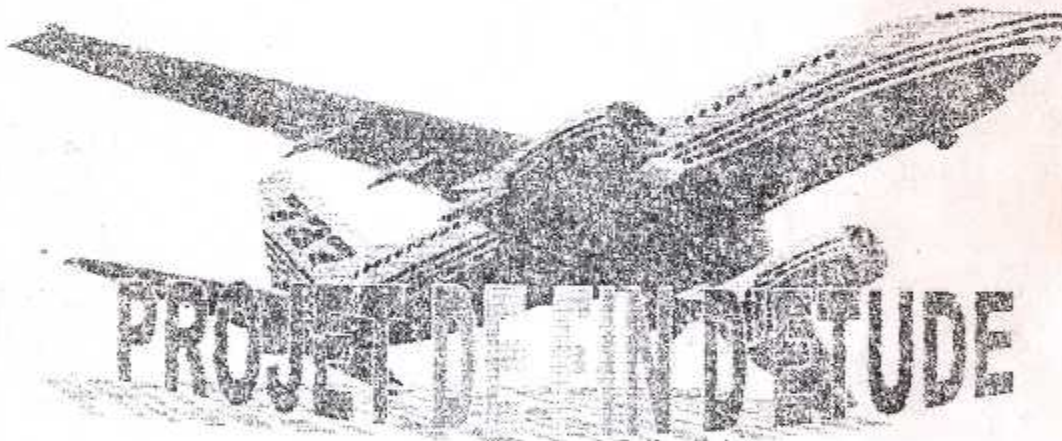


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE DE BLIDA  
INSTITUT D'AERONAUTIQUE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
UNIVERSITAIRE DES ETUDES APPLIQUES

OPTION: PROPULSION

THEME: ETUDE DESCRIPTIVE D'UN TURBOREACTEUR DE  
TYPE CFM56-7B EN COMPARAISON AVEC LE JT8D  
ET LE CF6-80



PROPOSE PAR:  
A/KADER HABES

REALISE PAR:  
SAID MEZIANI

SESSION: JUIN 2001

---

## DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

- Mes chère parents que je leurs souhaite une longue vie.
  - Mes frères et sœurs.
  - Mes belles sœurs.
  - Mes deux petits anges YILLES et ALLYCIA.
  - Mes chères amis de promotions ainsi que ceux de la cité.
  - Mes deux chères amis OMAR ET FERHAT ainsi que ceux du bled.
-

---

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce mémoire, KHALED, AMAR, MOULOUD et SID AHMED-, sans oublier mes amis FERHAT ET OMAR.

Cependant, je voudrais aussi exprimer toute ma gratitude à mon promoteur A/KADER HABES de son aide permanente.

---



# SOMMAIRE

	PAGE
Abreviations.....	01
Resumé du Travail.....	03
Historique.....	04

## CHAPITRE I : DESCRIPTION GENERALE DU CFM56-7B

I.1. Introduction.....	06
I.1.1. Module Fan.....	10
I.1.2. Module Core.....	10
I.1.3. Module LPT.....	10
I.1.4. La Gearbox.....	14
I.1.5. Stations aérodynamiques.....	16
I.1.6. Pales de soufflante et cône d'entrée.....	16
I.2. Caractéristique du moteur.....	18
I.3. Groupe moteur.....	19

## CHAPITRE II : SYSTEME DE REGULATION MOTEUR

II.1. Carburant moteur et système de contrôle.....	29
II.1.1. Définition.....	29
II.1.2. Système de carburant et de contrôle au raccordement moteur.....	31
II.1.3. Système de carburant et de contrôle au raccordement de l'avion.....	35
II.1.4. Composant ARINC 429.....	35
II.1.5. Support de contrôle de coté bas.....	35
II.1.6. Lumière de valve fermée du moteur.....	37
II.1.7. Ecran de visualisation électronique (DUEs).....	37
II.1.8. Système FADEC.....	38
II.2. Alimentation carburant.....	42
II.2.1. Alimentation du moteur en carburant.....	42
II.2.2. Systèmecarburant.....	44
II.2.3. Description fonctionnelle.....	48
II.2.4. Alarmes.....	48

## CHAPITRE III : ALLUMAGE ET DEMARRAGE MOTEUR

III.1. Allumage.....	51
III.2. Démarrage.....	51
III.3. Séquences de mise en route du moteur.....	53
III.4. Indications.....	58



## CHAPITRE IV : SYSTEME DE GRAISSAGE ET DE CONTROLE DE JEUX

IV.1. Système de Graissage.....	64
IV.1.1. Stockage.....	64
IV.1.2. Distribution d'huile.....	66
IV.1.3. Récupération.....	68
IV.1.4. Indications.....	73
IV.2. Air Système.....	74
IV.2.1. Contrôle de jeux turbine HP.....	74
IV.2.2. Contrôle de jeux turbine BP.....	76
IV.2.3. VSV.....	78
IV.2.4. VBV.....	78
IV.2.5. TBV.....	80

## CHAPITRE V : INVERSEUR DE POUSSEE

V.1. Définition.....	81
V.1.1. Commande de l'inversion de poussée par l'équipage.....	81
V.1.2. Constitution du système de transmission des ordres.....	81
V.1.3. Fonctionnement.....	84
V.1.4. Indications.....	84
V.1.5. Rentrée des inverseurs de poussées.....	84
V.1.6. Maintenance.....	85
V.2. Détection et Extinction incendie.....	85
V.2.1. Détection incendie.....	85
V.2.2. Extinction incendie.....	89

## COMPARAISON AVEC LES REACTEURS JT8D, CF6-80 et CFM56-7B.

Description du moteur JT8D.....	90
Commentaire.....	101
Description du moteur CF6-80.....	102
Comparaison entre le JT8D et le CF6-80.....	109
Comparaison entre les trois réacteurs.....	110
Préparer l'avenir.....	113
Conclusion.....	114

**ABREVIATIONS :**

- AC : Courant alternatif.
- A/C. A/P : Avion.
- ACARS : Système de transmission de données numériques entre l'avion en Vol et le sol et inversement.
- ADIRU : Centrale de référence inertielle de données aériennes.
- AGB : Boite de commande d'accessoires.
- ALTN : Dégagement.
- AOG : Appareil immobilisé.
- APU : Unité de puissance auxiliaire.
- ARINC : Organisme de gestion des télécommunications aéronautique.
- A/T : Automanette.
- BITE : Equipement d'essai incorporé – contrôleur intégré.
- BSI : Inspection endoscopique (sans démontage du moteur).
- BSV : Verins d'ouverture des clapets de décharge .
- °C : Degrés celsius.
- CDS : Système de visualisation commune.
- CDU : Boite de commande et d'affichage.
- CFMI : CFM Internationale.
- CIP : Pression d'entrée compresseur.
- CIT : Température d'entrée compresseur.
- CSD : Entraînement à vitesse constante.
- DAC : Moteur à chambre de combustion annulaire double.
- DUE : Unité d'affichage électronique.
- DOD : Dégât causé par un phénomène naturel.
- DMS : Système de détection (surveillance) débris.
- EEC : Système de régulation électronique numérique à pleine autorité.
- ECU : Dispositif de régulation numérique du moteur.
- EICAS : Système de contrôle des paramètres moteur et d'alerte équipage.
- EGT : Température de sortie des gaz d'échappement.
- FAA : Bureau fédéral de l'aéronautique (USA).
- FADEC : Système de régulation électronique numérique à pleine autorité Du moteur.
- FMV : Vanne de dosage carburant.
- FMC : Ordinateur de gestion de vol
- FOD : Dégât causé par des corps étrangers.
- FDAU : Boîtier de détection des données de vol.
- FDR : Bande magnétique de vol.
- FAR : Réglementation fédérale de l'aviation civile.
- HMU : Dispositif de régulation du moteur.
- HPC : Compresseur haute pression.
- HPT : Turbine haute pression.
- HPTCC : Contrôle de jeux HPT.

- • HPTCCV : Valve de HPTCC.
- • HPSOV : Robinet d'arrêt HP.
- • IDG : Générateur d'entraînement intégré.
- • IGB : Boîtier du dispositif d'admission.
- • LPC : Compresseur basse pression.
- • LPT : Turbine basse pression.
- • LPTACC : Contrôle de jeux turbine BP.
- • LVDT : Transformateur différentiel variable linéaire.
- • N1 : Vitesse de rotation de l'attelage basse pression.
- • N2 : Vitesse de rotation de l'attelage haute pression.
- • OGV : Aubage directeur de sortie.
- • PN : Référence de pièce.
- • PS3 : Pression de décharge compresseur.
- • PS12 : Pression de l'air statique de l'entrée fan.
- • PS13 : Pression de l'air statique de sortie fan.
- • RPM : Nombres de tours par minute.
- • SNECMA : Société d'étude et de construction de moteurs d'aviation.
- • TBV : Vanne de décharge et de transition.
- • TGB : Boîtier de renvois d'angle.
- • TLA : Manette de commande d'angle de poussée.
- • VBV : Vannes de décharge.
- • VSV : Stators à calage variable.



## RESUME DU TRAVAIL :

En général, l'adoption d'un type de propulseur par un constructeur pour équiper l'un de ses appareils n'est pas une chose facile ; c'est souvent un choix mûrement réfléchi et qui vient sanctionner des études minutieusement menées sur tous les plans.

En effet, un propulseur est étudié et conçu pour répondre à des besoins opérationnels bien précis tout en étant efficace, économique, facile d'utilisation et de maintenance ; et bien souvent il est le fruit de compromis entre ces différents aspects.

Nous tenterons à travers ce projet de comprendre cette philosophie, et pour cela nous nous inspirerons de la firme BOEING qui a opter pour le dernier moteur issu de la coopération des deux constructeurs SNECMA (France) et GE (USA), en l'occurrence le turbofan de type **CFM56-7B**.

En effet, le constructeur BOEING a opter pour ce moteur au dépends des **JT8-D** équipant jusque la les anciennes séries des **B737** ; Et ce afin d'équiper les nouveaux avions **B737** séries **600-700-800** et la tout dernières séries **900** qui est en ce moment entrain d'effectuer ses premiers test de conformité.

Et afin de justifier le choix de BOEING, nous allons étudier de plus près le **CFM56** en comparaison avec le **JT8-D** son prédécesseur, et également avec le **CF6-80** étant de la même famille que le CFM56 et de parution antérieure ou de génération différente.

*Motors - Turbopropellers*

Pour ce faire, nous nous prêterons à l'étude descriptive des trois moteurs suscités et en tirer les aspects de similitudes et de différences.

# CHAPITRE III

## **HISTORIQUE :**

Avec 50% de la part de marché cumulée les cinq (05) dernière années, la famille CFM56 confirme en 1999 sa place N°1 mondial pour les avions plus de 100 places. Dans le cadre de leur filiale commune, CFM International, SNECMA et GENERAL ELECTRIC conçoivent, fabrique et commercialise les moteurs CFM56. Pour préparer l'avenir et satisfaire le futur besoin du marché, les deux partenaires se sont engagés dans un important programme de développement technologique : TECH 56. Par ailleurs, SNECMA poursuit le développement de son activité dans le domaine des moteurs de forte poussée.

Dans le monde, volent quotidiennement 4000 avions équipés de CFM56, Ils effectuent un décollage toutes les cinq (05) secondes. Les CFM56, moteurs à vocation civile, équipent les AIR-BUS de la famille A320, A340 et les différentes versions de BOEING 737. Dans le domaine de l'aviation commerciale, CFMI motorise aujourd'hui les avions de près de 300 opérateurs. Cependant, le CFM56 présente de nombreuses applications militaires : US Air force et l'Air français équipant les avions BOEING K-135 et BOEING E6-Awacs.

Avec 1080 CFM56 produits, 1999 est une année record. 25 ans après la création du CFMI, c'est également l'année de la livraison du 10000ème CFM56. Enfin, le niveau de prise de commandes est resté soutenu avec 986 unités tous modèles confondus. L'année a été favorable aux ventes de quadriréacteurs A340-300 équipé de CFM56-5C avec 31 avions commandés.

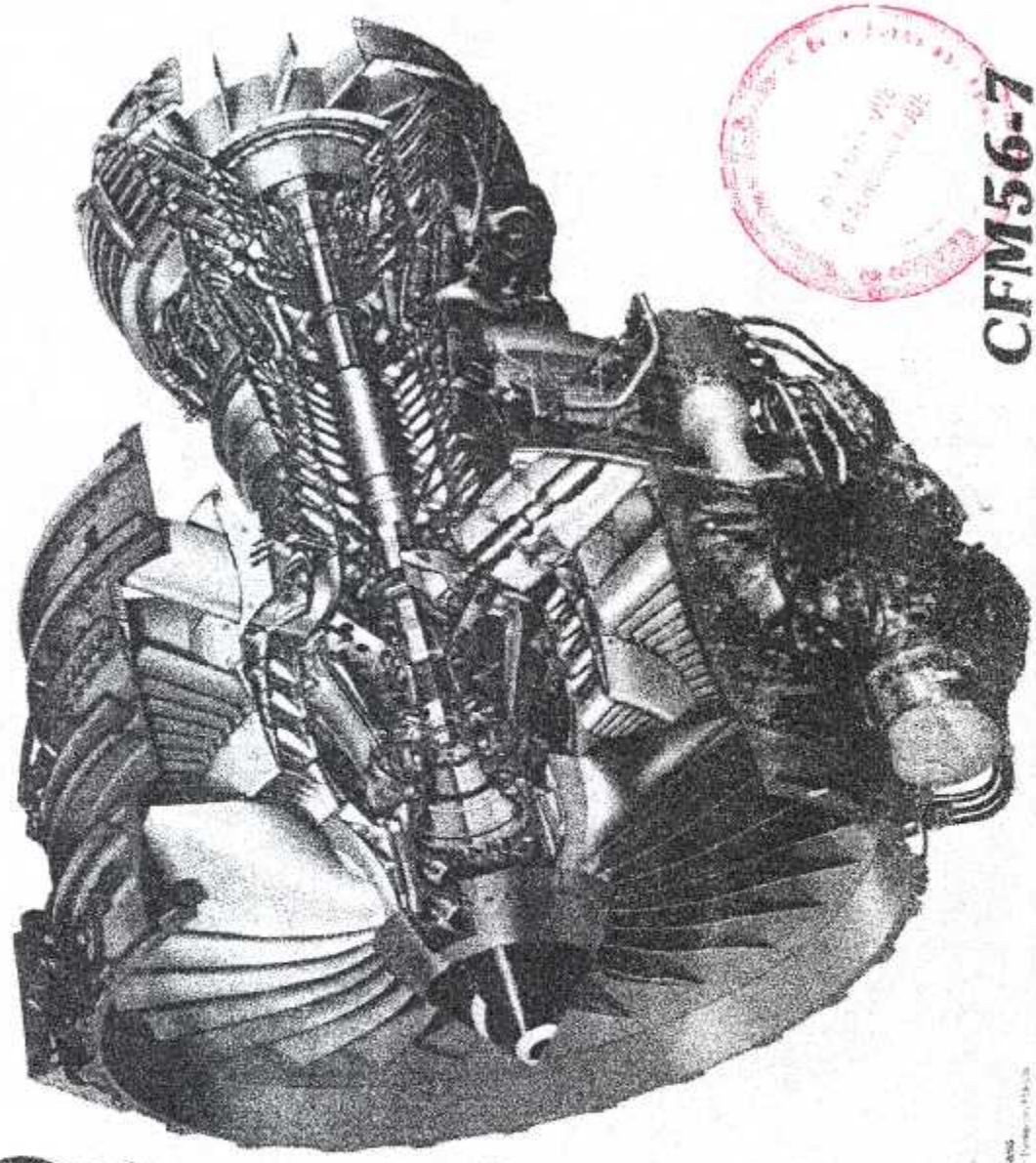
Après avoir produits 1987 avions et fort du succès de sa famille 737 NG, Boeing a finalement interrompu la production de son best-seller toutes catégories, le 737 CLASSIC équipé de moteur CFM56-3 sur ce programme, CFMI a produit 3975 moteurs, l'équivalent d'environ 300 moteurs supplémentaires sera nécessaire pour soutenir la flotte sur les 15 ans à venir.

En 1997, après un premier record du monde de longévité sous l'aile sans dépose en catégorie «cyclage élevé» à 30 317 heures, CFMI a repoussé à deux reprises la marque en 1999. Tout d'abord chez HAPAG-Lloyd puis chez SUN EXPRESS à 32 000 heures à chaque fois avec des moteurs CFM56-3.

De nouvelles applications pour les moteurs CFM ont vu le jour. Par sa commande de 15 avions (et 10 options), Air France est devenu client de lancement de l'Air-Bus A318 équipé de CFM56-5B. Ce moteur est le seul à propulser l'ensemble de sa famille A320. Le CFM56-7 a trouvé une nouvelle application sur le B737 Wedgetail, avion de surveillance électronique commandé par l'armée de l'Air australienne.

Dans le domaine de l'environnement, la nouvelle technologie de chambre de combustion à double tête DAC (Double Annular Combustor), qui permet une réduction importante des émissions polluantes d'oxyde d'azote, a été adopté par Luda Air pour ses 737 NG. Elle est proposée en optant sur les CFM56-5B et 7B et équipé déjà entre autre les avions de Swissair, Austrian Airlines et SAS.





**CFM56-7**

 **THE POWER OF FLIGHT**

CFM INTERNATIONAL  
The Power of Flight

# CHAPITRE I

## DESCRIPTION GENERALE DU CFM56-7B

### 1.1. INTRODUCTION :

Le CFM56 est un moteur qui a été développé à partir d'un programme qui date de 1974, issue d'une fusion de deux sociétés occupant des places importantes à l'échelle mondiale à savoir SNECMA une société nationale française d'étude et de construction de moteurs aéronautiques et GE une société américaine (Fig.02).

La nomination du CFM 56 est un acronyme issu de l'appellation (CF6-Compresseur-fan) de GE et (M-motor) de SNECMA.

#### SNECMA

Fan  
GEAR-BOX  
Turbine BP

#### GE

Core  
Compresseur HP  
Chambre de Combustion  
Turbine HP

Ce moteur occupe une position commerciale très sûre dans le marché aéronautique ; il équipe les avions B737 séries 600-700-800-900-COMBJ-BBJ (Boeing Business Jet)-C40A(version militaire). C'est un moteur double flux, double corps, turbofan à écoulement axial ; son rôle est de délivrer une poussée à l'avion et d'assurer la puissance des circuits de bord suivant :

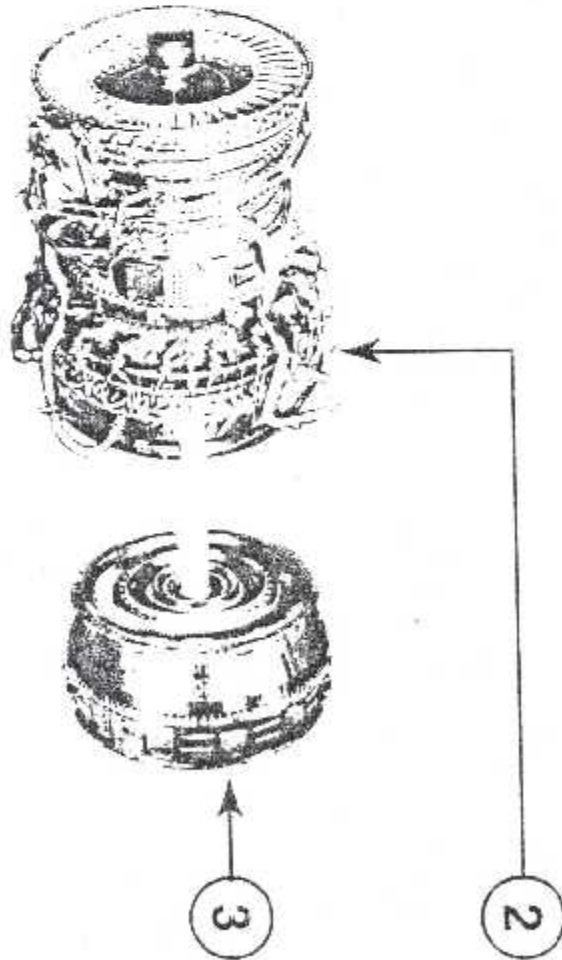
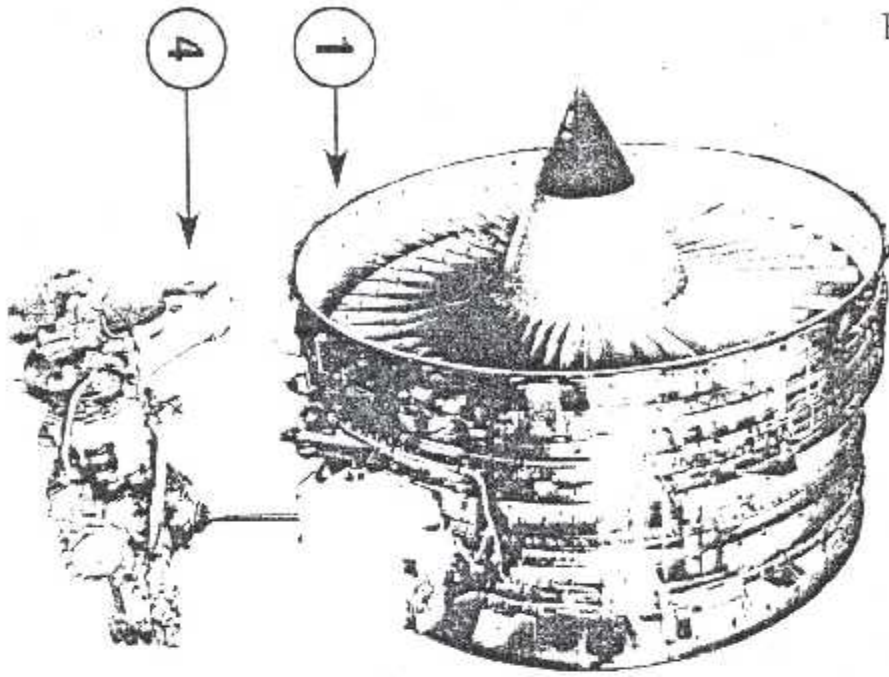
- Electrique.
- Hydraulique.
- Pneumatique.

#### ➤ CARACTERISTIQUES DU BOEING 737-800 :

- Longueur ..... 39,5 mètres
- Envergure..... 34,4 mètres
- Hauteur ..... 12,4 mètres



Fig.02



**SNECMA**

- 1 FAN
- 3 TURBINE BP
- 4 ENTRAINEMENT ACCESSOIRE
- INSTALLATION
- SYSTEME LUB/CARB ET ACCESSOIRES

**GENERAL  
ELECTRIC**

- 2 CORE DU MOTEUR
- INTEGRATION DE CONCEPTION DE SYSTEMES
- SYSTEME DE CONTROLE :
- contrôle principale de moteur/ VADEC

VERSIONS MOTEUR						
	B18	B20	B22	B24	B26	
<b>B27</b>						
Poussée au décollage	19500	20600	22700	24200	26400	27300
Modèles d'avions						
600	X	X	X			
700		X	X	X		
800 / 900				X	X	X
700 IGW		X	X	X		
700 BBJ					X	

### ***POUSSEE DE MOTEUR ET DIAGRAMME D'UTILISATION***

#### **➤ PLAQUE DE DONNEES MOTEUR :**

Elle est en acier inoxydable et peinte avec l'émail noir, elle est située sur la caisse droite de la soufflante à l'arrière du réservoir d'huile. La plaque comprend les données suivantes :

- Données d'organisme de normalisation.
- Données de fabrication de moteur.
- Données de performance de moteur.

Son but est d'enregistrer le type de moteur, le modèle, la certification du type, les codes de production, le numéro de série, l'estimation de poussées et le fabricant (Fig.03).

LE CFM56-7B est composé de trois (03) modules principaux (Fig.04 et 05) :

- Module FAN :
  - La Soufflante.
  - Compresseur BP (LPC).
- Module CORE :
  - Compresseur HP (HPC).
  - Chambre de Combustion.
- Module LPT :
  - Turbine HP (HPT).
  - Turbine BP (LPT).
- Commande des accessoires.

La soufflante, le rotor LPC et le rotor LPT sont sur le même arbre basse pression (N1). Le rotor HPC et le rotor HPT sont également sur l'arbre haute pression (N2).

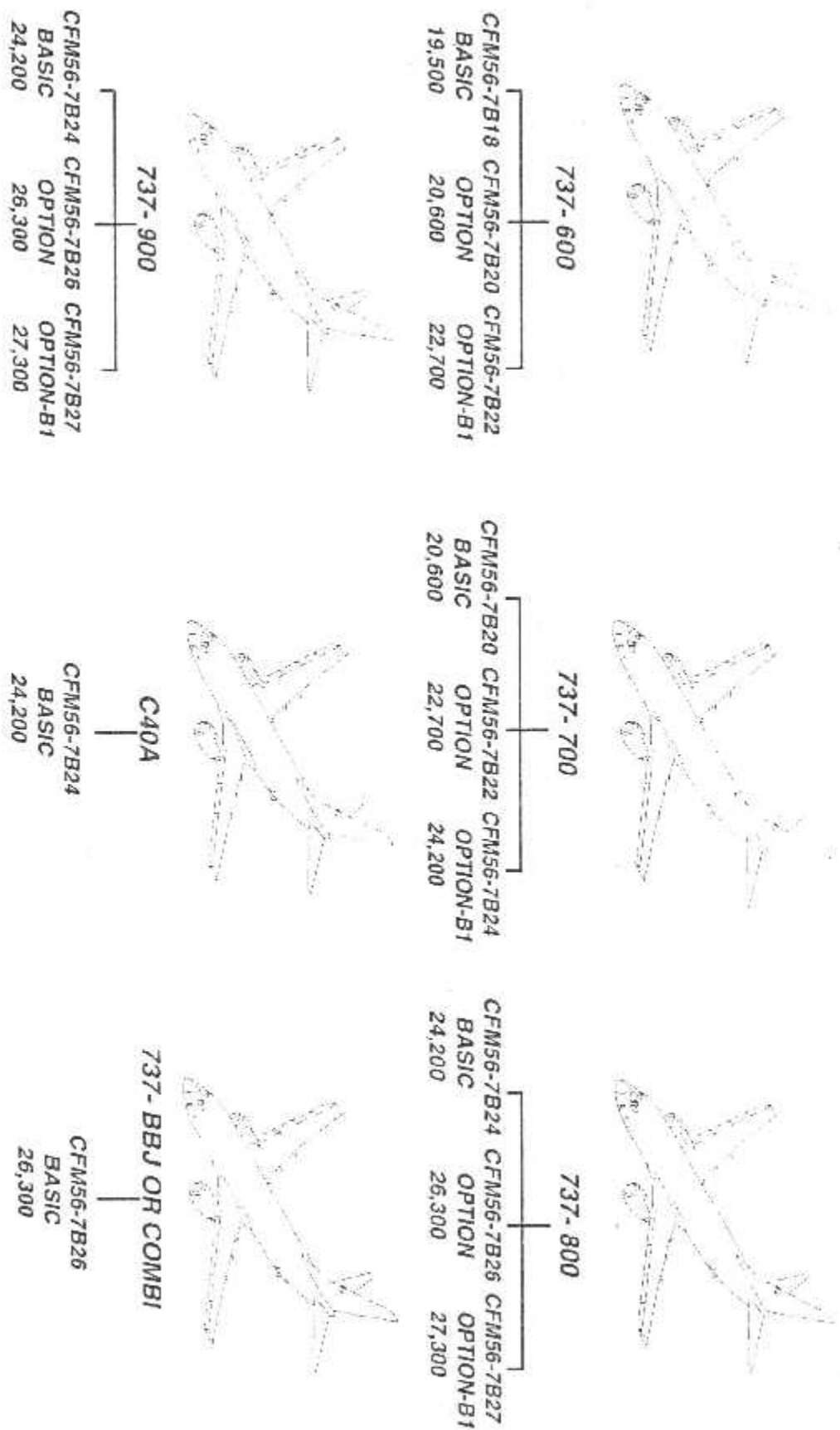


Fig.03

APPLICATIONS ET CARACTERISTIQUES  
NOMINALES DE MOTEUR



### ***1.1.1. MODULE FAN :***

#### ***a. La Soufflante :***

La soufflante est composée de 24 ailettes, elle est entraînée par la LPT.

#### ***b. Compresseur Basse Pression :***

C'est un compresseur à trois (03) étages, il est entraîné par également par le LPT. Il dispose à sa sortie 12 vannes de décharge (VBV) qui permettent d'évacuer dans le canal du flux secondaire l'excès d'air que fournit éventuellement dans certaines conditions le LPC, évitant ainsi le pompage de ce dernier.

La soufflante et le compresseur basse pression forment un compresseur à quatre (04) étages. Le fan accélère la vitesse de l'air, un splitter divise cet air en deux parties : L'air primaire et l'air secondaire.

L'écoulement primaire va au niveau du core de l'engin après avoir été entraîné par le LPC pour augmenter sa pression et l'envoyer vers le HPC.

Le secondaire entre dans les approvisionnements de conduit du fan (tuyère du fan), ce dernier fournit approximativement 80% de la poussée pendant le démarrage.

### ***1.1.2. MODULE CORE :***

#### ***a. Compresseur Haute Pression (HPC) :***

C'est un compresseur axial constitué de neuf (09) étages, il augmente la pression de l'air provenant du compresseur basse pression et l'envoie vers la chambre de combustion. Les trois (03) premiers étages comportent des aubes statoriques à calage variable (VSV) et constituent le dispositif anti-pompage HP.

#### ***b. Chambre de Combustion (C-C) :***

La chambre de combustion est de type annulaire comportant 20 injecteurs et deux (02) bougies d'allumage. A ce niveau l'air provenant du compresseur haute pression est mélangée avec du carburant vaporisé des injecteurs ; Ce mélange fut brûlé et génère des gaz chauds qui se dirigent vers la HPT.

### ***1.1.3. MODULE LPT :***

#### ***a. Turbine haute pression (HPT) :***

C'est un module à un (01) seul étage. Elle effectue la transformation de l'énergie des gaz chauds en énergie mécanique pour entraîner le HPC et la commande des accessoires. L'ensemble HPT-HPC est appelé " attelage HP " (N2). Cet attelage tourne dans le sens horaire, il est supporté par trois (03) roulements 3B, 3R, 4R ( à billes, à rouleaux, à rouleaux ).

