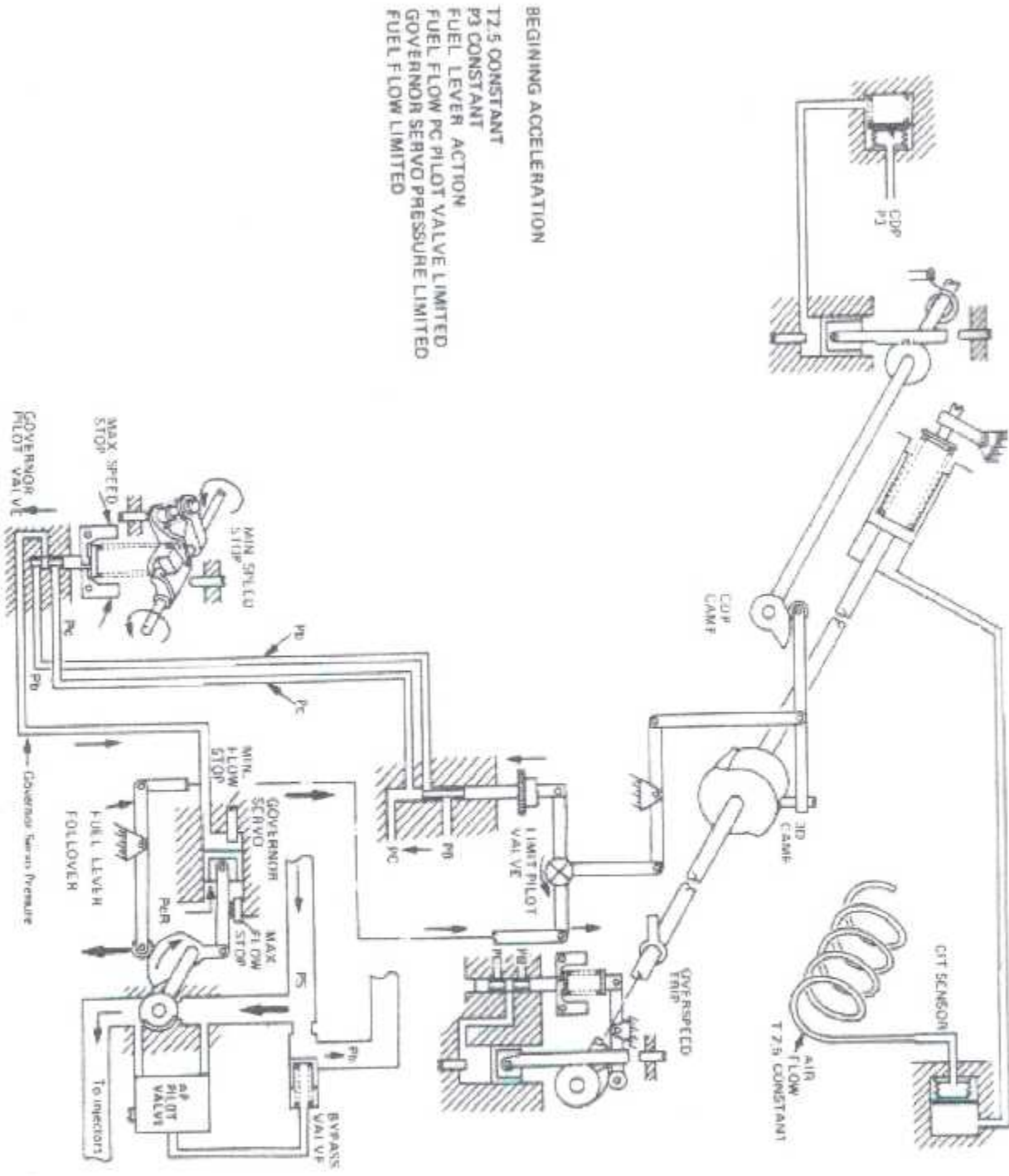
La sonde hydromécanique déplace axialement une came à 3 dimensions en fonction de l'évolution de la température d'entrée.

d- Régime N2 :

Un régulateur centrifuge déplace angulairement la came 3 dimensions au fur et à mesure de l'évolution du N2.

Voir (Fig. III-11)

FIG. III-11 CONTROLLEUR D'ACCELERATION
PHASE DEBUT D'ACCELERATION



BEGINNING ACCELERATION

- T2.5 CONSTANT
- P3 CONSTANT
- FUEL LEVER ACTION
- FUEL FLOW PC PILOT VALVE LIMITED
- GOVERNOR SERVO PRESSURE LIMITED
- FUEL FLOW LIMITED

2-6-1- Fonctionnement :

Les différents composants du contrôleur d'accélération commandent un tiroir limiteur (LIMIT PILOT VALVE). Les déplacements axiaux de celui-ci entraînent des 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, donc 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. La pilote valve du contrôle, 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 la came 3 dimensions 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 T2,5 :

La came 3 dimensions se déplace axialement vers la gauche. Etant conique, elle est 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 de la pression interne :

Le profil de la came CDP entraîne une réduction du 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%. En cas 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- Décélération :

Le contrôleur régule le dosage (air/carburant) 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.

3- LE CALCULATEUR DE POUSSEE MOTEUR PMC (power MANAGEMENT CONTROL)**3-1- Fonctions assurées par le PMC :****3-1-1- Fonctions principales :**

Le PMC est un calculateur digital électronique qui permet d'ajuster finement le débit carburant, et ça 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 de vol. (ADD : air data computer)
- de la position manette
- des limitations réacteur

3-1-2- Fonctions auxiliaires :

- Emission d'un signal " FAIL FIXED " qui est un signal de blocage afin d'amener ou de maintenir suivant le cas, la limitation de régime N2 à sa valeur la plus basse, et ça quelle que soit la position manette.

3-2- Synoptique du PMC :

Le calculateur PMC ajuste finement le débit carburant (WF) par action sur un moteur couple relié au tiroir du détecteur d'écart pilotant le doseur carburant (TRIM : qui veut dire réglage).

Le calculateur fonctionne grâce à trois programmes qui sont :

- Un programme de base $N(\text{BP}) / \sqrt{(T_{i2})} = f1(\alpha)$.
- Un programme de correction $\Delta N(\text{BP}) / \sqrt{(T_{i2})} = f2(P_{i2})$
- Un programme de limitation $N(\text{BP}) / \sqrt{(T_{i2})} = f3(T_{i2})$

En sachant que le dernier programme n'agit qu'aux fortes poussées et hautes températures.

Avec :

α : Angle manette

P_{i2} : Pression impact entrée corps basse pression

T_{i2} : Température impact entrée corps basse pression

$N(\text{BP})$: Régime de consigne

$N'(\text{BP})$: Régime réel

$\Delta N^*(\text{HP})$: Ordre allant vers le doseur carburant

$$\varepsilon N(\text{BP}) = N(\text{BP}) - N'(\text{BP})$$

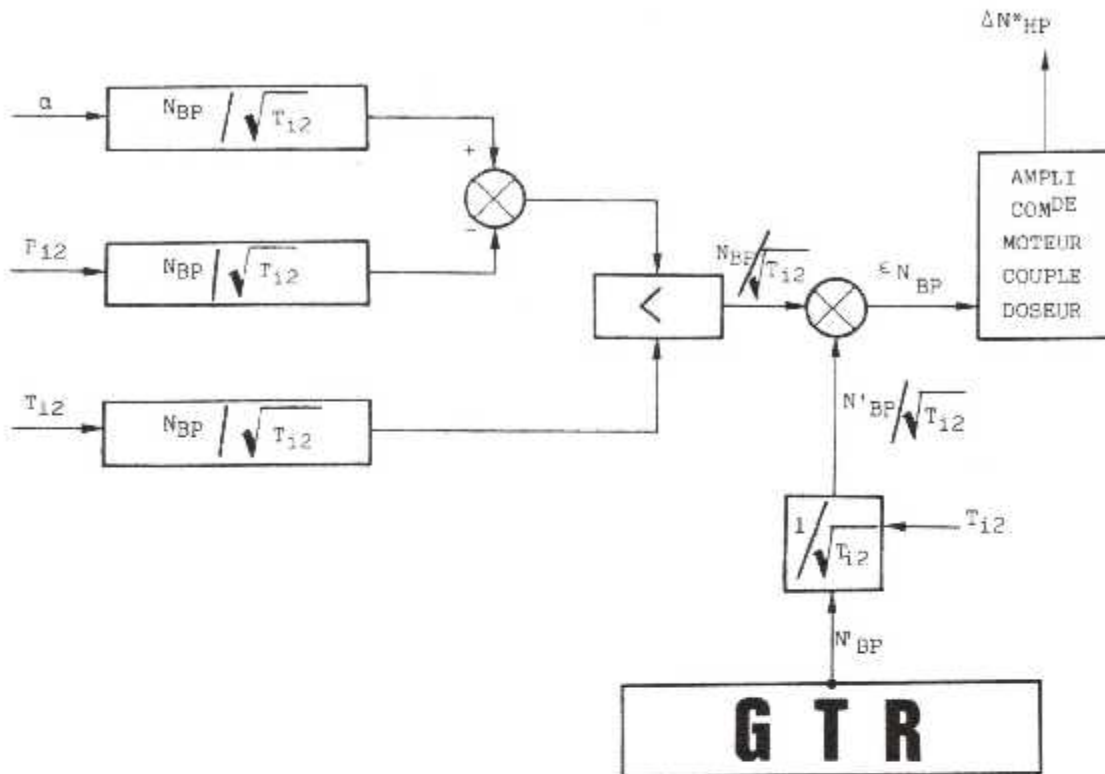


Fig. III-12 Synoptique du PMC

3-3- Explication du schéma synoptique :

Une position de la manette des gaz calibre un ordre $N(BP) / \sqrt{(Ti2)}$, corrigé du $\Delta N(BP) / \sqrt{(Ti2)}$, cette valeur sera ensuite comparée à la valeur maximale qui est fonction de la température d'entrée compresseur basse pression; la plus faible de ces valeurs, corrigée ou maximale, ira dans un comparateur recevant aussi le régime réel du corps basse pression $N'(BP)$. Si le régime réel du corps basse pression est plus faible, le comparateur détecte cet écart $\epsilon N(BP)$ et commande par son amplificateur le moteur couple ; ce dernier agira sur le ressort opposé aux masselottes du comparateur $N(HP)$ entraînant un ordre $\Delta N^*(HP)$.

3-4- 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) :

- nombre de Mach -M-
- température totale -TAT-
- pression totale -PT-
- pression dynamique -Q-

Remarques :

P0 est calculée par le PMC à partir de PT et Q.

En cas de panne du TCC, le PMC utilise les informations directement de l'ADC correspondant au moteur (c'est-à-dire ADC1 pour moteur 1 et ADC2 pour moteur2).

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

b) Signaux analogiques en provenance du cockpit :

- Position de la manette de poussée indiquée par un transmetteur (TLA transducer lever angle)
- Contacteur principal PMC, position " On " ou " Off "
- Signal de test au sol

c) Signaux analogiques en provenance du groupe turboréacteur :

- Régime N1 réel (actual N1)
- Débit carburant : le transmetteur de position doseur renseigne le PMC sur la valeur du débit instantané de carburant (ΔP doseur constante).
- T12
- Pression P0C : un transmetteur donne la pression ambiante prise à l'extérieur du boîtier PMC.

Remarque :

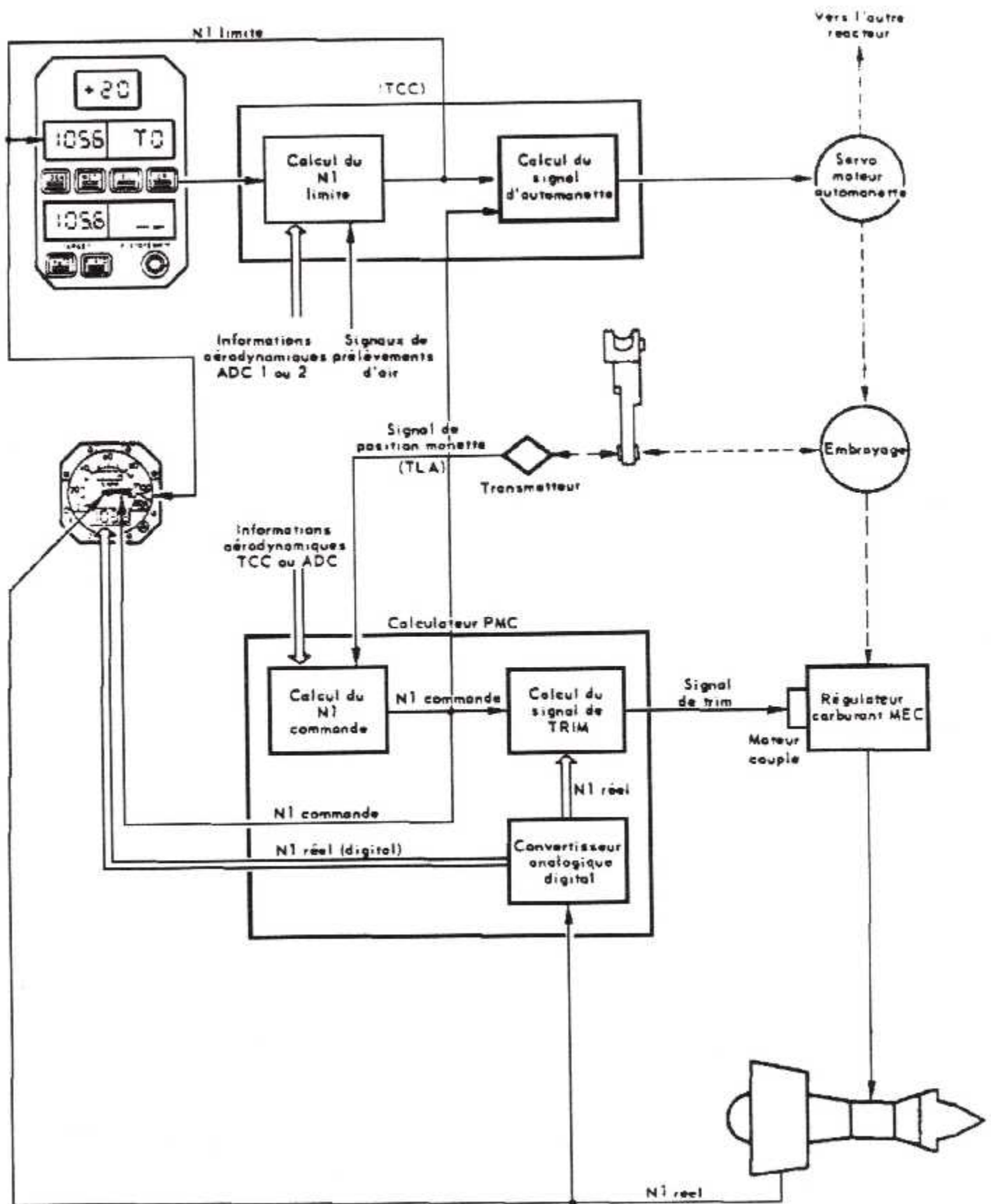
En cas de défection du signal de Mach, le PMC calcule ce paramètre à partir d'autres signaux PT et PS, ce qui lui permet de rester opérationnel et de minimiser les effets de cette panne.

3-5- Mode d'action du PMC :

Le calculateur de limitation de poussée (ou de régime N(BP)), compare le signal N(BP) commandé avec le signal N'(BP) réel et élabore le signal de limitation. Il transmet ce dernier signal au moteur couple du MEC qui limite le régime N(HP) pour obtenir un N'(BP) réel égal au N(BP) commandé. Voir (Fig. III-13)

Durant les phases de transition, les aiguilles (N1 commandé= N(BP)) et (N1 réel = N'(BP)) sont décalées sur l'indicateur N1. Lorsque le régime N1 réel atteint le N1 commandé, les deux aiguilles se superposent.

FIG. III-13 SYSTEME AUTOMATIQUE DE COMMANDE DE POUSSEE (PMC AUTOMANETTE)



3-6- Fonctionnement normal du PMC :

Voir (Fig.III-14).

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 à poussée réduite

Le signal de sélection de mode est transmis au calculateur de commande de la poussée (TCC thrust control computer) (Fig. III-13). Ce calculateur de commande fait partie des systèmes automatiques de vol. Le TCC comportant deux calculateurs étant :

- a- Le calculateur de "N1 limit" qui tient compte de la position des vannes de prélèvement d'air.
- b- Le calculateur auto manette qui détermine la position de la manette de poussée.

Remarque :

C'est le TCC qui transmet la valeur du régime "N1 limit", d'une part, et à l'écran "THR limit" (poussée maximale permise) du TRP(thrust rating panel) pour l'affichage d'autre part, à l'indicateur N1, pour positionnement de l'index triangulaire de "N1 limit".

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(exhaust gas temperature) et éviter les surchauffes.

Le signal "N1 commandé" est transmis (Fig. III-15)

- 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.

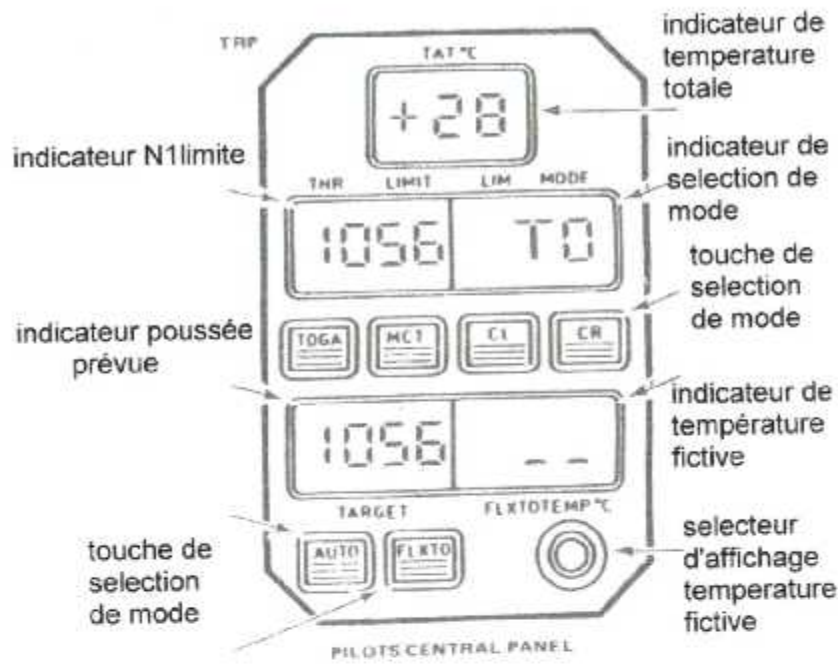


Fig. III-14 Ecran de sélection de mode

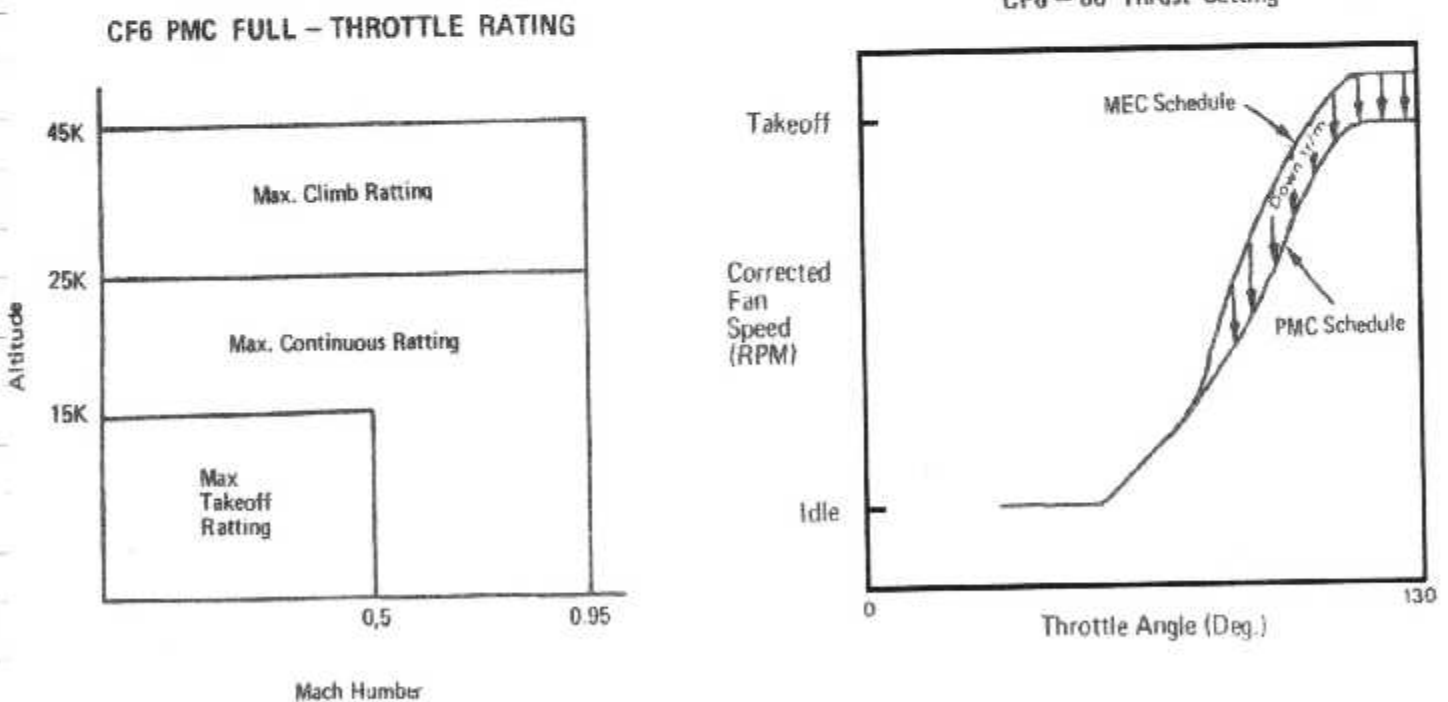


Fig. III-15 Evolution du niveau de poussée

4- SYNOPTIQUE GENERAL:

Dans ce schéma nous allons rassembler les deux régulateurs PMC et MEC.