CFM56 : CONCEPTION MODULAIRE

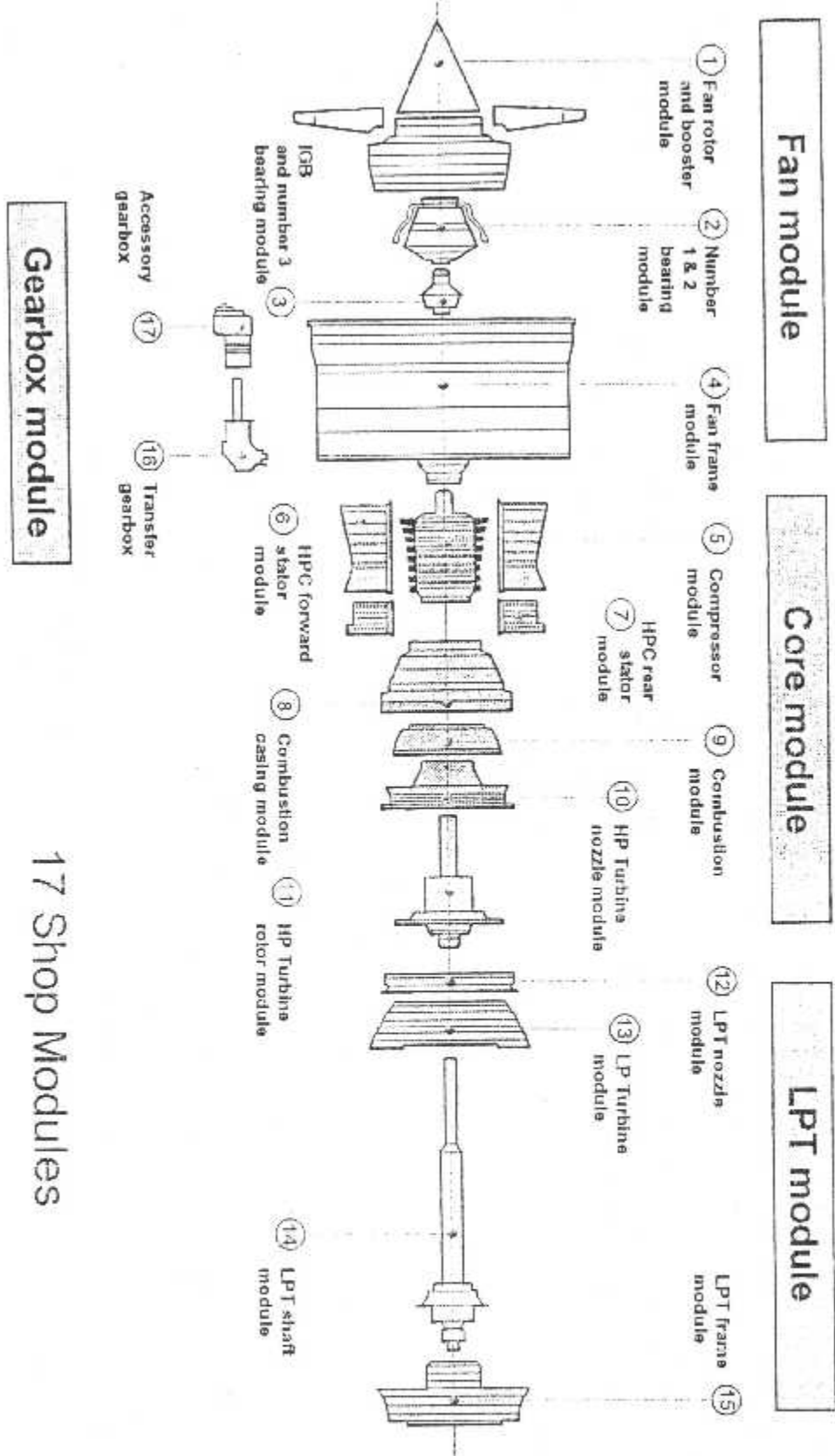


Fig.04

**COMPOSANT DE LA FIGURE (04) :****MODULE FAN :**

- 1 : Rotor de Fan et Compresseur BP Module.
- 2 : Roulements N°1 et N° Module.
- 3 : IGB et Roulement N°3 Module.
- 4 : Châssis du Fan Module.

**MODULE CORE :**

- 5 : Compresseur Module.
- 6 : Stator Amont du Compresseur HP Module.
- 7 : Stator Aval du Compresseur HP Module.
- 8 : Carter de Combustion Module.
- 9 : combustion Module.
- 10 : Tuyère Turbine HP Module.
- 11 : Rotor Turbine HP Module.

**MODULE LPT :**

- 12 : Tuyère Turbine BP Module.
- 13 : Tuyère BP Module.
- 14 : Arbre Turbine BP Module.
- 15 : Châssis Turbine BP Module.

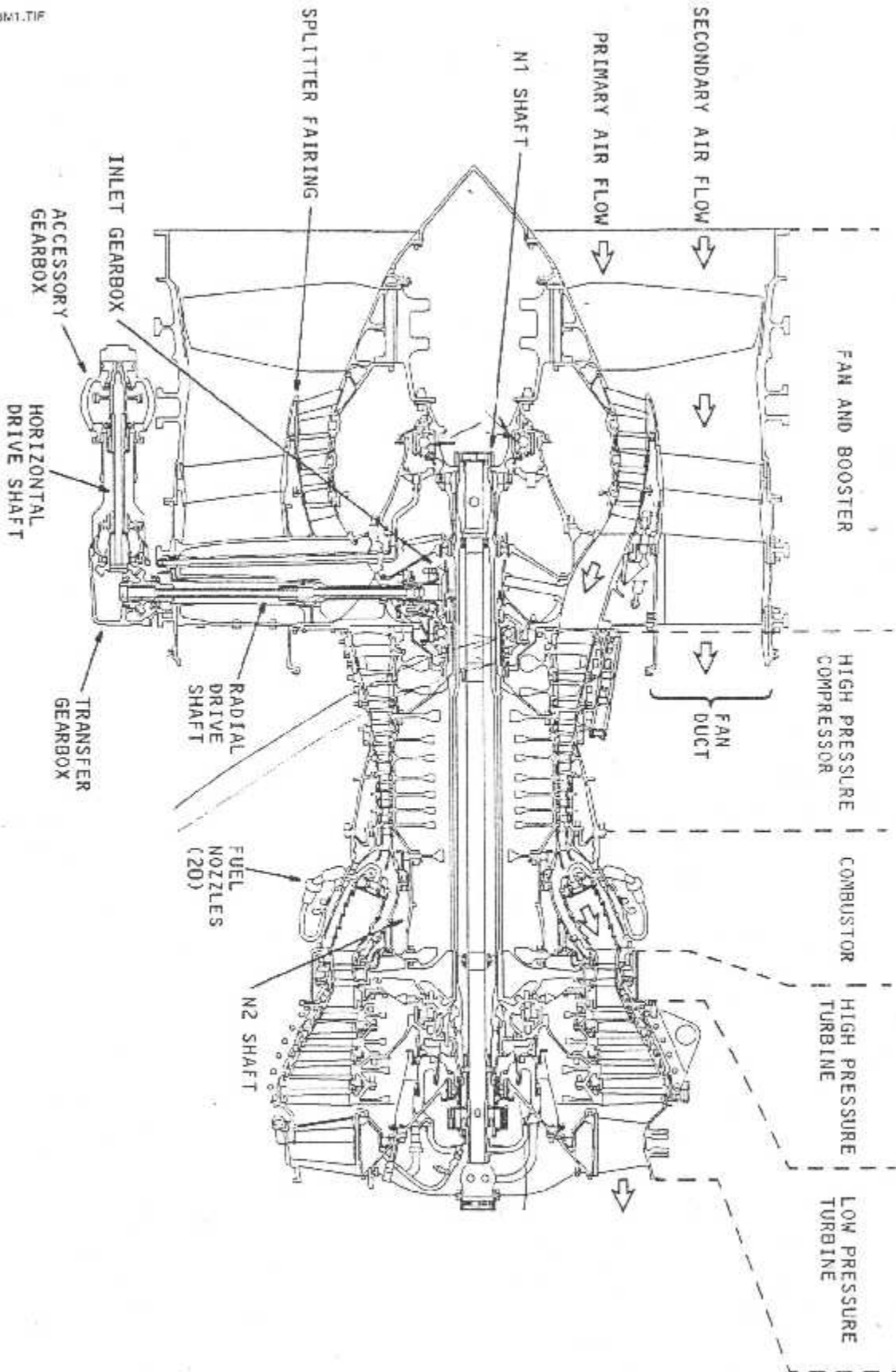
**MODULE GEARBOX :**

- 16 : TGB.
- 17 : AGB.

**17 MODULES DEPOSES**



19M1.TIF



DESCRIPTION GENERALE DU MOTEUR

Fig.05

**b. Turbine Basse Pression (LPT) :**

C'est une turbine a quatre (04) étages. Elle transforme l'énergie des gaz chauds en énergie mécanique qui sert pour entraîner la soufflante et le LPC. L'ensemble LPT-LPC est appelé "attelage BP" (N1). Cet attelage tourne dans le sens horaire, il est supporté par le roulement 5R (à rouleaux).

**1.1.4. COMMANDE DES ACCESSOIRES (GEARBOX) :**

Elle est composée de :

- Boîtier du dispositif d'admission (IGB).
- Arbre d'entraînement Radial (RDS).
- Boîtier de renvois d'angle (TGB).
- Arbre d'entraînement horizontal (HDS).
- Boite de commande des accessoires (AGB)

L'axe N2 entraîne l'AGB par ces axes et boite de vitesse :

- IGB.
- RDS.
- TGB.
- HDS.

L'AGB tient et actionne les accessoires d'avion et du moteur.

**✓ MODULE DE LA BOITE D'ENTRAÎNEMENT DES ACCESSOIRES (AGB) :**

L'attelage HP entraîne le boîtier d'entraînement des accessoires et reçoit le mouvement du démarreur par l'intermédiaire d'une prise de mouvement d'une boite de transfert. il est fixé à la partie inférieure du Fan et il est équipé des différents accessoires suivant :

sur la face avant (Fig.06) :

- Joints magnétiques.
- Alternateur de la EEC (unité de contrôle électronique).
- Démarreur d'air du moteur.
- Lancement de la garniture a la manivelle.
- Pompe hydraulique.
- Générateur intégré d'entraînement.

La garniture de la manivelle est utilisée pour entraîner le rotor de N2 pendant l'endoscopie. les unités de lignes remplaçables et les ports de services associés au module d'AGB et situé sur la face arrière de cette dernière sont :

72-20-00-060.TIF

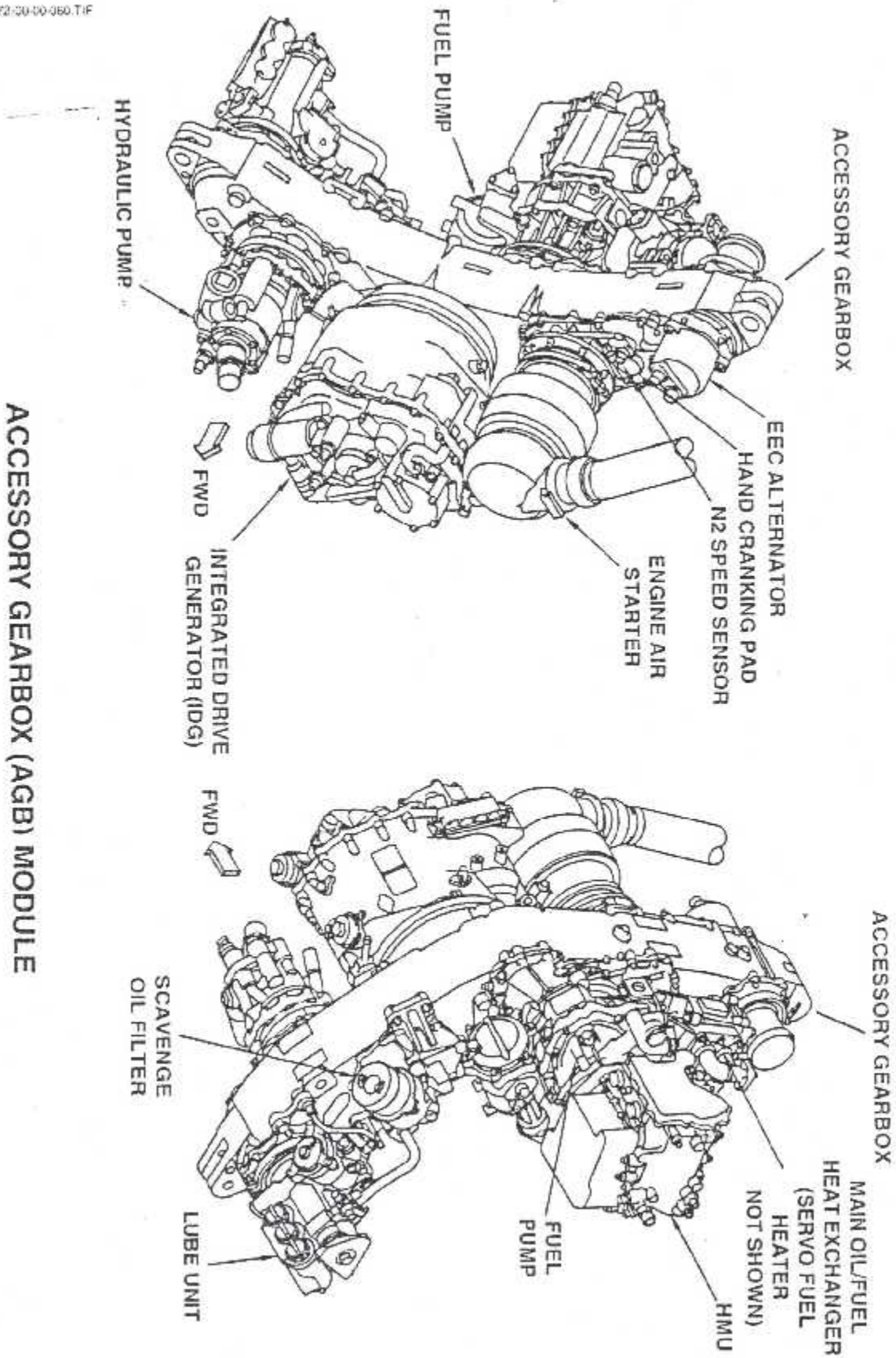


fig.06



- joints magnétiques
- unité hydromécanique (HMU)
- pompe de carburant
- pompe de lubrification
- échangeur de chaleur principale huile/carburant
- servo réchauffeur de carburant

### **Principe :**

L'AGB envoie le couple du rotor N2, par l'IGB et les vitesses de TGB, pour tourner les accessoires du moteur et d'avion.

### **I.1.5. STATION AERODYNAMIQUE DU MOTEUR :**

On distingue sept (07) stations aérodynamiques dont il est placé des sondes sur le CFM56-7B (Fig.07) :

- Station 0 : Air ambiant
- Station 12 : Entrée soufflante
- Station 25 : température d'admission du HPC
- Station 30 : Décharge du HPC
- Station 49.5 : 2ème étage de la tuyère LPT

Si le moteur a le KIT de surveillance de santé optimale, on a plus de sondes à ces stations aérodynamiques :

- Station 13 : Décharge de soufflante
- Station 25 : Admission du HPC
- Station 50 : Décharge de la LPT

### **I.1.6. PALES DE SOUFLANTE ET CONE D'ENTREE :**

#### **a. Cône d'Entrée/Sortie :**

Les deux parties du cône entrées/sortie sont des capots aérodynamiques qui dirige le flux d'air de prise de moteur.

#### **b. Pales de Soufflante :**

Il y a 24 larges cordes, pales de soufflante titanique. Une entretoise sous chaque pale la tient en position radiale correcte, et pour faciliter l'enlèvement des pales, il est primordial d'enlever l'entretoise.

La plate forme entre les lames rendent le flux d'air lisse. L'anneau d'arrêt (bague de retient) tient les entretoises et à des prises d'une bride d'arrêt dans le but de conservation. Les brides d'arrêt (pièce de retenue) tiennent la plate forme et le centre du cône d'entrée.

STATIONS AERODYNAMIQUES DU MOTEUR

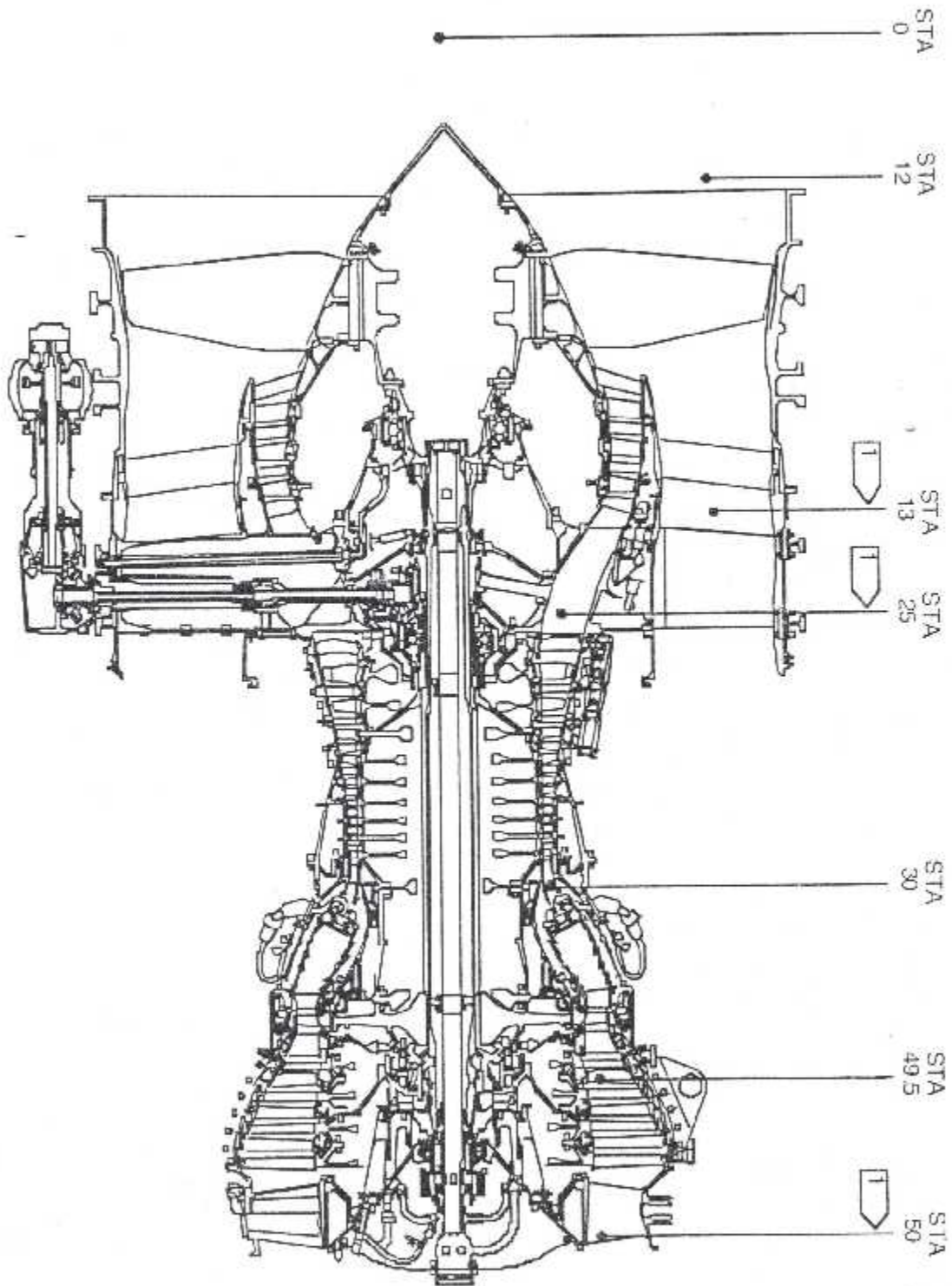


Fig.07

Chaque pale de soufflante est enregistrée selon :

- Sa référence.
- Son poids.
- Le numéro de série.

Quand on enlève ou on remplace les pales de soufflante, il faut d'abord enregistrer la position et le numéro de série des lames pour maintenir le moteur dans l'équilibre. On distingue aussi 36 vis sur le cône partie arrière qui servent de contrepoids en plus des fixations pour équilibrer le système basse pression.

### *c. Procédure de Démontage des pales :*

Enlever la partie avant du cône ensuite la partie arrière, puis la bride d'arrêt, et l'anneau d'arrêt pour obtenir l'accès aux pales de soufflante ; Cependant, on enlève les plates formes adjacentes et l'entretoise pour enlever une pale de soufflante.

## **1.2. CARACTERISTIQUE DU MOTEUR :**

- Modèle ..... CFM56-7B
- Poussée ..... 18000 à 27300 Pounds
- Diamètre du Fan ..... 61 Inch (1,55 mètres)
- Poids du moteur à vide ..... 5257 Pounds (2358 kg)
- Masse de la Nacelle complète  
( Moteur + Capots ) ..... 3300 kg.
- Longueur ..... 2,50 mètres.
- Mach ..... 0,8
- N1 max..... 5380 RPM (104 %)
- N2 max..... 15183 RPM (105 %)
- Taux de compression ..... 32
- Débit d'air au décollage ..... 385 kg/h
- Vitesse moyenne d'éjection  
des gaz (décollage) ..... 295 m/s
- Consommation spécifique ..... 0,59 à 35kft. c.à.d 0,59 kg de carburant  
par kgf de poussée et par heure
- Taux de dilution ..... 5,6
- Générateur électrique ..... 90 Kva
- Hydraulique ..... 3000 psi à 34 gallons/min.
- Pneumatique ..... limité à 3000 psi et 390 à 440f degrés.
- Limite de démarrage de l'EGT ..... 725 °C
- EGT max..... 950 °C



### ***1.3. GROUPE MOTEUR :***

Il comprend (Fig.08) :

- le bâtis moteur
- capotage moteur
- drainage moteur

#### ***1.3.1. BATIS MOTEUR :***

Le moteur contient des bâtis avant et arrière, chaque bâti attache le moteur à la contrefiche. Les attaches du bâti avant à l'armature de soufflante et celles de l'arrière à l'armature turbine.

*NB* : un dispositif de sûreté pour maintenir l'écrou sur certains boulons du bâti moteur doit être enfoncé pour enlever l'écrou si non ce dispositif peut être endommagé.

#### ***1.3.2. NACELLE ET MAT REACTEUR :***

##### ***a. Capot :***

Le capotage moteur comprend :

- Capot Fan,
- Capot Core.
- Capot Reverse.

En plus de leur rôle évident de protection et de carénage extérieur des moteurs, les capots assurent les fonctions suivantes :

- ils forment le canal d'écoulement du flux secondaire et sa tuyère
- Ils comportent les dispositifs d'inversion de poussée par retournement du flux secondaire.
- Entre les carters du moteur et leurs parois internes, ils forment des compartiments isolés pour contenir puis évacuer des vapeurs ou des écoulements de carburant, d'huile, de fluide hydraulique qui pourraient s'accumuler dans la nacelle en cas de fuite.
- Ils contiennent les effets de l'explosion ou d'une fuite éventuelle importante d'une tuyauterie pneumatique.
- Ils sont capables de contenir un incendie éventuel pendant 15 minutes.

On distingue quatre (04) sorte de capots :

- Capot d'entrée d'air.
  - Les deux demi-capots de soufflante (gauche et droit), articulés au mat par des charnières, pour permettre, une fois relevés et maintenue ouverts par des bielles, un accès aisé au moteur pour les opérations de maintenance (notamment pour la dépose/pose du moteur). Ces deux demi-capots sont attachés en bas par des verrous en dehors des opérations ci-dessus.
-

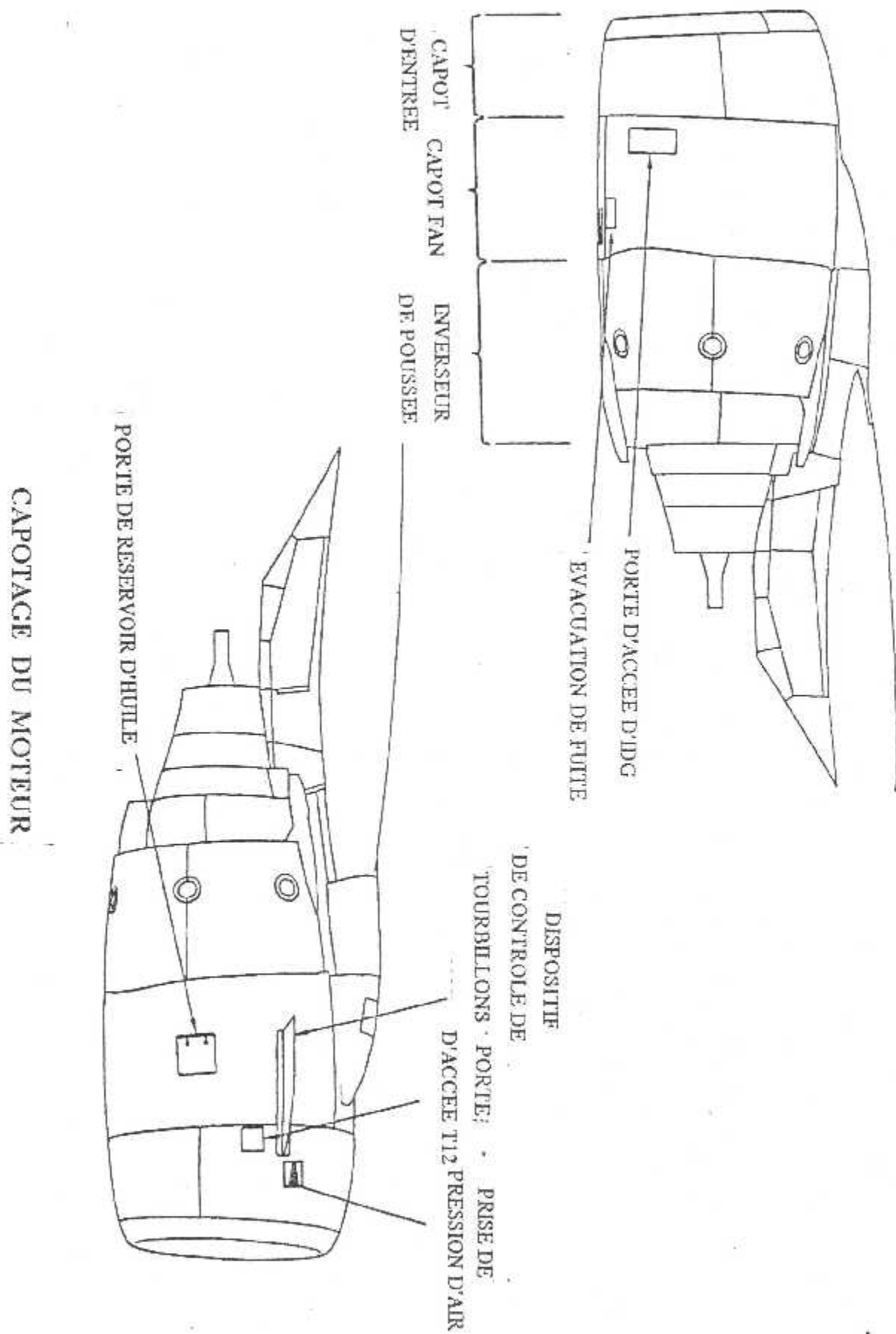


Fig.08

- Les deux demi-capots de poussée soufflante (directe et inverse), comme les capots de soufflante, ils peuvent être relevés et maintenus ouverts pour la maintenance.
- Le capot formant la tuyère primaire.

La masse de la nacelle complète (moteur + capots) s'élève à 3300 kg Cette valeur comprend aussi la masse de tous les équipements et accessoires montés sur le moteur.

Les capots d'entrées d'air et de tuyère primaire restent fixés lorsqu'on dépose celui-ci. Il en va de même pour tous ses équipements et accessoires. Ceci permet de procéder au remplacement d'un moteur équipé dans un temps minimum.

L'ensemble : moteur + équipements + accessoires + entrée d'air + tuyère primaire est souvent appelée QUICK ENGINE CHANGE. Sa masse est de l'ordre de 2335 kg. La figure (09) montre la nacelle et les capots.

Comme les entrées d'air moteur sont très exposés à l'accumulation de givre, le capot d'entrée d'air est anti-givré sur tout le bord d'attaque, à la demande du pilote, par l'air chaud prélevé sur le 5ème étage du compresseur HP (fig.10).

Sur leurs parois interne, les capots sont revêtus de panneaux acoustiques faits de structure "nida" prise en sandwich entre des plaques percées de petits trous pour l'évacuation de l'eau. Ils affaiblissent le bruit engendré par les pales de soufflante et l'écoulement du flux secondaire. Leur capacité d'absorption du bruit est élevée et couvre un large spectre de fréquences.

Certaines parties de ces capots (essentiellement les revêtements externes) sont en matériaux composites (graphite-epoxy) et comprennent un système de protection contre la foudre, constitué d'un matériau graphite conducteur à l'intérieur du revêtement, et de tresse de mise à la masse pour l'écoulement des charges électriques. Les autres parties des capots sont en alliage d'aluminium et en titane.

L'espace compris entre les parois internes des capots et le moteur est cloisonné en compartiments, refroidis et ventilés par de l'air frais capté dans l'atmosphère par une écope ou bien pris dans le flux secondaire ou encore admis par succion (fig.10).

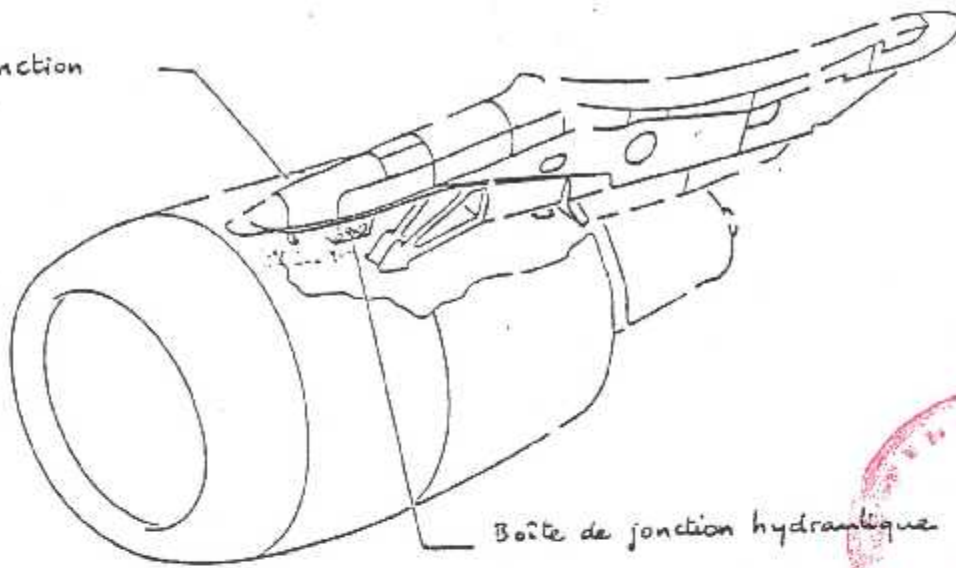
Au bord des capots, des joints ignifugés assurent l'étanchéité des compartiments, et participe à l'isolement des compartiments entre eux pour éviter la propagation d'un éventuel incendie.

D'ailleurs, grâce à l'emploi du titane aux endroits exposés, la nacelle peut contenir un feu moteur pendant 15 min des portes de surpression sont installés, qui s'ouvrent en cas de surpression dans la nacelle, due par exemple à une fuite pneumatique importante, afin d'éviter la déformation des capots, voire leur arrachement.

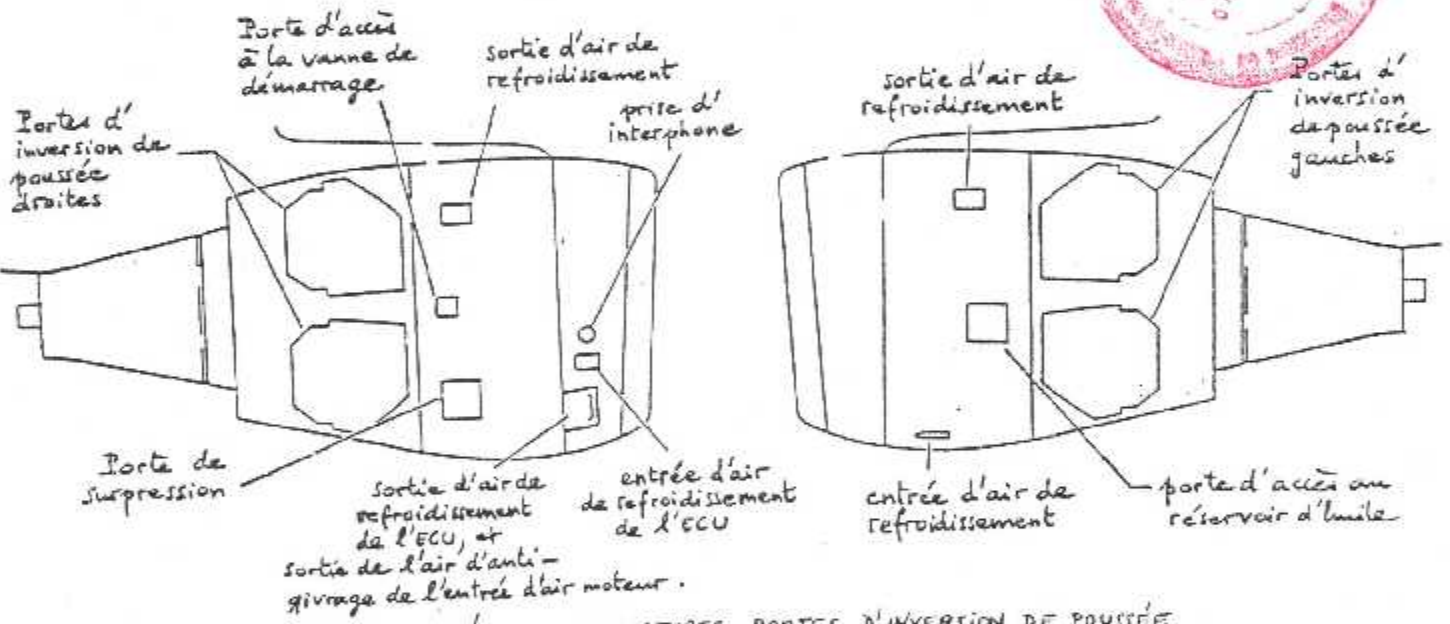
Enfin, les capots comportent de nombreuses portes de visite pour faciliter les opérations d'entretien courant (par exemple refaire les pleins d'huile).



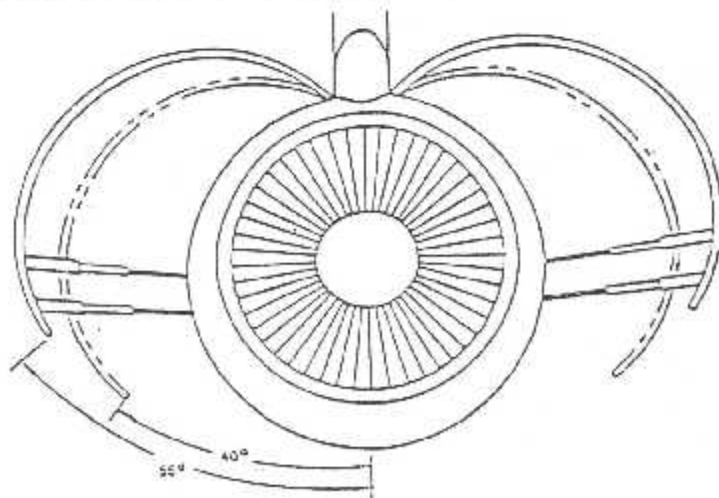
Boîtes de Jonction  
électriques



Boîte de jonction hydraulique



PORTES D'ACCES, OUVERTURES, PORTES D'INVERSION DE POUSSÉE



OUVERTURE DES CAPOTS DE SOUFFLANTE ET DE FLUX SECONDAIRE

Fig.09

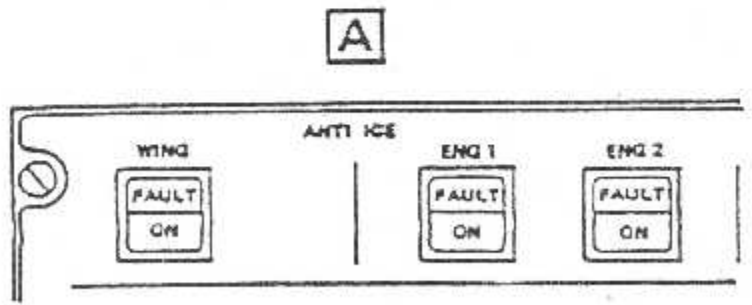
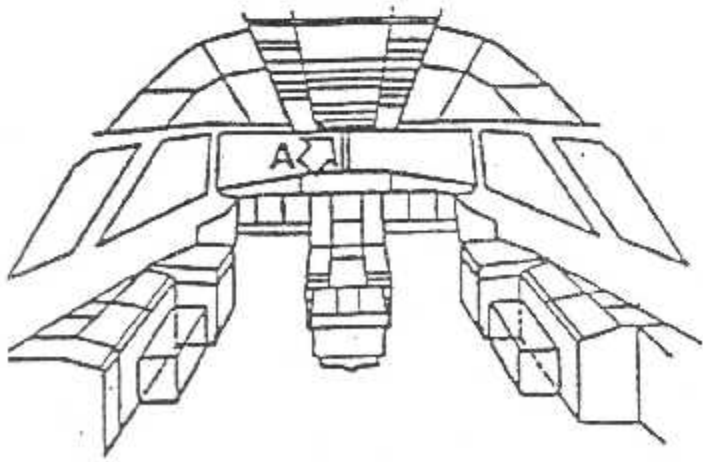
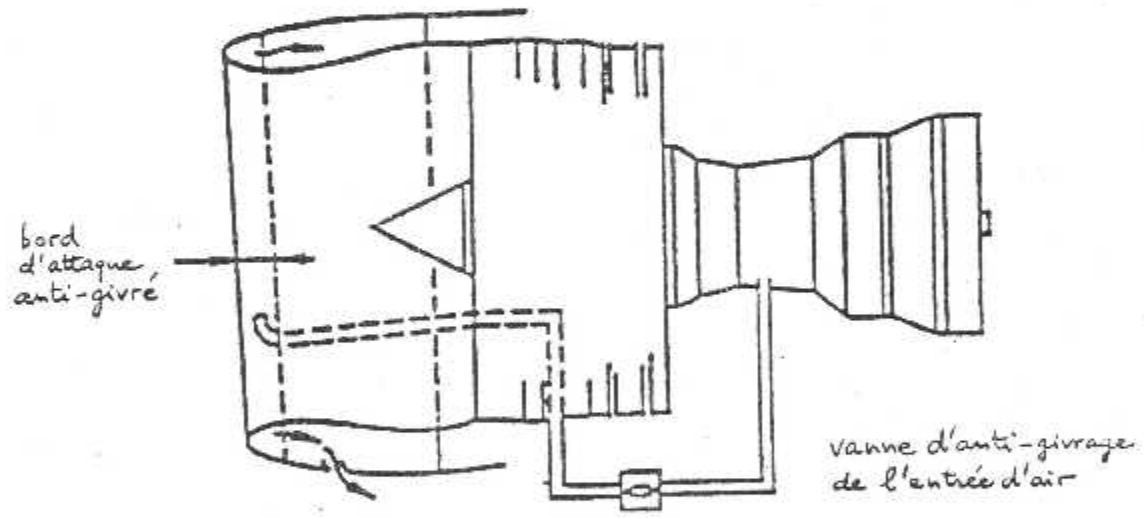
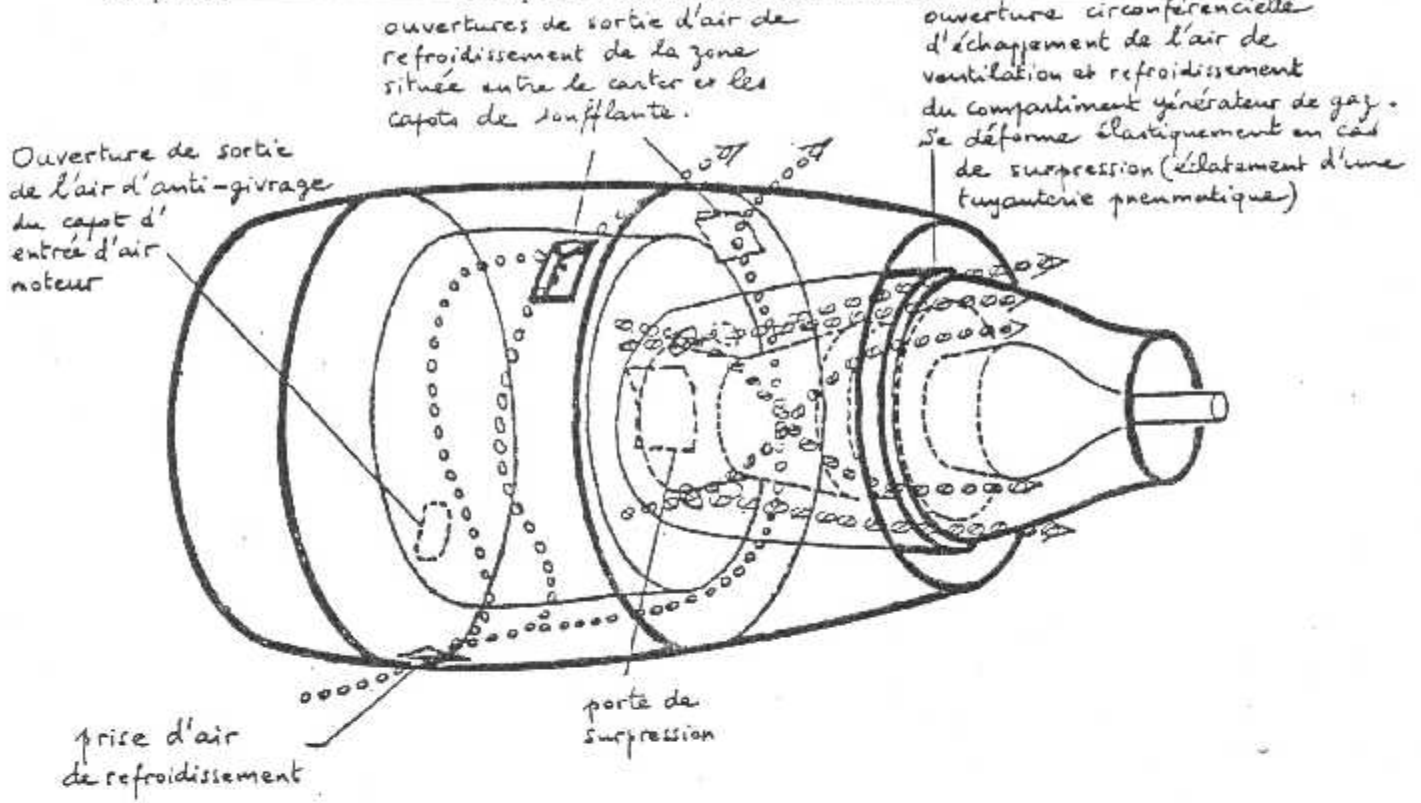


Fig.10



### ***b. Attaches Réacteur :***

Les attaches réacteur transmettent les efforts à la structure de l'avion, par l'intermédiaire du mat réacteur et des attaches voilure (fig.11).

L'attache avant encaisse les efforts verticaux et latéraux, ainsi que les moments par rapport à l'axe X, mais cette attache n'encaisse aucun effort axial (elle offre un degré de liberté en X), afin de permettre les variations de longueur du moteur dû à sa dilatation (environ 8 mm max.). Une ferrure de l'attache avant est en INCONEL (alliage de Ni-Cr), les autres sont en titane. Toutes les ferrures de l'attache arrière sont en INCONEL.

### ***c. Mât Réacteur :***

Le mât réacteur (ou pylône) réunit le moteur à la voilure, et achemine de l'avion vers le moteur et du moteur vers l'avion tous les tuyaux, conduits et fils électriques nécessaires :

- Tuyau carburant
- Câbles électriques pour signaux de commande
- Conduit d'air sous pression (pour le conditionnement d'air de l'avion et le dégivrage voilure)
- Tuyauteries hydrauliques
- Câbles électriques de puissance alimentant le réseau de bord de l'avion à partir des alternateurs
- Faisceaux de câbles électriques véhiculant les valeurs des paramètres moteurs et d'autres signaux (retours d'ordre, etc....).

Le pylône est constitué de longerons en acier, et de nervures en titane pour la plupart. Il est fixé à la voilure par des liaisons articulées comme le montre la (Fig.11).

Pour raison de sécurité (non-propagation de fuites, par exemple), le pylône est séparé en sept (07) compartiments isolés les uns des autres, dans lesquels cheminent les différents circuits.

Toutes les surfaces de pylône adjacentes à la nacelle sont en fait des cloisons pare-feu. Le pylône abrite les bouteilles d'extinction incendie réacteur.

Quelques portes de visite sont prévues, notamment pour inspecter les bouteilles ci-dessus.

### ***1.3.3. DRAINAGE DU MOTEUR ET DU MAT REACTEUR :***

Un système de drainage permanent collecte et évacue vers l'extérieur les liquides venant de fuites éventuelles. Les tuyaux de drainage partent des endroits où il peut y avoir accumulation de ces liquides (recoins, parties basses de zones cloisonnées ou de gaine de tuyauteries, coupelle de réservoir d'huile, etc....).



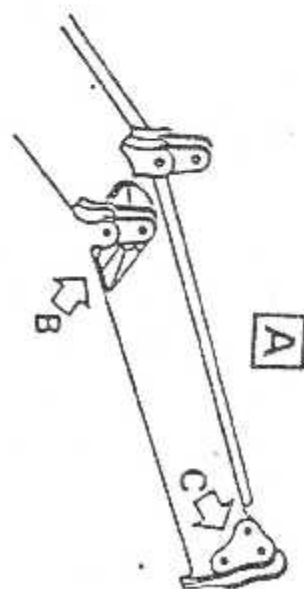
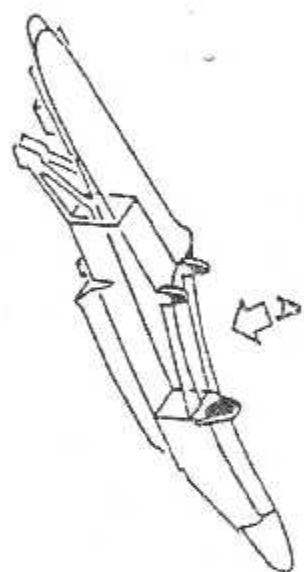
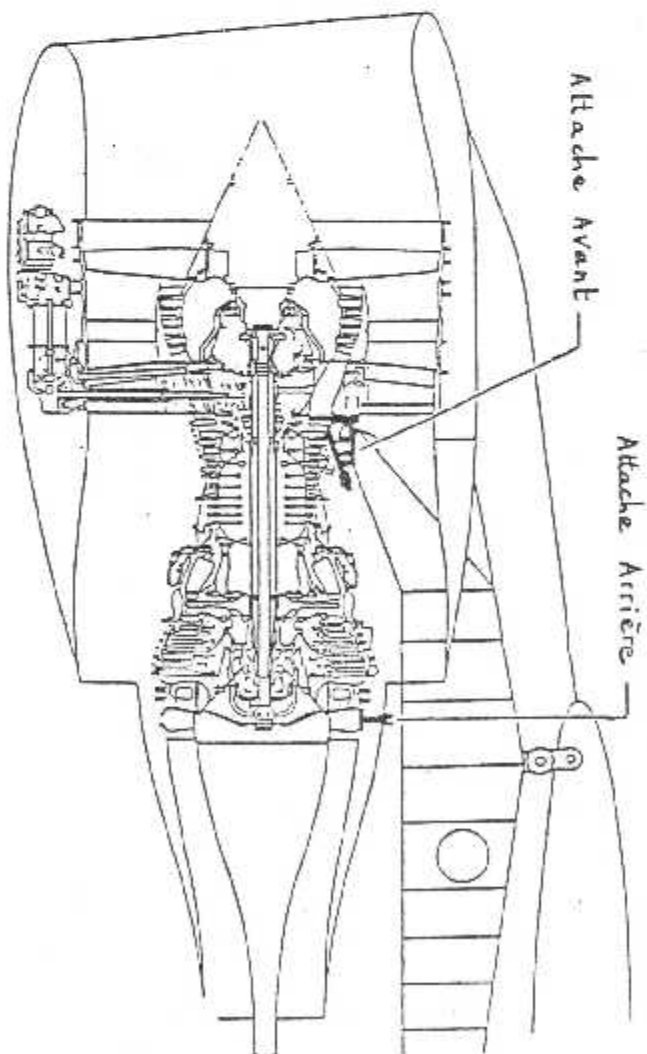
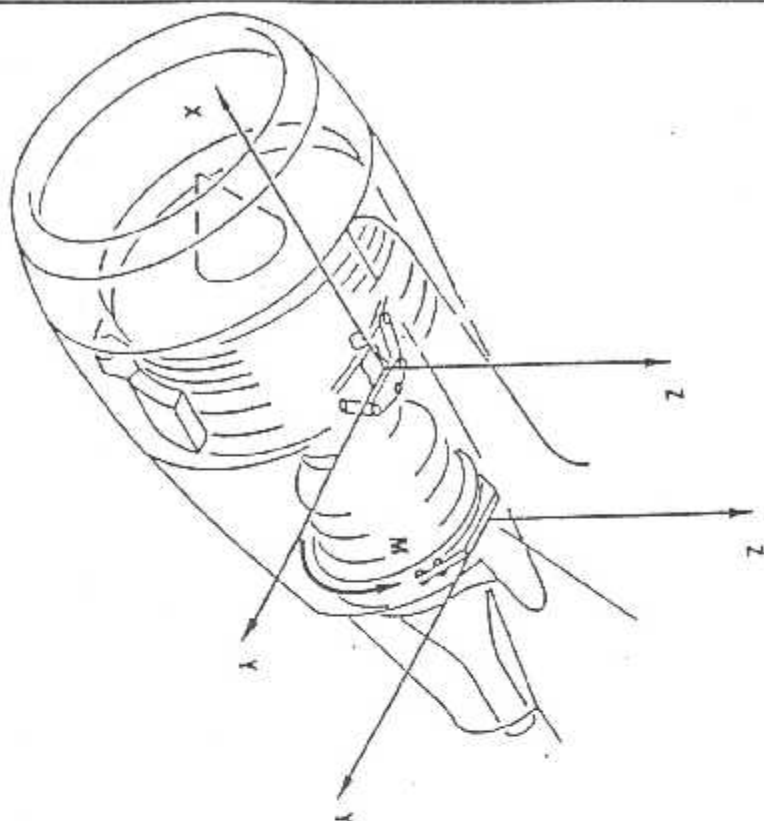


Fig.11

Ces liquides sont évacués en vol dans l'atmosphère par un petit mat de drainage situé sous la nacelle, en son point le plus bas. De plus, certaines tuyauteries de drainage servent de conduit de mise à l'air libre pour évacuer l'air et les vapeurs de cavités du moteur et de boîtier d'accessoires.

Mais une partie des fluides drainés est retenus dans de petits réservoirs de récupération, pour n'être évacuée qu'en vol. Il s'agit des fluides venant des joints d'accessoires (démarreur, pompes, etc....).

Pour chacun des joints drainés, est prévu un petit compartiment muni d'un clapet que l'on peut ouvrir au sol pour la recherche de défauts. Le trop-plein de ces compartiments va au réservoir de récupération qui est automatiquement vidé par surpression dès que la vitesse de vol de l'avion dépasse les 200 kts.

#### *a. Roulements de Moteur et Carter de Vidange :*

Il y a deux carters de vidange au niveau du moteur, avant et arrière ; cinq (05) roulement principal (deux boules et trois rouleaux) sont contenus dans le carter de vidange avant (roulement 1b,2r,3b et 3r) et celui de l'arrière (roulement 4r et 5r).

Cinq (05) roulements principaux du moteur tiennent l'axe de N1 et de N2. Le nombre de 1 à 5 identifie le roulement du moteur, ainsi les roulements à billes absorbent les charges axiales et radiales des axes. Les roulements à rouleaux absorbent seulement les charges radiales. Les roulements servent d'appuis pour les axes (arbres) de N1 et de N2 comme suit (fig.12) :

- le roulement à bille N°1 et le roulement à rouleaux N°2 supporte l'axe de soufflante
- Le roulement à bille N°3 et les trois roulements à rouleaux supporte l'arbre HPC sur l'embout (le bout avant), il se situe sur l'IGB.
- Le roulement à rouleaux N°4 supporte l'arbre du rotor arrière de la HPC ; le roulement à rouleaux N°5 supporte l'axe arrière de la LPT.

#### *b. Brides de Moteur :*

On appelle bride, le lieu de fer entre deux pièces. Le CFM56-7B contient seize (16) brides marquée avec des désignations alphanumérique ; Pour localiser le bride approprié (conforme) on emploie la désignation alphanumérique correcte de bride (Fig.13).

ROULEMENTS ET PALIERS PRINCIPALES DU MOTEUR

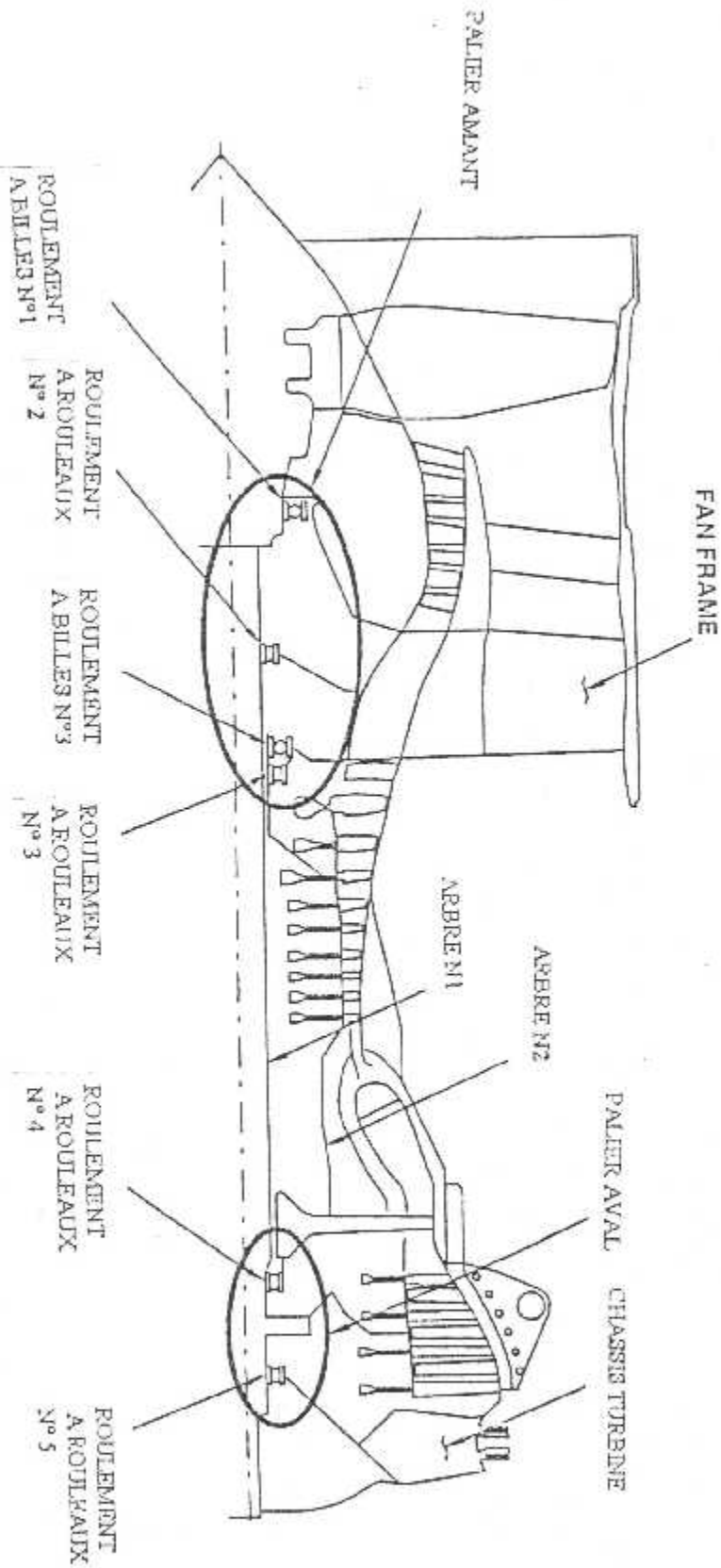


Fig.12



30-035.T.F

BRIDES DE MOTEUR

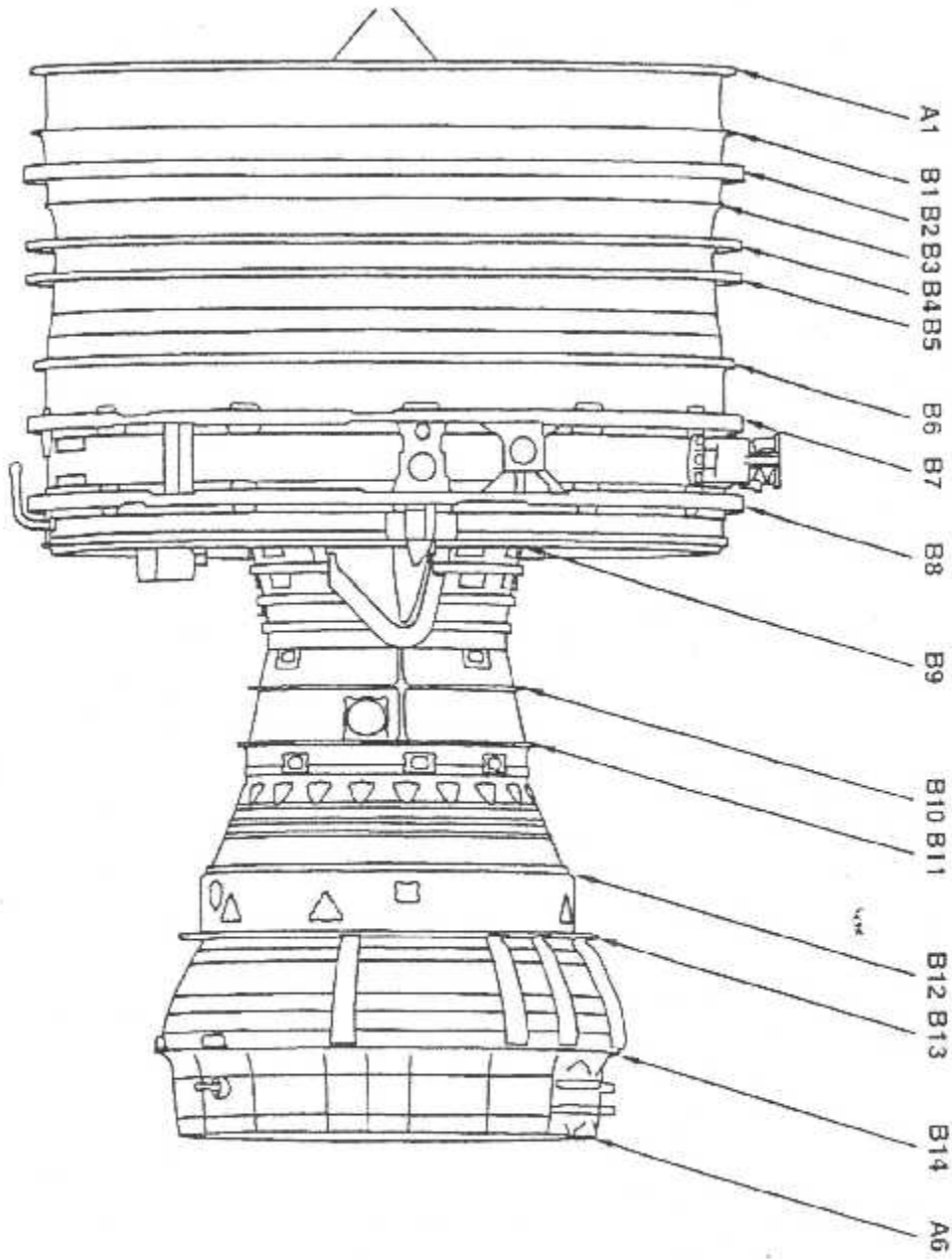


Fig.13

# CHAPITRE III

## SYSTEME DE REGULATION CARBURANT :

### II.1. SYSTEME DE CONTROLE CARBURANT :

#### II.1.1. DEFENITION :

Le système de carburant et de contrôle est composé de ses sous ensembles :

- Distribution.
- Contrôle.
- Indication.

Les approvisionnements du système de carburant et de contrôle fournissent du combustible pour toute la poussée du moteur et contrôle les opérations. Les compteurs de calcul de carburant dosé et des commandes servo carburant aux systèmes servo sont exécutés par ce système pour avoir la poussée commandée.

Le système de carburant et de contrôle détermine la quantité de carburant requise pour faire la poussée commandée. Il fournit alors la dose carburant et l'injecte dans la chambre de combustion, et envoie également une quantité nécessaire au système pneumatique du moteur ; ainsi, l'opération du moteur est efficace et stable (Fig.14).

#### *a. Système de Carburant de l'Avion :*

Ce système assure le carburant pressurisé à partir du réservoir central ou principal. Le carburant va du réservoir par une pompe auxiliaire de gavage et une valve de longeron, ensuite envahit le moteur.

#### *b. Contre Fiche Moteur :*

Elle a des informations qui donne le module d'avion à la EEC. Cette dernière utilise ces informations pour déterminer la poussée certifiée par maximum pour l'avion qui est différente de la poussée évaluée. La poussée certifiée par maximum est la poussée que les moteurs produiront si les leviers de poussées sont mis contre les arrêts vers l'avant.

#### *c. Inverseur de Poussée :*

La EEC contrôle la position de douille des inverseurs de poussées ainsi que leur couplage pour l'opération. Voir chapitre V pour plus d'information sur les inverseurs de poussées.

#### *d. Commande de Contrôle Electronique (EEC) :*

La EEC est le composant primaire de commande du système de carburant et contrôle moteur. Deux canaux dans la EEC emploient des données d'entrée et calculent les sorties de carburant et de commande moteur pour faire fonctionner le moteur.