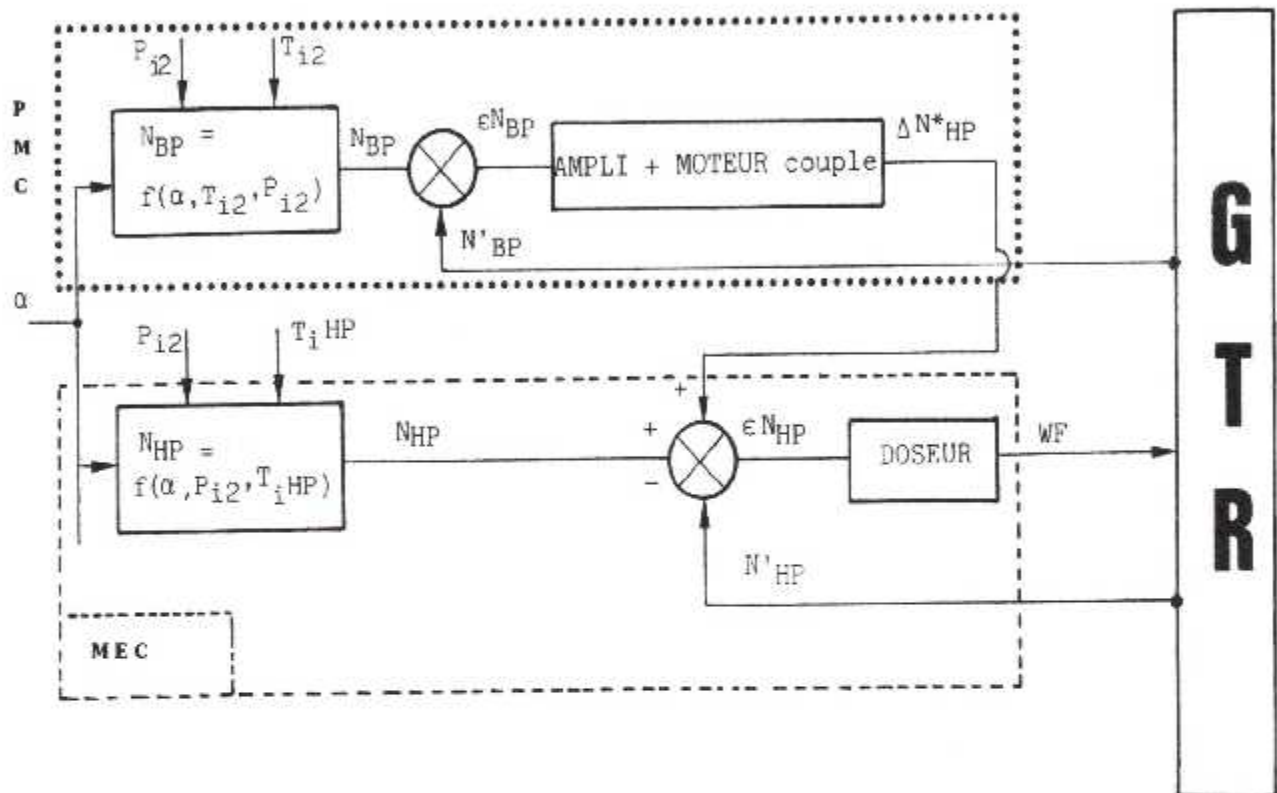


Fig. III-16 Synoptique général

On peut encore simplifié le schéma synoptique :

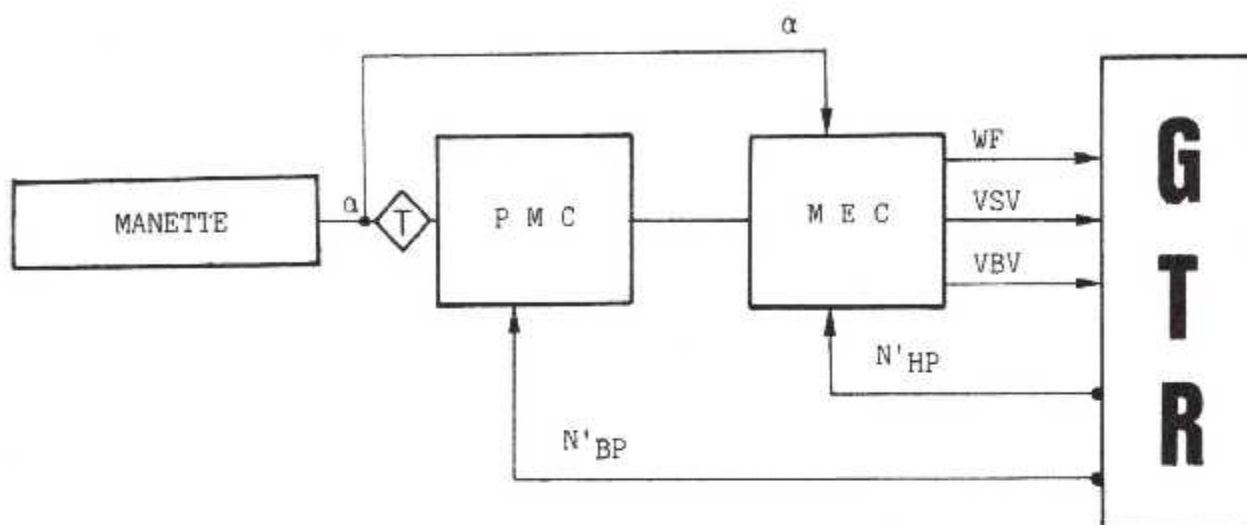


Fig. III-17 Synoptique général

5-FONCTION AUTO-MANETTE:

Les pilotes automatiques ont connu ces dernières années des évolutions considérables sur les avions civils. L'équipage dispose maintenant de plusieurs modes d'utilisation dont l'auto-manette. Le schéma synoptique suivant représente le système de régulation incluant le mode d'auto-manette.

Dans ce cas le calculateur d'auto-manette élabore une nouvelle consigne $N^{\circ}(BP)$; L'écart entre $N(BP)$ fourni par le PMC (ou $N^{\circ}(BP)$ en cas de panne du PMC) commande un servomoteur agissant sur la manette de façon à obtenir la poussée désirée correspondant à celle du mode sélectionné.

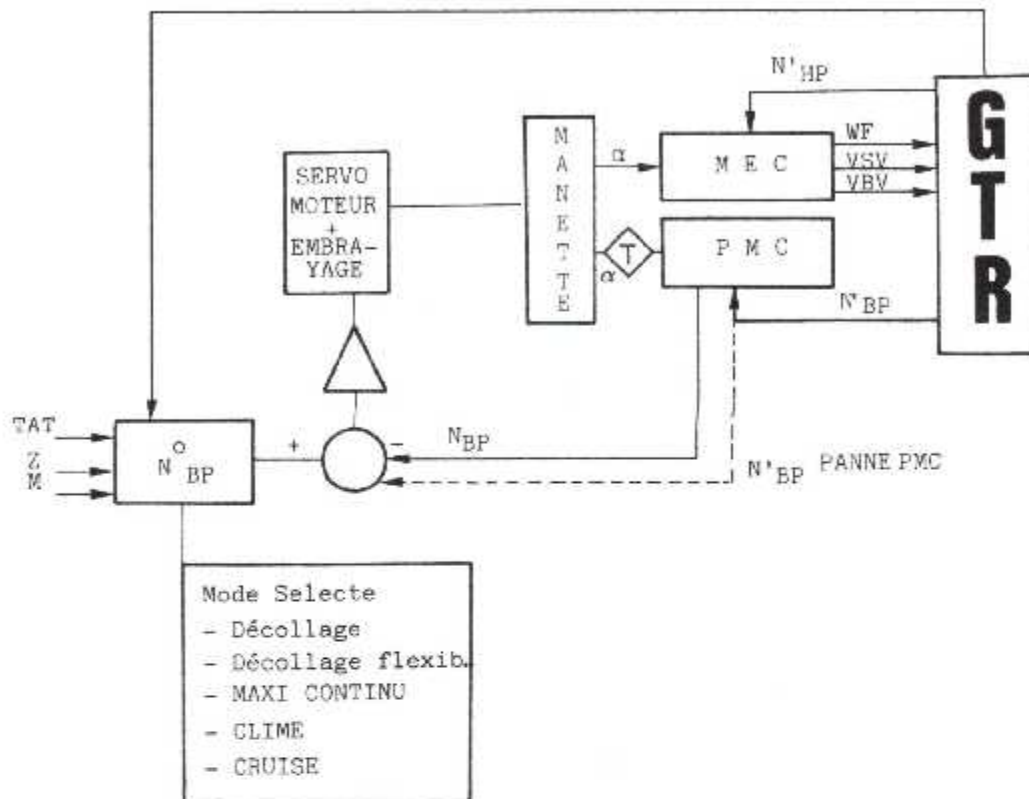


Fig. III-18 Fonction auto-manette

Avec :

$N^{\circ}(BP)$: régime de consigne élaboré par le calculateur d'auto-manette

6- COMMANDES ET CONTROLES DE LA POUSSEE:

Ce système comprend :

- l'ensemble de régulation carburant (MEC + PMC)
- le calculateur de poussée TCC (thrust control computer) et son boîtier d'affichage

$N1$ limite (thrust rating panel):

Le calculateur de poussée (TCC) procède au calcul du $N1$ limite et le calcul du signal d'auto-manette si celle la est incluse.

6-1- Fonctionnement du MEC + PMC :

Le PMC calcule le signal N1 commande, corrigé des informations aérodynamiques (T2, P0C -pression compartiment fan-, Mach), correspondant à la position manette TLA (throttle lever angle) transmise par synchro avec les informations aérodynamiques et compare ce signal avec le N1 réel. Afin de rendre le N1 réel égal au N1 commande, il fait le calcul du signal de trim (ou de réglage) à appliquer au moteur couple du MEC qui ajustera le N2 en conséquence.

Nous faisons remarquer que les informations aérodynamiques proviennent du TCC (thrust control computer), si celui la ne fonctionne pas, l'ADC (air data computer) prendra le relaie l'ADC 1 et l'ADC 2 respectivement pour les moteurs 1 et 2, en cas de défaillance de ce dernier, des capteurs propres au PMC assureront cette tâche.

6-2- Loi de calcul du PMC :

Ces lois sont telles que la courbe de N1 qui est fonction de l'angle manette TLA (Throttle lever angle) est située en dessous de la courbe N1 qui est fonction de l'angle manette PLA (power lever angle).

Lorsque le PMC envoie un signal de trim (ou de réglage) au moteur couple, celui-ci diminuera le débit carburant (down trim). (fig. III-19)

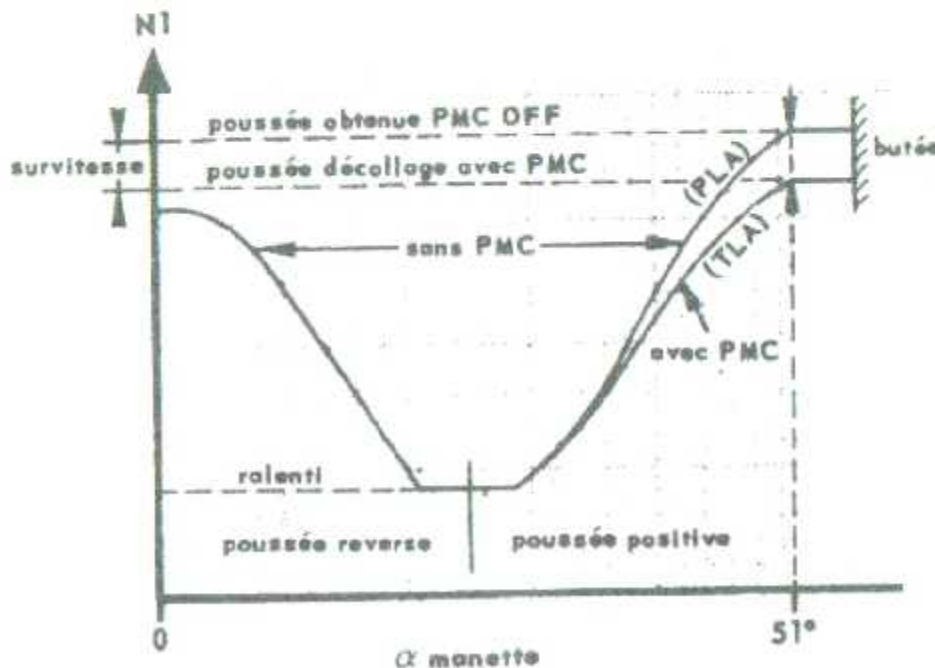
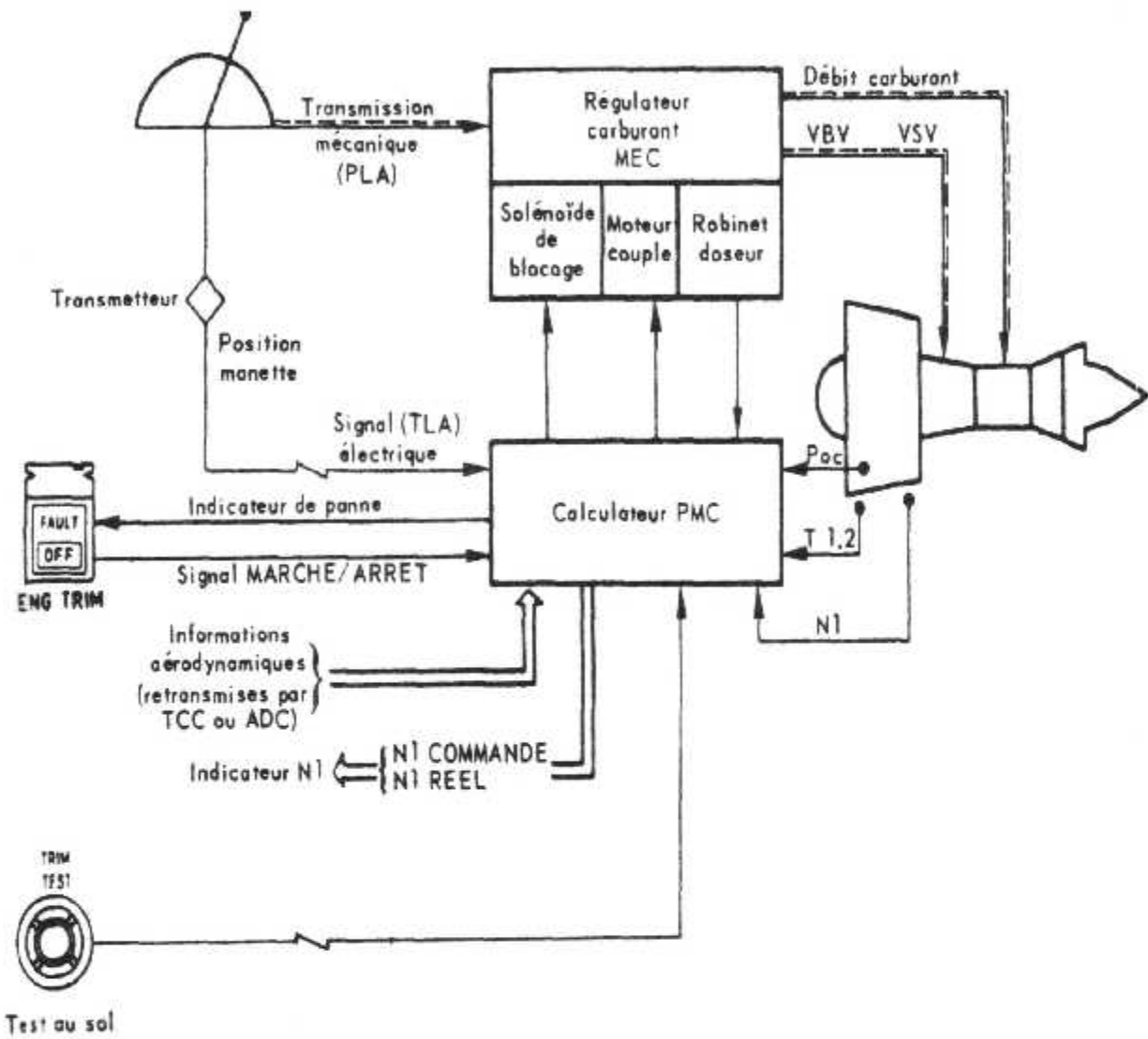


Fig. III-19 Loi de calcul du PMC

Fig. III-20 Commande et contrôle de poussée avec PMC et sans auto-manette



LEGENDE

- Signal analogique
- ⇒ Signal digital
- Transmission mécanique ou hydromécanique

6-3- Commande et contrôle de la poussée avec PMC et sans auto-manette :

La (Fig. III-20) illustre ces fonctions.

6-4- Système automatique de commande de poussée (PMC + AUTOMANETTE) :

La planche (Fig. III-21) illustre ces fonctions.

7- ANOMALIES DE FONCTIONNEMENT DU PMC :

Le PMC arrive à détecter jusqu'à 80 % des pannes de fonctionnement du système de limitation de poussée réacteur. Dans ce cas, le PMC émet un signal de blocage du signal de limitation (FAIL FIXED) qui entraîne :

- l'alimentation du solénoïde de blocage du signal de limitation sur le MEC bloquant le moteur couple dans sa position (FAIL FIXED), alors le débit carburant sera commandé par le MEC uniquement.
- l'activation des alarmes :
 - " eng trim fault " et " engine " s'allument
 - gong monocoup

A 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.

8- TEST DU PMC :

Voir PALNCHES : CF6-80A et CF6-80A1

Le PMC peut être testé au sol, réacteur à l'arrêt. Lors du test, le PMC est alimenté 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.

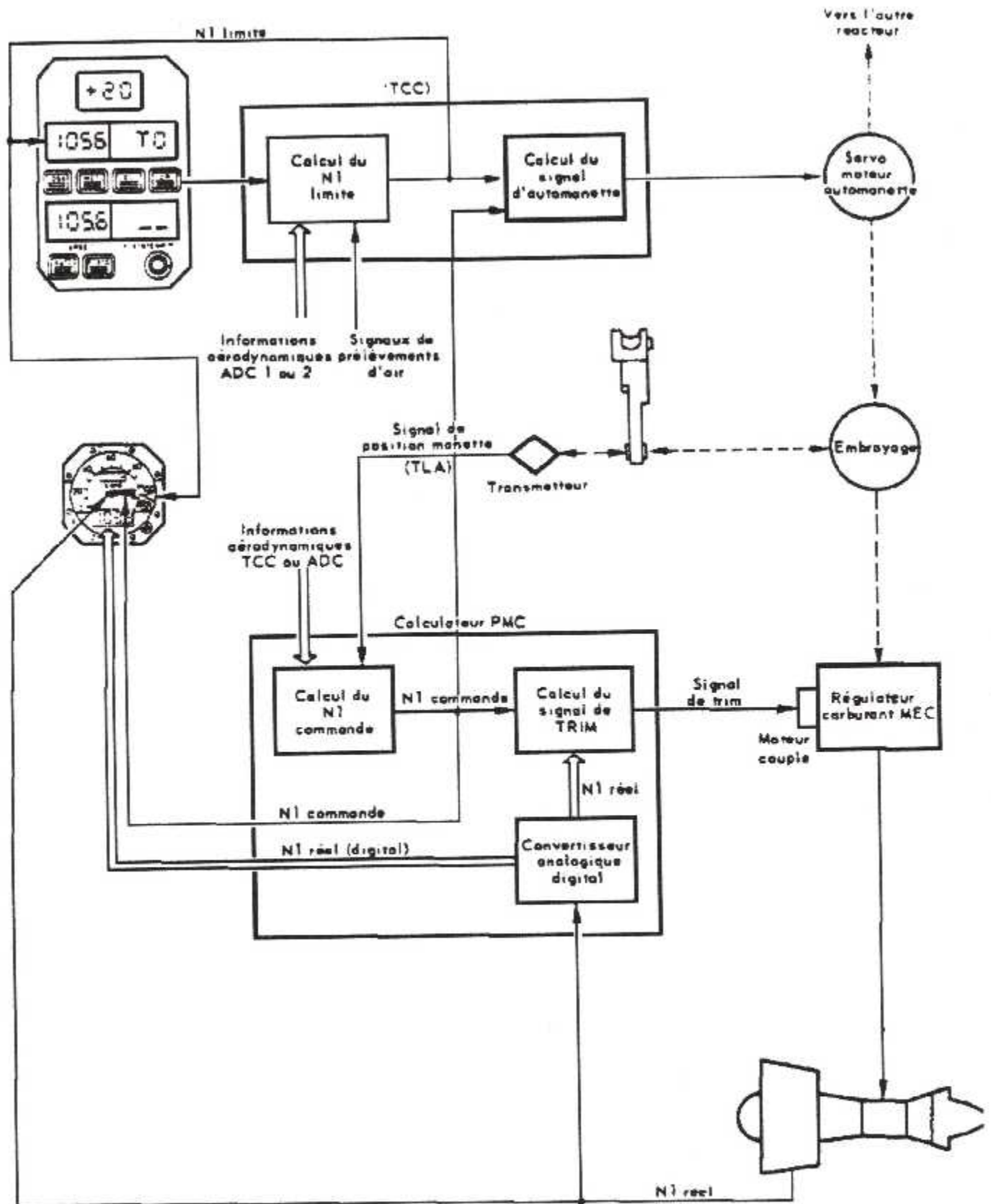


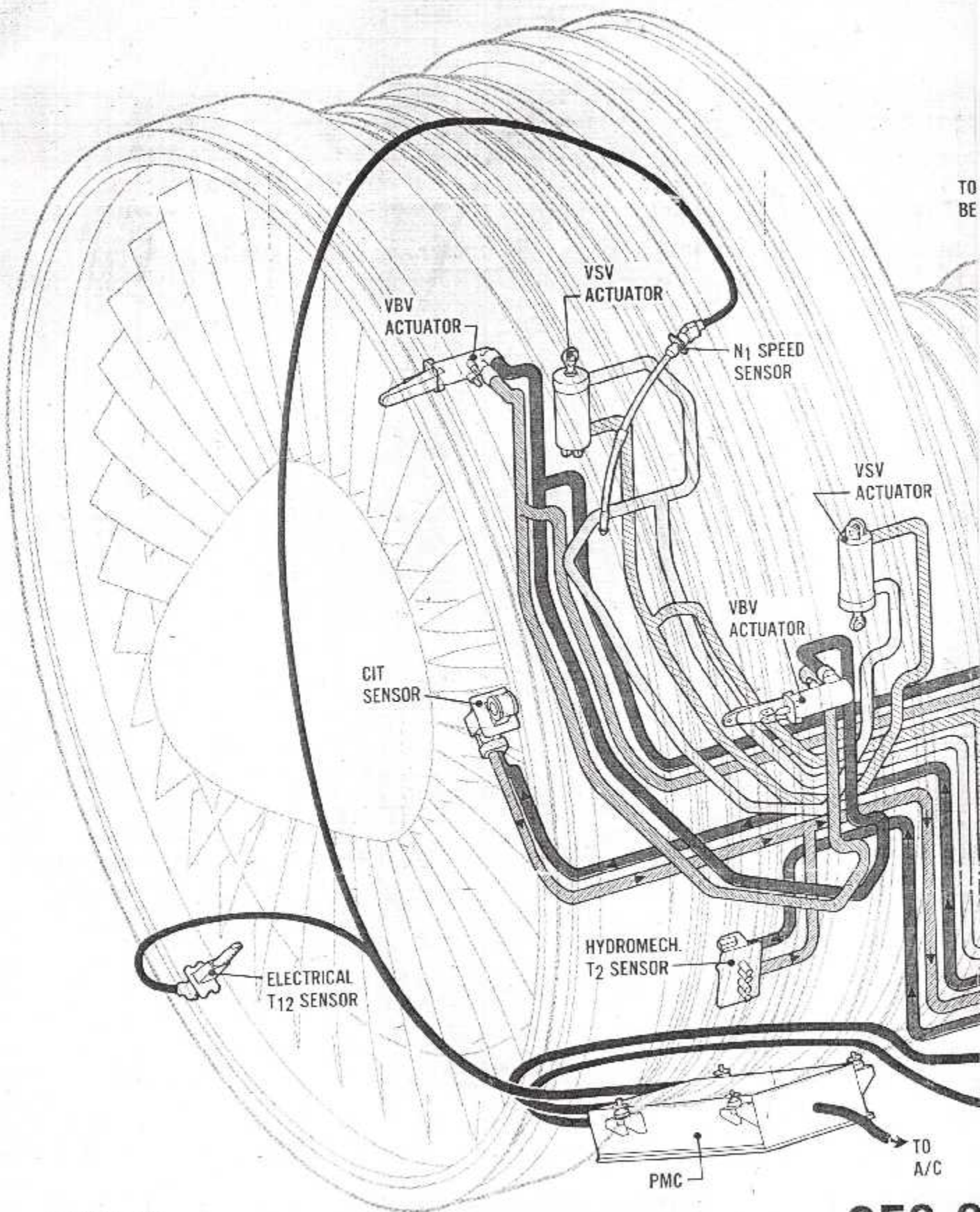
FIG. III-21 Système automatique de commande de poussée (PMC+ auto-manette)

Le test doit être effectué TCC (thrust control computer) et ADC (air data computer) sur " ON " . Autrement, le PMC recevra l'information TAT (total air temperature) de la sonde T12 (illustré dans les PALNCHES : CF6-80A et CF6-80A1). Mais cette information peut être faussée par une exposition au soleil ou moteur encore chaud.

Manette de poussée sur ralenti, bouton poussoir " ENG TRIM" sur OFF, légende " OFF " allumée, bouton poussoir " TRIM TEST " enfoncé, légende " FAULT " allumée sur ENG TRIM pendant 2 secondes puis s'éteint.

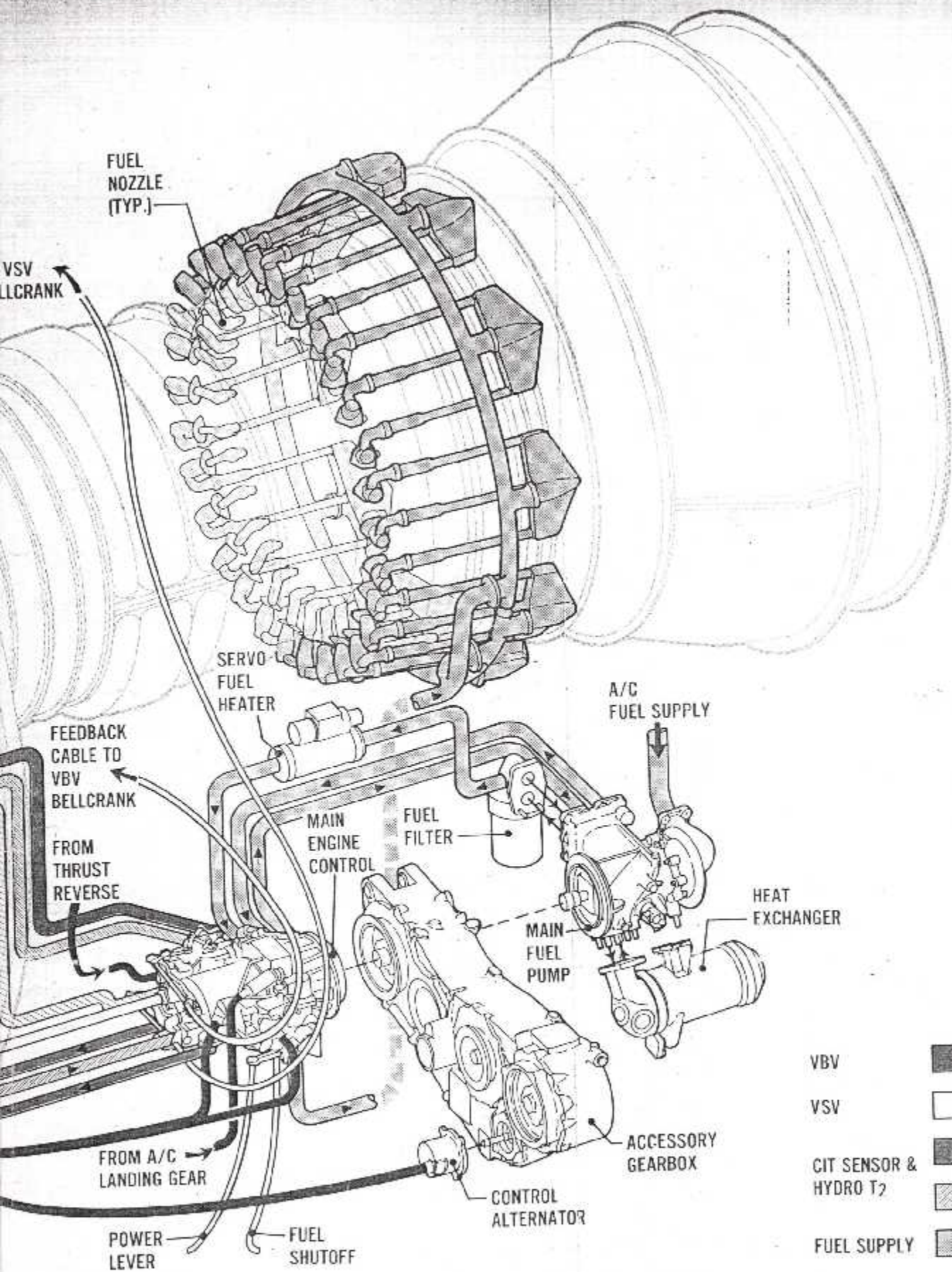
Les deux aiguilles N1 commande et N1 actuel se déplacent jusqu'à 54 % de N1. Les deux aiguilles de N1 se déplacent en déplaçant les manettes de poussée.

En effectuant ce test, 90 % des défauts du système peuvent être détectés. Ce test est inhibé lorsque le moteur est en fonctionnement.

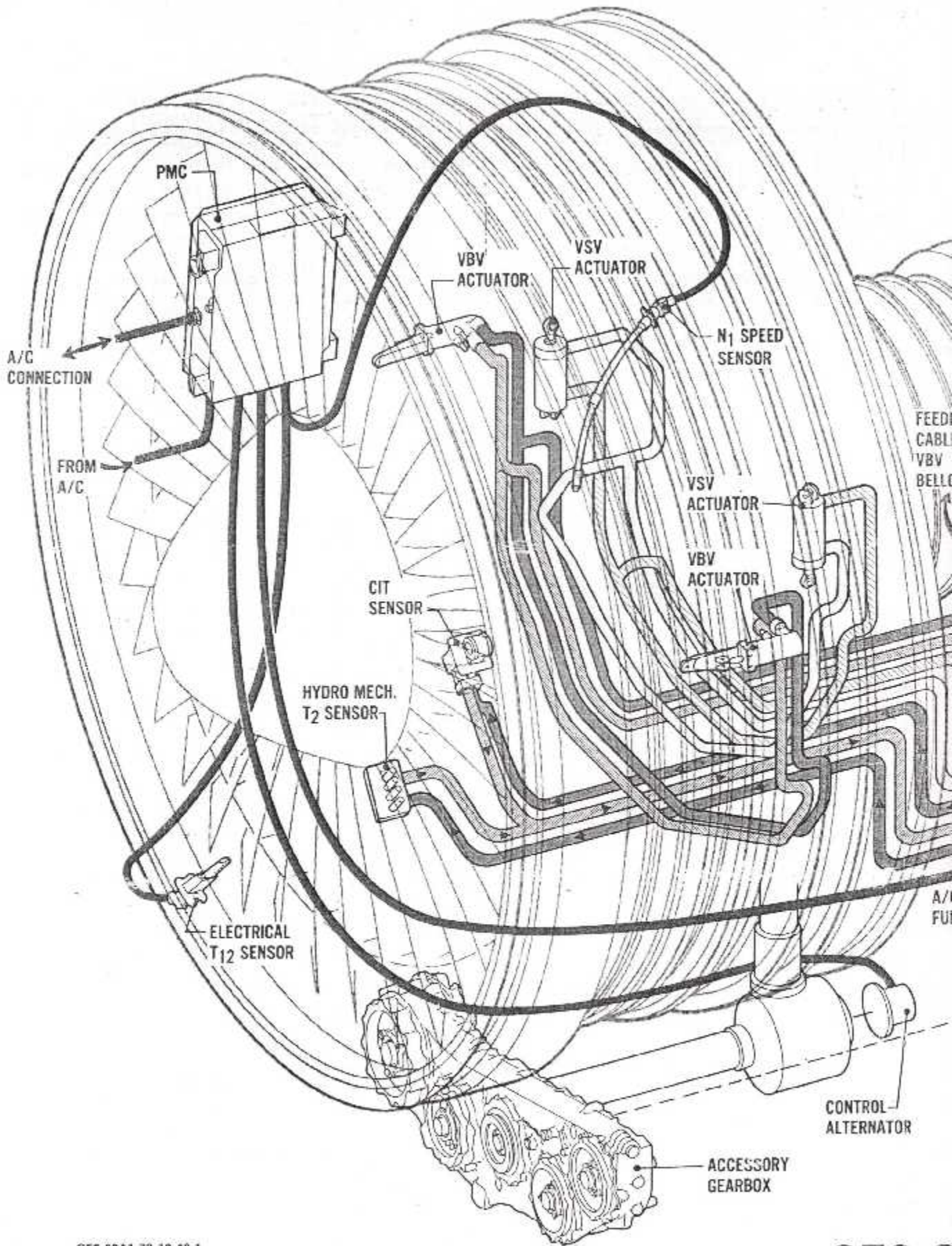


CF6-80A-73-10-26-3

CF6-8

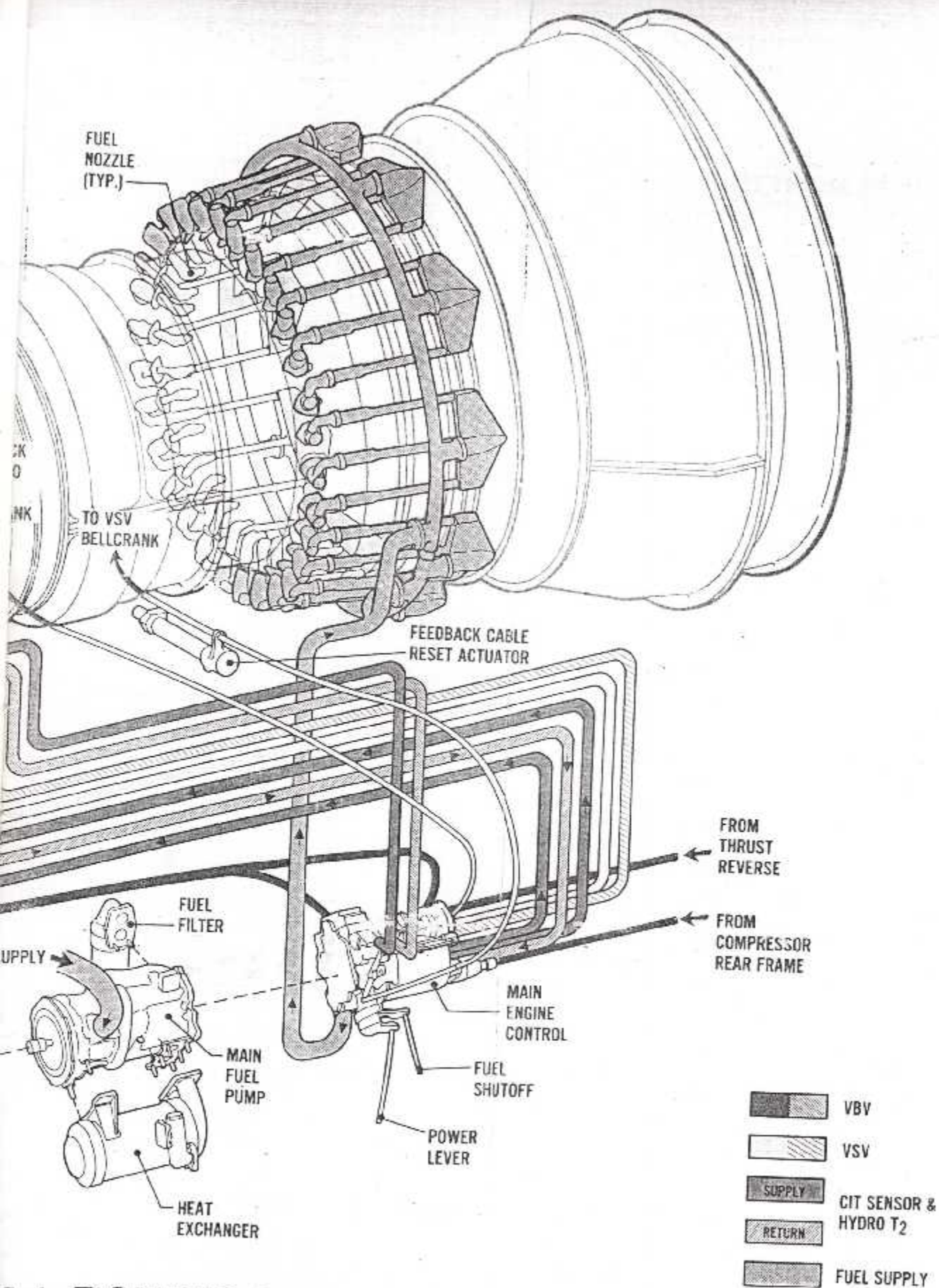


OA POWER MANAGEMENT SYSTEM



CF6-80A1-73-10-48-1

CF6-8



A1 POWER MANAGEMENT SYSTEM

CHAPITRE IV
REGULATEUR ELECTRONIQUE
A PLEINE AUTORITE
FADEC

1- DESCRIPTION :

L'acronyme FADEC (Full Authority Digital Electronic Control) décrit un système électronique et numérique avec microprocesseur dans le but de contrôler et de gérer le moteur, ayant aussi un appareil de détection de pannes moteur. Chaque moteur a son propre système c'est-à-dire qu'il y a autant de système FADEC qu'il y en a de moteur.

Ce système permet de calculer la quantité de carburant à envoyer aux injecteurs en fonction de :

- ✓ la position de la manette des gaz (Throttle Lever Angle)
- ✓ la température des gaz d'échappement (Exhaust Gas Temperature)
- ✓ la pression du compresseur

2-FONCTIONS ASSUREES PAR CE SYSTEME :

Le FADEC assure les fonctions suivantes :

- ✓ Dosage carburant par le FMV (Fuel Metering Valve)
- ✓ Contrôle de la valve de sélection d'injecteurs BSV (Burner staging valve) pour la chambre de combustion simple (Simple Anular Combustor), ou bien Burner selection valve pour la chambre de combustion double (Double Anular Combustor)
- X ✓ Contrôle de la valve de retour carburant FRV (Fuel Return Valve)
- ✓ Contrôle de la vanne de décharge VBV (Variable Bleed Valve)
- ✓ Contrôle des stators à calage variable VSV (Variable Stator Vane)
- X ✓ Contrôle de la valve de décharge transitoire TBV
- ✓ Contrôle actif du jeu turbine haute pression HPTACC
- ✓ Contrôle actif du jeu turbine basse pression LPTACC
- ✓ Mise en marche automatique du moteur
- ✓ Indication moteur
- ✓ Contrôle de la poussée inverse
- ✓ Transmettre et recevoir chacun des données de maintenance et les données de surveillance des paramètres moteurs.

Voir (Fig. IV-1) et (Fig. IV-2)

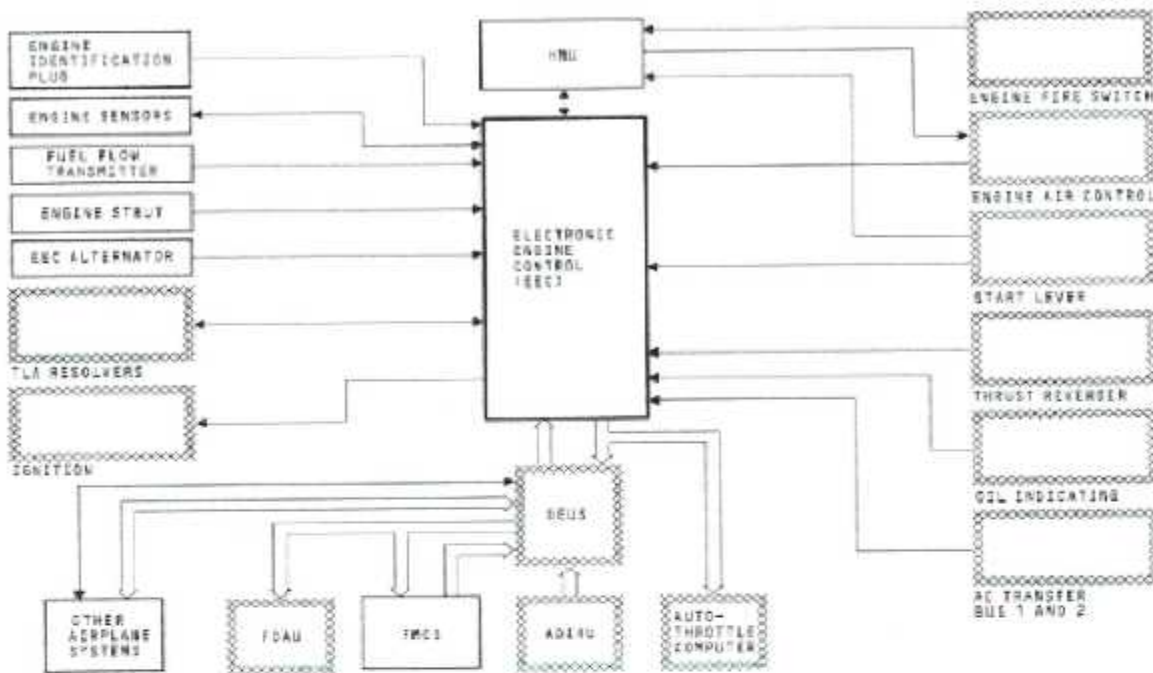


Fig. IV-1 Contrôle réacteur interface

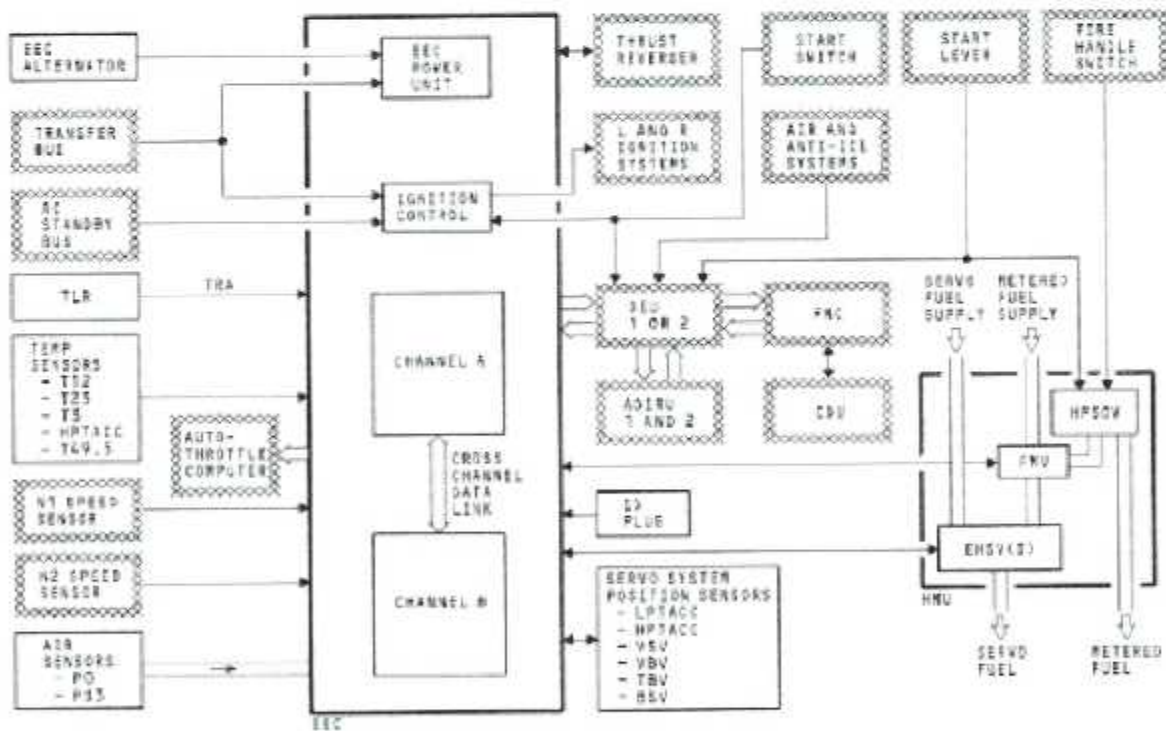


Fig. IV-2 Fonctionnement du système de contrôle

3-COMPOSANTS DU SYSTEME FADEC :

Le système FADEC est composé de :

3-1-L'unité de contrôle électronique (EEC) :

Le EEC est un calculateur numérique. Il comprend deux canaux A et B qui reçoivent les informations et effectuent les calculs. Chaque canal est autonome quand l'un est actif l'autre est en attente ils travaillent en alternance, le canal actif est changé à chaque démarrage du moteur. Le logiciel de cette unité assure la distribution des tâches en temps réel et la synchronisation entre les deux canaux du EEC et fait la sélection du canal en contrôle (actif), et en cas de panne du canal actif du EEC il change le canal qui est en attente en canal actif.