3.01A REV 1

REGULATION CARBURANT - DESCRIPTION GENERALE

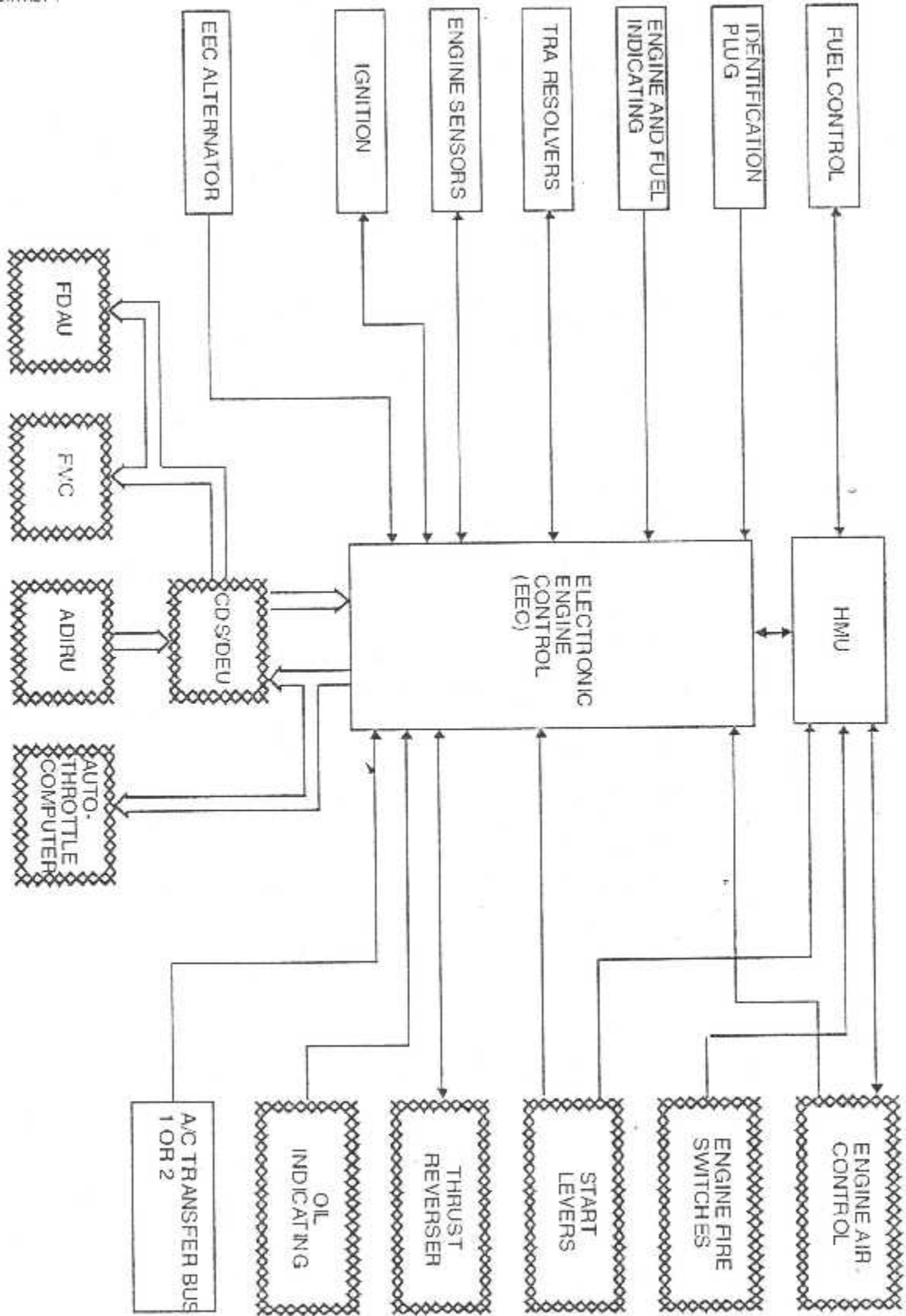


Fig. 14

### ***1.1.2. SYSTEME DE CARBURANT ET DE CONTROLE AU RACORDEMENT MOTEUR :***

La EEC se relie à ces systèmes et composant moteur :

- prise d'identification
- dispositif de régulation moteur (HMU)
- Système de contrôle d'air moteur
- Sondes de moteur
- Commande de carburant
- Alternateur de la EEC
- Circuit d'allumage

#### ***a. Prise d'Identification :***

La EEC utilise la prise d'identification pour l'estimation de la poussée et toute autre information de moteur.

#### ***b. HMU (Dispositif de Régulation Moteur) :***

La HMU utilise la dose de carburant pour la combustion et la pression servo Carburant pour l'exploitation des systèmes de moteur. Elle emploie aussi des commandes électriques d'entrée de la EEC, et les convertit grâce à des moteurs-couple et des servo-vanne, en ordre hydraulique pour l'opération d'alimentation du carburant envoyé aux injecteurs et pour la commande des dispositifs anti-pompage et des vannes de contrôle actif des jeux. Elle reçoit également des commandes du levier de démarrage de l'avion et du commutateur (interrupteur) de poignée de feu pour contrôler quelques opérations d'écoulement de carburant (Fig 15).

- La vanne de dosage carburant (FMV) est commandée par un moteur-couple qui pilote un petit vérin. Le moteur-couple a deux bobines indépendantes, isolées électriquement, chacune recevant ses ordres d'un canal de la EEC. Le débit carburant varie proportionnellement à la position de la vanne de dosage. Un dispositif compare les pressions à l'amont et à l'aval de la vanne et maintient leurs différences constantes en régulant la quantité de carburant envoyée vers la pompe BP et à la FRV. Des capteurs mesurent la position de la vanne FMV et transmettent ce " retour d'ordre " à la EEC pour boucler l'asservissement.
- le HMU a cinq (05) moteurs-couples et vannes pilote associées qui régulent les signaux de commande hydraulique en débit et pression en fonctions des ordres reçus de la EEC, à destination des moteurs et vérins de VBV et VSV, et des vannes de contrôle de jeux RACC, HPTCC, LPTCC. Chacun a deux (02) bobines indépendantes commandées respectivement par le canal A et le canal B de la EEC.

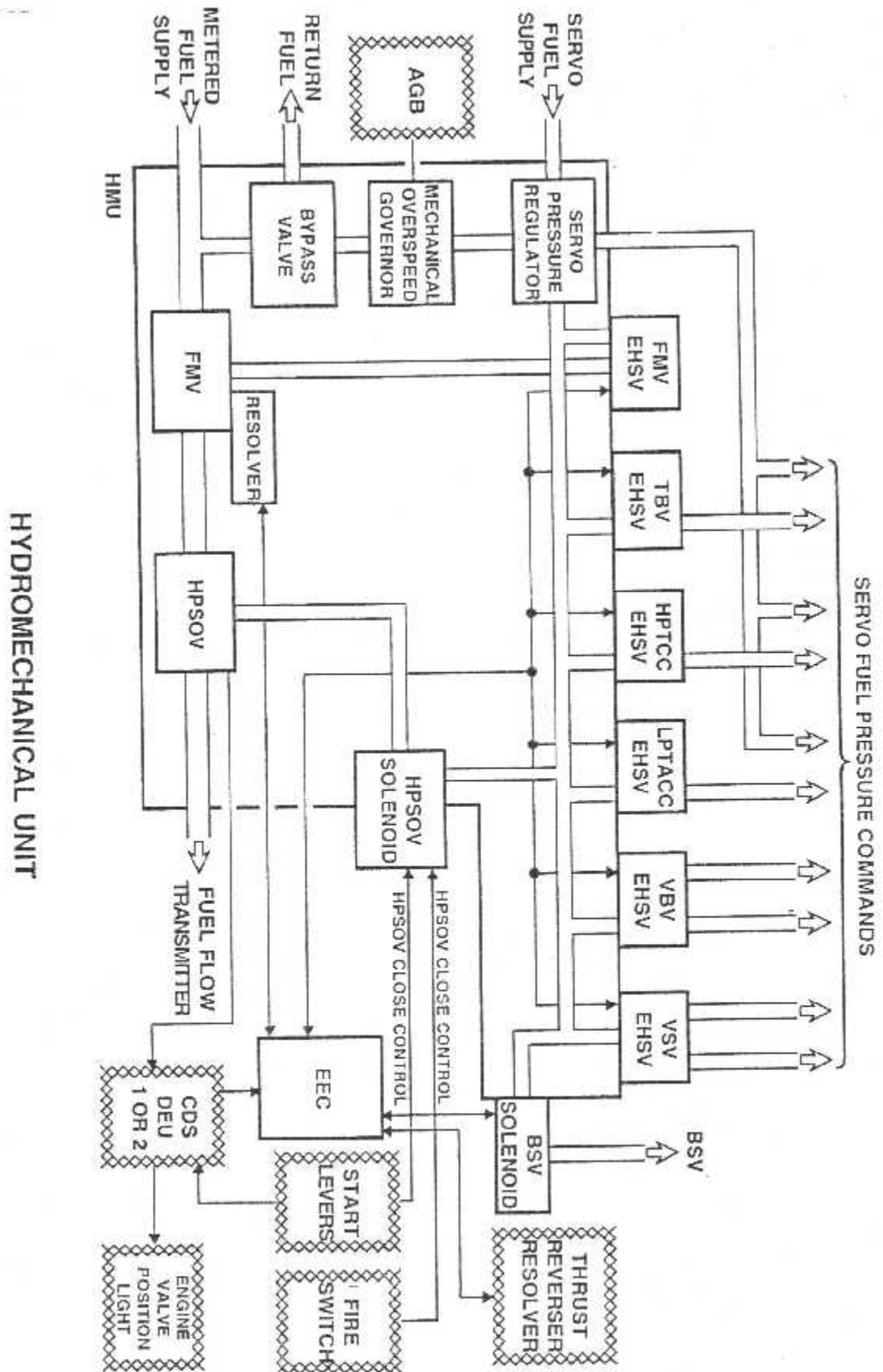


Fig.15



- La HMU inclut le robinet HP, qui est commandé par un solénoïde. Quand le solénoïde est excité, le robinet se ferme. Ceci est le cas lorsque le ENG MASTER LEVER (Lever principal du moteur) est mis sur OFF, ce qui commande aussi la fermeture de la vanne carburant BP.
- Le HMU comprend un régulateur mécanique à masselottes qui limite le débit carburant de façon à éviter que N2 ne dépasse 107,2%. Pour cela, le régulateur agit sur le dispositif à  $\Delta P$  constant qui maintient constante la différence de pression entre l'amont et l'aval de la FMV et dérive le carburant en excès vers le circuit BP de la pompe. Ce régulateur fournit donc une protection qui est indépendante de la EEC.

#### *c. Système de Commande D'Air de Moteur :*

La EEC commande la circulation d'air de moteur pour la poussée et le système de contrôle actif de jeux turbine.

#### *d. Sondes de Moteur :*

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

#### *e. Commande de Carburant :*

La EEC envoie des commandes à la HMU pour contrôler la valve calibrée de carburant, ceci assure la quantité correcte du combustible pour la combustion. La EEC commande le débit carburant nécessaire pour maintenir une poussée requise (en fait un N1K requis, car N1K rend bien compte du niveau de poussée donnée par le moteur), selon les demandes pilote ou auto-manette et les paramètres extérieurs, tout en respectant les limites imposées. Pour cela la EEC reçoit :

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

Et elle fournit ces ordres électriques à la vanne de dosage carburant FMV de l'HMU. Le dispositif " Régulateur de Contrôle Carburant " (HMU) commande le N2 correspondant au N1K requis, en tenant compte des limites.

***N1k requis :***

La valeur de N1K requis peut être calculée en fonction des ordres donnés par les fonctions suivantes, selon la décision du pilote, la configuration avion et la phase de vol :

- Commande manuel de la poussée (selon position manette TLA : Angle de levier de poussée).
- Automanette ralenti sol (N2 fixé, N1 quelconque)
- Ralenti vol descente, avec loi de P3 minimum (N1, N2 quelconque)
- Ralenti vol approche
- Alpha-floor (ordre de remise des gaz immédiate, si l'avion à une incidence excessive)
- Décollage a poussé adaptée (a poussé détarée)

***LIMITES :***

Les contraintes à respecter concernent les paramètres suivants :

- N1, vitesse du mobile BP
- N2, vitesse du mobile HP
- WF, débit carburant
- P3, pression de charge du compresseur HP
- Et les dérivées de ces paramètres.

Ces contraintes sont les suivantes :

- N1 ralenti  $< N1 < N1 \text{ max.} = 5300 \text{ tr/min.}$
- N2 ralenti  $< N2 < N2 \text{ max.} = 15300 \text{ tr/min.}$
- P3 min ralenti  $< P3 < P3 \text{ max.}$
- WF min ralenti  $< WF < WF \text{ max.}$  ( limite mécanique  
D'ouverture de la FMV).
- Limite de décélération  $< WF/P3 < \text{limite d'accélération.}$
- Respect des limites autorisées pour EGT ( pendant le démarrage seulement ).
- Respect des lois anti-pompage.
- Respect des vitesses corrigées limites N1K et N2K.
- Respect des limites de variation  $dN2/dt, dWF/dt.$

***f. Alternateur de la EEC :***

C'est l'approvisionnement (l'alimentation) habituelle du courant électrique pour la EEC.

***g. Système d'Allumage :***

La EEC contrôle l'alimentation du courant alternatif de l'avion, pour actionner les circuits d'allumage gauche et droit sur le moteur.



### **II.1.3. SYSTEME DE CARBURANT ET DE CONTROLE AU RACORDEMENT DE L'AVION :**

Le système de carburant et de contrôle moteur se relie à ces systèmes et Composants d'avion :

- Système d'affichage commun (CDS) / boite électronique d'affichage (DUEs).
- Commande d'arrêt du levier de démarrage.
- Commutateur (interrupteur) de feu moteur.
- Transfert bus 1 ou 2 du courant alternatif.
- Ordinateur d'Automanette
- Angle de levier de poussée.
- Position de douilles d'inversion de poussée.

### **II.1.4. COMPOSANT ARINC 429 :**

*(organisme de gestion et de télécommunication aéronautique) :*

Le système de carburant et de contrôle moteur se relie par l'autobus d'ARINC 429 a ces composants :

- système de visualisation et unité (écran) commune électronique d'affichage ( CDS / DUEs)
- ordinateur d'automanette

### **II.1.5. STAND (SUPPORT) DE CONTROLE DE COTE-BAS :**

La EEC emploie les séparateurs de levier de poussée (TLRs) sur le stand de côté bas pour obtenir l'Angle de Séparateur de Poussée (TRA), ces données sont utilisées pour trouver la poussée de moteur commandée. La EEC envoie également la poussée de séparateur d'angle à l'ordinateur d'auto-manette. Le levier de démarrage et la poignée de feu envoient des signaux directement au robinet d'arrêt (vanne d'arrêt) haute pression (HPSOV) dans le HMU, ceci permet à l'équipage d'arrêter le moteur en vol dans les situations normales ou d'urgence. Mais on note que la EEC ne commande pas la fermeture du robinet d'arrêt haute pression.

#### **a. CDS / DUEs :**

La EEC se relie à ces systèmes et composants d'avions (ci-dessous) par les deux DUEs et CDS :

- Indication de moteur et de carburant.
  - Levier de démarrage ou commande de démarrage.
  - unité de référence à inertie de données aériennes 1 et 2 (ADIRU)
  - Ordinateur de gestion de vol (FMC) et la boite de contrôle et d'affichage (CDUs).
  - unités d'acquisition de données de vol (FDAU) ou boite de détection de données de vol
-



La EEC envoie des données d'entrées de plusieurs sondes de moteur aux DUEs, cette dernière envoie des données à l'unité d'affichage (DUs) de la CDS (système de visualisation), ceci devient des données d'affichage du moteur. Au ralenti, le levier de démarrage fut envoyé, et dessus commence le contrôle à la EEC qui actionne le circuit d'allumage de moteur et met le HPSOV (robinet d'arrêt haute pression) en position "ouvert".

L'ADIRU envoie des données totales de pression et de température à la EEC, cette dernière utilise les données d'entrées pour calculer la poussée du moteur.

Le FMC assure un raccordement entre le CDU, le DUEs et la EEC, il fournit également quelques données à l'usage de la EEC. Le CDU montre des données de maintenance de la EEC et envoie des commandes à celle-ci pour faire ces essais de MORDURE (touches) du système.

Le FDAU rassemble des données de paramètres de moteur et les envoie à l'appareil d'enregistrement sur la bande magnétique de vol (FDR), ce sont des signaux numériques.

#### ***b. Commande d'Arrêt du Levier de Démarrage :***

Dans la coupure, des leviers de démarrage envoient une commande étroite au robinet d'isolement (d'arrêt) à haute pression (HPSOV).

#### ***c. Commutateur (Interrupteur) de Feu Moteur :***

Une fois tiré vers le haut, les commutateurs de feu moteur envoient une commande étroite au HPSOV, celui-ci arrête l'écoulement de carburant dosé pour la combustion.

#### ***d. Auto Bus 1 ou 2 de Transfert du Courant Alternatif :***

La EEC utilise les auto bus de transfert d'avion pour la puissance qu'elle ne reçoit pas de l'alternateur.

#### ***e. Auto Manette (A/T) :***

L'ordinateur d'auto manette reçoit l'angle de levier de poussée (TLA) et d'autres données de moteur de la EEC, il emploie ces données pour commander la position de levier de poussée.

#### ***f. Séparateurs de Poussée :***

La EEC utilise les données de l'angle de séparateurs de poussée pour commander la poussée du moteur.

---

### ***g. Système d'Inverseur de Poussée (TRS) :***

La EEC obtient l'inverseur de poussée traduisant la position de douille d'un transformateur différentiel variable linéaire (LVDT).

Ces données sont employées pour limiter la poussée du moteur, tant que les douilles de traduction d'inverseur de poussée se déplacent. La EEC commande également le moteur pour tourner au ralenti si elle sent qu'une douille d'inverseur de poussée déployé la manière de partis en vol, elle envoie l'indication de position d'inverseur de poussée sur l'unité de visualisation (DUs).

### ***II.1.6. LUMIERE DE VALVE FERMEE DU MOTEUR :***

La lumière de valve fermée du moteur donne la position du robinet d'arrêt (HPSOV), elle devient lumineuse quand la HPSOV est en transit ou n'est pas en position commandé, elle est faible (moins lumineuse) quand HPSOV est fermé et commandée fermée, elle est atteinte quand la HPSOV est ouverte et commandée ouverte.

### ***II.1.7. ECRANS DE VISUALISATION ELECTRONIQUE (DEUs) :***

La EEC obtient et reçoit des données de ces systèmes et composants d'avion par les deux DEUs :

- Indication de carburant et de moteur.
- Levier de démarrage au ralenti ou coupure de levier.
- Unité de référence à inerties de donnée aériennes 1 et 2 (ADIRU).
- Ordinateur de gestion de vol (FMC) et commande.
- Unités de commande et d'affichage (CDUs).
- Unités d'acquisition de données de vol (FDAU).

La EEC envoie des données d'entrée à plusieurs sondes de moteur aux DEUs. Cette dernière envoie certaines de ces données aux unités de visualisation (DUs). Ceux ci deviennent des paramètres du moteur qui montrent sur les affichages primaire et secondaire du moteur. Au ralenti, les leviers de démarrage envoient leurs signal de départ à la EEC par les DEUs, ces leviers envoient également la puissance d'allumage à la EEC, qui actionne le circuit d'allumage et fait ouvrir la IIPSOV dans le HMU.

L'ADIRU envoient des données totales et statiques de pression atmosphérique et de température de l'air total à la EEC, cette dernière utilise ces données pour commander la poussée du moteur.



La FMC assure le raccordement entre la CDU et DUEs, il fournit également la trajectoire (la cible) de la poussée à la EEC. La CDU montre des données de maintenance de la EEC, et envoient des commandes à cette dernière pour faire des essais de MORSURE (touche) du système.

Le FDAU rassemble des données de paramètres de moteurs et les envoient à l'appareil d'enregistrement sur bande magnétique de vol (FDR).

#### **a. Lumière de Contrôle Moteur et Commutateur de la EEC :**

La EEC envoie un signal à la lumière de commande (contrôle) de moteur sur le panneau (P5) arrière supérieur par les DUEs pour quelques défauts détectés, si cette lumière est sur l'avion ne pouvant pas détecter. La EEC envoie directement un signal à la lumière ALTERNATIVE de la EEC sur le panneau (P5) arrière supérieur si la EEC est en mode alternatif doux ou durs.

Quand le commutateur de la EEC est mis en position repos, la EEC va au mode alternatif dur. Si la commande du moteur ou la lumière alternative est allumée, les voyants principaux d'alarme avancent également.

### **II.1.8. SYSTEME FADEC :**

(Full Authority Digital Engine Control : système de régulation électronique numérique à pleine autorité du moteur).

Le système FADEC de chaque moteur consiste sur deux canaux de la EEC (unité de contrôle électronique) qui sont associés en périphérie ; cette dernière est l'ordinateur du système FADEC, elle est située sur le moteur en position 4 : 00. Il commande le moteur d'après l'équipage ou du système de commande automatique de la poussée (Automanette) dans toute la gamme de régime autorisé, et en plus assure une surveillance continue du fonctionnement du moteur en empêchant le franchissement des limites calculées.

Le FADEC exécute les opérations de services suivantes :

#### **II.1.8. 1. CONTROLE DE MOTEUR :**

- Contrôle de régulation carburant
  - Contrôle de gestion de puissance
  - Contrôle de la valve de démarrage du brûleur (BSV)
  - Contrôle de la valve de retour carburant (FRV)
  - Vannes de décharge (VBV)
  - Stator à incidence variable (VSV)
  - Dispositif de purge actif de contrôle et de jeu rotor (RACSB)
  - Contrôle actif de jeux turbine haute pression (HPTACC)
  - Contrôle actif de jeux turbine basse pression (LPTACC)
-



### **II.1.8. 2. INTEGRATION MOTEUR/AVION :**

- Mise en marche automatique et manuelle.
- Contrôle de la poussée inverse.
- Automanette.
- Indication de moteur.
- Données d'entretien de moteur.
- Condition de données de surveillance.

### **II.1.8. 3. UNITE DE CONTRLE ELECTRONIQUE (EEC) :**

La EEC est sur 4:00 positions, elle consiste sur deux canaux A et B ou chacun contrôle les différents composants du système moteur (Fig.16).

- Les canaux A et B sont opérationnels de manière permanente.
- Pour augmenter la conception de tolérance de fautes, les paramètres sont échangés entre le contrôle des canaux (à l'intérieur de la EEC) par l'intermédiaire de liaison des données de transmission à travers le canal.
- Dans l'indication, quelques signaux sont câblés directement de l'avion à la EEC.
- Si l'un des canaux est défectueux et le canal dans le contrôle ne peut pas contrôler la position des VBV, les valves seront mises en position d'ouverture fiable.

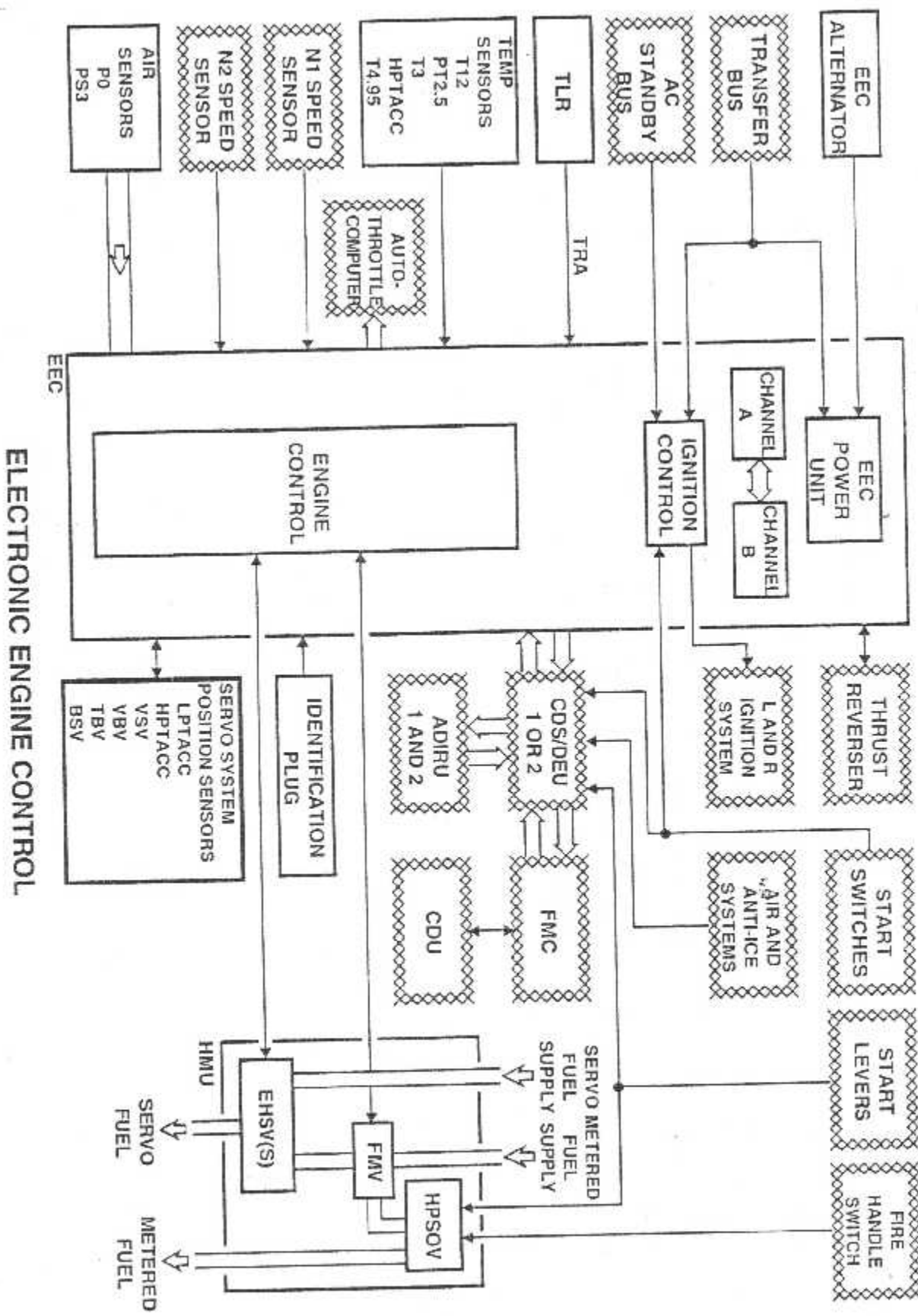
#### **a. Alimentation Electrique de la EEC :**

La EEC est alimentée en 28 volts continue à partir du réseau avion quand le moteur ne tourne pas ou que sa vitesse est encore faible, au démarrage ( $N_2$  inférieur à 12 %), et par son alternateur triphasé qui lui est propre dès que le moteur tourne à plus de 15 % de  $N_2$  nominal. Au sol, 5 minute après l'arrêt du moteur, l'alimentation avion est automatiquement coupée pour éviter des heures inutiles de fonctionnement de la EEC. Cette dernière reçoit aussi une alimentation en 115 volts alternatifs pour les circuits d'allumage.

#### **b. Interfaces principales :**

La EEC reçoit des entrées de :

- L'unité d'interface de commandes de train (LGCIU).
  - Unité de référence à inertie de données aériennes (ADIRU).
  - Régulateur de carburant (FCU).
  - Système centralisé enregistreur de données de fonctionnement des équipements et de détection des pannes (CFDIU).
-



ELECTRONIC ENGINE CONTROL

Fig.16



- Les calculateurs (ordinateur) de climatisation du poste de pilotage et de la cabine des passagers.
- Le feu et le système d'anti-givre.

La EEC envoie des sorties à :

- Les calculateurs de surveillance de prise d'air (BMC).
- Les calculateurs central d'alarme (FWC).
- Les calculateurs de gestion d'affichage (DMC).
- Les calculateurs de guidage et de gestion de vol (FMGC).
- Système centralisé enregistreur de données de fonctionnement des équipements et de détection des pannes (CFDIU).

Le FADEC détecte aussi ses propres pannes et celles de tous les organes de commande et des capteurs, et transmission en temps réel des signaux de panne correspondant aux systèmes d'alarme et de maintenance de l'avion.

On distingue une unité d'interface de moteur (EIU) pour chaque moteur, elle se connecte par l'interface de la EEC correspondant. Cette dernière est en relation avec plusieurs système d'avion à travers la EIU.

Les premiers paramètres (N1, N2, EGT, Débit Carburant) sont envoyés directement par la EEC vers l'ECAM. Les paramètres secondaires sont envoyés vers l'ECAM à travers la EIU.

#### **II.1.8.4. AVANTAGE DE LA REGULATION NUMERIQUE :**

- Plus de souplesse dans la détermination de la mise au point des lois de régulation.
  - Une absence d'hystérésis dans les signaux reçus par le FADEC et traduisant les ordres de déplacement des manettes de gaz (les ordres sont convertis en signaux électriques envoyés directement aux régulateurs numériques fixés sur les carters des moteurs. Ceci permet de réaliser de substantielles économies de carburant.
  - Inutilité des longs et coûteux réglages en cas de remplacement d'un régulateur.
  - Une meilleure compensation et correction automatique pour adapter la régulation et la diminution de rendement des moteurs avec l'âge.
  - Une meilleure surveillance des moteurs : les calculateurs numériques transmettent sous forme numérique (habituellement mots de 32 bits transmis en série sur les liaisons bifilaires torsadées et blindées, ce type de transmission étant régi par la norme ARINC 429) un grand nombre de paramètres moteurs.
-



De nombreuses compagnies aériennes enregistrent en continu ces paramètres sur des enregistreurs de bord et elles dépouillent ensuite les données enregistrées au moyen de leurs ordinateurs de maintenance.

Chez d'autres compagnies, ces paramètres sont même transmis en temps réel par liaison radio (ACARS), ce qui permet de faire aussitôt le traitement.

- Un abaissement de la consommation spécifique grâce à des lois permettant d'utiliser le moteur dans des zones de fonctionnement thermodynamique correspondant au meilleur rendement de ses constituants (compresseur et turbine), c'est à dire plus près de la ligne de pompage.
- Une augmentation de la durée de vie du moteur par un contrôle plus rigoureux et un abaissement des températures de pointes, notamment lors des démarrages.
- Une meilleure détection des pannes des divers organes de l'installation motrice, et transmission automatique des informations de panne aux systèmes d'alarmes et de maintenance centralisée de l'avion.

Cependant, l'emploi des capteurs précis et sûrs est nécessaire pour obtenir tous ces avantages.