Le EEC a trois microprocesseurs, un pour les fonctions principales de commande, contrôle et surveillance, un pour les fonctions d'interfaces avec les capteurs de pression et le dernier pour la gestion des échanges de signaux entre l'avion et le EEC, et cela est fait par des signaux discrets câblés et par liaison analogique transmettant des séries de mots de 32 bits.

3-1-1- Fonctions assurées par le EEC :

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

- Contrôle du circuit de démarrage
- Contrôle du circuit reverse
- Détection des pannes
- Indication des pannes
- Le système de teste incorporé à l'équipement (Built In Test Equipment)
- Préserver les paramètres moteurs dans les limites d'utilisation
- Refroidissement des carters turbine (haute ou basse pression)
- Contrôle de poussée moteur
- Contrôle du débit d'air

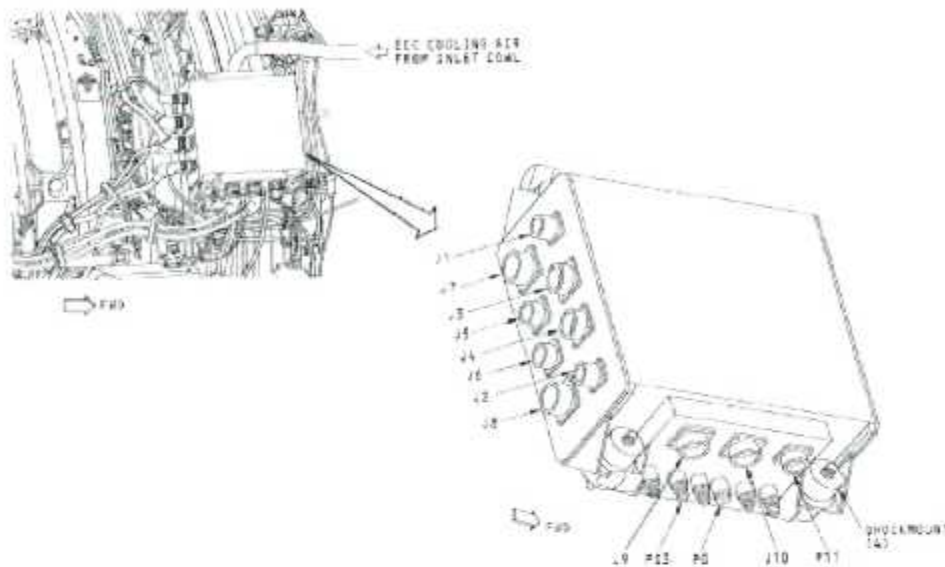


Fig. IV-3 Vue extérieur EEC

3-1-2- Paramètres moteur utilisés par le EEC :

Le EEC utilise des données d'entrée de divers capteurs moteur pour calculer la quantité de carburant nécessaire et les sorties de régulation pour les opérations du moteur.

Voici les capteurs moteurs :

- ✓ T12 (la température totale d'admission)
- ✓ PT25 (température d'admission au compresseur haute pression)
- ✓ T3 (la température de décharge du compresseur haute pression)
- ✓ Capteur de HPTACC
- ✓ T49.5 (la température du bec du deuxième étage de turbine basse pression)
- ✓ P0 (pression statique d'admission)
- ✓ PS3 (pression de décharge de compresseur haute pression).

3-1-3- Données de commande numérique :

Les unités électroniques d'affichage (DEU) envoient et reçoivent les données de commande numérique d'avion du système carburant et de régulation à travers les bus de données ARINC 429.

L'ADIRU envoie la pression atmosphérique totale et les données de la température au EEC.

Le EEC emploie ces données pour réguler la poussée du moteur.

Le FMC contrôle le CDU. Il reçoit et envoie les commandes de CDU à partir et vers le EEC à travers les DEU. IL fournit également quelques données d'avion au EEC par le DEU.

Le CDU montre des données d'entretien du EEC et envoie des commandes du EEC pour faire les essais du système BITE.

Le FDAU rassemble les données moteur .Il envoie ces données à l'appareil d'enregistrement en vol sur bande magnétique (FDR).

D'autres systèmes d'avion également obtiennent et fournissent des données à partir et vers les DEU. Quelques une de ces données vont au EEC.

a) C'est les données d'entrée numériques que les DEU envoient au EEC :

- Température totale de l'air
- Pression statique corrigée
- Pression totale
- Nombre de mach calculé
- Temps moyen de Greenwich
- Date d'horloge
- Cible NI
- Numéro de vol
- Données des essais BITE
- Position du train d'atterrissage
- Position de la valve de démarrage
- Statut de course moteur de l'autre moteur
- Statut des données bus
- Position du commutateur de démarrage
- Position du levier de démarrage
- Position du commutateur d'allumage
- Position du commutateur du mode de contrôle Air/sol

- Position d'aïlerson
- Position du commutateur de soutirage du moteur
- Position du commutateur du pack d'ACS
- Position du commutateur thermique d'antigivre de capot
- Position du commutateur d'antigivre d'aile
- Position de la valve d'isolement.

b) C'est les données numériques que le EEC envoie au DEU :

- Données des essais BITE
- Mode de démarrage moteur
- Statut de démarrage moteur
- Statut du circuit d'allumage
- Statut courant du moteur
- Position du commutateur de mode de contrôle
- Ralenti minimum
- Ralenti choisi
- Données de vitesse N1
- Données de vitesse N2
- Statut du régulateur de survitesse
- Coupe-circuit du démarreur du moteur
- Données de température des gaz d'échappement (EGT)
- Données de flux carburant
- Statut du filtre carburant
- Données de pression et température d'huile
- Statut du filtre d'huile
- Morceaux détectés dans l'huile
- Données d'angle du séparateur de poussée (TRA)
- Statut d'inverseur de poussée
- Statut de couplage d'inverseur de poussée
- Poussée moteur

- Valeurs des capteurs du moteur
- Version du logiciel du EEC
- Numéro de série du moteur
- Position des vérins du moteur
- Rapport carburant-air dans la chambre de combustion
- Canal du EEC qui est en contrôle
- Position du levier de démarrage
- statut de sélection de l'Avion au sol
- Fonctionnement de moteur
- Estimation de poussée de moteur et modèle d'avion incompatible
- Modèle d'avion
- Estimation du moteur (engine rating)
- Options de moteur
- Statut d'alternateur du EEC
- Position du moteur
- Charge de soutirage du moteur
- Statut de données aériennes de l'ADIRU
- Défaut interne du EEC.

3-1-4- Données analogues de contrôle

L'avion envoie et reçoit les données analogues de contrôle. Voici les données analogiques que la EEC reçoit :

- ✓ Angle du séparateur de levier de poussée (TRA)
- ✓ Position d'inverseur de poussée
- ✓ Position du moteur
- ✓ Modèle d'avion
- ✓ Position des vérins du moteur
- ✓ Données du commutateur de mode de contrôle
- ✓ Vitesse N1

Voici les données analogiques que le moteur envoie aux autres systèmes d'avion :

- ✓ Vitesse N2
- ✓ Quantité d'huile
- ✓ Commande de position de la HPSOV
- ✓ Commande du solénoïde de couplage d'inverseur de poussée.

3-1-5- Alimentation électrique du EEC :

Le EEC est alimentée en 28 VDC à partir du réseau avion quand le moteur est à l'arrêt ou bien quand sa vitesse est encore faible (au démarrage) pour $N2 < 12\%$, et par son propre alternateur triphasé dès que la vitesse de rotation (N2) arrive à une certaine valeur bien déterminée

$N2 > 15\%$ (ces valeurs sont données pour le CFM56-7B).

Son alimentation est de 115 VAC lors de la sélection du boîtier d'allumage.

3-1-6- Différents systèmes moteur et systèmes avion reliés au EEC :

Le EEC est reliée à se qui suit :

- ✓ Prise d'identification (Identification Plug)
- ✓ Unité hydromécanique (Hydro Mechanical Unit)
- ✓ Système de contrôle d'air du moteur
- ✓ Capteurs moteurs
- ✓ Alternateur du EEC
- ✓ Commande du carburant
- ✓ Système de visualisation commune
- ✓ Circuit d'allumage
- ✓ L'unité d'affichage électronique (Display Electronics Unit)
- ✓ L'automanette (A/T)
- ✓ Ordinateur de gestion de vol (Flight Manager Computer) et la boîte de contrôle et d'affichage (Control Display Unit)
- ✓ Indications moteur et carburant
- ✓ Commande d'arrêt et levier de démarrage

- ✓ Unité de référence à inertie de données aériennes 1 et 2 (Air Data Inertial Référence Unit)
- ✓ Unité d'acquisition de données de vol (FDAU)
- ✓ Interrupteur de feu moteur
- ✓ Séparateurs de poussée
- ✓ Inverseurs de poussée (Thrust /Reverser)
- ✓ Bus 1 et 2 de transfert de courant alternatif.

3-1-7 Commande De Poussée Du Moteur

Le EEC calcule la vitesse N1 commandée basée sur la position des leviers de poussée, et des états de pression ambiante et de température.

Quand le levier de poussée est déplacé vers l'avant, la vitesse N1 commandée est supérieure à la vitesse N1 réel. Le EEC commande les servo-systèmes du moteur à accélérer le moteur à la vitesse N1 commandée.

Quand le levier de poussée est écarté, la vitesse N1 commandée est inférieure à la vitesse N1 réelle. Le EEC commande encore le servo-système du moteur pour ralentir le moteur à la vitesse N1 commandée.

Le EEC ajuste la valeur N1 commandée à la quantité d'air relevé des prises d'air de l'avion et du moteur. Si la demande de l'air de purge augmente, il y aura des diminutions de la vitesse N1 pour compenser la charge additionnelle. Ceci maintient la section chaude du moteur dans les limites de l'estimation courante de poussée du moteur. Le EEC obtient ces données de purge d'avion de configuration du DEU

3-1-8 Opération

Le levier de démarrage fournit un signal de position au EEC. Le EEC emploie ce signal pour commander L'allumage du moteur.

Lorsque le levier de démarrage est en position de ralenti, le EEC commande le FMV dans l'élément hydro-mécanique (HMU) pour obtenir la puissance de ralenti du moteur.

L'écoulement du carburant à travers le FMV cause l'ouverture du robinet d'isolement haute pression (HPSOV) dans le HMU. Le carburant dosé va aux injecteurs de carburant

Pendant la durée au sol, le EEC commande la vitesse de ralenti du moteur basée sur la puissance électrique, le dispositif de soutirage d'air (Température extérieur de l'air et Une demande prise d'air), et sur les conditions d'écoulement minimum du carburant.

Pendant le vol, le EEC a deux modes de ralenti, le ralenti de vol et le ralenti d'approche. Ces modes de ralenti sont placés en fonction du temps (climat), le système d'antigivre, et les conditions de tour (Go-around).

Le EEC actionne le FMV pour contrôler l'accélération du compresseur et la EGT pendant le démarrage. Le EEC actionne également le FMV pour commander la vitesse du moteur pour la poussée en avant et la poussée d'inversion.

Lorsque le levier de démarrage est mis dans la position de coupure, il active le Solénoïde de HPSOV dans le HMU. Ce solénoïde fait que la pression du servo-carburant dans le HMU cause la fermeture du HPSOV. Le levier de démarrage envoi également un signal qui indique au EEC que le moteur est en mode d'arrêt.

3-1-9 Validation et traitement du signal d'entrée EEC

Le EEC obtient les signaux analogues et numériques du moteur et d'autres systèmes d'avion. Certains de ces signaux ont plus qu'une source pour les mêmes données. Ceci améliore la fiabilité du moteur.

Si un point d'émission de données est inopérant le EEC peut employer d'autres points d'émission de données. Si le EEC constate que tous les points d'émission de données sont valides, il emploie les meilleures données pour commander le moteur.

Un exemple de signal T49.5 qui s'appelle également la température de gaz d'échappement (EGT).

Chaque canal du EEC obtient deux signaux de EGT. Si chacun des quatre signaux est valide, le EEC emploie la température moyenne comme EGT choisi.

Si un des signaux est hors de gamme, la moyenne des autres trois EGTs est employée pour commander le moteur.

Si toutes les sources de paramètre donné sont inadmissibles, le EEC emploie une valeur par défaut pour faire fonctionner le moteur sans risque.

Si le EEC constate qu'un signal est inadmissible, il enregistrera un message dans la mémoire de MORSURE.

3-2-UNITE HYDROMECHANIQUE HMU :

Le régulateur hydromécanique est un composant du système de régulation de carburant. Il se compose d'un radiateur carburant-huile et d'une soupape de dérivation, de la pompe carburant et d'un filtre ainsi que du dispositif de dosage de carburant.

L'élément hydromécanique (HMU) est commandé par le FADEC. Il assure les fonctions suivantes:

- La régulation du débit carburant vers la chambre de combustion,
- La régulation des pressions d'asservissement vers les vérins,
- La protection survitesse.

Le HMU reçoit les commandes électriques du EEC. Il les convertit grâce à des moteurs couple et à des servo-vannes, en ordre hydraulique pour le contrôle du carburant moteur, il reçoit également des commandes du levier de démarrage de l'avion et de la poignée du commutateur de feu pour contrôler le HPSOV.

Le HMU envoie des données de position de FMV et de HPSOV au EEC

3-2-1-Descriptions et définitions des acronymes :

HPTACC (HIGH PRESSURE TURBINE ACTIVE CLEARANCE CONTROL) :

Le système HPTACC est commandé par le FADEC à travers le HMU. Il régule le jeu de la turbine HP en modulant le débit d'air prélevé du (4^{ème} et 9^{ème} étage) compresseur HP pour le refroidissement du carter de turbine HP.

Il assure l'optimisation de la performance de la turbine HP et réduit l'EGT.

LPTACC (LOW PRESSURE TURBINE ACTIVE CLEARANCE CONTROL) :

Le système LPTACC est commandé par le FADEC à travers le HMU. Il régule le jeu de la turbine BP en modulant le débit d'air prélevé du fan pour le refroidissement du carter de turbine BP.

VSV (VARIABLE STATOR VALVES) :

Le système VSV positionne les aubages à calage variable du compresseur (HP).

Le FADEC assure une efficacité optimum du compresseur à un régime constant et une marge de pompage pour un changement de régime du réacteur. Pendant le démarrage, les VSV sont complètement fermées ; elles sont complètement ouvertes aux fortes poussées.

VBV (VARIABLE BLEED VALVES) :

Les vannes de décharge VBV sont situées en amont du compresseur HP et commandées par le FADEC en fonction de la température d'entrée compresseur et du N2.

Le positionnement des VBV va de l'ouverture complète (démarrage, bas régimes et pendant une décélération rapide) à la fermeture complète aux régimes élevés.

BSV (BURNER STAGING VALVE) :

La vanne de sélection d'injecteurs BSV est commandée par le FADEC, et sélectionne l'alimentation en carburant d'un nombre variable d'injecteurs (10-20). La BSV est fermée pendant la décélération du réacteur et à bas régime ralenti. En cas de panne du système de commande, un système de sécurité interne assure l'alimentation de tous les injecteurs.

FMV (FUEL METERING VALVE) :

Le Galet doseur carburant est une vanne à commande hydraulique. Elle assure le calibrage du débit carburant vers les injecteurs. Cette vanne permet la sélection et la régulation du régime N2. Elle est commandée par le EEC.

En réglant la chute de pression par le galet doseur, le débit de dosage carburant est proportionnel à l'angle d'ouverture du FMV.

TBV (TRANSIENT BLEED VALVE) :

La vanne de décharge transitoire est un dispositif de vanne qui contrôle la quantité d'air qui sera soutirée du 9^{ème} étage pour être renvoyée au distributeur (aube stator) du 1^{ier} étage turbine basse pression.

Pendant le démarrage, la TBV sera en position ouverte pour permettre à l'air sous pression du 9^{ème} étage de passer au distributeur du 1^{ier} étage turbine basse pression BP, Ceci pour éviter le décrochage de l'écoulement dans le compartiment haute pression HP. D'autre part la TBV s'ouvre aussi pour aider à l'accélération rapide du rotor N2.

3-2-2 RACORDEMENTS :

Le HMU possède des raccordements électriques et de carburant. Ceux-ci le relient au EEC, aux systèmes de commande d'avion, et aux servo-systèmes du moteur. Ces raccordements sont nécessaires pour une exploitation correcte du moteur.

a) Ceux-ci sont les raccordements électriques du HMU:

- ✓ Connecteur électrique du canal A du EEC
- ✓ Connecteur électrique du canal B du EEC
- ✓ Robinet d'isolement Solénoïde haute pression (HPSOV)
- ✓ Vanne de sélection d'injecteurs (BSV).

b) Ceux-ci sont les raccordements hydrauliques (carburant) du HMU :

- Ligne du carburant dosé (sur le dessus du HMU, non visible)
- Ligne de pression de carburant de (BSV)
- Ligne de pression de carburant de la VBV ouverte
- Ligne de pression de carburant de la VBV fermé
- Ligne de pression de carburant de TIGE du VSV (ouverte)
- Ligne de pression de carburant de tête du VSV (fermé)
- Ligne de pression de carburant de la PCR (la caisse de pression régulée)
- Ligne de pression de carburant de la valve LPTACC
- Ligne de pression de carburant de la valve HPTACC
- Ligne de pression de carburant de la vanne (TBV)
- Ligne (canalisation) de vidange extérieure.

Note :

Les lettres relevées sur le HMU identifient les différents raccordements du servo-carburant.

3-2-3-DESCRIPTION FONCTIONNELLE

La commande électronique du moteur EEC envoie des signaux de commande au Servo-système dans l'élément hydromécanique (HMU). Les Electro-hydraulique Servo-vannes (EHSVs) dans le HMU changent ces signaux à la pression de carburant hydraulique pour ces composants:

- ✓ Galet doseur carburant (FMV)
- ✓ vanne de décharge transitoire (TBV)

- ✓ valve de contrôle du jeu actif de la turbine haute pression (HPTACC)
- ✓ valve de contrôle du jeu actif de la turbine basse pression (LPTACC)
- ✓ les aubages à calage variable (VSV).
- ✓ vannes de décharge (VBV)

3-2-3-1-Electro-hydraulique servo-vanne (EHSV)

On distingue six (06) électro-hydraulique servo-vannes positionnées sur le HMU, leur rôles et de convertir les commandes électriques provenant du EEC aux signaux hydrauliques.

Les EHSV sont divisées en deux types qui sont les suivants :

- A trois voies pour les systèmes (TBV, HPTACC, LPTACC).
- A quatre voies pour les systèmes (FMV, VSV, VBV).

Chaque électro-hydraulique servo-vanne a deux étages commandés par un moteur couple.

Les deux étages de l'EHSV sont un amplificateur fluïdique du premier (1^{ier}) étage qui actionne en deuxième (2^{ème}) étage une vanne tiroir. L'amplificateur fluïdique positionne la vanne tiroir en réponse au moteur couple.

L'amplificateur fluïdique fonctionne en dirigeant une petite vapeur de carburant haute pression aux orifices qui délivrent ce carburant à l'une ou l'autre extrémité de la vanne tiroir. La position de l'injecteur de carburant est une fonction des données du moteur couple.

Quand l'EHSV est à sa position neutre, des pressions égales sont dirigées par l'injecteur de l'amplificateur fluïdique.

En fonctionnement, l'injecteur divise le carburant haute pression délivré aux extrémités de la vanne tiroir selon les commandes du moteur couple.

Lorsque le carburant haute pression est envoyé aux extrémités de la vanne tiroir, une augmentation du débit à l'une ou l'autre extrémité met en mouvement la vanne tiroir. A la position neutre, les décharges de la vanne ferme les orifices et dirigent la mise en l'air libre de la vanne, une décharge dirige le carburant haute pression au composant en fonctionnement vers la pression du corps régulé Pcb.

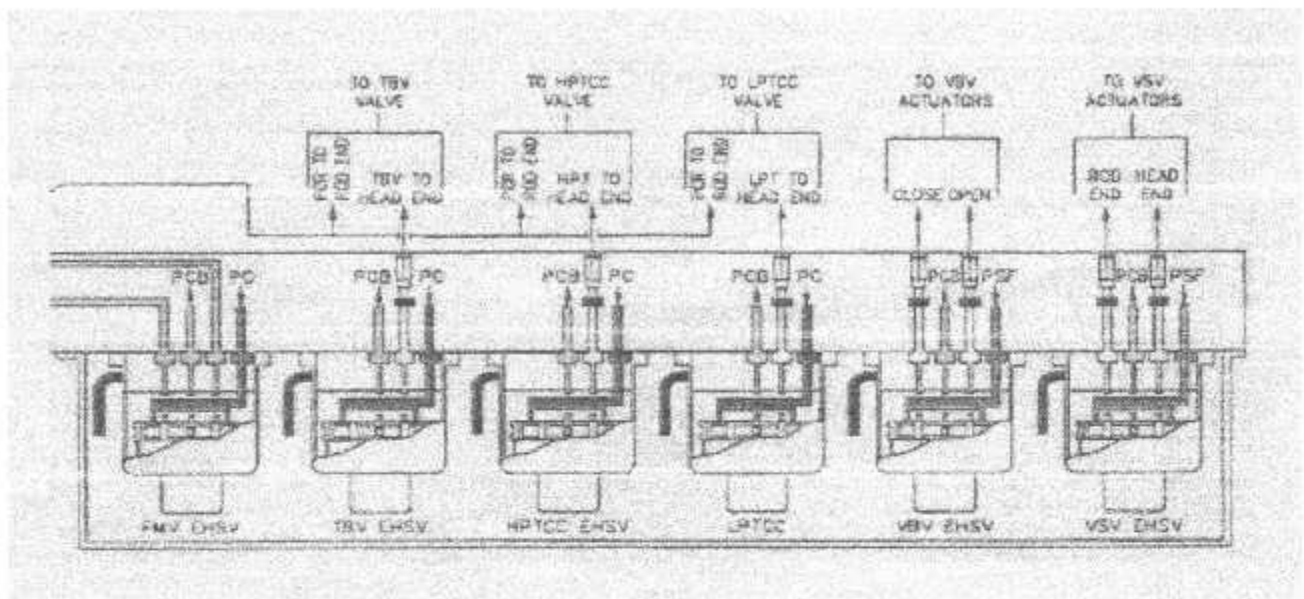


Fig. IV-4 Les différentes electro-hydraulique servo-vannes

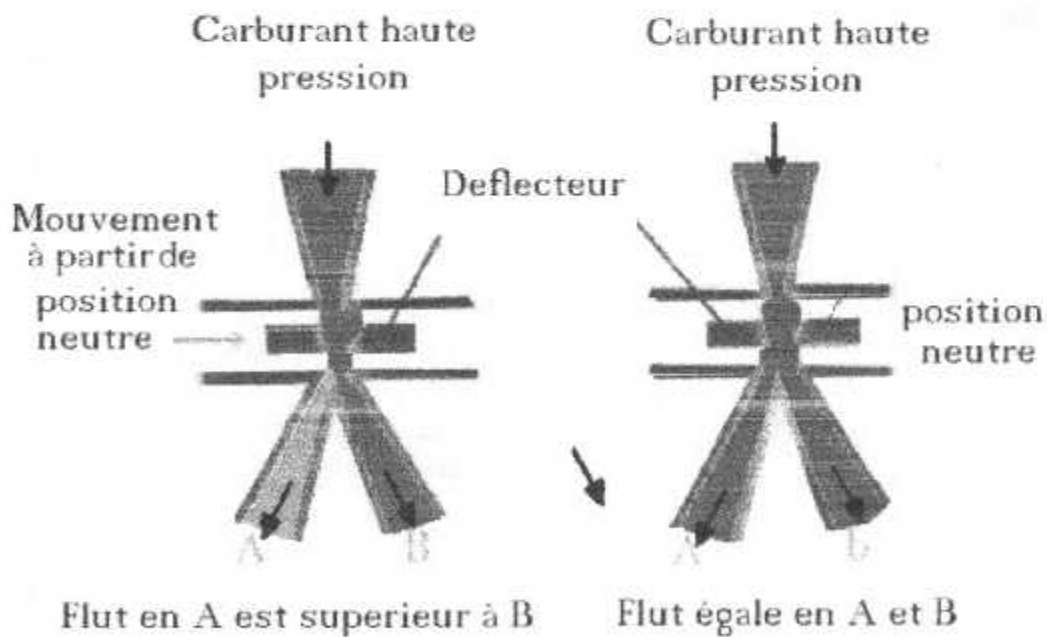


Fig. IV-5 Amplificateur fluidique

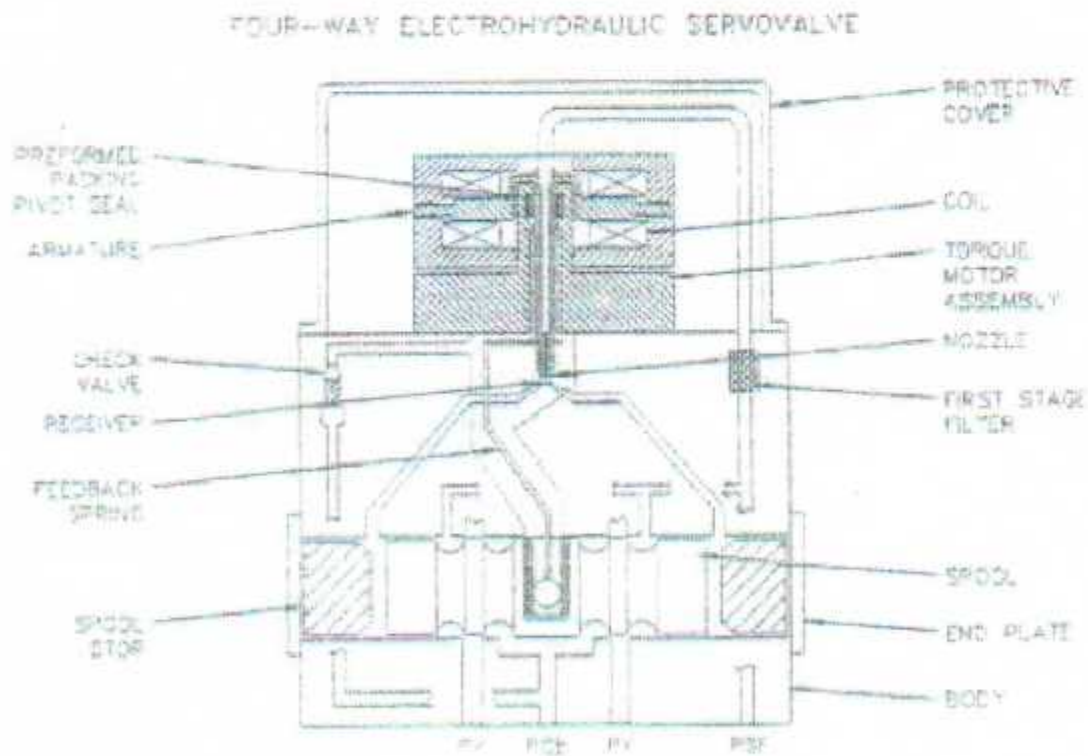
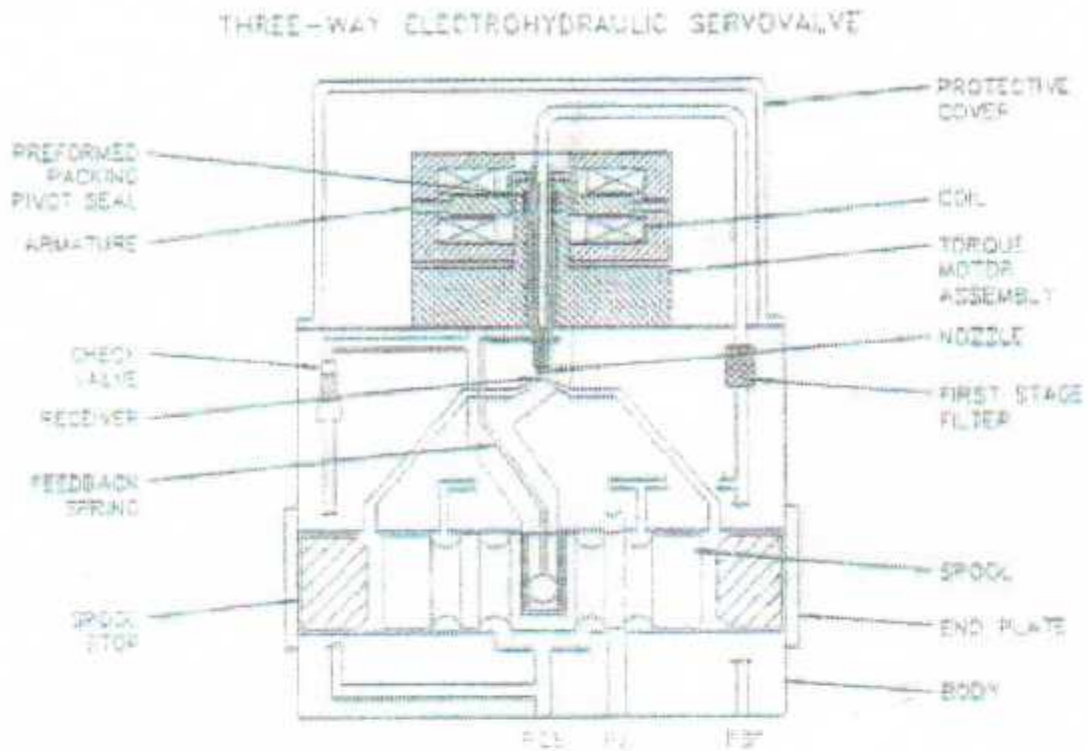


Fig. IV-6 Schémas de l'electro-hydraulique servo-vannes

3-2-3-2- Galet doseur carburant FMV

L'EHSV de FMV est un moteur couple qui fonctionne par une servo-valve. La valve contrôle la pression P_c fournie aux extrémités du piston du galet doseur selon les commandes du EEC.

- Lorsque une augmentation du débit de carburant est demandée, l'EHSV réduit le débit de P_c à l'extrémité tête du piston du galet doseur, et augmente le débit à l'extrémité tige.

La P_c réduite à P_{cb} sur l'extrémité du piston change l'équilibre des forces qui le maintient à sa position neutre. La pression P_c fournie à l'extrémité tige du piston du FMV déplace celui-ci contre la pression P_c réduite à l'extrémité de la fermeture du piston. Ce qui provoque le mouvement du piston du galet doseur vers la position ouverte, ainsi la section de l'orifice d'alimentation carburant régulée est augmentée.

- Lorsque une diminution du débit de carburant est demandée, l'EHSV augmente le débit de P_c à l'extrémité tête (fermeture) du piston du galet doseur, et réduit la P_c à l'extrémité tige. La pression P_c ajoutée à P_{cb} sur l'extrémité tête du piston, change l'équilibre des forces et déplace le piston contre la pression P_c sur l'extrémité tige (ouverture) qui maintienne le piston à sa position neutre. La section de l'orifice d'alimentation de carburant demandé est diminuée.

Le débit de carburant régulé est une fonction directe de la position du galet doseur. Pour n'importe quelle position, il existe un débit de carburant correspondant.

Au fur et à mesure que le piston du doseur se déplace pour une augmentation ou une diminution du débit carburant, un signal du EEC est entrain d'alimenter le circuit, ce signal positionne l'EHSV au neutre pour que les forces à l'ouverture et à la fermeture des cotés du piston s'équilibrent. A cette condition, le piston est à la position qui délivre le débit de carburant demandé.

Deux séparateurs (resolver) indiquent par un signal de retour la position du galet doseur et le débit de carburant régulé délivré au moteur aux deux canaux A et B du EEC. Ce signal de retour ferme la boucle d'asservissement pour l' EHSV. Une butée mécanique limite la course maximale du piston. Cette butée est réglée durant le teste finale du HMU et le réglage pour établir un débit maximum de carburant d'alimentation par le galet doseur.

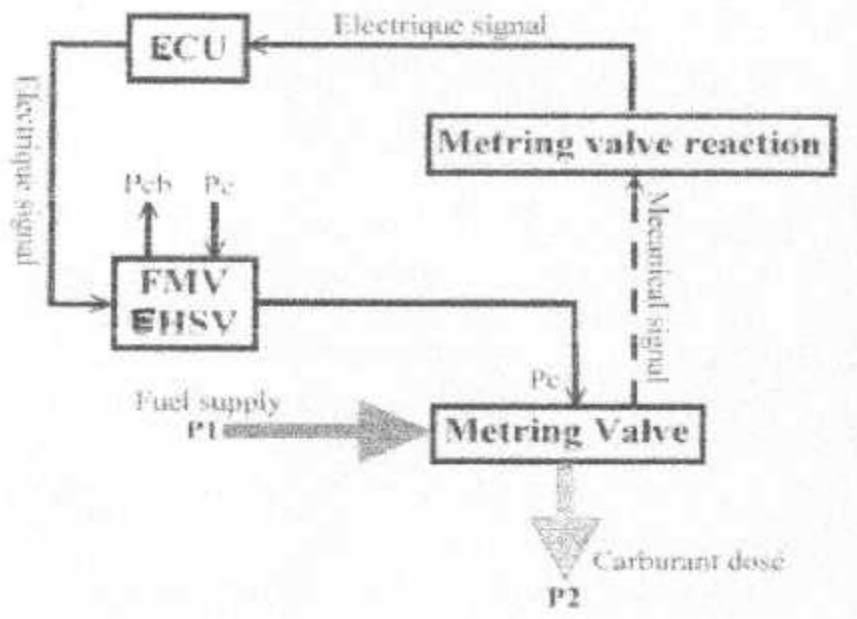


Fig. IV-7 fonctionnement du doseur FMV

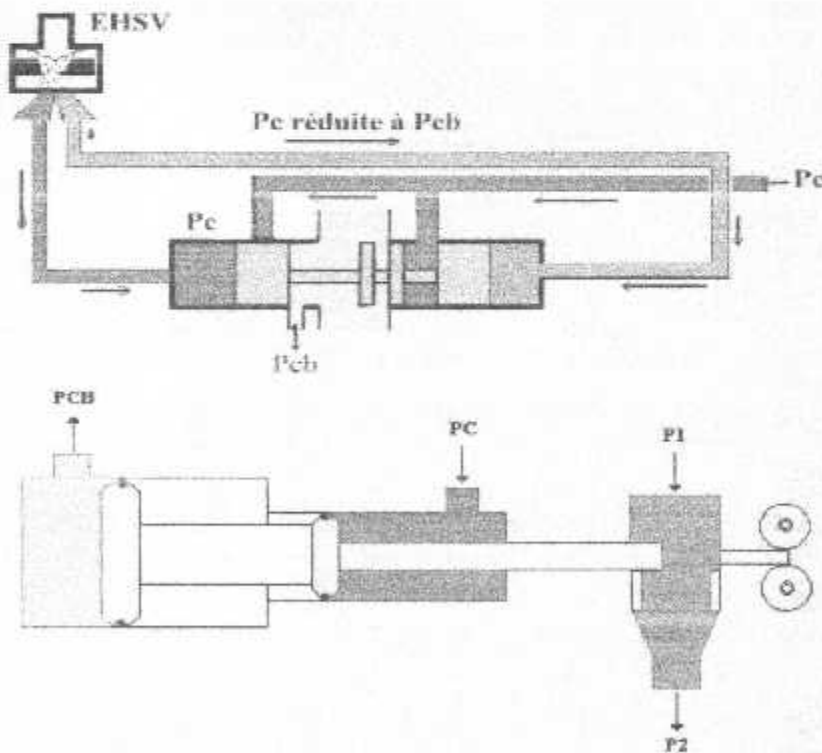


Fig. IV-8 FMV dans la position ouverte

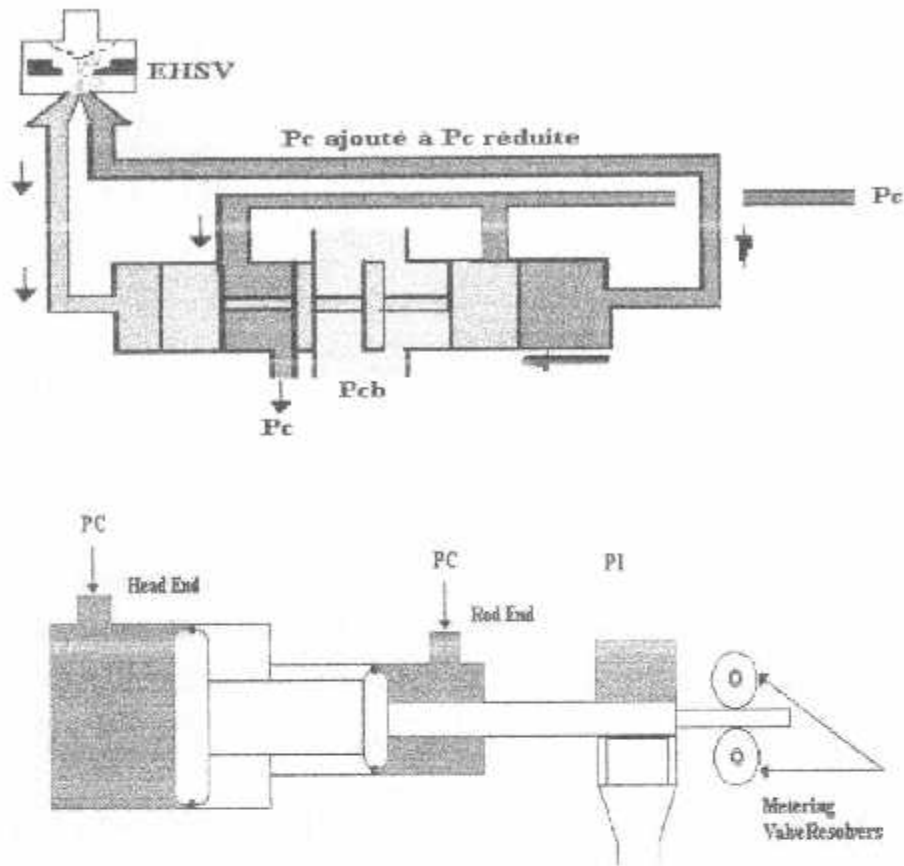


Fig. IV-9 FMV dans la position fermée

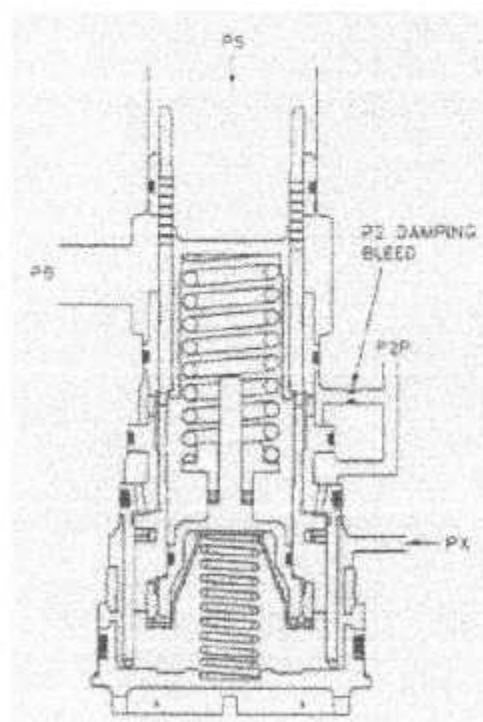


Fig. IV-10 Clapet de décharge

Le clapet de décharge

Le clapet de pression différentielle (décharge) est chargé de maintenir la pression différentielle du doseur P1-P2 constante. Il fonctionne sur le flux de carburant entre l'entrée de carburant et le doseur. Le clapet de décharge renvoie le carburant qui est en plus des besoins du moteur vers la pompe inter-étage carburant, P_b est la pression de retour générée par la pompe inter-étage carburant.

Voir Fig.IV-10

3-2-3-3- Vanne de décharge transitoire TBV

Le EEC utilise les paramètres suivants pour contrôler la position de la vanne de décharge transitoire (TBV) :

- La vitesse de rotation de l'attelage haute pression (N_2).
- La température d'air à la sortie du compresseur haute pression (T_{25})

La TBV contrôle la quantité d'air de décharge du 9^{ème} étage qui est dirigé vers le distributeur du 1^{er} étage de la turbine basse pression. Cet air coule de la vanne TBV à travers la tuyère TBV vers le carter de la turbine BP pour passer enfin à travers des trous dans la sortie du 1^{er} étage de la turbine BP et se mélange avec les gaz d'échappement du moteur.

La TBV est commandée par le EEC qui envoie un signal électrique au couple moteur. Ce dernier transforme ce signal en une commande hydraulique.

Le HMU envoie ce signal de commande (la pression de servo-carburant) aux deux orifices de connections hydrauliques du piston du vérin de commande de la vanne TBV, soit l'orifice du côté tête ou celui du côté tige. L'orifice qui reçoit la pression hydraulique du carburant la plus élevée détermine la direction du piston. La TBV soit complètement ouverte ou complètement fermer, par la sortie ou la rétraction du piston qui est lié au papillon de la vanne TBV, donc le débit de pression est toujours constant.

La pression du carburant pour la chambre d'ouverture est tenue relativement constante par l'orifice P_{cr} . On varie la pression du carburant (P_c ou bien P_{cb}) pour l'autre orifice celui-ci détermine la position de la vanne.

Le vérin de commande TBV possède un orifice de drainage de carburant pour évacuer le carburant qui fuit de joint de la tige du piston.