## *II.2. système de carburant*

### **II.2.1. ALIMENTATION DU MOTEUR EN CARBURANT :**

Le système carburant comprend (Fig.17):

- une pompe à deux (02) étages (une partie haute pression, une partie basse pression)
- un HMU commandé par la EEC
- un échangeur huile/carburant
- un réchauffeur carburant pour les asservissements
- un refroidisseur d'huile IDG
- un filtre carburant
- une vanne de retour carburant
- un transmetteur de débit carburant
- 20 injecteurs à double cône
- une vanne de répartition sur les injecteurs

Le carburant venant des réservoirs de voilure passe par une pompe centrifuge (partie BP de la pompe), l'échangeur huile/carburant, une pompe volumétrique (partie HP de la pompe), des filtres. Le carburant est ensuite délivré au HMU :

DISTRIBUITION CARBURANT - COMPOSANT

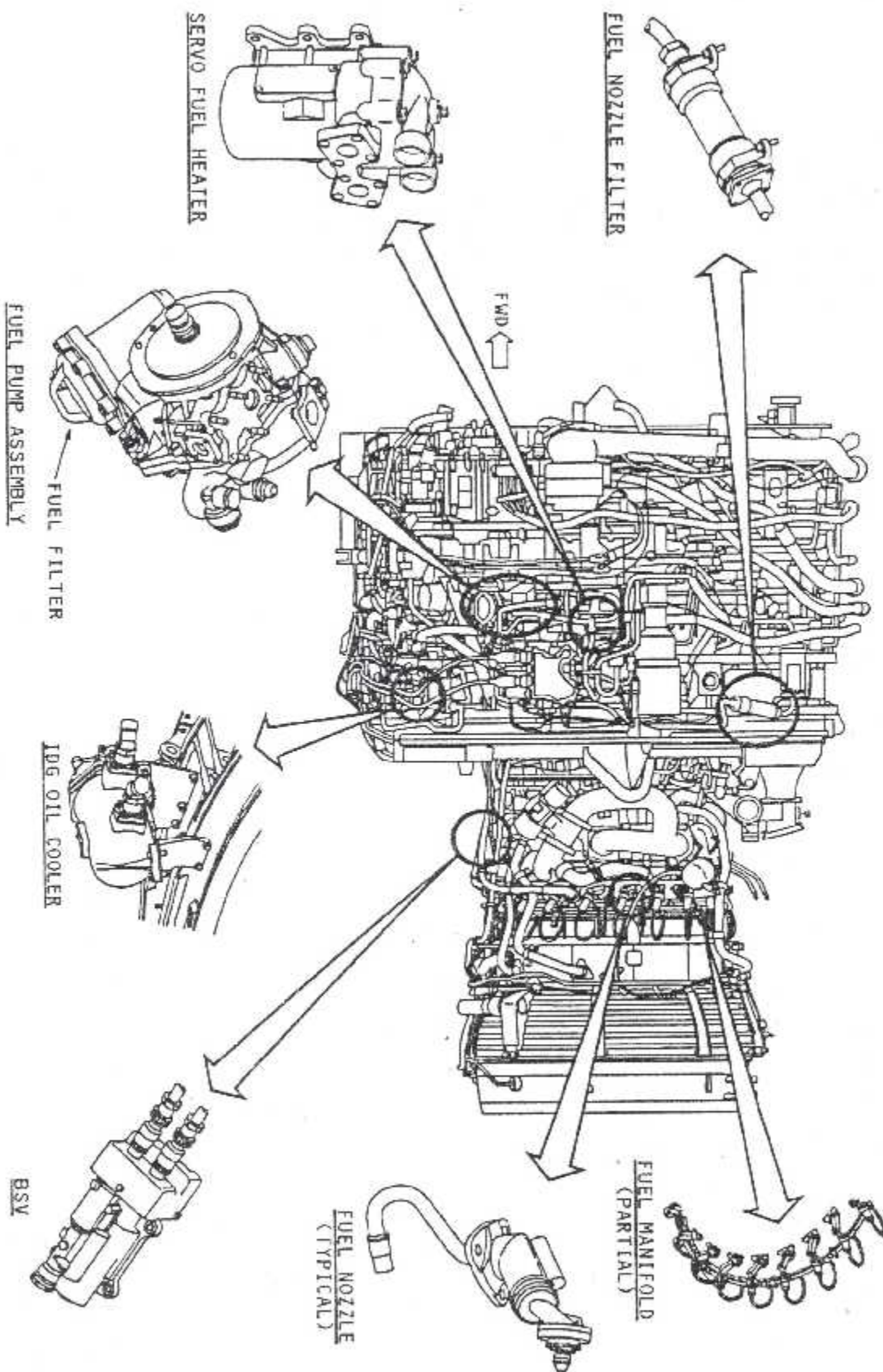


Fig.17



- Une part (de loin la plus grande) traverse la HMU, passe par le doseur asservi FMV (valve de régulation carburant) puis va au débitmètre et enfin aux injecteurs.
- Une part va d'abord au réchauffeur carburant des asservissements puis au HMU pour élaborer les pressions d'asservissements nécessaires à tous les vérins et actionneurs (VSV, VBV, vannes de contrôle actif des jeux et BSV (valve d'échafaudage de brûleur).

En effet, tous ces organes utilisent le carburant comme agent hydraulique. Et le HMU possède pour chacun d'eux un système de régulation asservi.

Le carburant qui n'a pas été envoyé aux injecteurs et celui qui revient des asservissements va au refroidisseur d'huile IDG (générateur intégré d'entraînement).

L'IDG est l'alternateur à vitesse constante qui fournit la puissance électrique au réseau avion. Puis ce carburant est retourné à la pompe BP ou, si la vanne de retour carburant FRV (fuel return valve) est ouverte, vers les réservoirs avion : en effet, la EEC commande l'ouverture de cette vanne si la température de l'huile est élevée (par exemple, un avion au sol dans un pays chaud, température du carburant venant des réservoirs relativement élevés, et moteur au ralenti sol).

Dans ce cas on demandera à la pompe carburant un débit supérieur, et on renverra vers les réservoirs voilure par une conduite séparée le carburant en excès ayant servi à refroidir l'IDG et les asservissements.

Caractéristiques des pompes haute et basse pression au plein régime (6250 tr./min.) : Pression BP :  $12 \cdot 10^{**5}$  PA, pression HP :  $60 \cdot 10^{**5}$  PA, débit 13000 l/hr. Des clapets de dérivation (by-pass) permettent d'éviter les surpressions si les filtres sont colmatés.

Carburant approuvé (principalement) : JET A1 (AIR 3405C en France et JET B (AIR 3407 en France). La température du carburant à l'entrée de la pompe doit être au minimum de  $-54^{\circ}\text{C}$ , et au maximum  $+54^{\circ}\text{C}$ . Le minimum est  $-45^{\circ}\text{C}$  si le carburant ne contient pas l'additif antigivrage.

Les 20 injecteurs pulvérisent finement le carburant dans la chambre de combustion. Un clapet diviseur de débit est activé lorsque la pression du flux carburant est élevée, c'est à dire après le démarrage. Dans les conditions de fonctionnement du moteur ou le report carburant/air (richesse) est bas, la vanne de répartition BSV sélectionne 10 injecteurs seulement au lieu de 20.

### II.2.2. SYSTEME CARBURANT :

Le but de ce système est de délivrer du carburant à la chambre de combustion et pour la régulation.



### *a. Réservoir et Pompes :*

On a trois réservoirs, deux sont disposés sur les ailes (réservoir principal), et un autre (réservoir central) sur le fuselage qui a une capacité trois fois plus que les deux réservoirs principaux, la majorité de ce dernier est disposé dans le fuselage + deux autres parties sur les ailes (Fig.18).

- Réservoir principal 1 : 3867 kg ( 3,867 tonnes)
- Réservoir principal 2 : 3867 kg ( 3,867 tonnes)
- Réservoir central : 12802 kg ( 12,802 tonnes)
- Plein réservoir : 20000 kg (20 tonnes)

On distingue des jauges de remplissage disposées dans le fuselage de l'aile droite (vue de l'arrière), la circulation du carburant au niveau du réservoir est assurée par des pompes électriques plongées à l'intérieur, une très grande sécurité dans le câblage et l'isolation d'alimentation des pompes est prise en compte.

Il existe donc, quatre (04) pompes situées dans le réservoir central (deux en arrière et deux en avant) plus deux autres (02) dans les réservoirs principaux :

- les deux de l'arrière aspire du réservoir central
- deux pompes aspirent de l'aile gauche
- deux pompes aspirent de l'aile droite

Le moteur N°1 est assuré par le réservoir N°1 (deux pompes) et la pompe gauche du réservoir principal, par ailleurs le moteur N°2 est assuré par le réservoir N°2 (deux pompes) et la pompe droite du réservoir principal.

En cas de panne des pompes principales (gauche ou droite) ainsi que celle du central ou bien réservoir central vidé, il y aura ouverture d'une valve (pompe de gavage) pour céder le passage du carburant.

La consommation importante du carburant s'effectue dans le réservoir central, c'est pourquoi on met dans ce dernier des pompes assez puissantes ; La pression de refoulement des deux pompes de ce dernier est plus grande que ceux délivrés par les pompes des réservoirs principales, pour cette raison le carburant contenu dans le réservoir central sera consommé en 1<sup>er</sup> lieu.

### *b. Valve de Sécurité :*

Elle se trouve au milieu des deux pompes du réservoir central (valve de remplissage), c'est une valve qui permet la permutation pour l'alimentation des moteurs 1 ou 2. Par exemple, en cas de dysfonctionnement des pompes assurant le moteur N° 2 ou bien baisse de pression dans le 2eme circuit, la valve de sécurité entame la permutation pour que les pompes assurant le moteur N° 1 alimente les deux moteurs (1 et 2) en même temps.

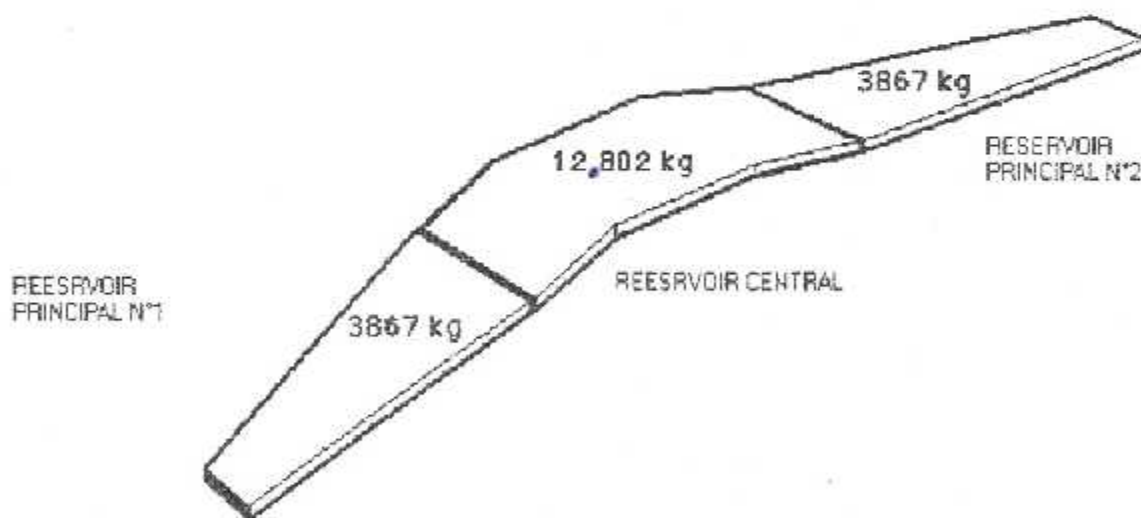
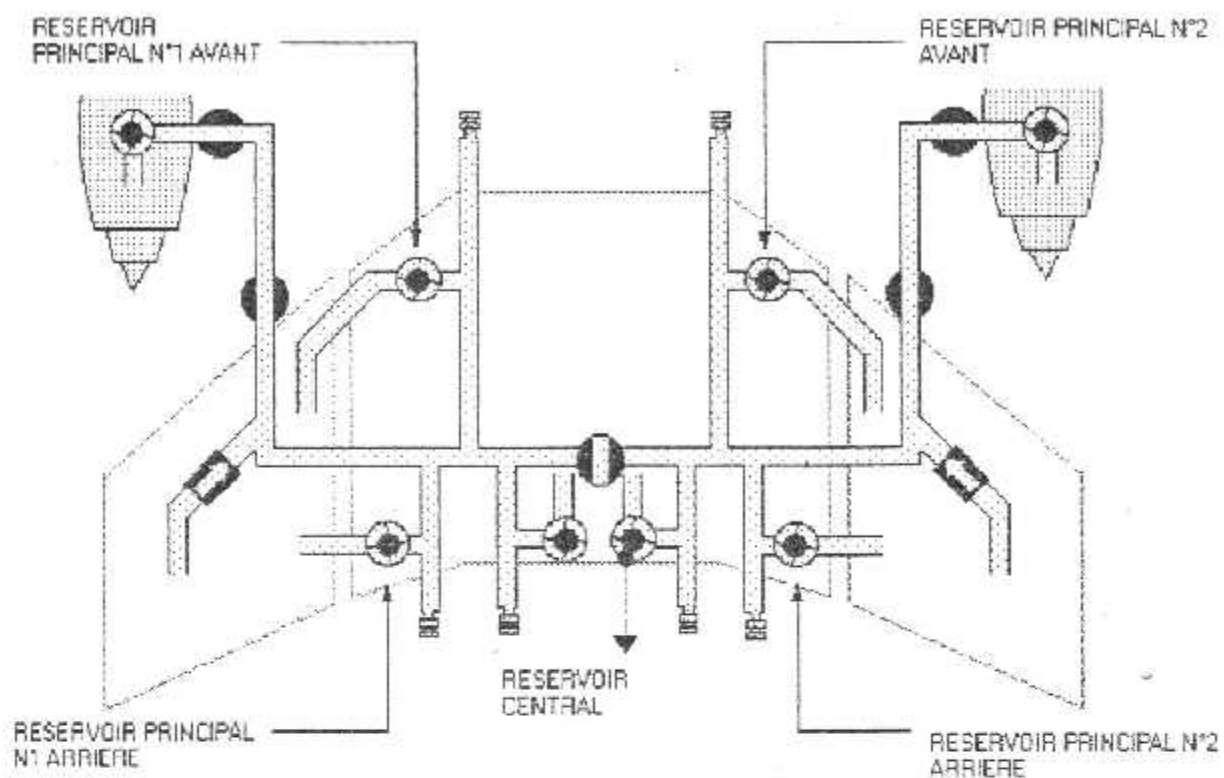


fig.18



On distingue alors six valves de sécurité (anti-retour), elles sont disposées de la conduite de refoulement de chaque pompe, elles assurent également la circulation du carburant dans la direction correcte et empêchent le mouvement de celui-ci à l'intérieur du réservoir (pas de fluctuation).

#### *c. Electrovanes :*

Dans la ligne d'alimentation de carburant des moteurs se présente deux (02) soupapes (électrovannes) commandées électriquement qui ont pour rôle de fermer (obturer) l'arrivée du carburant au moteur.

La première vanne de fermeture (vanne de fermeture carburant de longeron) se trouve au niveau du longeron qui supporte l'aile, elle est commandée électriquement pour l'ouverture une fois le levier de démarrage est en position ON. La 2ème se trouve dans l'engin (vanne de fermeture carburant de moteur), elle est cependant actionnée électriquement et contrôlée à travers la EEC.

On constate ainsi un interrupteur qui contrôle le fonctionnement des vannes en cas d'alerte feu : arrêt immédiat d'alimentation de moteur en carburant.

#### *d. Réchauffeur de Carburant :*

Le servo réchauffeur de carburant se compose d'un cache et d'un carter avec un noyau d'échangeur de chaleur à l'intérieur. Ce noyau est démontable, il se compose d'un nombre de tubes en fossette (creux) d'alliage d'aluminium, passés dans une série de chicane forée.

Les tubes sont mécaniquement liés (collés) à un plateau de tubes lequel est profilé aux brides de couvercle de carter et de logement. L'ensemble carter/logement est conçu pour diriger l'huile dans quatre flux radial de passage par-dessus des tubes en 'U' de remplissage de carburant.

Le but du réchauffeur est d'élever la température de carburant pour éliminer la glace avant l'entrée des servos de contrôle à l'intérieur de la HMU. Il est monté sur le côté arrière de l'échangeur de chaleur principale huile/carburant.

#### ✓ *OPERATION :*

Le réchauffeur de carburant est un échangeur de chaleur utilisant l'huile de récupération moteur comme étant sa source de chaleur ; Car l'huile de récupération (chaud) passe d'abord par le réchauffeur avant d'aller à l'échangeur principal huile/carburant ; Le carburant du filtre de la pompe carburant est donc chauffé par l'huile de récupération et va au servo de la HMU.

A l'intérieur de l'échangeur de chaleur principale huile/carburant, le carburant de l'étage basse pression de la pompe refroidit l'huile de récupération ; Alors le carburant va à l'admission de filtre, et l'huile refroidie revient au réservoir.



### II.2.3. DESCRIPTION FONCTIONNELLE :

Le carburant décent du réservoir et entre à la pompe basse pression à deux (02) étages et la quitte pour aller vers le générateur d'entraînement intégré (IDG) de refroidissement huile/carburant, puis vers l'échangeur de chaleur huile/carburant (Fig.19). Ce dernier refroidit l'huile et réchauffe le carburant.

Ensuite le carburant passe par un filtre avant d'être refoulé par la pompe à haute pression (ou la pression du carburant sera augmentée) vers l'unité hydraumécanique (HMU) ; ou il passe par le doseur de carburant (FMV) et un débitmètre avant d'être envoyé vers les injecteurs et pour actionner les VSV, VBV.

Basé sur le contrôle de la EEC, le carburant du servo est utilisé pour le contrôle des systèmes servo moteur. Le carburant dosé va de la HMU par un transmetteur d'écoulement de carburant et le filtre intégré aux vérins d'ouverture des clapet de décharge (BSV) et sur les collecteurs et gicleurs de carburant.

La vanne d'arrêt haute pression (HPSOV) arrête l'écoulement du carburant dosé à sa fermeture ; le signal de contrôle d'opération de la HPSOV vient habituellement du levier de démarrage. Le commutateur de poignée de feu ou la EEC peut dépasser le contrôle du levier de démarrage pour clôturer la HPSOV.

### II.2.4. ALARMES :

On dispose de quatre alarmes :

- Alarmes concernant la valve de longeron et la valve de moteur, quand les valves sont fermées, nous avons une brillance en bleu indiquant la fermeture. Un sélecteur permettant l'ouverture ou fermeture de la valve longeron. Un indicateur de température de carburant dans le réservoir.
- Alarme de baisse de pression : elle clignote pour indiquer que le système est en baisse de pression, quand la pompe est alimentée (position ON) ; l'extinction de l'alarme se réalise quand on revient à la pression idéale ou quand on met la pompe en position OFF.

CIRCUIT CARBURANT

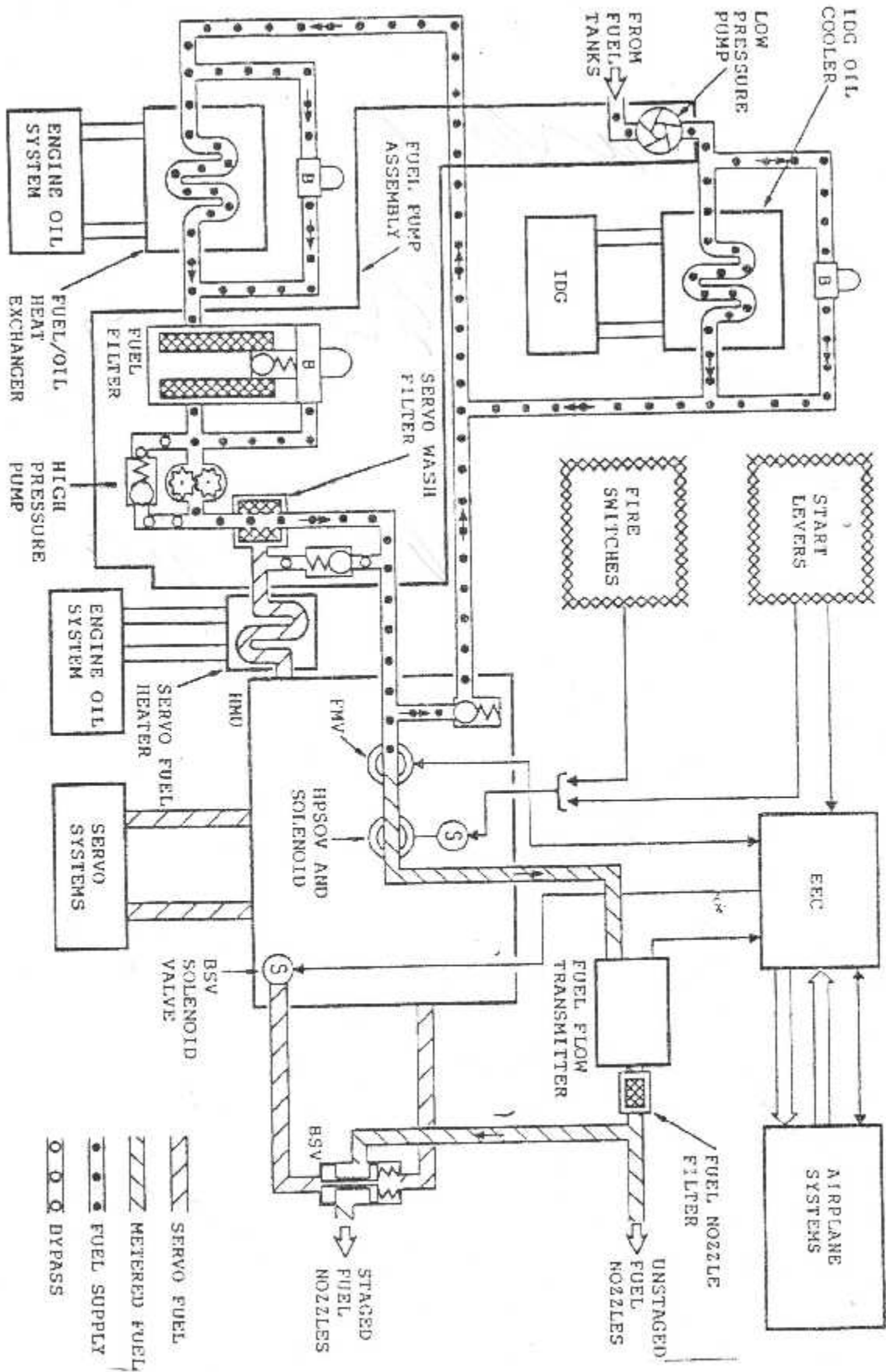


Fig. 19

- L'alarme concernant la valve de remplissage est sur écran noir quand le sélecteur de la valve (permet le passage carburant) est fermé, en ouvrant le sélecteur on aura une alarme brillante (lumière lumineuse) indiquant " valve ouverte " ; ceci nous montre que nous sommes dans position transitoire de passage de la position " fermé " à la position " ouverte " ou bien le sélecteur n'est pas dans la position recommandé.

Quand la valve est complètement ouverte, l'alarme est luminance (message d'ouverture) avec lumière sombre ; en fermant le sélecteur, l'écran redevient plus lumineux puis disparaît (message de fermeture).

Autrement dit :

- valve non fermée (entre ON/OFF) : lumière forte
- valve complètement fermée : lumière sombre
- valve complètement ouverte : écran noir

La température admissible du carburant est de 49 °C (max.), elle est de - 45 °C (min.) ou égale à la température de congélation + 3 °C (c.à.d, si la température de congélation est de - 48 °C, donc la température admissible sera de - 45 °C).



## ALLUMAGE ET DEMARRAGE MOTEUR :

### III.1. ALLUMAGE :

Le système d'allumage permet d'enflammer le mélange air/carburant au cours du démarrage moteur au sol, ou du redémarrage moteur envol (s'il y avait extinction accidentelle ou volontaire). Si les conditions météo sont telle que l'équipage craint un arrêt moteur en vol, il a les possibilités de commandes l'allumage continue (alors que normalement l'allumage est coupé dès que le moteur est démarré).

L'allumage continue et d'ailleurs sélectionne dès que l'anti-givrage nacelle l'est. L'allumage est commandé par la position du sélecteur de modes de panneau de démarrage moteur qui est installé sur la console centrale du cockpit, entre les deux pilotes.

Le système d'allumage comprend deux circuits indépendants, le circuit A et le circuit B. chacun se compose des éléments suivants :

- Un boîtier d'allumage, alimenté en 115 VAC, capable de délivrer des étincelles haute énergie (2 joules / étincelle), sous 20000 volts, au rythme de 2 / seconde. Le principe de fonctionnement est à décharge capacitive. (Fig.20).
- Une bougie dont l'électrode centrale est en Iridium.
- Un câble électrique transportant les impulsions de haute énergie du boîtier à la bougie ; ce câble est gainé et de l'air prélevé sur le compresseur haute pression circule dans cette gaine pour le refroidir ( $i = 2000 \text{ A}$  à la 1<sup>ère</sup> étincelle).

Avant d'intervenir pour raison de maintenance sur un circuit d'allumage, il faut attendre au moins 5 minutes après avoir tiré les disjoncteurs, et mettre en court circuit la sortie du boîtier.

### III.2. DEMARRAGE :

Pour démarrer un moteur, il faut d'abord entraîner mécaniquement le rotor HP par un démarreur puis, lorsqu'une vitesse suffisante est atteinte, donnant une pression d'air suffisante dans la chambre, le carburant est pulvérisé dans celle-ci et aussitôt enflammé par la bougie d'allumage active.

L'énergie des gaz chauds est transformée en énergie mécanique dans la turbine, le rotor accélère. Lorsqu'il atteint une certaine vitesse, dite d'auto-maintien, l'apport en énergie du démarreur devient inutile. Le démarreur est alors arrêté, l'allumage est coupé (la bougie ne reçoit plus ses impulsions électriques), car la combustion est auto-entretenu et le moteur conserve sa vitesse de façon autonome.

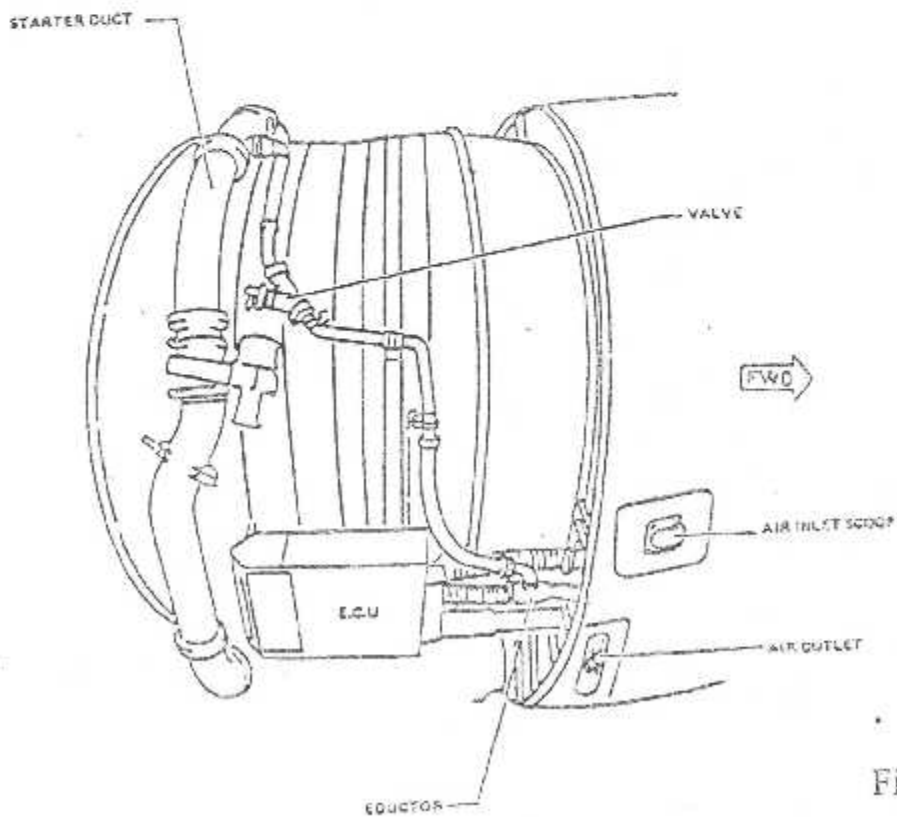
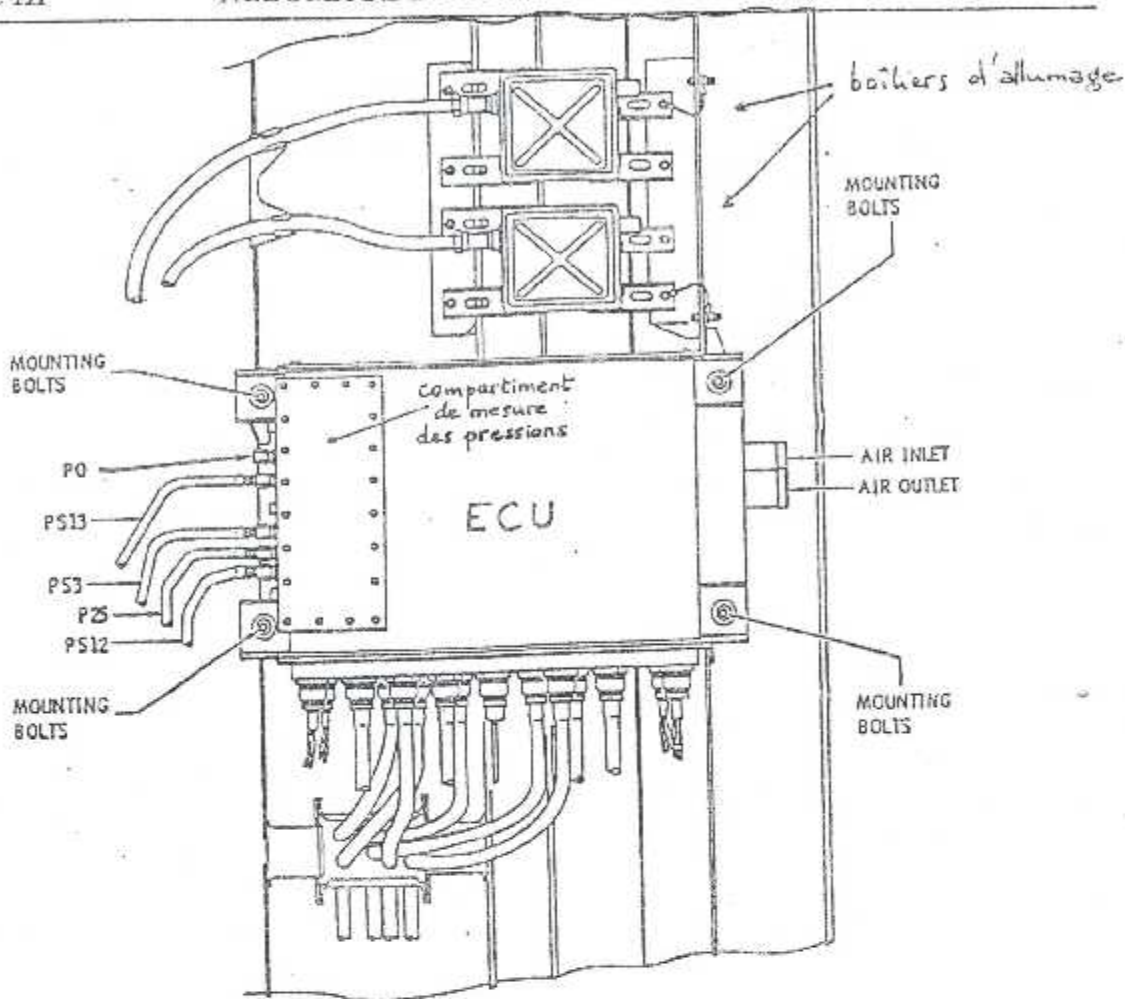


Fig.20

ECU : INSTALLATION ET CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT



Le circuit de démarrage comprend (Fig21) :

- Une conduite pneumatique qui amène au démarreur l'air sous pression, venant de l'APU, de l'autre moteur s'il est déjà en route, ou d'un groupe de parc. La pression moyenne de l'air venant du réseau pneumatique de l'avion (on trouve souvent l'appellation ECS, système de contrôle de l'environnement chez les Anglo-saxons), et qui est nécessaire au démarreur, est de l'ordre de 250 000 PA (2.5 bars).
- Une vanne de démarrage, electro-pneumatique, qui commande en tout ou rien le passage de l'air vers le démarreur (en secours, c'est à dire si la commande est en panne et que l'on ne peut se dépanner sur place), cette vanne peut être ouverte par un bouton de commande manuelle situé sur celle ci. C'est une soupape à papillon actionnée par un électro-aimant et maintenue par un ressort de rappel.
- Un démarreur à air constitué d'une turbine rapide attaquant un train d'engrenages réducteur, dont l'arbre de sortie entraîne les pignons du relais d'accessoires qui communiqueront le mouvement au rotor HP par l'intermédiaire d'arbre et renvois d'angle avec pignons coniques. (Fig.22)

Le démarreur comporte une roue à cliquets qui découpe automatiquement la turbine et le train d'engrenages du démarreur de toutes les pignonerics du relais d'accessoires dès que le moteur atteint une vitesse située légèrement en dessous de la vitesse de ralenti sol. Ainsi, dans toute la plage de fonctionnement normale du moteur, le démarreur est arrêté et sa turbine et ses engrenages restent au repos.