La position du vérin est déterminée pendant que le piston est en mouvement (course) dans l'une ou l'autre direction, la position de la valve est traduite par l'arbre du papillon et la tringlerie associée au LVDT. Ce dernier transmet un signal au EEC qui correspond à la position du papillon.

*** Modes des opérations**

Durant la séquence du démarrage, la vanne de décharge est en position ouverte et se ferme quand la vitesse de rotation N2 est en ralenti.

Durant la phase d'accélération, la TVB s'ouvre quand la vitesse de rotation N2 est entre la vitesse au ralenti et celle de l'approximation de 76% de la vitesse maximum de N2.

La TBV se ferme quand la vitesse N2 est entre 76% et 80% de sa rotation maximale, quand la vitesse N2 est supérieure à 80%, et durant les phases d'accélération du moteur.

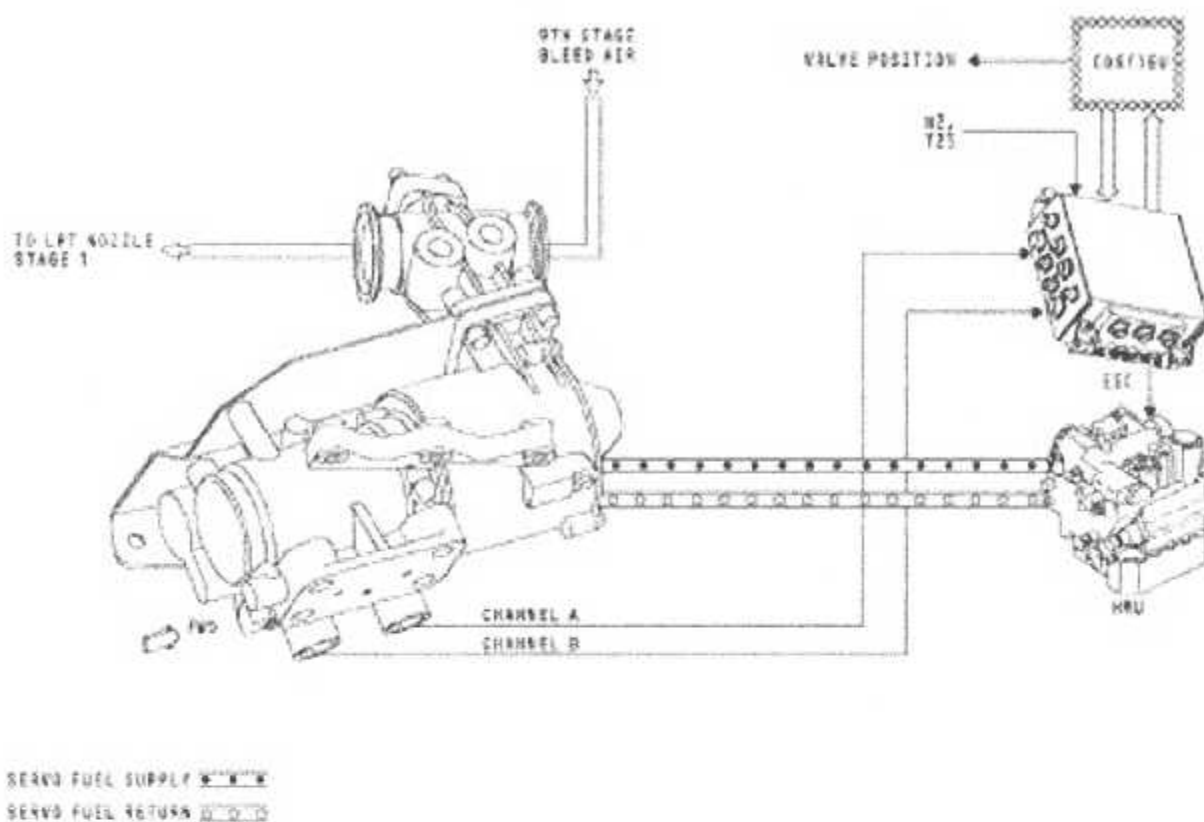


Fig. IV-11 Système TBV

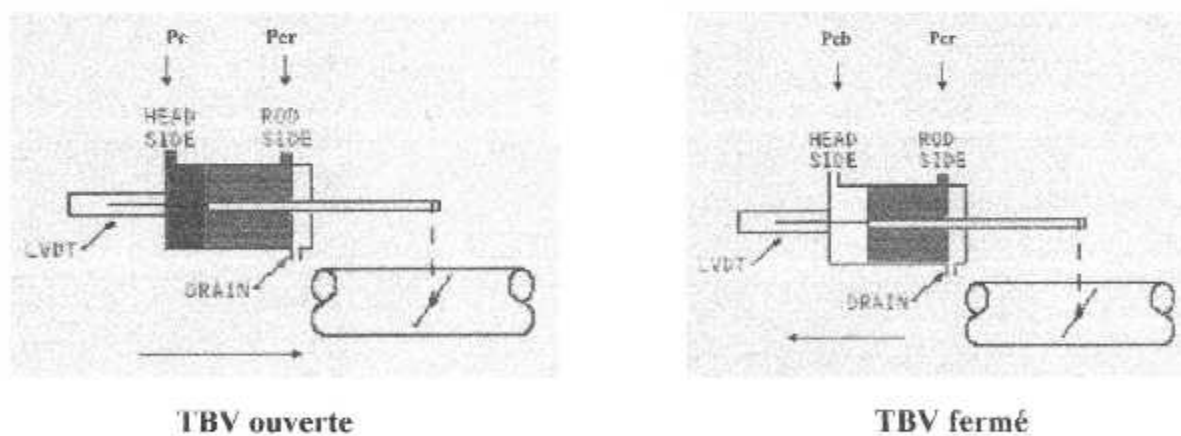


Fig. IV-12 Fonctionnement de la vanne TBV

3-2-3-4-Le Système HPTACC

Le EEC utilise ces données pour contrôler la vanne HPTACC :

- ✓ la pression statique de l'air (P0).
- ✓ la température totale de l'air (TAT).
- ✓ la vitesse de rotation de l'attelage haute pression (N2).
- ✓ la température du 9^{ème} étage du compresseur haute pression (T3).
- ✓ la température de l'air à la sortie du compresseur haute pression (T25).
- ✓ la température du carter de la turbine haute pression HPTAC (TCC).

La valve HPTACC fonctionne automatiquement. Elle possède une valve papillon 4^{ème} étage et une autre 9^{ème} étage. Un vérin de type à piston commande les deux valves.

Le HMU envoie du servo-carburant approprié aux côtés de tige et de tête du vérin ce qui provoque le déplacement de celui-ci. Relié à un axe denté, le vérin fait tourner les valves papillon ce qui incite leur ouvertures ou fermetures dans la valve HPTACC.

Les valves papillon commandent l'écoulement de l'air du 9^{ème} et du 4^{ème} étage HPC. Ceci contrôle la température d'air qui va au carter de HPT.

Deux LVDT sur le vérin renvoient des signaux de position de celui-ci au deux canaux A et B du EEC pour contrôler le fonctionnement de la valve HPTACC.

*** Mode des opérations**

a) pas d'air :

Le vérin HPTACC possède deux valves pour l'air du 9^{ème} et 4^{ème} étage du compresseur haute pression HP, les vannes sont en position fermées. Ce qui correspond à l'arrêt du moteur ou un dysfonctionnement du EEC ou HMU. C'est la position de sûreté (fail safe). Le jeu entre les extrémités des aubes de la turbine haute pression et leur enveloppe est au maximum.

b) Ecoulement haut et bas du 9^{ème} étage.

Ecoulement haut :

Le EEC met le vérin à 37% de son extension, la vanne du 9^{ème} étage est complètement ouverte, le flux d'air HP chaud est entièrement envoyé vers l'enveloppe de la turbine haute pression HP. La vanne du 4^{ème} étage est entièrement fermée. Dans ce cas, le jeu est maximum.

Ecoulement bas :

Le EEC met le vérin à 8% de sont extension. La valve du 9^{ème} étage n'est pas complètement ouverte. Donc il y a moins de quantité d'air chaud provenant du 9^{ème} étage qui est envoyée vers l'enveloppe de la turbine HP. Tandis que la valve du 4^{ème} étage est en position entièrement fermée.

c) Ecoulement mixte

Le EEC calcule la position du vérin entre 38% et 99% de sont extension. Dans ce cas, la vanne du 4^{ème} étage est utilisée pour renvoyer une quantité d'air moins chaude pour être mélangé à celle du 9^{ème} étage et renvoyé à l'extrémité de l'enveloppe de la turbine HP. Cette disposition est utilisée dans le cas d'un démarrage à froid.

d) La valve du 4ème étage totalement ouverte et celle du 9ème étage fermée.

Le vérin est à 100% de sont extension. L'air prévenant du 4^{ème} étage moins chaud que celui du 9^{ème} étage. Ceci fournit un refroidissement maximum à l'enveloppe de la turbine HP, le jeu est au minimum. Cette condition est indispensable en vol de croisière pour minimiser la consommation en carburant.

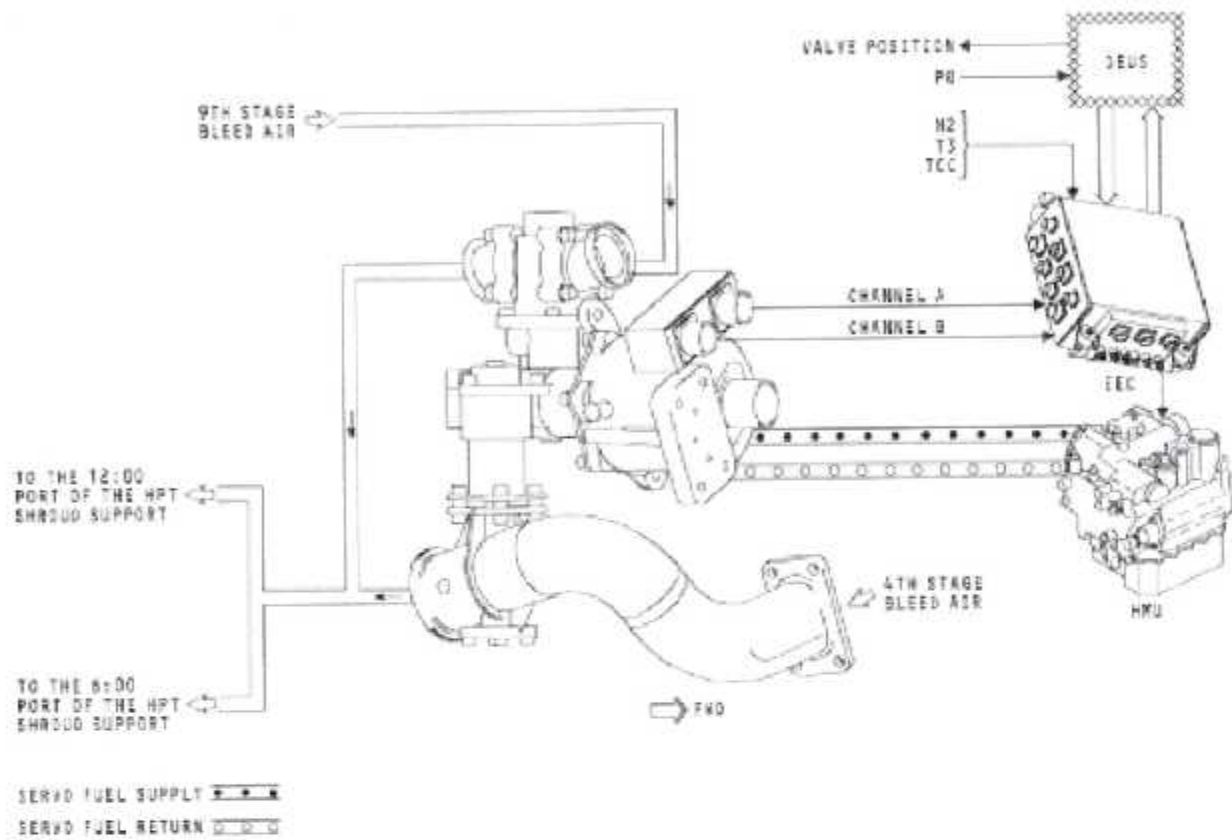


Fig. IV-13 Système HPTACC

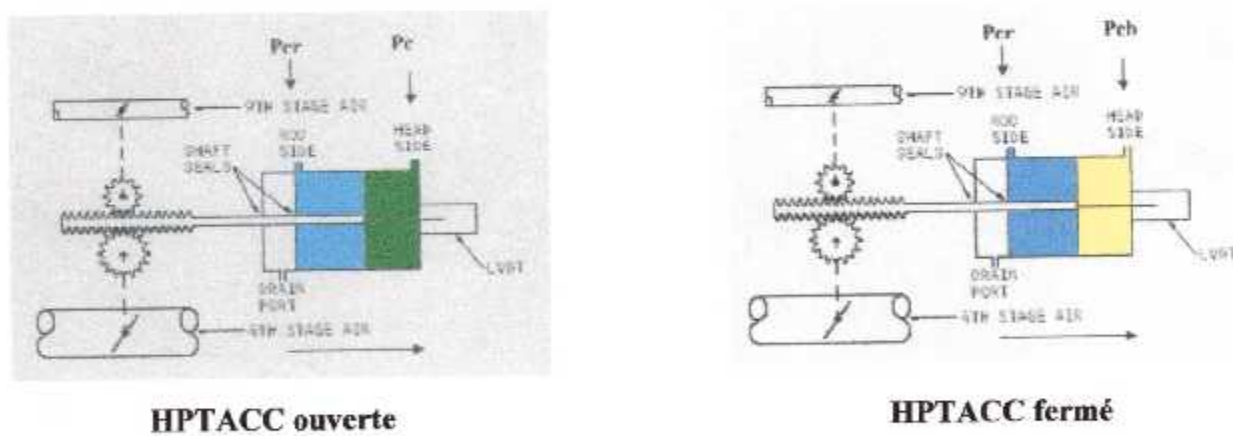


Fig. IV-14 Fonctionnement de la vanne HPTACC

3-2-3-5-LE Système LPTACC

Le EEC utilise ces données pour contrôler la valve LPTACC :

- la pression totale de l'air (PT).
- La pression statique de l'air (P0).
- La température totale de l'air (TAT).
- La vitesse de rotation de l'attelage basse pression (N1).
- La température des gaz d'échappement (EGT ou T 49.5).

Le EEC calcule le jeu LPT basé sur les données d'avion et de moteur énumérées ci-dessus.

En général, le flux d'air de LPTACC augmente quand les paramètres au-dessus augmentent.

La valve de LPTACC fonctionne automatiquement. Elle est actionnée par un vérin de type à piston.

Le EEC envoie un signal au HMU. Celui-ci envoie du servo-carburant au côté de tige et au côté de tête du piston dans le vérin pour le déplacer. Le vérin commande la position d'une vanne papillon. Celle-ci contrôle la quantité d'air de décharge du fan qui va au carter de LPT. Le tubuleure de la LPTACC envoie l'air du fan aux tubes de jet autour de du carter de LPT. Les trous dans les tubes de jet dirigent l'air sur le carter de LPT.

Deux RVDT envoient des signaux de position de papillon au EEC. Un pour le canal A et l'autre pour le canal B.

La LPTACC a un orifice de vidange pour évacuer le carburant des fuites de joint de l'axe du vérin.

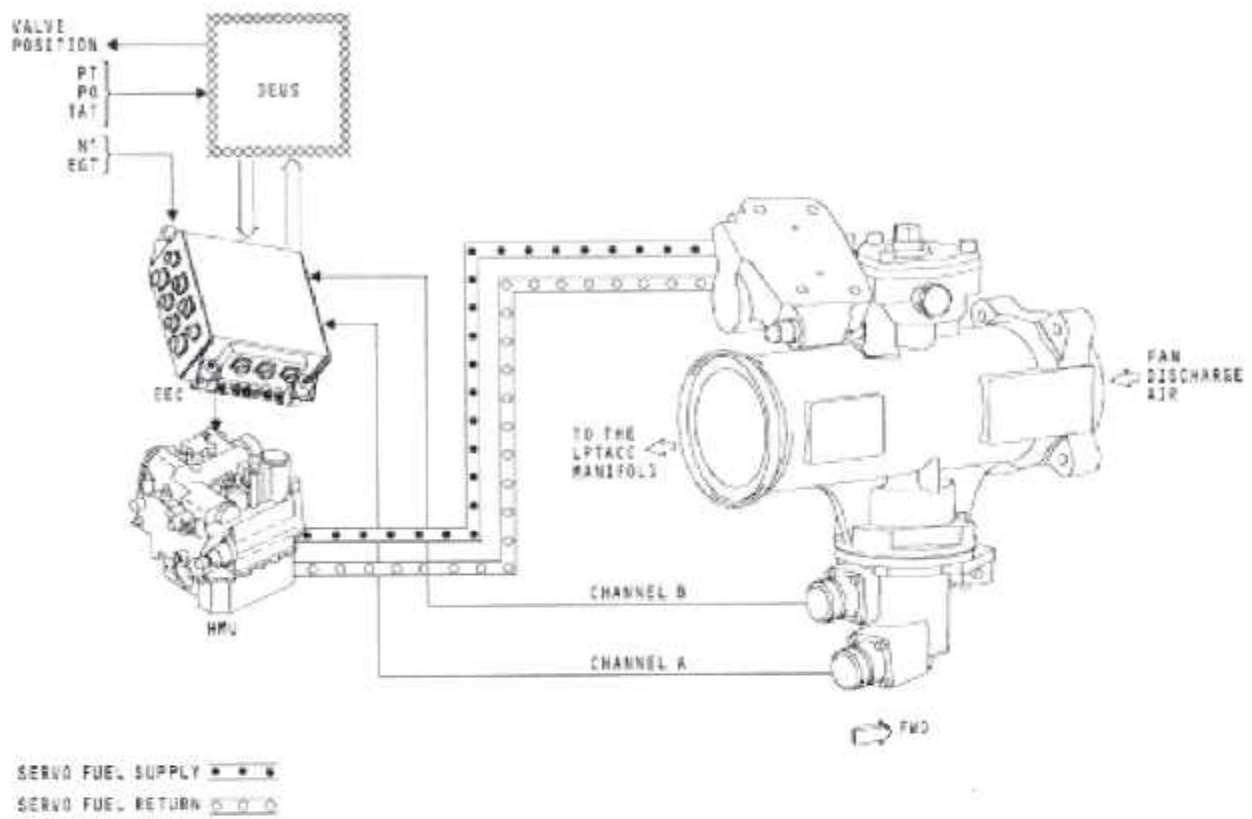


Fig. IV-15 Système LPTACC

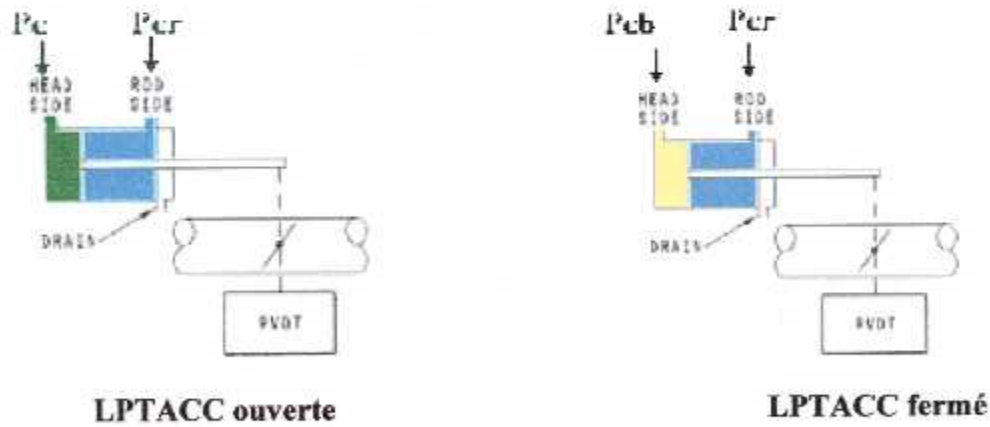


Fig. IV-16 Fonctionnement de la vanne LPTACC

3-2-3-6-Le système VSV

Le vérin de commande des VSV est de type « vérin à piston » muni de deux connexions hydraulique, coté tête et coté tige.

Le EEC utilise les données au-dessous pour calculer la position des VSV :

- la température totale de l'air (TAT).
- la pression d'air totale (PT).
- la pression d'air statique d'avion (P0).
- la vitesse de rotation de l'attelage basse pression (N1).
- la vitesse de rotation de l'attelage haute pression (N2).
- la température d'air à la sortie du compresseur haute pression (T25).

Le EEC envoie des signaux de commandes au HMU qui les convertit grâce aux moteurs couple et servo-vannes en ordre hydraulique régulé en débit et pression.

La pression hydraulique du HMU est délivrée aux deux orifices de connexions hydraulique de chaque vérin de commande de VSV, ceux de cotés têtes ou ceux de cotés tiges.

L'orifice qui reçoit la pression hydraulique du carburant en premier détermine la direction du piston du vérin. Tandis que le débit de cette pression détermine sa course.

La pression reçue de l'orifice qui est du coté tête du vérin actionne les VSV vers la fermeture suivant le réglage de position voulue. La pression reçue de l'orifice qui est du coté tige du vérin actionne les VSV vers l'ouverture.

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

Le LVDT du vérin gauche est connecté au canal A du EEC et le LVDT du vérin droite est connecté au canal B du EEC, leur rôle est de transmettre la position des VSV au EEC.