### III.3. SEQUENCE DE MISE EN ROUTE D'UN MOTEUR :

#### III.3. 1. EN MODE AUTOMATIQUE :

- On positionne le secteur sur GRD (ground : terre), le circuit sera bouclé, le courant continue 24/28 volts passe et arrive dans le système de contrôle de l'APU (Fig.23).
- L'APU reçoit un signal de démarrage, les vannes de l'APU dirige l'air vers la conduite et augmente la puissance pneumatique (pression).
- La bobine qui maintient le commutateur de démarrage à la position GRD est excitée, l'autre partie du courant va directement aux DEUs pour les alimenter (les activer) et afficher A ce moment la (courant fermé), la EEC reçoit le signal de démarrage ensuite elle commence à renvoyer les informations sur les paramètres du moteur.
- L'électro-aimant de la valve excité (près à actionner), la valve ouverte et au niveau de la CDS en reçoit l'information sur l'état.
- L'air comprimé arrive au starter et le démarreur est enclenché, ainsi l'arbre N2 tourne, la sonde sur cet arbre renvoie des informations à la EEC et en même temps reçus par les DEUs (1 et 2). Sur l'écran secondaire, on constate l'augmentation du nombre de tour de l'ordre de 25% (le max. à 30%).



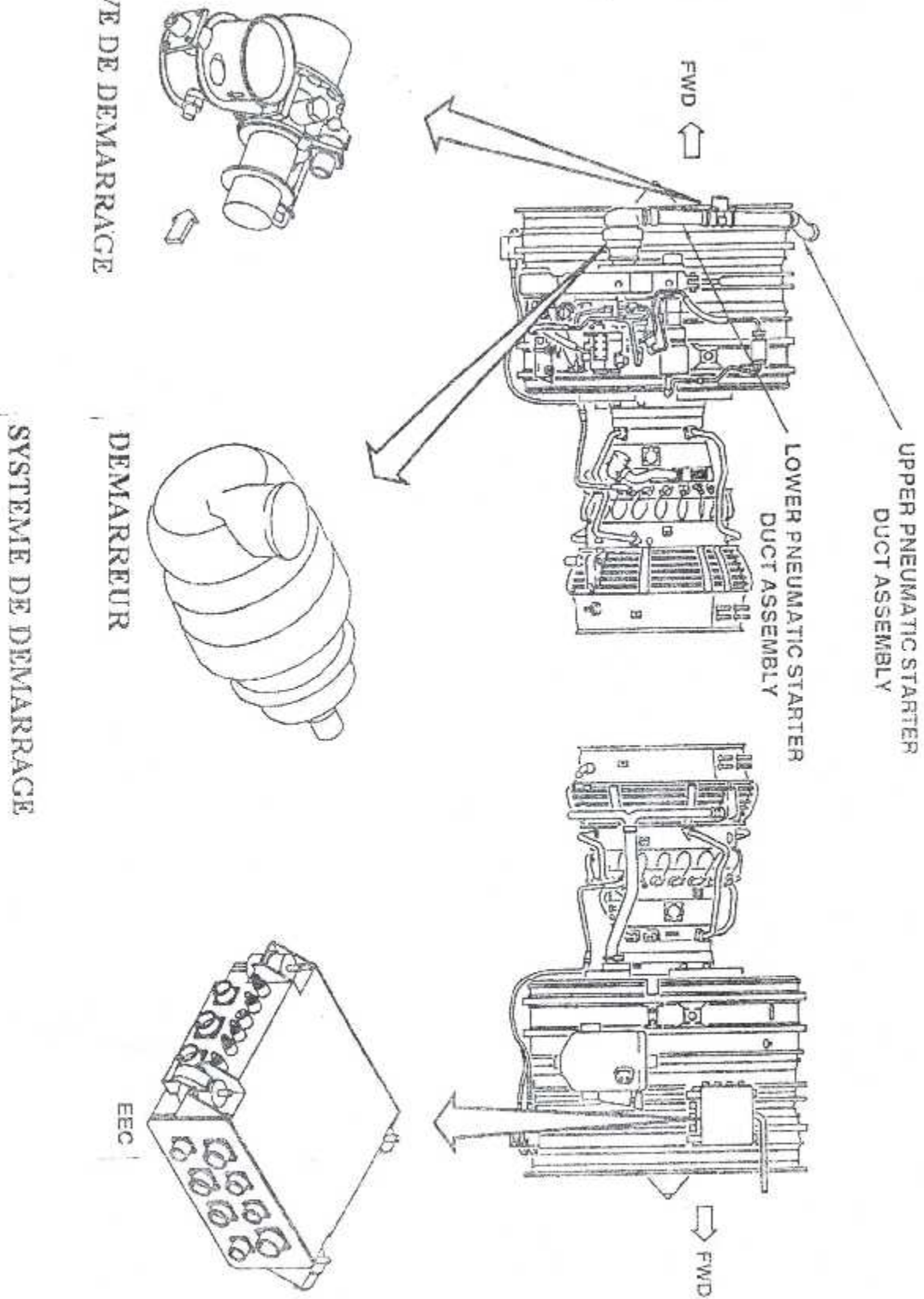


Fig. 21

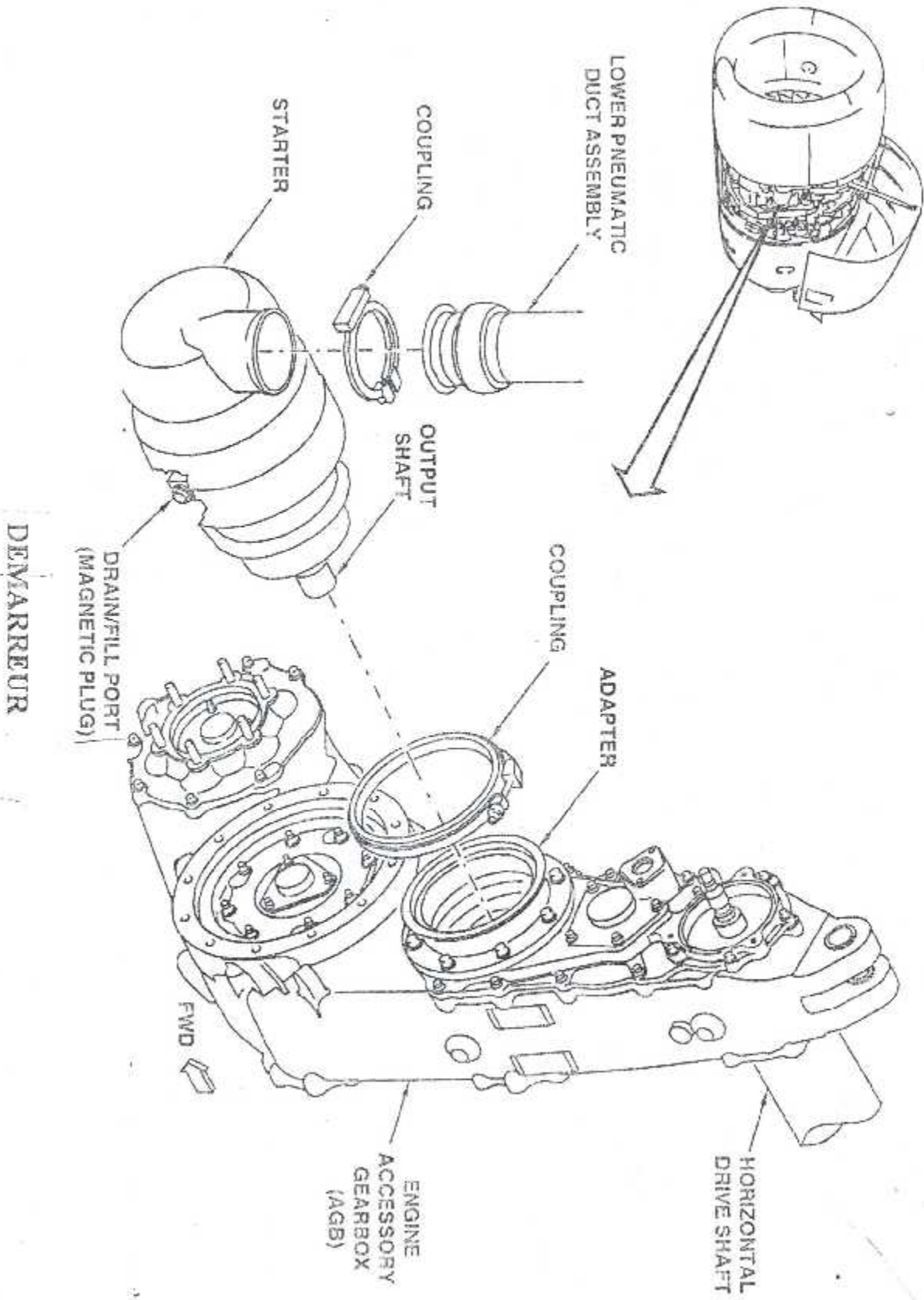


Fig.22





- A ce moment, on peut activer le carburant et lancer le levier sur le cockpit (on tire et on le bascule vers le haut). Un signal est renvoyé tout de suite à la EEC qui donne l'excitation d'allumage, en parallèle la valve d'alimentation carburant reçoit un signal d'ouverture.
- Le carburant est maintenant dosé au niveau de l'HMU et renvoyé aux injecteurs qui le pulvérisent..... c'est la combustion.

Sur le cockpit on aura ses données :

- augmentation de N1 (20%).
- augmentation de l'EGT (414°C).
- N2 est à l'ordre de 55%.
- Consommation carburant 0,7 %.

A ce moment là :

- Le signal de la EEC coupe l'allumage et le signal de l'APU s'arrête.
- Le solénoïde ramène la valve papillon à la position fermée, ensuite le signal sur la position du papillon disparaît sur l'écran.

dans ce cas :

- N1 : 19,8 %
- N2 : 61,1 %
- EGT : 414 °C
- consommation carburant : 0,7 %

au démarrage à chaud :

- N1 : 12 %
- N2 : 52 %
- EGT : 725 °C
- Consommation carburant : 1,4 %

Pendant toute la durée de la séquence de démarrage, le FADEC surveille les paramètres N1, N2, EGT et provoque l'arrêt automatique (au sol) du démarrage (fermeture du robinet HP, de la vanne de démarrage, et coupure de l'allumage) en cas de démarrage chaud, de démarrage lent, de pompage compresseur, ou de refus d'allumage. Il conduit ensuite une ventilation sèche, pour évacuer le carburant qui reste éventuellement dans la chambre et qui pourrait provoquer un démarrage chaud lors de la tentative suivante de démarrages, qu'il effectuera automatiquement.

### III.3. 2. EN MODE MANUEL :

Le pilote peut aussi choisir de démarrer "manuellement" le moteur, en se servant en plus du bouton poussoir "ENG MAN START" situé au panneau plafond du cockpit. Les différentes opérations sont toujours commandées par le FADEC, mais le déclenchement de chacune s'effectue sur l'ordre du pilote ; la séquence est la suivante :

- Le pilote met le sélecteur de modes sur IGN / START
- Puis le pilote appuis sur le bouton poussoir ENG MAN START, ce qui a pour effet de commandes l'ouverture de la vanne de démarrage, l'ordre d'augmentation de vitesse de l'APU, la fermeture des vannes des groupes de conditionnement d'air.
- Lorsque N2 atteint 25 %, le pilote met le levier ENG MASTER du moteur qu'il veut démarrer sur ON, ce qui provoque la commande de l'allumage et l'ouverture du robinet HP carburant.
- Lorsque N2 atteint 55 %, la vanne de démarrage se ferme et l'allumage se coupe automatiquement, comme en mode automatique.
- Lorsque le moteur est ralenti, le pilote remet le sélecteur de mode sur NORM, ce qui commande la réouverture des vannes des groupes de conditionnement d'air.

En mode manuel, le FADEC surveille aussi les paramètres moteurs et empêche le dépassement des limites, mais il n'a pas l'autorité pour arrêter automatiquement la séquence de démarrage.

En vol, si le pilote doit tenter le redémarrage d'un moteur, le FADEC effectue un démarrage automatique et détecte lui-même si la séquence du démarreur est nécessaire ou non (moteur en moulinet, tournant à une vitesse d'auto-rotation suffisante ou non).

Après l'arrêt accidentel d'un moteur, le pilote peut toujours commander une ventilation sèche ou humide (avec carburant) :

- Sélecteur de modes sur CRANK et bouton ENG MAN START appuyé : ventilation sèche.
- Sélecteur de modes sur CRANK et levier ENG MASTER X sur ON : ventilation humide.

(Le levier ENG MASTER a des contacts directement câblés au robinet HP carburant pour pouvoir à tout moment couper un moteur en cas de défaillance du FADEC notamment).

### III.4. INDICATIONS :

#### III.4.1 CAPTEURS :

De nombreux capteurs mesurent les paramètres nécessaires à la commande, la régulation, la surveillance du moteur. (fig.24 et 25).

REGIF

P.

$\frac{T_{12}}{P_{S12}}$

P<sub>S13</sub>

$\frac{T_{25}}{P_{25}}$

$\frac{T_3}{P_{S3}}$

$\frac{T_{49.5}}{P_{49.5}}$  \* T<sub>5</sub>

T<sub>CASE</sub>

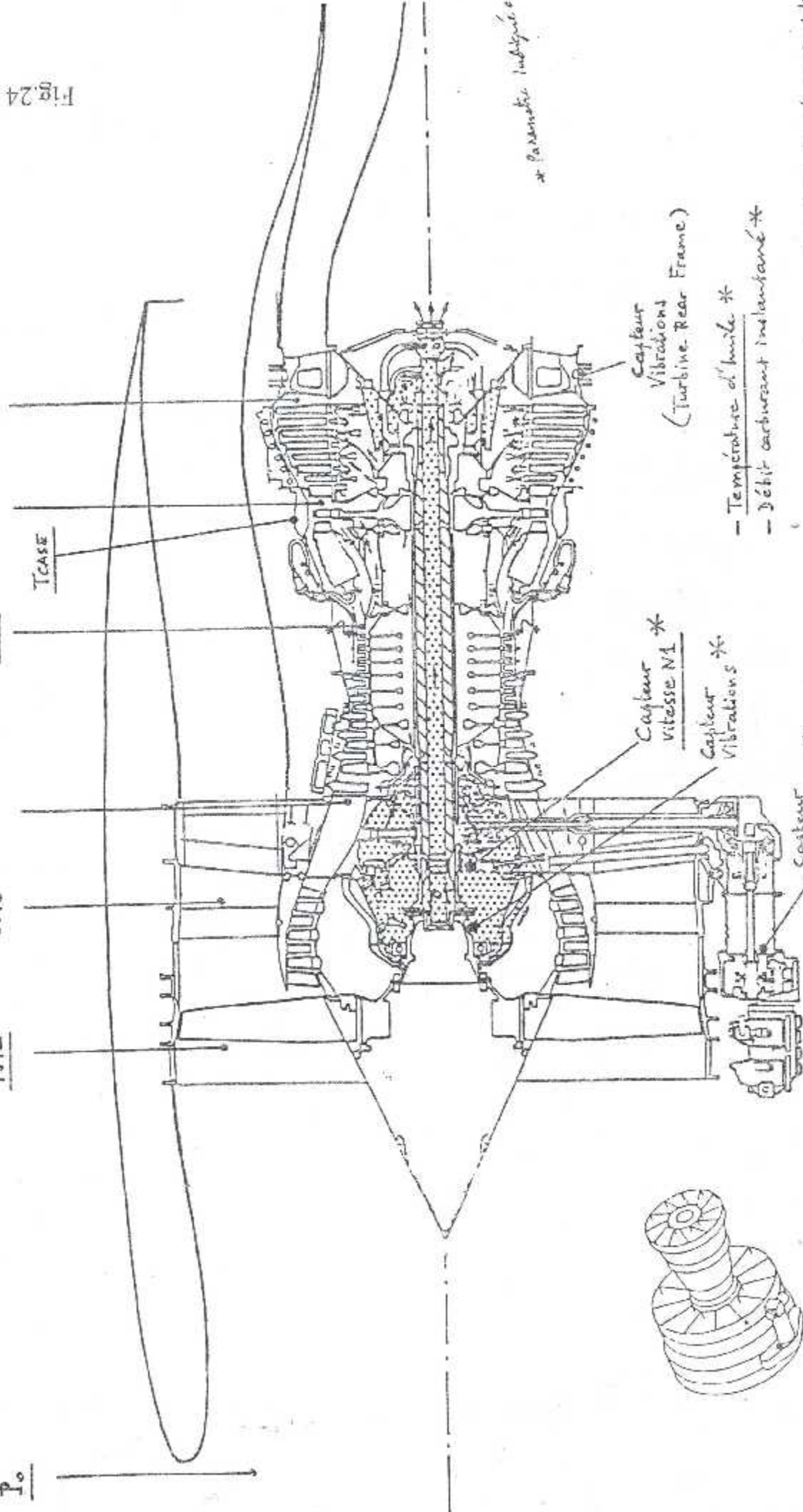


Fig. 24

- Température d'huile \*
- Débit carburant instantané \*

CAPTEURS

(Ceux qui sont soulignés sont utilisés pour le contrôle et la régulation de ceux suivis d'une astérisque sont affichés au cockpit)



**REGULATEUR NUMERIQUE PEINE AUTORITE DU MOTEUR CFM 56-5**  
**CFM 56-5 Full Authority Digital Engine Control (FADEC)**

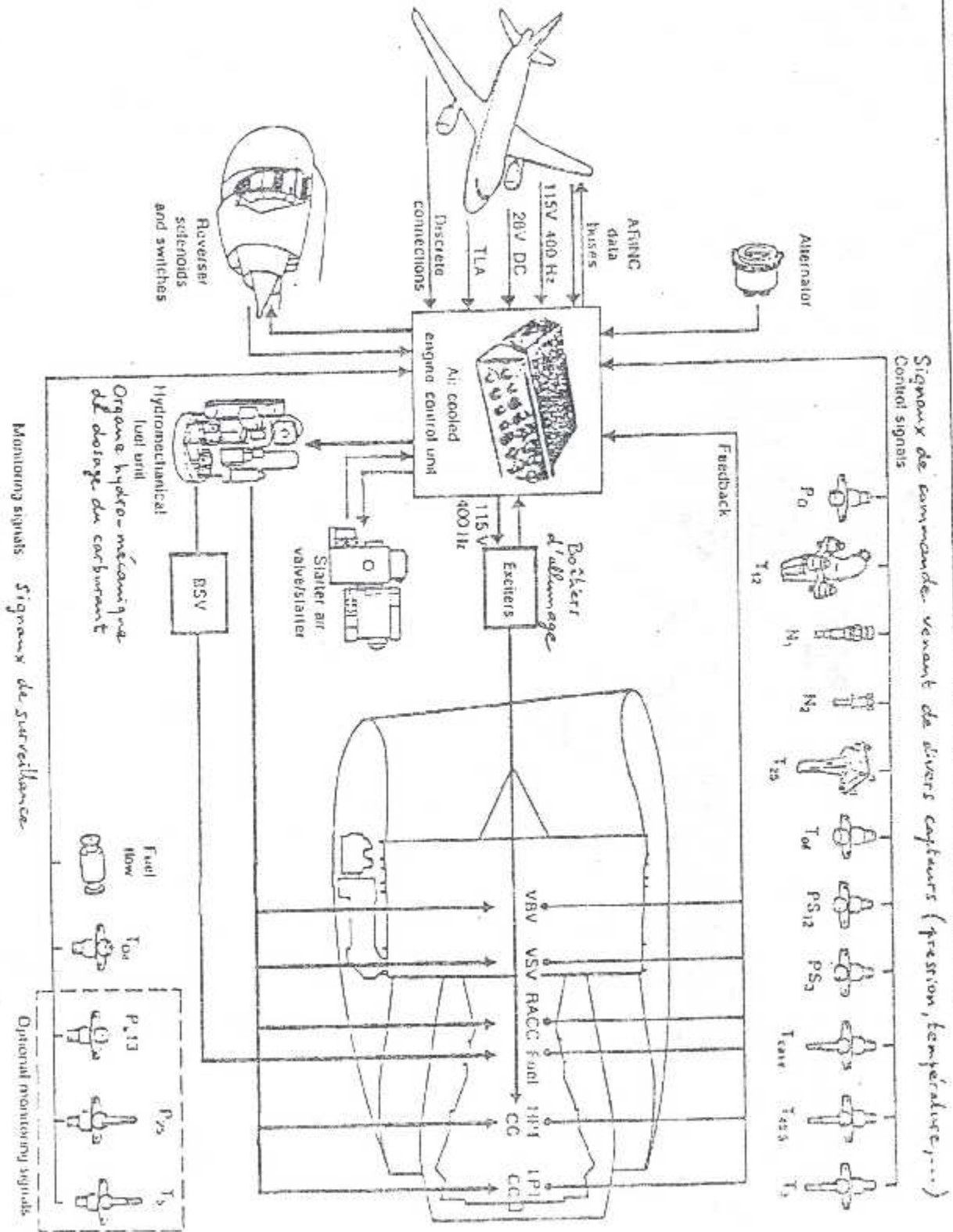


Fig.25

### **a. Capteurs de Pression :**

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

- PS 13 : pression statique du flux secondaire
- P 25 : pression totale de l'air à l'entrée du compresseur HP
- PS 12 : pression statique de l'air à l'entrée de la soufflante
- PS 3 : pression statique de l'air à la sortie du compresseur HP (9eme Etages).

### **b. Capteurs de Température :**

ce sont :

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

2 sondes T12 placées sur le capot d'entrée d'air et mesurant la température totale de l'air à l'entrée de la soufflante.

Une sonde T25 placée en amont des VBV et mesurant la température de l'air en aval du compresseur BP.

- Soit des rampes de thermocouples chromel-alumel montés en parallèle.
  - T49.5 (EGT) ; cette température est affichée au poste d'équipage et utilisée pour la logique LPTCC et pour le démarrage.
  - T3 utilisées dans les logiques RACC, HPTCC, BSV.
  - T-CASE pour le système HPTCC.
  - T5.

### **c. Tachymètres à Induction Magnétique :**

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

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

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

Un capteur comporte 3 têtes magnétiques, chacune ayant un aimant, une pièce polaire et un enroulement. Elles envoient leurs signaux respectivement aux voies A et B de la EEC, et au calculateur de vibrations EVMU.



#### *d. Capteurs piézo-électriques :*

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

#### *e. Débitmètre :*

Il mesure le débit carburant de 0 à 6360 kg/h, avec une erreur maximum de 45 kg/h. le carburant traverse deux (02) turbines en série, liées par un ressort de rappel équilibrant le couple fournit par le passage du carburant du fait de la différence de calage des petites ailettes des deux turbines. Ces dernières portent chacune un aimant ; ces deux (02) aimants passent devant deux enroulements, dont les signaux électriques sont exploités pour mesurer le débit carburant, par mesure de leur déphasage.

### **III.4.2. PARAMETRES FOURNIS PAR LA EEC :**

La EEC transmet comme paramètres de base : Po, P12, P3, T12, T25, T49, N1, N2, WF (débit carburant), plus ;

Des positions de vannes ;

La position du moteur sur l'avion (1 ou 2) et son No de séries des mots d'état de maintenance donnant des informations des pannes détectées (le cas échéant) dans la EEC ou l'un quelconque des organes installés sur le moteur et dans la nacelle : HMU, vanne de refroidissement de la EEC, boîtiers d'allumage, vannes, capteurs,...

en option, la EEC peut aussi transmettre les paramètres P13, P25, T3, T5

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

### **III.4.3. INDICATIONS ET ALARMES :**

Les indications moteur et les messages d'alarme relatifs aux moteurs sont présentés sur les deux (02) unités d'affichages du système ECAM (système de surveillance électronique centralisé d'avion).

✓ Les paramètres primaires sont affichés sur l'unité d'affichage supérieure, ce sont les suivants :

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



- N1 LIM, N1 MAX, N1 THR, N1 CMD.
- Indications REVERSE.
- N2, vitesse de rotation du rotor HP en %, est présenté sous forme digitale seulement, L'indication devient rouge si N2 atteint 105 %. Les mêmes alarmes et procédures que pour les dépassements de N1 sont données à l'équipage.
- EGT (température des gaz d'échappement) : les neufs (09) sondes (thermocouples) qui mesurent la température dans le plan 49.5 (distributeur 2eme étage de turbine BP) sont reliées en parallèle, l'indication est présentée sous forme analogique et digitale.

Elle devient de couleur ambre au-dessus de 855 °C (725 °C au démarrage), et rouge au-delà de 890 °C. les mêmes alarmes et procédures que pour les dépassements de N1 et N2 sont données à l'équipage. Si l'EGT dépasse 890°C, la valeur maximum atteinte est mémorisée pour la maintenance.

- ✓ Les paramètres secondaires sont affichés sur l'unité d'affichage inférieure :
- F.USED : carburant consommé par chaque moteur depuis sa mise en route (obtenus par intégration du débit carburant instantané).
- Quantité, pression, température de l'huile. En cas de baisse importante de pression d'huile, un gong répétitif retentit, des voyants rouges clignotent, et un message s'affiche demandant à l'équipage de stopper le moteur.
- Température nacelle.
- Vibrations : les signaux de capteurs sont transmis à un calculateur, l'EVMU (unité de surveillance de vibrations moteur). Un seul capteur est utilisé à la fois (le second est en secours du 1<sup>er</sup>). L'EVMU fournit les indications de vibrations des deux rotors, par analyse du spectre de signal d'ensemble est prise en compte des vitesses de rotation N1 et N2 ; tout ceci permet d'extraire les composantes du balourd de 1<sup>er</sup> ordre de chacun des rotors. Le signal d'ensemble est filtrés par des filtres de bande étroite asservis sur N1 et N2. On obtient ainsi les valeurs réelles de vitesse de vibrations, que l'EVMU rapporte aux valeurs maximums correspondantes aux N1 et N2 actuelles (le niveau de vibration est bien sur en fonction de N1 et N2).

Un autre module de l'EVMU, à partir du signal de vibration, de N1 actuelle, et de l'impulsion de référence, calcule la phase et l'amplitude du déséquilibre de la soufflante.

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

# CHAPITRE IV

**SYSTEME DE GRAISSAGE ET DE CONTROLE DE JEUX :****IV.1. SYSTEME DE GRAISSAGE :**

Le système de graissage est constitué de trois parties principales :

- Stockage (accumulation).
- Distribution.
- Indication.

C'est un système qui consiste à fournir de l'huile aux différentes parties tournantes et aux paliers.

**IV.1.1. STOCKAGE :**

Le stockage (accumulation) de l'huile est assuré par le réservoir. Il a pour rôle de garder une quantité suffisante d'huile, et alimenter continuellement le circuit de distribution. Cependant, dans tous les régimes moteurs, on peut lire la quantité d'huile et effectuer le remplissage si nécessaire.

**a. Réservoir :**

Il a une capacité de 23,26 QUART (litres), fabriqué en aluminium protégé par une enveloppe anti-feu, il comprend les éléments suivants :

- Un transmetteur de quantité d'huile.
- Une jauge d'indication de quantité d'huile.
- Remplissage par gravité.
- Bouchon de remplissage sous pression.
- Vice de drainage.

Il est positionné à 3 heures dans la partie arrière du châssis fan. On retrouve aussi sur sa partie supérieure un séparateur d'huile qui enlève l'air contenu (Fig.26).

**✓ mode opératoire du réservoir :**

L'huile descend directement du réservoir vers la LBU (unité de lubrification) par gravité. L'huile retourne par la partie haute à travers le séparateur Air/ huile (dégazage), la quantité accumulée dans le réservoir est indiquée au cockpit par le biais de transmetteur ; comme on peut avoir le niveau d'huile dans le réservoir par jauge visuelle.

**✓ état du réservoir :**

En mode de fonctionnement, le niveau d'huile diminuera avec l'augmentation de RPM (rotation par minute). La portion (quantité) pressurisé provoque une fluctuation. Au démarrage de l'engin, la quantité d'huile diminue aux environ de (01) gallon (4 litres). Au décollage, la quantité descend d'environ 0,5 gallons de plus. A l'extinction du moteur l'huile est partiellement récupéré au réservoir (moins la quantité consommée  $\Delta L$ ).  $\Delta L \rightarrow 22,1$  quarts  $\rightarrow 20,9$  litres.



RESERVOIR D'HUILE

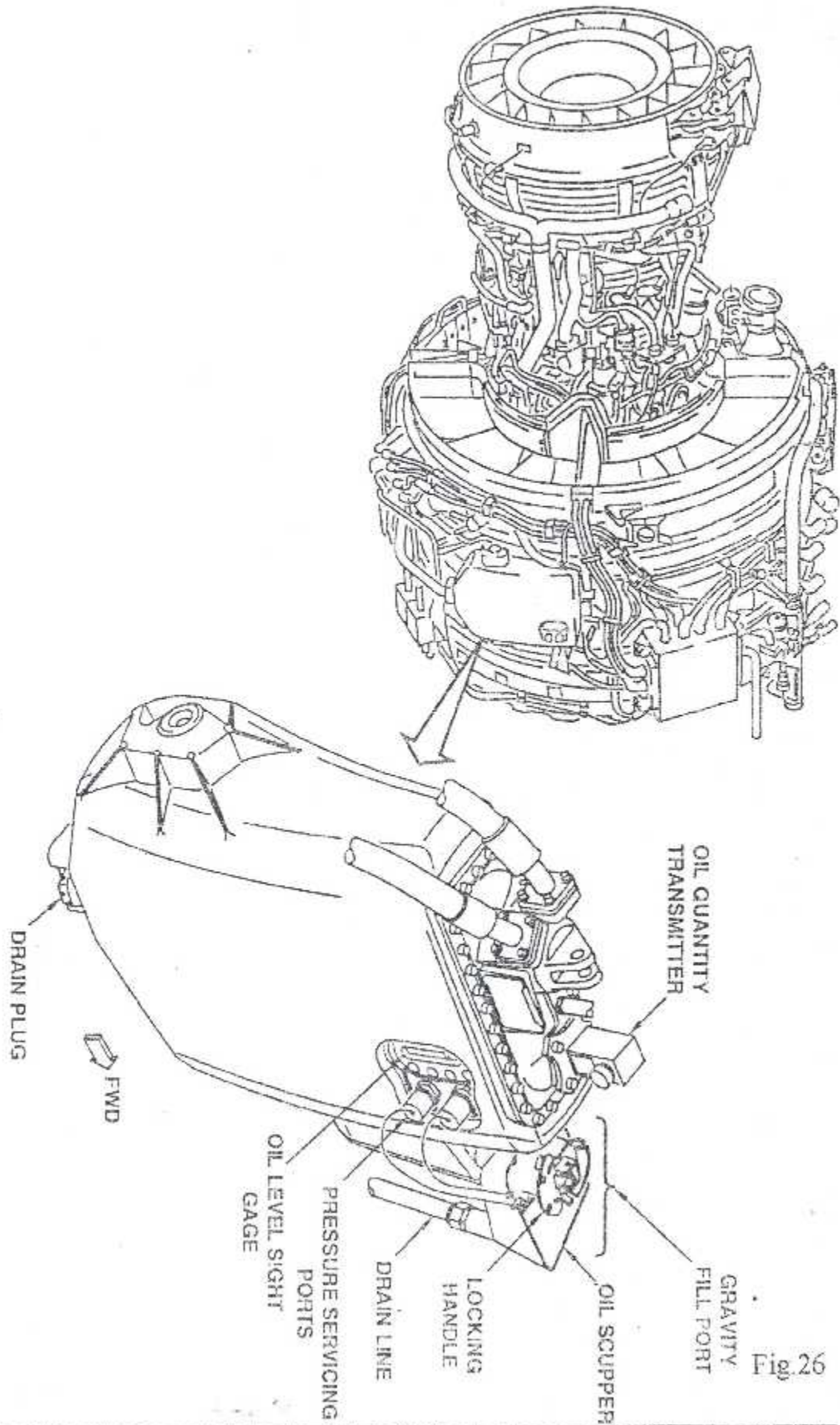


Fig. 26

**b. Maintenance :**

Une quantité insuffisante d'huile peut entraîner une surchauffe des roulements des paliers suivit d'une défaillance séquentielle de ces roulements. La quantité d'huile entraîne également un endommagement important.

NB : pour le remplissage manuel, on ne peut procéder qu'après cinq (05) minutes de l'arrêt du moteur.

**IV.1.2. DISTRIBUTION D'HUILE :**

La distribution s'identifie par les circuits suivants :

- Circuit d'alimentation (refoulement).
- Circuit d'aspiration (retour).
- Circuit d'aération (dégazage).

Le circuit d'alimentation envoie l'huile aux roulements et aux engrenages pour la lubrification. Le circuit d'aspiration renvoie l'huile sortant des roulements et engrenages au réservoir. Le circuit d'aération équilibre la pression d'huile dans le système de graissage (Fig.27).

**a. Unité de Lubrification (LBU) :**

Elle contient les éléments suivants :

- une pompe d'alimentation.
- Un filtre d'huile du circuit refoulement.
- La soupape by-pass du filtre d'alimentation (clapet de dérivation).
- Soupape de protection de surpression (refoulement).
- Pompe d'huile du circuit d'aspiration.
- Détecteur de limaille - petite particule en métal limé- (CHIP DETECTOR).

La LBU est montée sur la partie arrière de la GearBox sur la position (6 heures). Elle pompe l'huile sous pression vers les paliers (engrenage) et le récupère pour une réutilisation.

La LBU possède un arbre entraîné par l'AGB, il fournit un débit d'huile à n'importe quel moment et à n'importe quelle rotation N2 du core de l'engin. Le débit et la pression de sortie sont proportionnel à la rotation de N2.

Si la pression de refoulement dépasse la limite de conception, la soupape de surpression s'ouvre et envoie l'huile à l'entrée de la conduite de la pompe d'aspiration prévenant de l'AGB/TGB.

**b. Filtre de Refoulement :**

C'est une cartouche interchangeable type à papier, se trouvant sur la LBU, à sa base on trouve le couvercle et un bouchon de vidange. Ce filtre a pour rôle d'enlever et de garder les matériaux désirés du circuit d'alimentation ; ainsi, il protège l'écoulement aval d'une contamination éventuelle.



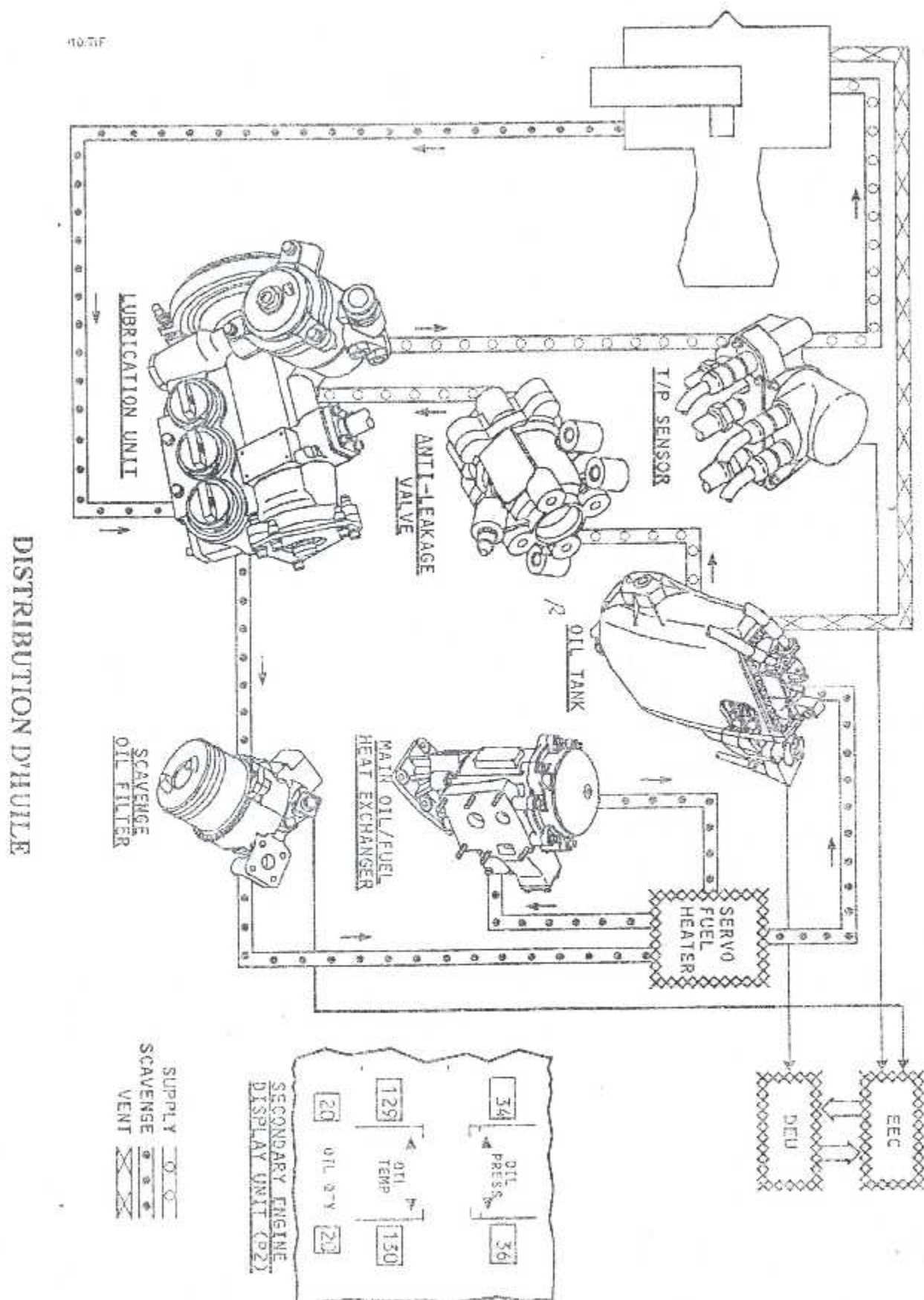


Fig.27



Quand le filtre est colmaté, la valve du filtre refoulement sera actionnée par le fait de l'augmentation de pression et ainsi il ouvre le circuit by-pass. Avant l'ouverture de la valve, un indicateur visuel (bouton de couleur rouge dans une glace transparente) apparaît sur une position haute par effet de pression hydraulique. Cette action la signale à la maintenance pour effectuer un changement du filtre refoulement avant qu'il y ait contamination totale du circuit.

**c. Chip Detector (détecteur de limaille) :**

Chaque chip detector est constitué d'un écran métallique et d'un aimant, il sont attachés à l'entrées des pompes du circuit aspiration (retour).

Le chip detector se fixe dans un logement par baillonnette, son rôle est d'empêcher les bouts de métaux ferreux et non ferreux de passer aux pompes. Quand les chip detector sont enlevés, une soupape de sécurité se ferme pour éviter les fuites d'huile.

L'huile de retour entre vers la pompe d'aspiration a travers le chip detector, l'aimant central du détecteur empêche les particules de nature ferreux, alors que les particules non ferreux sont retenues par la grille métallique à mèche serrée en tournant la tige aimantée.

**d. Système de Contrôle (surveillance) Débris :**

Il existe trois messages à visualiser pour la détection des débris provenant des paliers avant, arrière et AGB/TGB. Chaque chip detector est relié à une sonde électrique en contact avec l'aimant centrale, le rôle de sonde est de détecter les particules métalliques suspendues dans l'huile de retour et envoyer un message à travers trois câbles vers une unité de traitement du signal (DPM.box :Situé au niveau de la EEC) de cette boîte, cette dernière renvoie un signal à travers un câble vers la CDU (unité d'affichage).

Quand les particules des matériaux ferreux sont attirées par la tige aimantée, la résistance mesurée va prendre une valeur différente.

- Si :
- $20 \Omega < \text{la résistance} < 130 \Omega$  : la sonde du chip détecteur renvoie un message à la CDU (C.D.oui).
  - $20 \Omega < \text{la résistance} < 4000 \Omega$  : la mesure est invalide.
  - $130 \Omega < \text{la résistance} < 4000 \Omega$  : pas de métal détecté (NO chip Détecteur).

**IV.1.3. RECUPERATION :**

Les roulements sont enfermés dans de petites enceintes à deux (02) cloisons, traversées par les arbres des deux rotors. Des joints labyrinthes sont montés à la traversée des cloisons par les arbres des rotors. Une pression supérieure à celle qui règne à l'intérieur de la cloison interne et à l'extérieur de la cloison externe est établis entre les deux cloisons, de façons à interdire toute fuite d'huile à travers les joints labyrinthes.

L'huile et l'air venant de ces enceintes de paliers et aussi des boîtiers à engrenages interne du moteur sont aspirés par quatre (04) pompes de récupération protégée chacune contre les impuretés éventuelles et les particules métalliques par une crépine (tamis) associés à un détecteur magnétique de limaille (fig.28). Ces 4 pompes sont identiques a celle du circuit de distribution.

Ce mélange huile + air est ensuite envoyé vers le réservoir, en passant d'abord par un filtre (associés à un clapet de dérivation et un indicateur de colmatage, comme pour le circuit de distribution), puis par un échangeur d'huile / carburant. Ce dernier refroidit l'huile et réchauffe le carburant destiné aux organes du boîtier hydromécanique (HMU).

La figure (28) montre l'ensemble des pompes de lubrification, avec les filtres et les détecteurs de limaille.

#### *a. Echangeur de Chaleur :*

Il utilise le carburant par processus de convection forcé (transfert de chaleur) pour diminuer la température de l'huile et le refroidir. Il est monté au-dessus de la pompe à carburant positionné à 8 heures (Fig.29).

Le carburant provient de la partie basse pression du bloc pompe à carburant, alors que l'huile provient du filtre retour du circuit aspiration ; une fois l'opération est effectuée, l'huile revient vers le réservoir de stockage. Pour protéger l'échangeur d'un éventuel colmatage, des soupapes de protection interne s'ouvrent pour un by-pass.

#### *b. Filtre de Retour :*

Le filtre du circuit de retour se trouve sur la face arrière de l'AGB à une position de 7h :00. Il est composé d'un corps qui reçoit à son tour la cartouche du filtre, cette dernière est retenue par un levier de fermeture ou de rattachement ; d'autre part le corps du dispositif contient aussi la soupape d'anti-colmatage qui permet à l'huile de by-pass.

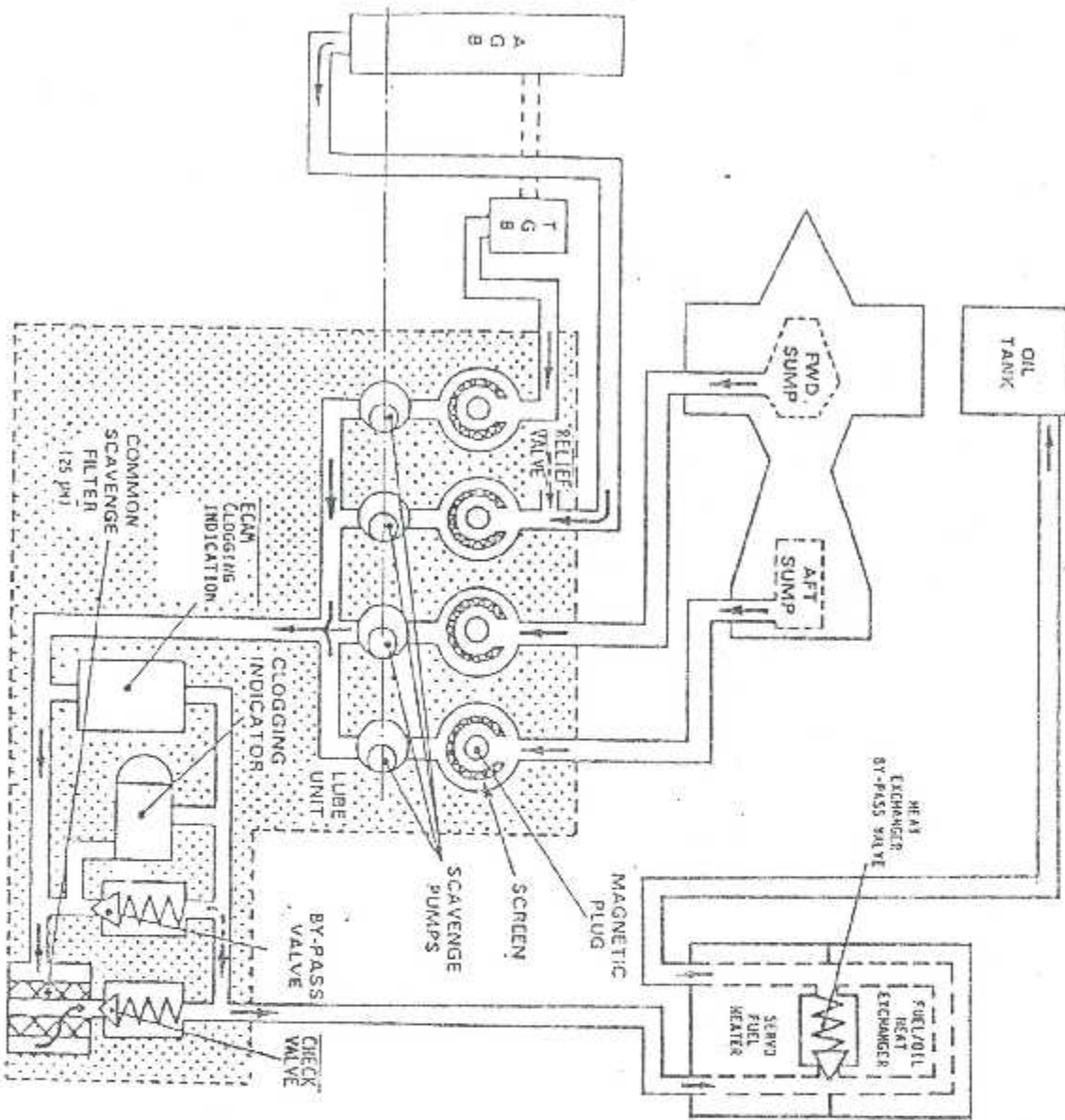
Le filtre sondé, Cette dernière s'ouvre une fois une pression différentielle existe, donc il y a un contacteur qui permet de signaler l'ouverture de la soupape sur le coté.

#### *c. Soupape anti-fuite :*

Elle a pour rôle d'éviter une fuite totale (la vidange du réservoir). Une fois le moteur est à l'arrêt, un tube est enlevé pour remplacer en quelque sorte le réservoir qui a tendance à se vider par l'effet siphon.

La soupape anti-fuite agit par l'effet de pression, elle est retenue par un ressort de rappel et se positionne sur le châssis du fan tout à fait en bas (6h) et monté entre la conduite d'alimentation du réservoir et la LBU (unité de lubrification).





CIRCUIT DE LUBRIFICATION  
POMPES DE REPRISE

Fig.28



ECHANGEUR DE CHALEUR HUILE/CARBURANT

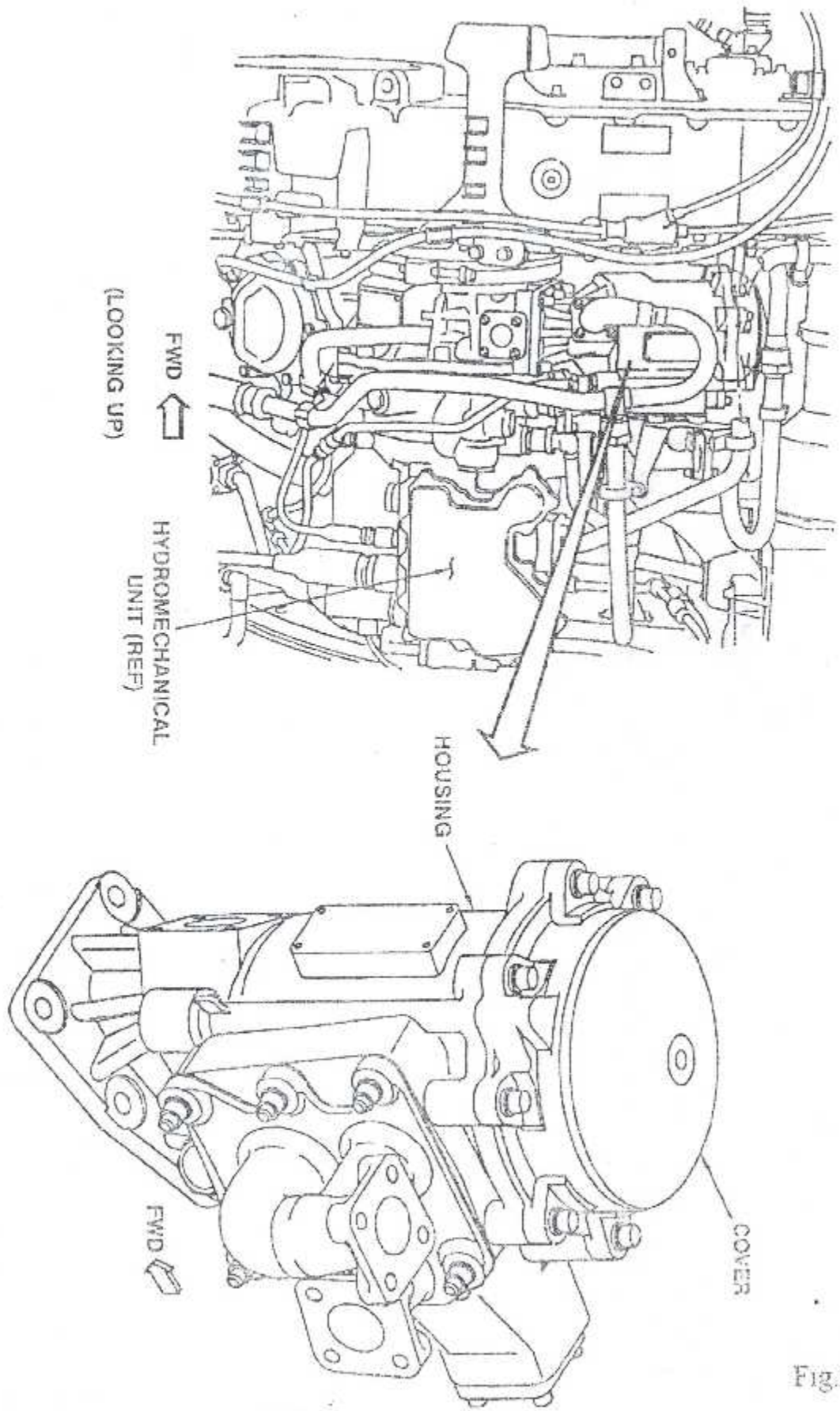


Fig.29





Une fois le moteur est en fonctionnement, la pompe refoule l'huile sous pression, un pick-up de la conduite de refoulement des paliers arrière est dirigé vers la soupape anti-fuite pour actionner l'ouverture de la valve sous pression ; cette dernière est maintenue OUVERTE quand le moteur est en fonctionnement.

A l'arrêt, la pression n'a pas d'effet sur la valve car la pompe est l'arrêt, a ce moment le ressort ramène la valve à la position FERME, l'huile ne se dirige pas du réservoir a la position ouverte, mais il se dirige vers ce dernier.

#### **IV.1.4. INDICATION DU CIRCUIT D'HUILE :**

Les quantités ou les informations à être transmises du circuit d'huile aux panneaux de contrôle sont :

- la quantité d'huile
- La pression.
- La température.
- Le colmatage du filtre

Ces derniers sont réalisés à partir des éléments suivants :

##### **a. Transmetteur de Quantité d'Huile :**

Positionner sur le réservoir a 2h.

##### **b. Transmetteur de Pression et de Température :**

Positionner à 10h sur le châssis du fan.

##### **c. Interrupteur de Colmatage :**

Détecter sur le filtre retour.

Les systèmes d'indications du circuit d'huile fournis des informations (données) à la CDS (unité d'affichage commune), à ce moment les informations sont affichées sur le panneau P2 :

- condition sur le filtre retour
- quantité d'huile
- pression d'huile
- température d'huile

##### **d. Transmetteur de Quantité d'Huile :**

C'est une cendre à base de résistance électrique utilisant un aimant flotteur et des interrupteurs indiquant la quantité d'huile, le transmetteur a une forme de tige plongés dans le réservoir, un signal d'excitation est envoyé au transmetteur pour l'activer suivant le niveau de la quantité d'huile.



Le flotteur se déplace et ouvre ou ferme le circuit. La valeur de la résistance à une position donnée du flottant est transmise à la CDS qui la traite et l'envoie vers l'écran d'affichage. La valeur de la quantité d'huile est transmise en pourcentage, le plein réservoir à une lecture de 100%, la valeur admissible de lecture minimale est de l'ordre de 9,6 %.

#### *e. Indication de Pression d'Huile :*

Le transmetteur de pression a pour rôle d'envoyer la pression d'huile à la sortie de refoulement (LBU) vers la EEC qui traite l'information et l'envoi au cockpit dans l'écran d'affichage en passant par la CDS.

#### *f. ARINC H29 Signale :*

La pression lue est en réalité une pression différentielle entre la sortie pompe refoulement et le circuit air palier (ventilation). Avant, cette mesure est envoyée à la EEC autant que signal électrique.

La CDS suivant le signale dispose l'information de la valeur de la pression différentielle sur l'écran sous forme de deux cercles équivalent aux indicateurs conventionnels analogiques ; en plus nous avons une valeur de pression au-dessus de 13 psi, ce qui oblige la EEC de donner un signal à la CDS qui affiche sur l'écran en nombre.

D'une manière similaire, le transmetteur de température agit et fonctionne pour indiquer la température de l'huile lue à partir du palier avant et la TGB. La lecture se fait dans la ligne de retour, de la même manière, l'indicateur de pression basse, la cadran correspondant au colmatage filtre, il tourne à une couleur lumineuse et le message clignote, et reste continu après.

## **IV.2. SYSTEME A AIR :**

### **IV.2.1. DEFINITION :**

Le rôle du système à air est de contrôler le fonctionnement du moteur. Le système à air en réalité empêche le moteur de présenter un dysfonctionnement en pompage et surpression ainsi que le contrôle de l'efficacité au niveau des turbines (contrôle de jeux). Les éléments concernés par ce système sont : EEC - HMU - VBV - VSV - TURBINE ACTUATOR (vérin) (Fig.31).

### **IV.2.2. CONTROLE DE JEUX TURBINE HAUTE PRESSION (HPTCC) :**

Elle est assurée par la soupape HPTCC VALVE qui contrôle la quantité d'air prélevé du compresseur HP au niveau du 4ème et 9ème étage, renvoyée vers le carter de la turbine HP pour contrôler les jeux.

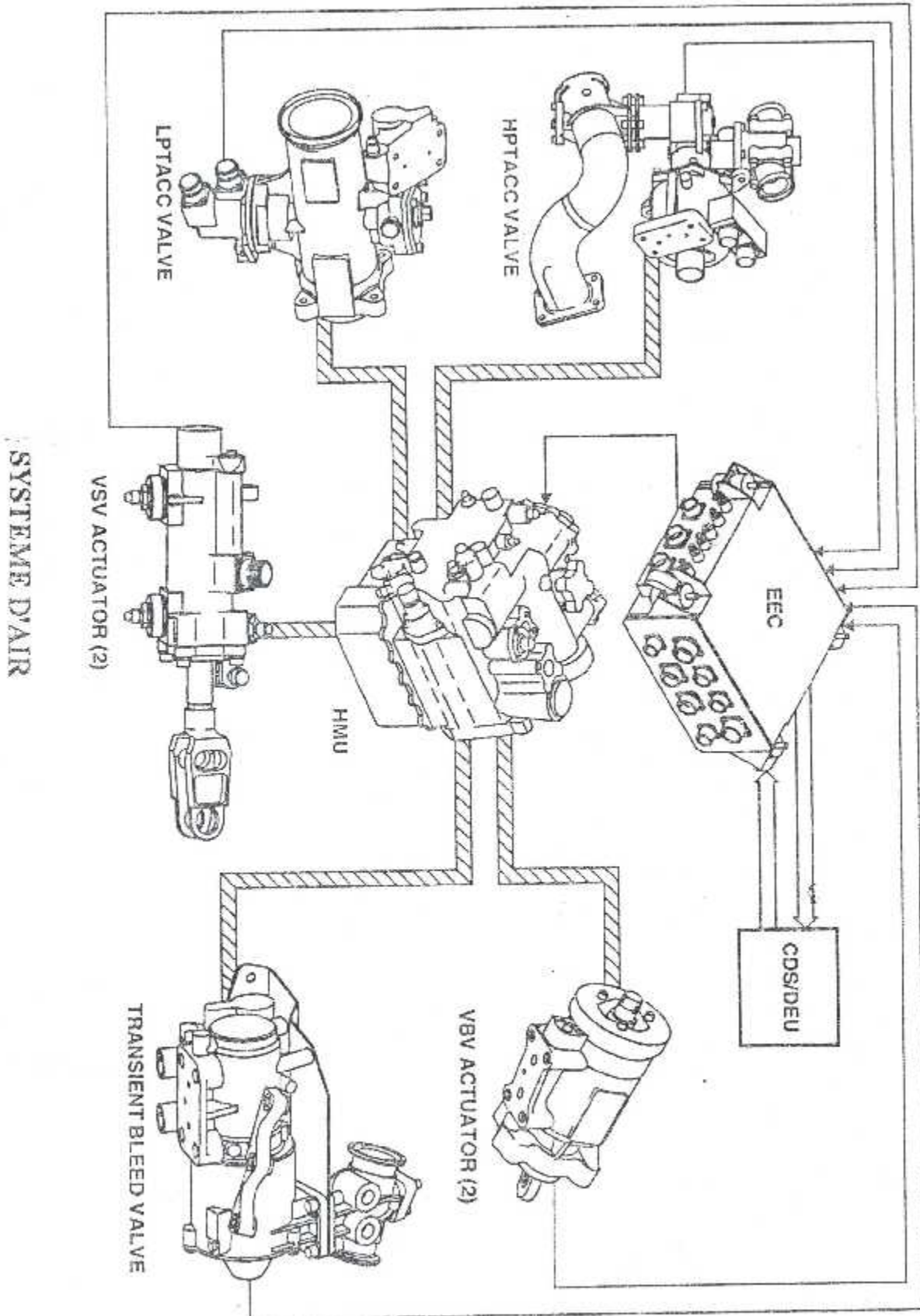


Fig.31



✓ **FONCTIONNEMENT :****- NO AIR :**

La soupape HPTCC VALVE possède deux valves respectivement pour l'air du 9eme et 4eme étage. Quand il n'y a pas d'air qui passe, les valves sont dans la position FERME, cet état correspond à la position ARRET du moteur. C'est aussi la position du défaut de sécurité.

**- ECOULEMENT HAUT ET BAS DU 9eme ETAGE :**

A la position complètement ouverte de la valve du 9eme étage, le flux (écoulement) HP chaud de l'air est entièrement envoyé (quantité max.) vers le support du carter turbine HP; A ce moment là, les jeux sont au max.

On peut avoir un écoulement faible en contrôlant l'air provenant du 9eme étage par l'intermédiaire de la valve, mais cette fois ci elle n'est pas complètement ouverte, à ce moment là il y a moins de quantité d'air chaud qui est envoyé vers le carter turbine HP (la valve du 4eme étage est gardée fermée).

**- ECOULEMENT MIXTE :**

Dans le mode mixte, la valve du 4eme étage est utilisée et contrôlée afin de renvoyer du 4eme étage une quantité d'air moins chaude (frais) pour être mélangée à celle du 9eme étage et renvoyé à la fin au carter de la turbine HP. Ce procédé nous permet d'avoir un contrôle précis de jeux désiré à la turbine HP.

**- VALVE DU 4eme ETAGE COMPLETEMENT OUVERTE (9eme étage fermé) :**

A ce moment là, l'air provenant du 4eme étage moins chaud que celui du 9eme étage passe complètement à la turbine HP en position valve complètement OUVERTE, ainsi le débit d'air donne les jeux minimums à la turbine HP.

**IV.2.3. CONTROLE DE JEUX TURBINE BASSE PRESSION (LPTCC) :**

La LPTCC VALVE contrôle la quantité d'air provenant du flux secondaire FAN et qui est dirigé à la turbine BP pour le contrôle de jeux. La valve LPTCC n'est jamais complètement fermée pour permettre le refroidissement du carter turbine BP.

Pour contrôler les jeux de la LPT, la LPTCC ouvre et module (calibre) la quantité d'air provenant du FAN renvoyé vers le collecteur du carter LPT.



SYSTEME D'AIR

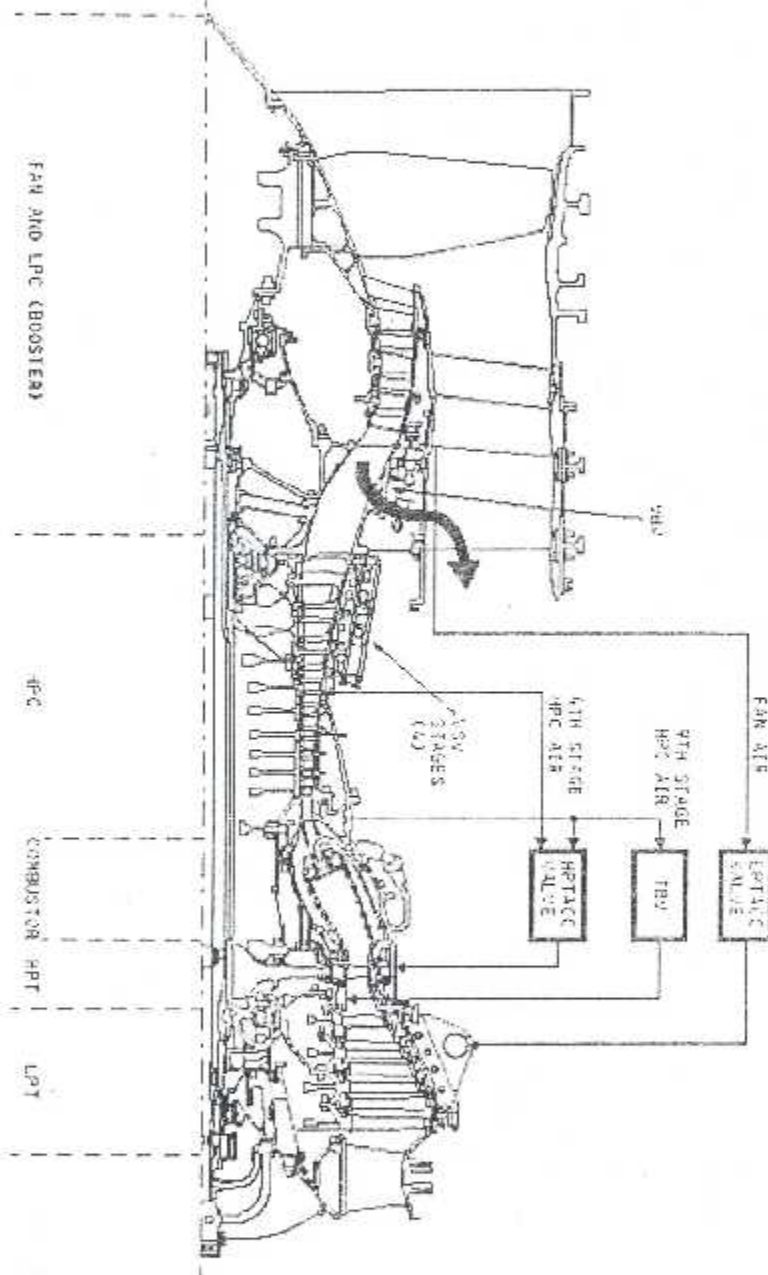


Fig.32

**IV.2.4. VSV (Stator à Calage Variable):**

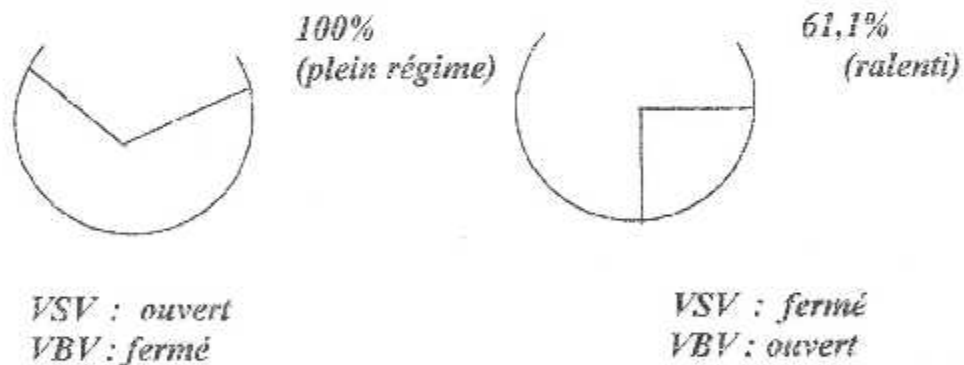
C'est un dispositif qui est utilisé sur le compresseur HP pour ajuster l'écoulement autour des profils d'aubes à différents régimes de fonctionnement moteur dans le but d'éviter le pompage ou avoir une marge de sécurité pour ne pas rester en pompage.