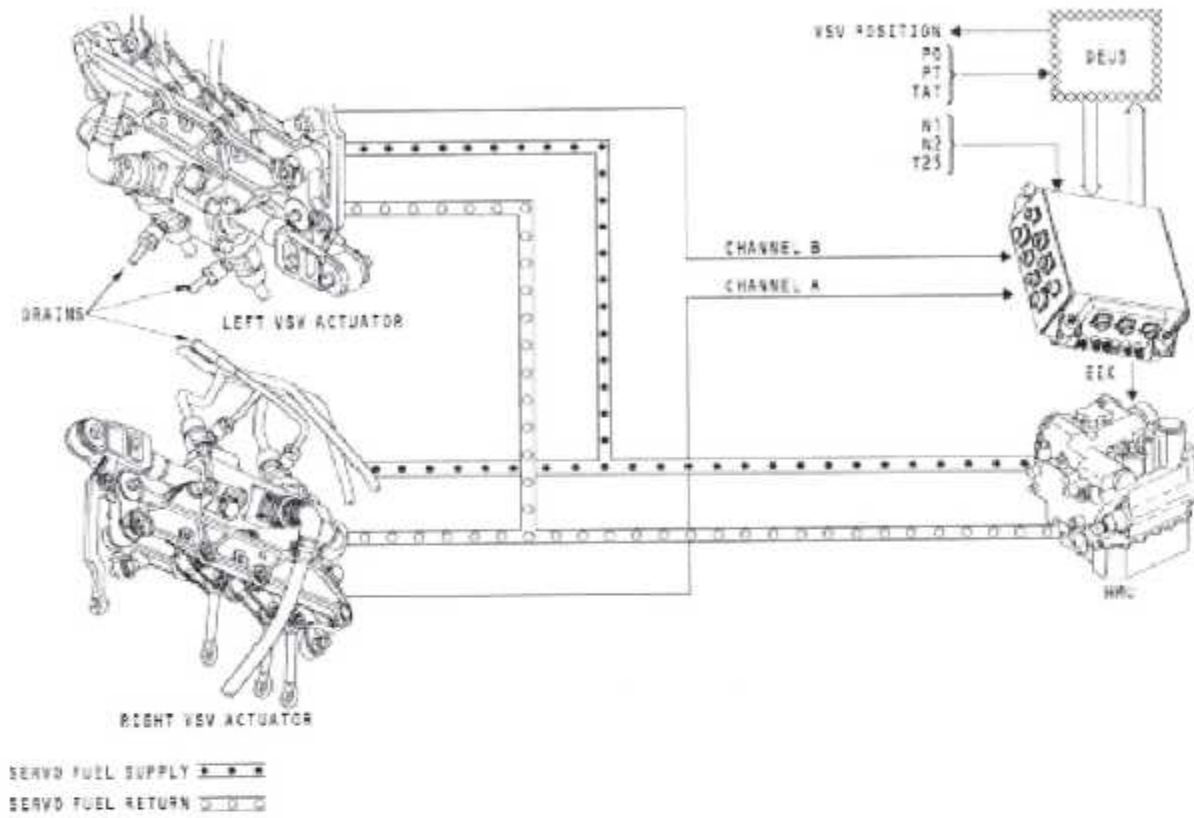


Fig. IV-17 Système VSV

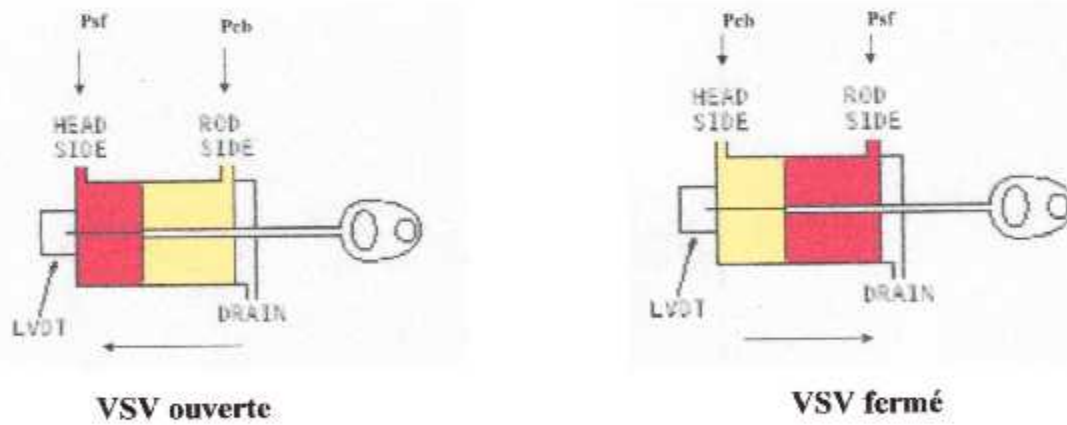


Fig. IV-18 Fonctionnement des VSV

3-2-3-7-Le système VBV

Le vérin de commande des VBV est de type « vérin à piston » muni de deux connections hydraulique, coté tête et coté tige.

Le EEC utilise les données au-dessous pour calculer la position des VBV :

- ✓ La position des VSV
- ✓ la température totale de l'air (TAT).
- ✓ la pression d'air totale (PT).
- ✓ la pression d'air statique d'avion (P0).
- ✓ la vitesse de rotation de l'attelage basse pression (N1).
- ✓ la vitesse de rotation de l'attelage haute pression (N2).
- ✓ la température d'air à la sortie du compresseur haute pression (T25).
- ✓ La résolution d'angle des reverses (TRA).

Le principe de fonctionnement de VBV est identique à celui de VSV.

Les vannes de décharge VBV sont commandées par le EEC qui envoie un signal électrique au HMU. Ce dernier transforme ce signal grâce aux moteurs couple et servo-vannes en commande hydraulique à fin d'actionner les portes de décharge.

Il y a deux LVDT, un pour le vérin gauche relié au canal A du EEC et l'autre pour le vérin droit relié au canal B du EEC.

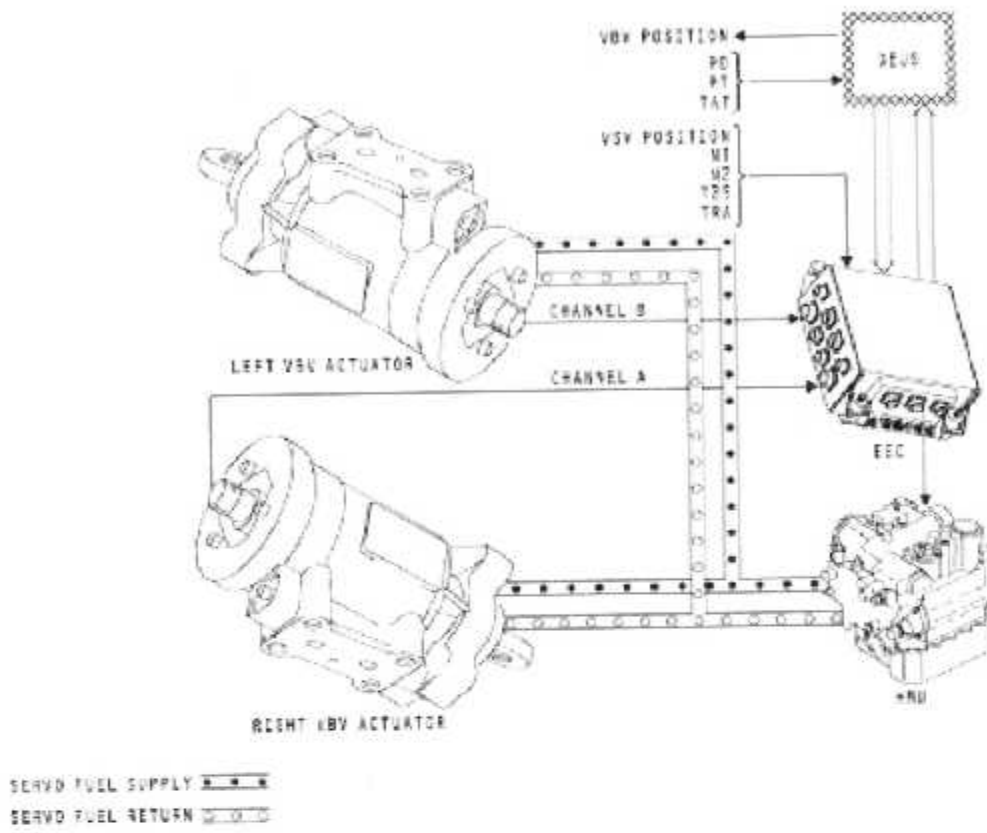


Fig. IV-19 Système VBV

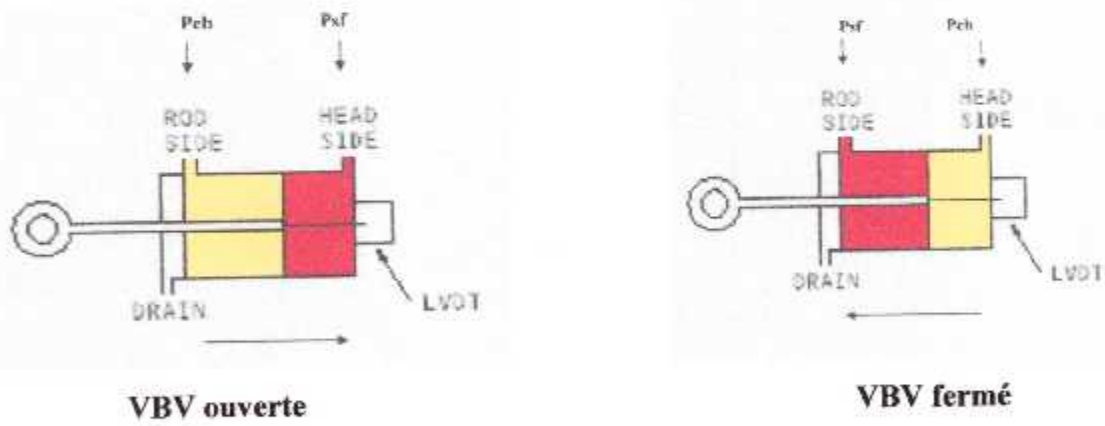


Fig. IV-20 Fonctionnement des VBV

3-2-3-8-Robinet D'Isolement De Carburant à haute pression (HPSOV)

Le robinet d'isolement haute pression (HPSOV) dans le HMU laisse le carburant découler du FMV aux injecteurs de carburant.

Le levier de démarrage envoie un signal d'ouverture au DEU quand il est dans la position de ralenti. Le DEU envoie le signal d'ouverture au EEC. Le EEC fait ouvrir le FMV. La Pression du carburant du FMV ouvert cause l'ouverture du HPSOV.

Le levier de démarrage en position de COUPURE active le solénoïde HPSOV. Lorsque ce dernier est activé, le servo-carburant ferme le HPSOV. La pression du carburant du FMV ne peut pas alors l'ouvrir et l'écoulement de carburant aux injecteurs s'arrête.

Le levier de démarrage et la poignée de commutateur de feu commandent le HPSOV indépendamment du EEC.

3-2-3-9- Gouverneur de survitesse (OSG) :

Ce régulateur mécanique à masselottes limite le débit carburant de façon à éviter que la vitesse de l'attelage haute pression (N2) ne dépasse la limite maximale et qui est de 107,2 %.

Pour cela, le régulateur agit sur le dispositif à ΔP constante qui va maintenir cette pression constante entre l'amont et l'aval du FMV et va dériver l'excédent de carburant vers le circuit BP de la pompe, et fournissant ainsi une protection indépendante du EEC.

3-2-3-10-Vanne de sélection d'injecteurs BSV

Il y a dix injecteurs étagés et dix autres non étagés dans la chambre de combustion.

La vanne de sélection d'injecteurs (BSV) possède deux positions, ouvert et fermé. Elle s'ouvre pour envoyer du carburant aux dix Injecteurs étagés. Un logiciel dans le EEC programme l'opération. Il commande l'élément hydro-mécanique (HMU) à actionner celle-ci.

A noter que la vanne n'est pas positionné dans le HMU et que seul son solénoïde qui s'y trouve.

Le EEC emploie les entrées suivantes pour trouver le rapport carburant/air dans la chambre de combustion:

- T3 (la température de l'air de décharge du compresseur haute pression)
- PS3 (pression de l'air de décharge de compresseur haute pression)
- Position de FMV (écoulement de carburant)
- Vitesse de N2

Le EEC commande la BSV basé sur ce rapport.

a) Dix (10) injecteurs en opération

- À bas rapport carburant/air, le EEC active le solénoïde de BSV dans le HMU qui envoie alors une pression de servo-carburant pour fermer la BSV.

Pour fermé la valve, un signal électrique est appliqué au solénoïde installer dans le HMU qui lui le convertit à une pression hydraulique P_c appliquée à la cavité supérieur de la BSV. Dans ce cas on aura :

$$P_{cr} \times S_1 + F_R < P_c \times S_2$$

Ce qui implique que le piston descend. Alors l'orifice P22 se ferme

Une fois fermée elle empêche l'écoulement du carburant dosé aux injecteurs étagés. Celui-ci coule seulement vers les injecteurs non étagés dans la chambre de combustion.

Ainsi, chacun des 10 injecteurs non étagés fournit plus de carburant à la chambre de combustion.

Un écoulement plus élevé de carburant dans chaque injecteur cause un modèle de pulvérisation plus fort.

L'opération de bas rapport de carburant/air se produit normalement quand la commande de poussée du moteur est réduite pendant la descente.

b) Vingt (20) injecteurs en opération

- À des rapports plus élevés de carburant/air, le EEC désactive le solénoïde de BSV dans le HMU qui coupe la pression du servo-carburant à la BSV.

Dans ce cas La BSV est alimentée dans sa cavité supérieure par la pression P_{cr} .

Donc les deux extrémités par la pression P_{cr} . Alors on aura :

$$P_{cr} \times S_1 + F_R > P_{cr} \times S_2$$

Cela cause un mouvement du piston vers le haut, alors l'orifice P22 s'ouvre.

La BSV maintenant est ouverte et le carburant dosé coule dans chacun des 20 injecteurs dans la chambre de combustion.

Le EEC surveille la position de BSV. A cet effet cette dernière possède quatre commutateurs. Ces commutateurs donnent la position de celle-ci aux deux canaux A et B du EEC. Chaque canal du EEC reçoit un signal de deux commutateurs.

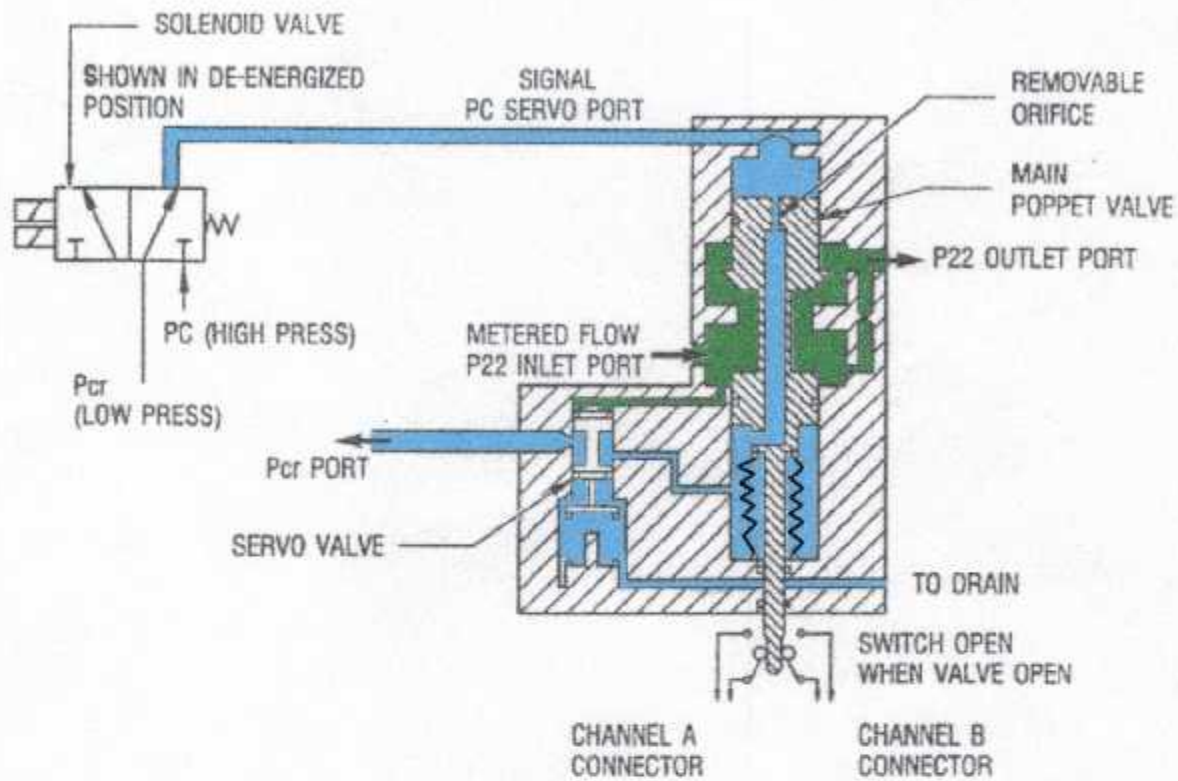


Fig. IV-21 La vanne BSV (*Vingt injecteurs en fonctionnement*)

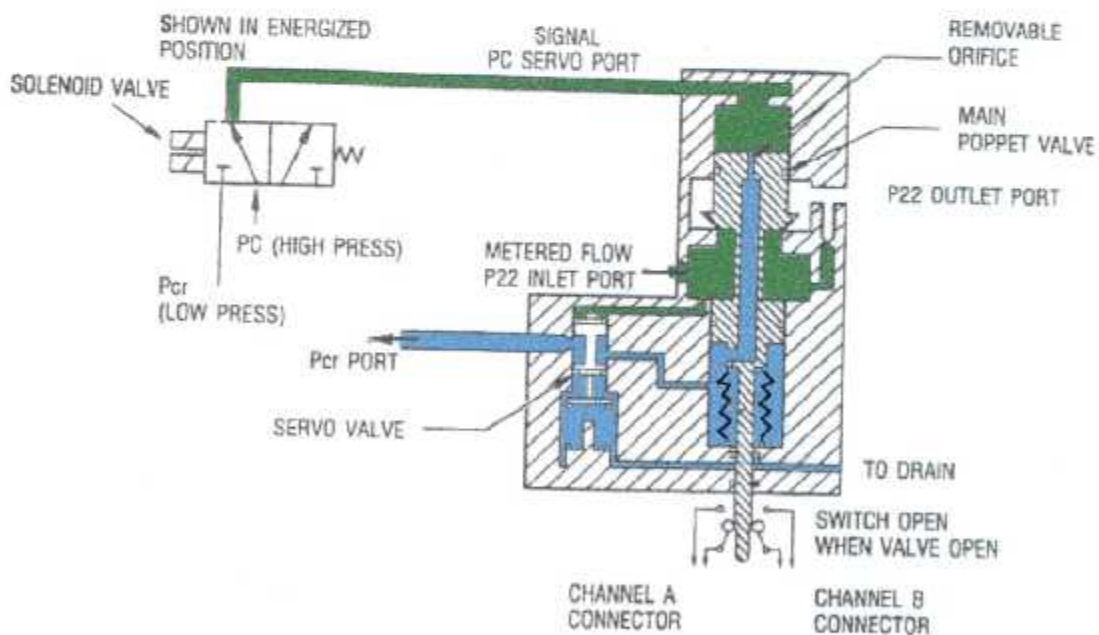
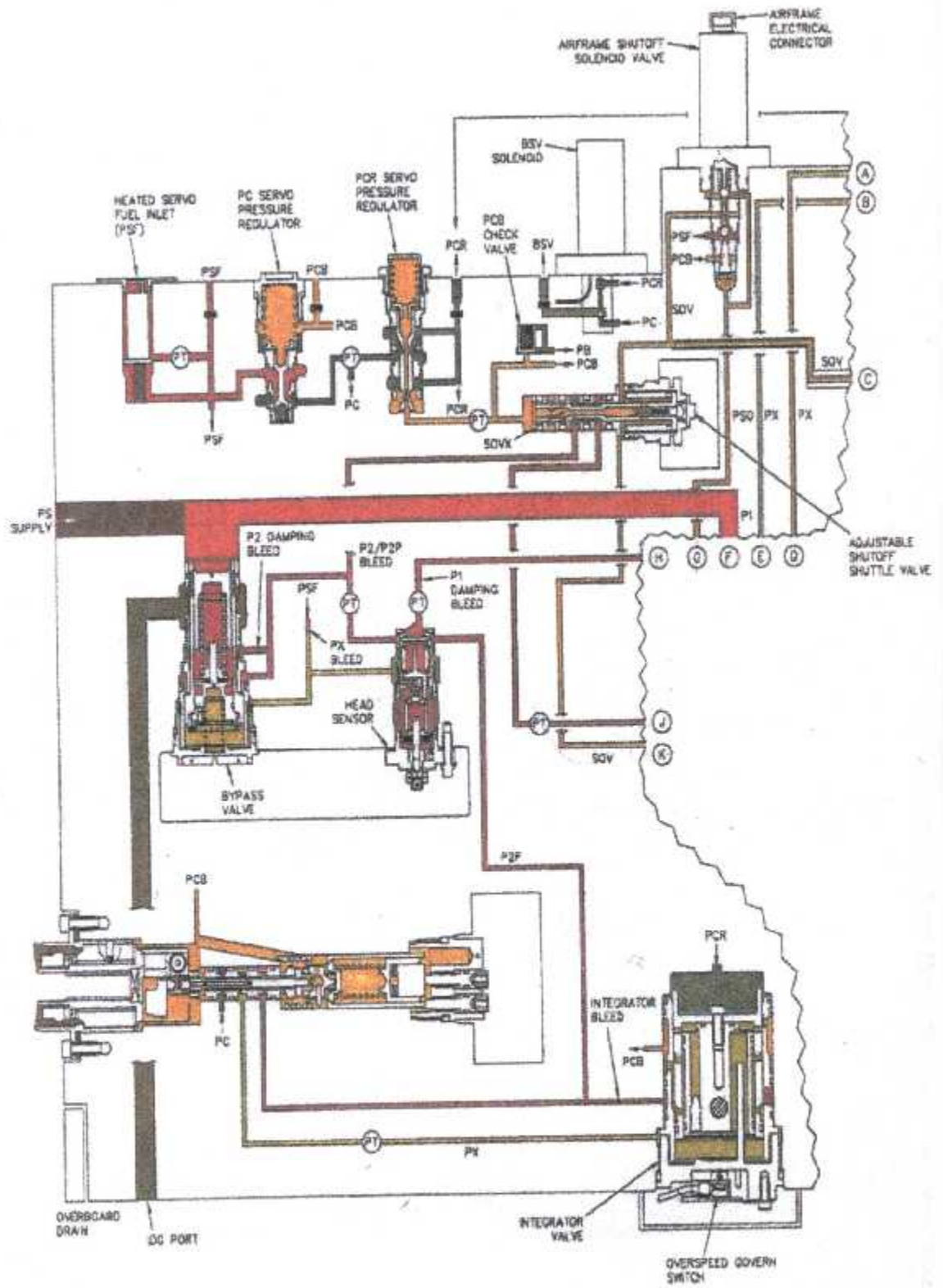
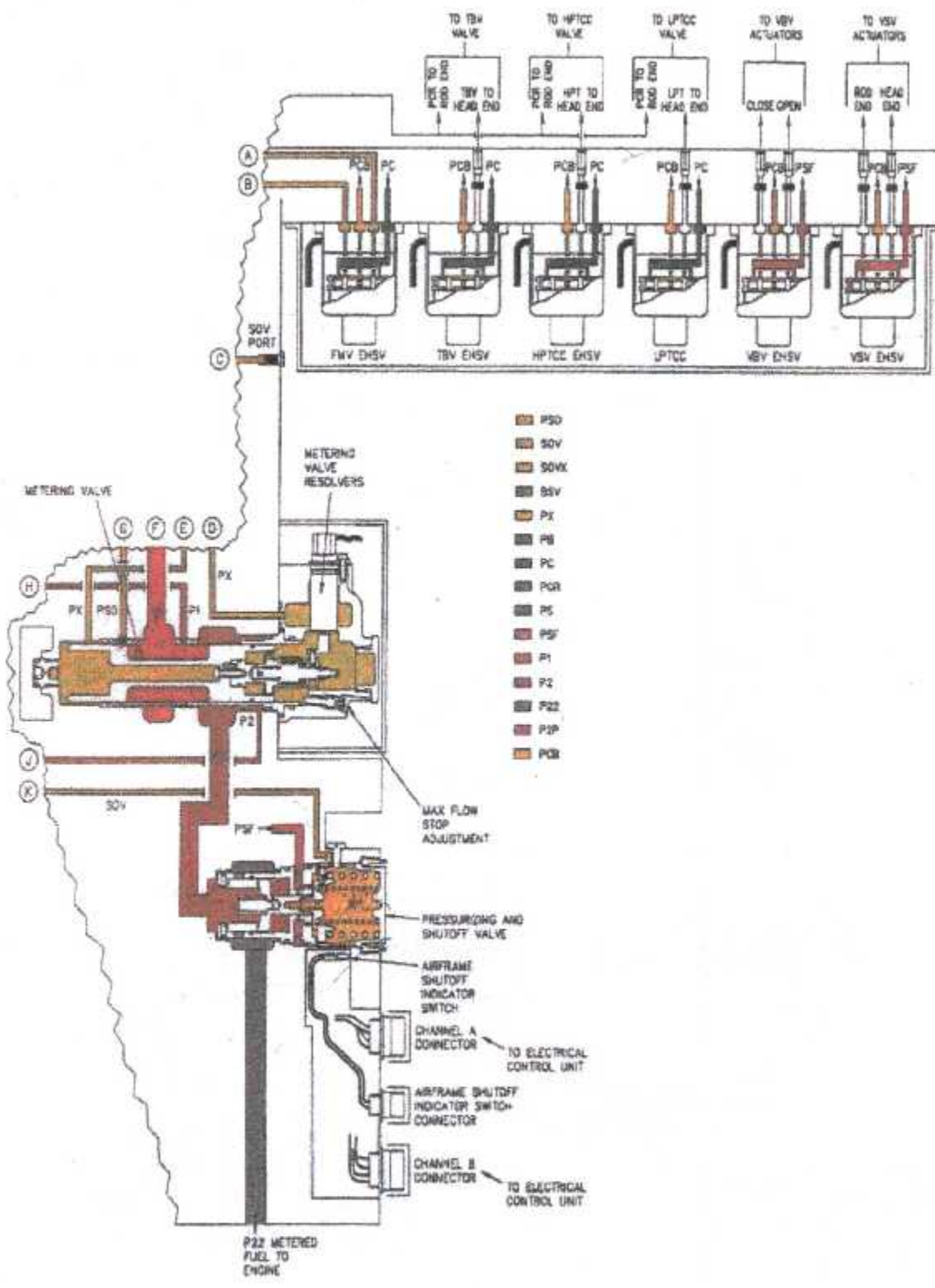


Fig. IV-22 La vanne BSV (*Dix injecteurs en fonctionnement*)



UNITE



HYDROMÉCANIQUE

CHAPITRE V

MAINTENANCE

1-Définition de la Maintenance :

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

2-Objectifs de la maintenance : On exerce la maintenance pour assurer :

a- Sécurité :

C'est une exigence réglementaire, l'aéronef doit conserver au cours du temps ses caractéristiques de navigabilité définies et approuvées lors de la certification, il est évident qu'un accident ou plusieurs peuvent nuire à l'image de marque du constructeur et de la compagnie aérienne.

b- Disponibilité :

Un aéronef représente un investissement coûteux, une compagnie aérienne cherche toujours des taux élevés d'utilisation de l'avion HDV/JOUR (heures de vol / jour) dite moyenne journalière .

c- Coût :

La satisfaction des deux premiers objectifs est dictée entre autre par des impératifs économiques. L'entretien des aéronefs nécessite une organisation de moyens matériels et humains qui coûtent cher. Il faut trouver donc le meilleur compromis entre les deux premiers objectifs et le troisième.

3-Types de maintenance :

3-1- Maintenance corrective :

C'est une maintenance qui est effectuée après une défaillance qui est un événement aléatoire.

3-2- Maintenance préventive :

C'est une maintenance effectuée dans l'intention de réduire la possibilité de défaillance d'un bien donné ou la dégradation d'un service rendu.

Le but de cette maintenance est d'augmenter la durée de vie des équipements, diminuer le temps d'arrêt lors des pannes, et enfin faciliter la gestion des stocks.

Elle se divise en deux types :

a- Maintenance Conditionnelle :

C'est une maintenance qui est soumise à un type d'évènement prédéterminé qui révèle l'état de dégradation (exemple l'usure, bruit, ...).

Elle se base sur le diagnostic avant de remplacer l'élément inspecté.

b- Maintenance Systématique :

C'est une maintenance effectuée selon un échéancier établi en fonction du temps et du nombre d'unités (heures de vol, temps calendaire, nombre de cycles).

Cette maintenance permet de diminuer le nombre d'avaries, d'améliorer la sécurité, comme elle permet d'augmenter la durée de vie des équipements.

4- Evolution de la politique de maintenance :

La politique de maintenance est passée par plusieurs phases qui sont :

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

5- Notion de " fiabilité " :

La tâche la plus rentable consiste à remplacer ou de réparer l'équipement avant qu'il ne tombe en panne, et si possible juste avant. Dans les travaux de fiabilités et de statisticiens afin de déterminer le moment exact pour effectuer la maintenance programmée, ils sont arrivés finalement à une conclusion qui est que souvent le moment exact n'existe pas ; donc tout système ou autre se trouve affaiblit d'un taux de défaillance en général quasiment aléatoire.

Donc en faisant la recherche on arrive à éliminer les interventions inutiles en assurant bien sûre la sécurité des vols.

5-1- Définition de la fiabilité :

La fiabilité est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise dans les conditions d'utilisation et pour une période de temps déterminé ; la période de temps peut être remplacée par un nombre de cycle, par une distance parcourue.

5-2- La relation (qualité - fiabilité) :

La qualité d'un produit est caractérisée par sa conformité aux spécifications qui la définissent, mais encore par son aptitude à demeurer conforme à ces spécifications pendant la durée de vie.

On a tendance à désigner par qualité la conformité du produit à sa spécification, à sa sortie d'usine par fiabilité son aptitude à demeurer conforme au cours de la période d'utilisation.

Notons que :

- Il n'y a pas de bonne fiabilité sans qualité initiale.
- La fiabilité est une extension de la qualité dans le temps.

6- Différents modes d'entretien :

6-1- Entretien avec temps limite (Hard Time) :

Un équipement donné suit le mode avec temps limite, signifie que cet élément doit être déposé avant d'atteindre un certain potentiel prédéterminé par le constructeur (heures de vol, temps calendaire, nombre de cycle) et ça :

- Soit pour être révisé
- Soit pour être retiré du service -réformé- (vie limite).

6-2- Entretien selon l'état (On Condition) :

Cela signifie que l'équipement subit des interventions périodiques ou éventuellement soumis à des observations continues grâce à des méthodes élaborées (inspections visuelles, inspection par des méthodes de contrôle non destructif (CND), par des essais de bon fonctionnement, banc d'essai) pour déterminer son état. Les critères suivis pour déterminer l'équipement qui peut être entretenu selon ce mode sont :

- Possibilité d'évaluer la dégradation de l'état, généralement sans dépose, par inspection visuelle, mesures des paramètres significatifs, essais etc...
- Définition dans un document d'entretien de la valeur limite des paramètres significatifs, ces derniers ont des tolérances sur la qualité, les performances, l'usure ou la diminution de la résistance ou défaillance, nécessite des travaux ultérieurs sur les éléments.

6-3- Entretien en mode de surveillance du comportement (Condition

Monitoring) :

On dit qu'un équipement suit un entretien avec surveillance du comportement en service, signifie que l'on interviendra sur cet équipement qu'après indication de défaillance.

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

Ce mode de maintenance est en partie basé sur la connaissance statistique des comportements de l'élément dont on surveille la vie.

Pour pouvoir attribuer ce mode à un équipement, il faut que cet Equipement remplisse certaines conditions qui sont les suivantes :

- Il doit être doublé, avec système de secours
- Il faut qu'il soit très fiable
- Ne touche pas à la sécurité
- Avoir les indications du système (équipement) au cockpit.

7-Stratégie de la Maintenance :

Le réacteur nécessite une maintenance préventive et curative pour augmenter sa longévité et diminuer le nombre d'occurrence de pannes au cours de son fonctionnement. Cette maintenance consiste en deux méthodes utilisées régulièrement et qui sont :

- Entretien en ligne
- Entretien en atelier

7-1- Entretien en ligne :

C'est une inspection suivant des protocoles et des fiches de travaux établis par le département d'engineering suivant le manuel de maintenance établi par le constructeur du moteur. Cette inspection consiste à faire des vérifications avant et après chaque vol, suivant un compte rendu matériel (CRM) établi par l'équipage navigant.

On vérifie le circuit carburant visuellement (on vérifie l'état de tous les composants) :

- Filtre carburant.
- Pompe carburant.
- Régulateur carburant.
- Echangeur huile carburant.
- Fuite carburant.
- Bonne fixation des composants et des raccords.
- Absence de corrosion.
- Absence de déformation.
- Absence de criques.
- Absence de fuite.

En cas d'avaries, on interviendra suivant les fiches de travaux.

Cette maintenance engendre plusieurs inspections :

• Inspection de routine :

C'est une inspection qui est faite après chaque vol et qui vérifie d'une manière visuelle les composants extérieurs du moteur.

Cette inspection obéit à des normes établies par le constructeur du moteur ; elle est prescrite en :

- Inspection journalière
- Inspection hebdomadaire

• Vérification de fonctionnement :

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

• Inspection en état :

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

• PV2 :

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

• Inspection boroscopique :

Cette inspection nécessite un appareillage (le boroscope) et un éclairage variant en puissance de 150 à 300 Watts. Elle permet de contrôler l'état des parties internes du moteur :

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

7-2- Entretien en atelier :

C'est une inspection faite suivant un protocole et des fiches de travaux établies par le département engineering, avec des travaux beaucoup plus approfondis qu'en ligne.

Ces inspections sont :

- Inspection visuelle
- Absence de déformation
- Absence de criques
- Absence de corrosion

Avant d'entamer chacune des opérations il faut :

- Réunir les outils et matériels nécessaires à chaque inspection
- Bien comprendre la procédure
- Suivre la procédure

L'inspection préliminaire détermine le niveau de maintenance, il existe trois (03) niveaux :

Niveau I :

La (PV2) est la maintenance du réacteur assemblé (contrôler tous les systèmes ensuite remettre en exploitation).

Niveau II :

Sous-traitance de tout le moteur assemblé (complet engine control) le protocole nécessaire est le shop indication report.

Niveau III :

La dépose modulaire : est une inspection de l'un des modules, tous les modules, ou bien des sous modules spécifiques.

7-3- Schéma classique d'entretien Long /Moyen courrier :**Définition d'une visite :**

L'entretien des aéronefs doit être organisé en un temps cohérent, judicieux de façon à minimiser les temps d'immobilisation de l'aéronef, il s'agit donc de grouper des opérations élémentaires d'entretien d'importance et de périodicité comparables, ces groupes d'opérations sont appelés "VISITES"

Ces visites sont réparties comme suit :

-Visite PREVOL (PV) :

Elle peut être faite éventuellement par l'équipage visuellement.
(Exemple : vérifier le plein d'huile moteur, l'état du gonflage des pneus, une éventuelle présence de fuite...)

-Visite JOURNALIERE (VJ) :

Elle se fait après trois (03) jours d'exploitation de l'avion.

$VJ = VP + \text{Autres inspections}$

Elle comporte en plus des opérations de la VP d'autres inspections portant par exemple sur l'état général du fuselage, la voilure, des entrées d'air du moteur ...etc... La tendance à espacer pour ce type de visite est de trois (03) jours ou plus.

- Visite A :

Elle s'effectue chaque 300 - 400 HDV (un mois à peu près) sans démonter.

$VA = VJ + \text{Autres inspections}$

Inspection visuelle plus détaillée des systèmes et composantes de la structure (exemple : train d'atterrissage, surface des ailes, les moteurs et leurs fixations avec le mât, les portes, l'oxygène, les mécanismes des portes mobiles, systèmes de détection de fumée...etc.

Cette visite a une durée moyenne de huit (08) jours.

-Visite B :

S'effectue chaque 1000 - 1200 HDV (à peu près chaque trois (03) mois)

$VB = VA + \text{Autres inspections}$

On ajoute à la visite A d'autres inspections plus poussées pour vérifier le fonctionnement du système.

La durée de la visite est de deux (02) à trois (03) jours.

-Visite C :

Elle s'effectue à 3600 - 4000 HDV (chaque un an).

$VC = VB + \text{Autres inspections}$

On inspecte les équipements et systèmes cachés (à accès difficile) nécessite une dépose pour les inspecter. (Exemple : plancher)

Elle dure une semaine (moyenne internationale).

-Visite D (GV, RG):

Elle s'effectue de cinq (05) à sept (07) ans.

La grande visite est une vérification complète de l'avion est effectuée avec examen minutieux (inspection de tous les systèmes, et toute la structure).

Elle dure un mois (moyenne internationale).

GV : grande visite

RG : révision générale

Remarques :

- On applique les visites selon le mode d'entretien correspondant à l'équipement.

- La terminologie A, B, C et D et les périodicités sont données à titre d'exemple, les périodicités des visites peuvent varier d'une compagnie à une autre et pour un même type d'avion .

La périodicité dépend de :

- La fréquence des vols (moyenne journalière)
- L'expérience et du type d'exploitation de la compagnie aérienne.

8- Documents de maintenance (constructeur) :

8-1- Définition de quelques documents :

- L'AMM (Airplane Maintenance Manual) :

Il englobe les procédures qui relatent les fonctions suivantes :

- Dépose/pose des équipements
- La localisation des équipements
- Ajustements/tests de confirmation de bon fonctionnement
- Nettoyage/Peinture
- Inspection/vérification
- Réparation

- Le SSM (System Schemat Manual) pour BOEING :

Permet à l'utilisateur une compréhension du mode opérationnel des systèmes, il explique aussi les interconnexions de tous les LRU (élément déposable en ligne) constituant les systèmes ou les sous-systèmes.

Sinon pour AIRBUS on a le CMM (Component Maintenance Manual)

- Le WDM (Wiring Diagram Manual):

Le WDM fournit les détails de câblage point par point dans l'avion.

- L'IPC (Illustrated Part Component) :

L'IPC fournit un détail sur l'emplacement, le montage et démontage, ainsi que le détail de chaque élément, il donne aussi le numéro de série de chaque élément constituant l'équipement

- Le FRM (Fault Reporting Manual) :

Le FRM est utilisé par l'équipage pour améliorer la communication avec le personnel de maintenance au sol, l'équipage utilise ce manuel pour avoir le code de la faute.

-Le FIM (Fault Isolation Manual) :

Le FIM est utilisé pour réparer des fautes observées dans l'avion, on démarre la recherche à partir du code de la panne, ou une description de la faute (symptômes observés). Le FIM identifie les actions de maintenance à entreprendre pour corriger la faute.

8-2- Documents utilisés lors de la maintenance non programmée**(Unscheduled maintenance) :**

Les manuels utilisés lors de cette maintenance sont :

- Fault Isolation Manual (FIM) pour BOEING, Trouble Shooting Manual (TSM) pour AIRBUS .
- Built In Test Equipment Manual (BITE manual)
- Airplane Maintenance Manual (AMM)
- Fault Reporting Manual (FRM)
- Structural Repair Manual (SRM)

8-3- Documents utilisés lors de la maintenance programmée**(Scheduled maintenance) :**

Les documents utilisés sont :

- Airplane Maintenance Manual (AMM)
- Maintenance Planning Manual (MPD)

8-4- Documents utilisés comme supports :

Ces documents sont utilisés comme support d'aide dans la maintenance programmée et la non programmée :

- WDM
- SSM (pour BOEING)
- IPC

CONCLUSION

A l'issue de notre stage pratique qui s'est déroulé au niveau des installations technique de la compagnie Air Algérie avec la collaboration de notre promoteur et la direction technique de la compagnie, on c'est intéressé a l'étude des système de régulation hydromécanique de carburant est son évaluation à travers trois générations partant du régulateur FCU sur JT8D, puis sur le régulateur a autonomie partielle sur CF6 80 et enfin le système FADEC sur CFM 56-7B.

Il faut noté que le travail nous a permis de :

- ✓ Comprendre l'utilité est le fonctionnement de ces systèmes.
- ✓ Comprendre comment le système a évalué et la manière par laquelle les Constructeurs ont pus adapter leurs produits aux nouvelles exigences de faire Travailler les moteurs dans des conditions divers et extrêmes.
- ✓ Connaître la philosophie de dépannage et le déroulement de la procédure de la recherche de panne.

Enfin, nous souhaitons que nos efforts ont été fructueux et que nous sommes arrivés a apportés par notre travail un plus au sein de notre institut et au sein de la compagnie Air Algérie.

BIBLIOGRAPHIE

| TITRE | AUTEUR | EDITION | COTE | DISPONIBILITE |
|--|--|---|------------------|--|
| CF6-80 Engins student notebook | GE | Edition 6 – IM 1 ^{er} Juin 1983 | - | Air Algérie |
| Alimentation et régu- lation carburant A310 –ATA 73 | Centre d'instru- ction de VILGENIS (Air France) | N° 3 M. LEON Janvier 86 | DT.TR 3.10.33 | Air Algérie |
| Réacteur GE CF6-80 Description – ATA 72 | Centre d'instru- ction de VILGENIS (Air France) | N° 2 M. LEON Juillet 89 | DT.TR 10.037 | Air Algérie |
| Technologie des Turboréacteurs | LEHMAN et LEPOURRY E | - | 2283 | Bibliothèque de L'institut D'aéronautique de Blida |
| Manuel de Maintenance JT8D | Documentation Air France | Livret N° 8221 | - | Atelier de Maintenance de L'institut D'aéronautique de Blida |
| Manuel de Maintenance CFM 56 7B | - | - | - | Sur Internet |
| Moteur d'avion Tome II | G.DAVERDIN | Institut d'aéronautique JEAN MERMOZ 1994 | 1401 | Bibliothèque de L'institut D'aéronautique de Blida |
| Thèse Etude Comparative Entre les Systèmes Hydromécaniques du Moteur CFM 56-5B Et CFM 56-7B | M ^r ZIOUANE ISMAIL Et M ^r BENHAOUA ALI | 2002 | - | Atelier de Maintenance de L'institut D'aéronautique de Blida |
| Aircraft Maintenance Manual | - | - | - | En vente libre |

ملخص المذكرة

لقد تطرقنا في هذه المذكرة الى تبيان مختلف انظمة التحكم الموجودة في المحركات النفاثة مع اظهار ديقية اشتغالها و لقد قمنا باعطاء امثلة لانظمة التحكم الثلاث وذلك بابرارها عن طريق المحركات النفاثة الثلاث التالية : CFM 56-7B, CF6-80 A1, JT8D

RESUME DU TRAVAIL

Notre travail a consisté à énumérer les différents systèmes de régulation équipant les turboréacteurs et à illustrer leur mode de fonctionnement, comme on a donné des exemples sur les trois systèmes de régulation et cela à travers les trois turboréacteurs suivant : JT8D, CF6-80 A1, CFM 56-7B.

R ESUME OF WORK

Our work consisted in enumerating the various systems of regulation equipping the turbojets and illustrating their operating mode, like one gave examples on the three systems of regulation and that through the three turbojets according to: JT8D, CF6-80 A1, CFM 56-7B.