Les VSV sont complètement en position FERME quand N2 est au régime ralenti (61%), les vérins du VSV actionnent les vannes en position plus ouverte quand N2 augmente. Les VSV reviennent graduellement à leurs positions ferme quand le nombre de tours N2 diminue jusqu'au régime ralenti, ils sont contrôlés par le circuit carburant.

**IV.2.5. VBV (Vannes de Décharge) :**

Ce mécanisme permet d'effectuer une décharge d'air du compresseur BP vers l'écoulement de l'air secondaire ; ceci afin d'éviter le décrochage de l'écoulement dans les aubages du compartiment compresseur BP. D'autre part, il permet d'éviter les particules non désirées pour atteindre le compresseur HP (Fig.33).

Les VBV sont en réalité des trappes actionnées par des vérins et qui s'ouvre par ordre du circuit carburant, précisément au niveau de la IIMU qui règle la quantité carburant renvoyée aux vérins pour définir une position d'ouverture des VBV. Ces derniers sont en position fermés quand les VSV sont ouvertes ( c.à.d quand N2 est grand : 100%).



Les vérins des VBV actionnent les portiers VBV à une position ouverte quand les VSV sont actionnés à la position fermée (VBV sont positionnés à la sortie de compresseur BP et à l'entrée du compresseur HP).

A 100% ⇒ Plein régime (régime nominal).

A 120% ⇒ Régime max. ( Survitesse → zone critique ( vibration, échauffement, cisaillement) → alarme, signale.).

Les portières des VBV s'ouvrent pendant une décélération rapide et quand l'inverseur de poussée est en opération. Ces portières se déplacent vers une position plus fermée quand les VSV se déplacent à leurs tours à une position plus ouverte.

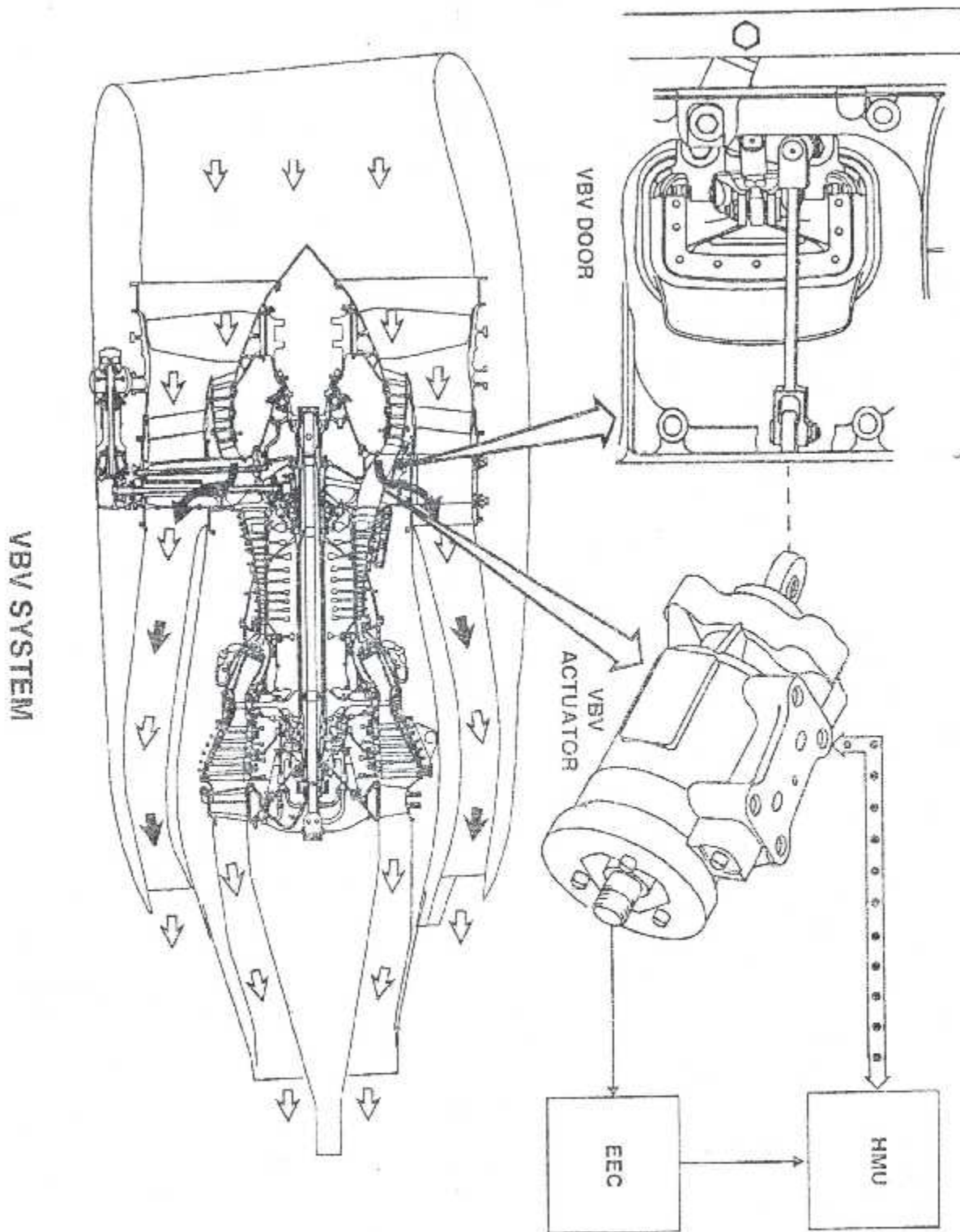


Fig.33



#### *IV.2.6. TBV (Vannes de Décharge et de Transition) :*

C'est un dispositif de vannes (soupapes) qui contrôle la quantité d'air qui sera soutirée (piquée) du 9eme étage pour être renvoyé au distributeur (aube stator) du 1<sup>er</sup> étage turbine BP.

A ce moment la pendant le démarrage, la TBV sera en position ouverte pour permettre à l'air sous pression du 9eme étage de passer au distributeur du 1<sup>er</sup> étage turbine BP ; Ceci pour éviter le décrochage de l'écoulement dans le compresseur HP. D'autre part la, TBV s'ouvre aussi pour aider à l'accélération rapide du rotor N2.

# CHAPITRE V

## INVERSEUR DE POUSSEE :

### V.1. DEFINITION :

L'inversion de poussée est actionnée à l'atterrissage, pour diminuer la distance nécessaire au ralentissement de l'avion et épargner ses freins. Elle s'obtient en détournant le flux secondaire et on le renvoyant vers l'avant, avec un certain angle par rapport à l'axe du moteur, au moyen de quatre (04) portes en forme d'écoques qui sont articulées à leur partie arrière sur la structure des capots du flux secondaire et s'ouvrent en pétales. (Fig.34).

#### V.1.1. COMMANDE DE L'INVERSION DE POUSSEE PAR L'EQUIPAGE :

La manette de sélection de poussée inverse est articulée sur la manette des gaz. Elle ne peut être actionnée (tirée vers le haut) par le pilote que si cette dernière est sur position ralentie.

Le pilote peut alors moduler la quantité de poussée inverse qui lui est nécessaire en déplaçant la manette de gaz vers l'arrière. La fonction inverse de poussée n'est disponible que si l'avion a effectivement atterri et que le système d'inversion de poussée (organes de commande et de puissance) est dans l'état attendu.

#### V.1.2. CONSTITUTION DU SYSTEME ET TRANSMISSION DES ORDRES :

Le système comprend les 4 portes d'inversion de poussée, les vérins et verrous hydraulique associés, et un boîtier de commande hydraulique (HCU).

Des contacts électriques de fin de course donnent au système les signaux de retour de position réelle des portes. Le HCU est monté sur la partie supérieure de la structure du capot de l'inverseur droit (fig.35).

Les ordres de l'équipage sont transmis à la EEC, qui commande les séquences de déploiement et de rentrée des inverseurs de poussée en envoyant des signaux électriques au boîtier HCU.

Le HCU comprend lui-même :

- Une électrovanne de pressurisation hydraulique (TRPV).
- Une vanne de commande directionnelle (FRDV).
- Un manoccontact indiquant que le système est pressurisé.
- Un limiteur de débit hydraulique et un filtre.

Le HCU reçoit directement la pression hydraulique de la pompe hydraulique entraînée par le moteur sur lequel il est monté, et le retour est envoyé au réservoir du circuit hydraulique associé, au travers d'un collecteur qui reçoit aussi le drain de la pompe.



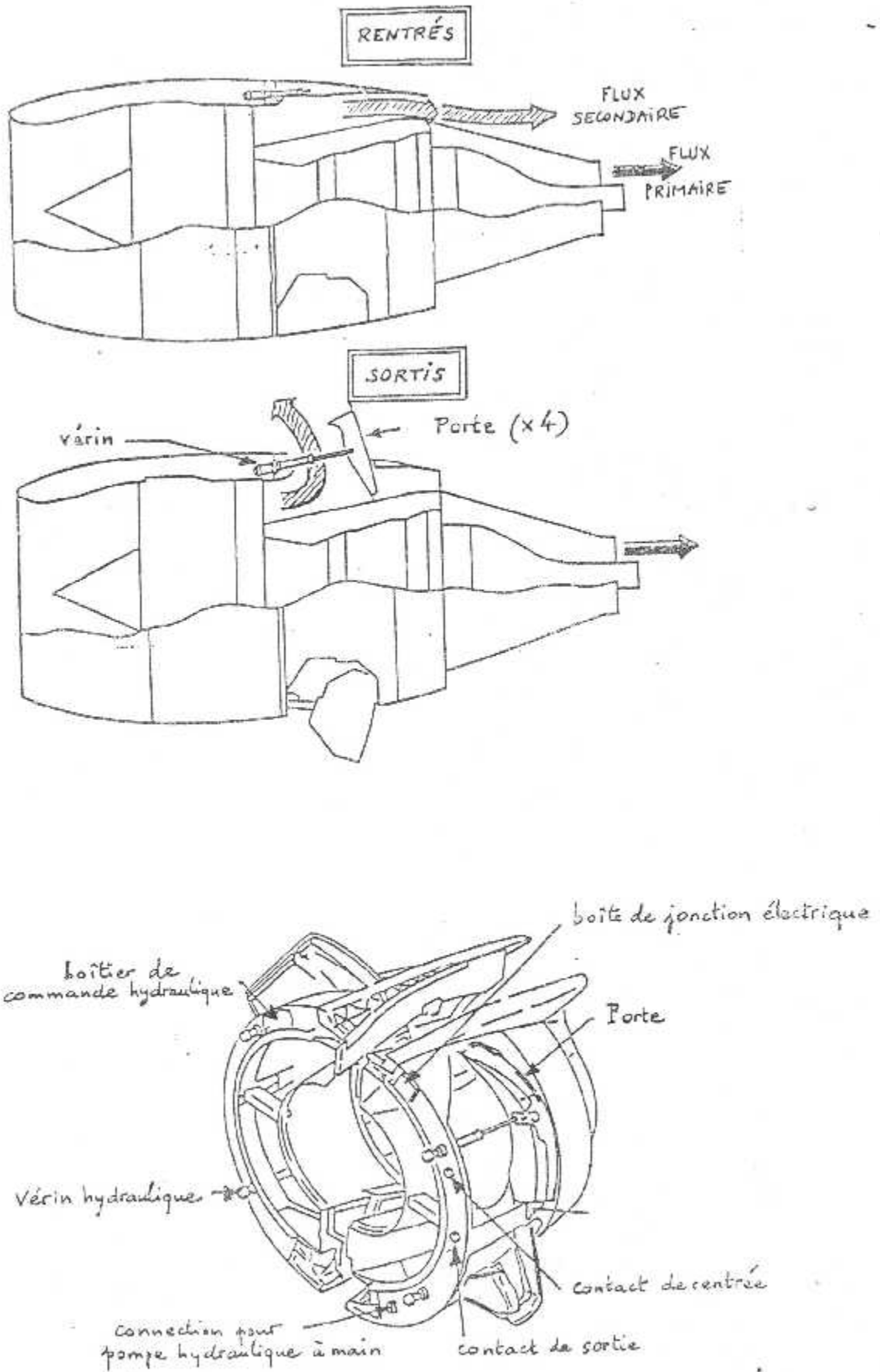


Fig.34

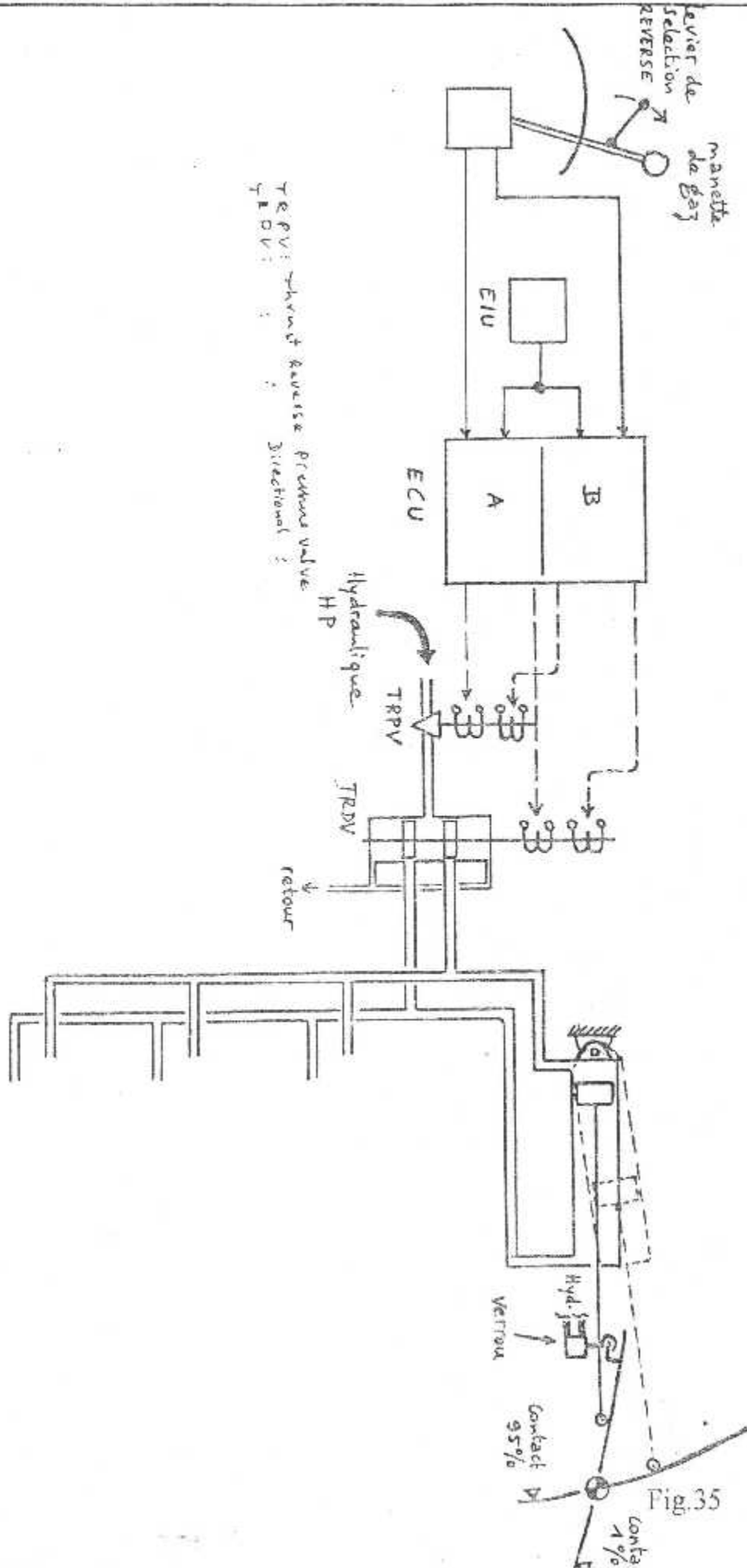


Schéma de principe du système d'inversion de poussée

La EEC a deux voies de calcul ; chaque organe de l'HCU commandé électriquement à deux solénoïdes, chacun étant relié à une voie de la EEC.

### ***V.1.3. FONCTIONNEMENT DANS LE SENS DU DEPLOIEMENT :***

La EEC transmet ses signaux à l'électrovanne et la vanne directionnelle de l'HCU via un contact de l'EIU tenant compte de la position de la manette.

Lorsque l'HCU est pressurisée et que la vanne directionnelle est en position de déploiement (solénoïde existe), la pression hydraulique est admise aux vérins de porte, dans le sens " commande à rentrer " dans un premier temps, pour faciliter l'ouverture des verrous hydrauliques de portes qui reçoivent aussi la pression.

Chacun d'eux ne reçoit sa pression que lorsque le précédent à être effectivement pressurisé. Quand la EEC reçoit un signal indiquant que tous les verrous sont ouverts, la pression hydraulique est envoyée aux vérins pour le déploiement effectifs des portes. Ceux-ci contiennent des verrous secondaires qui se déverrouillent et permettent ainsi aux portes de se déployer.

Les vérins assurent eux-mêmes automatiquement en fin de course le ralentissement de la vitesse de déploiement. Quand les 4 portes sont entièrement déployées (on fait à plus de 95 %), la EEC arrête l'alimentation du solénoïde de l'électrovanne. Le système est dépressurisé.

### ***V.1.4. INDICATIONS :***

Dès qu'une porte est déverrouillée, l'indication REV ambre s'allume sur le cadran N1 du moteur correspondant. Lorsque les 4 portes sont déployées à plus de 95 %, l'indication REV devient verte, et la EEC autorise l'augmentation du régime moteur jusqu'à l'obtention de la pleine poussée inverse, correspondant à la position pleine butée arrière de la manette des gaz.

La EEC calcule la vitesse limite autorisée pour N1, et asservit la vitesse réelle du moteur à cette vitesse limite. La EEC maintient le moteur au ralenti tant que les portes sont en transit.

En vol, si la EEC détecte le déploiement intempestif d'une porte, il commande aussitôt la mise au ralenti automatique du moteur et la rentrée de cette porte.

### ***V.1.5. RENTREE DES INVERSEURS DE POUSSEES :***

La commande s'effectue en mettant la manette des gaz sur position poussée normale. Le solénoïde de l'électrovanne est existé, donc le système est pressurisé, mais celui de la vanne directionnelle reste désexcité.



Dans ces conditions, les vérins se rétractent et referment les portes. Dès que la position de l'une d'elles est à moins de 95 % de la position pleine sortie, le voyant REV, qui était vert, devient ambre.

Lorsque toutes les portes sont pratiquement fermées (déployées à moins de 01 %), le voyant s'éteint. La EEC coupe l'excitation du solénoïde de l'électrovanne, le système est dépressurisé.

#### ***V.1.6. MAINTENANCE :***

Chaque vérin est équipé d'un système de déverrouillage manuel pour l'entretien. Le système peut être facilement désactivé en actionnant un levier sur le HCU et en immobilisant au moyen d'une broche.

Si un vol est prévu avec l'inverseur de poussée désactivé, de broches seront aussi montées sur les portes pour les immobiliser.

#### ***V.2. DETECTION ET EXTINCTION INCENDIE :***

Le mat réacteur et la nacelle bénéficient d'une protection active contre l'incendie, au moyen de cloisons pare-feu. Par exemple, les mats sont protégés contre une flamme torche venant de la chambre de combustion par une plaque de titane (fig.36).

Par ailleurs, un détecteur de température nacelle est là pour détecter une éventuelle fuite d'air chaud causée par exemple par le desserrage d'un collier de conduite pneumatique.

Mais avant tout, un système de détection et extinction incendie est installé pour prévenir immédiatement l'équipage de toute condition de température anormalement élevée dans le mat ou la nacelle, et lui permettre d'en maîtriser à temps la cause, fuite d'air chaud ou incendie.

##### ***V.2.1. DETECTION INCENDIE :***

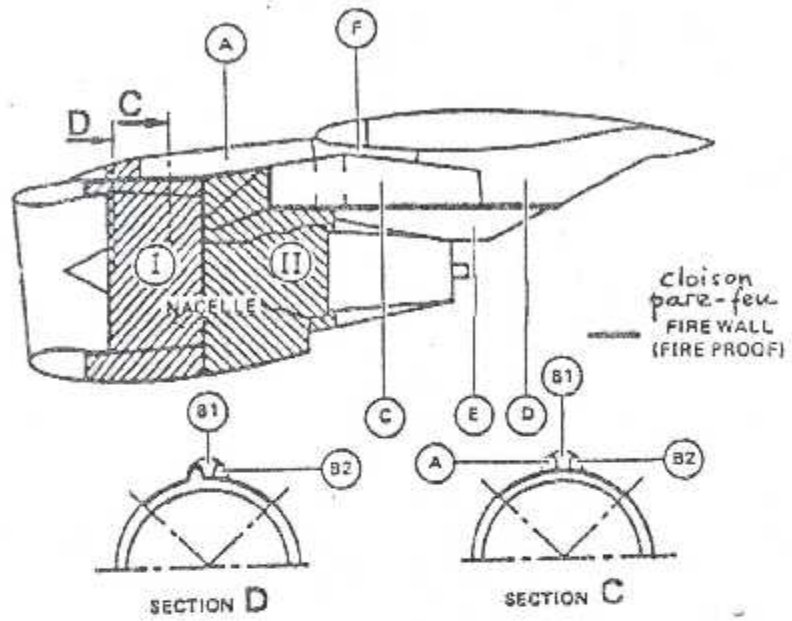
La détection incendie est assurée par deux jeux de boucles thermo-sensibles A et B, qui comportent chacune trois (03) lignes dont les circuits électriques sont montés en parallèle. Ces lignes sont disposées comme suit :

Une ligne est montée dans le mât, une autre dans le compartiment soufflante, la dernière autour de la chambre de combustion.

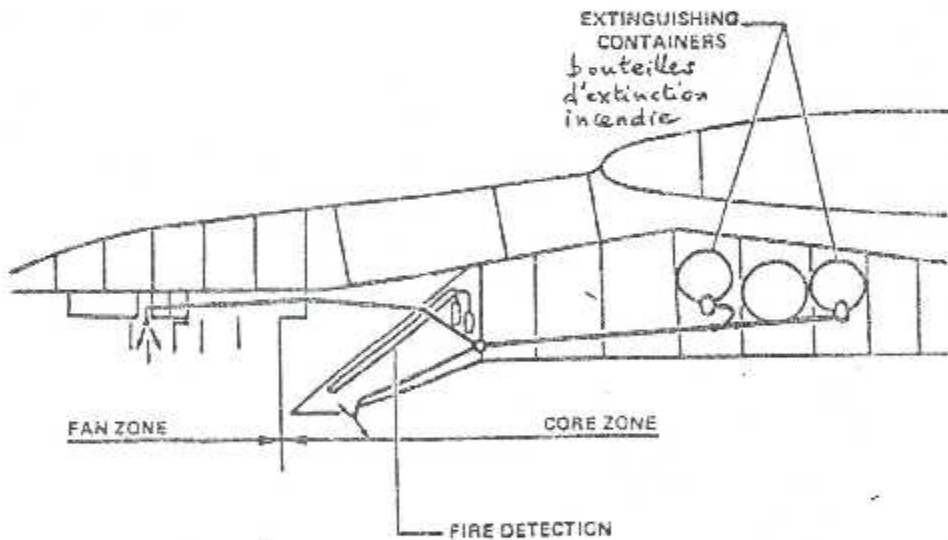
Chaque ligne est constituée d'une gaine entourant un tube très mince en titane refermant de l'hydrogène. Ce tube est lui-même continué dans un matériau poreux pouvant absorber ou relâcher un gaz.

ZONE:

- A: FLAMABLE FLUIDS
- B<sub>1</sub>: AIR (HOT TEMP.)
- B<sub>2</sub>: ELECTRICS
- C: HYDRAULICS (WITHOUT COUPLING)  
: EXTINGUISHERS
- D: HYDRAULICS
- E: VOID
- F: FUEL (NO. LEAK COUPLINGS)  
: ELECTRICS  
: AIR (LOW TEMP.)



PRECAUTIONS CONTRE LE FEU



DETECTION ET EXTINCTION INCENDIE



Fig.36

Enfin, l'espace compris entre le tube et la gaine est rempli d'hélium sous une pression de deux à trois atmosphères. La ligne est fermée hermétiquement à une extrémité et connectée à l'autre à une chambre de détection contenant deux mancontacts, l'un répondant à une élévation de pression provoquée par une élévation de température, l'autre répondant à une baisse de pression correspondant à un endommagement de la ligne.

Ce système de détection est de type SYSTRON-DONNER (electro-pneumatique). Il répond aussi bien à une surchauffe très localisée qu'à une ambiance trop chaude.

Les lignes de chaque ensemble propulsif sont connectées à leur boîtier électronique FDU (unité de détection de feu), monté dans la soute électronique de l'avion, et qui traite leurs signaux électriques comme suit :

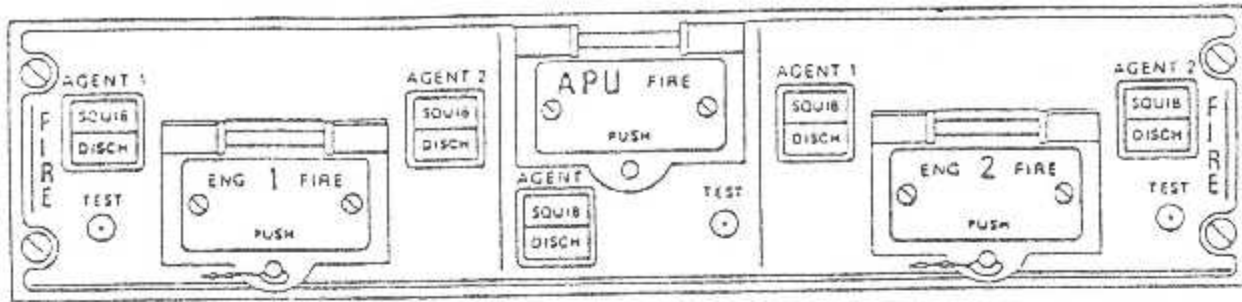
- Il déclenche l'alarme feu / surchauffe lorsque les deux lignes A et B dans une même zone font une détection de température excessive (les seuils sont calés à des valeurs différentes selon les lignes :
  - Compartiment soufflante      500 °C pointe, 220°C ambiance
  - Le mât                              675 °C pointe 400 °C ambiance
  - Compartiment corps moteur    565 °C pointe, 300 °C ambiance
- Si les deux lignes A et B sont vues endommagées à moins de 5 secondes d'intervalles, le boîtier déclenchera aussi l'alarme (effet de flamme).
- Si une seule ligne (A ou B) détecte une sur-température pendant un temps assez long, cette ligne est déclarée défectueuse à l'équipage par une alarme appropriée. Dans ce cas, si la ligne restante détecte une condition de sur-température, cette condition sera suffisante pour que le boîtier déclenche l'alarme feu/surchauffe.

En détection feu/surchauffe sur le moteur 1 par exemple, une alarme sonore retentit dans le cockpit (gong répétitif), la pavé ENG 1 FIRE s'allume en rouge sur le panneau détection feu (fig.37), le voyant intégré FIRE s'allume sur le bouton-poussoir Eng Switch du moteur 1, et le système centralisé d'alarmes de l'avion affiche le message rouge ENG 1 FIRE sur l'écran cathodique central supérieur.

L'intégrité des lignes de détection peut être vérifiée en appuyant sur le bouton-poussoir TEST de la partie moteur 1 du panneau de détection feu : si toutes les lignes et les autres éléments du circuit de détection/extinction incendie sont en état de bon fonctionnement, les alarmes feu seront déclenchées. Si non le défaut détecté est signalé par son alarme spécifique.



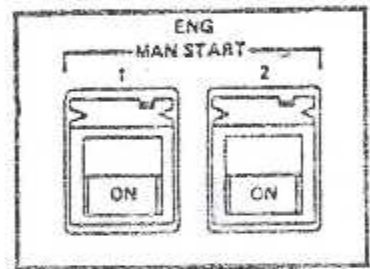
D



B

*Jeux message*

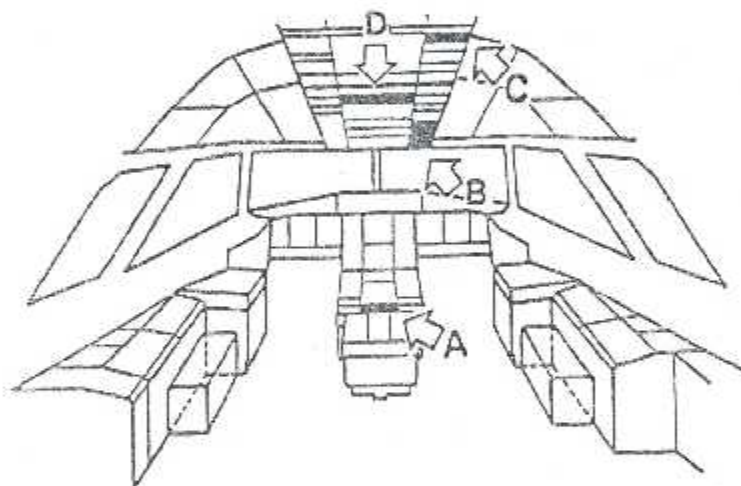
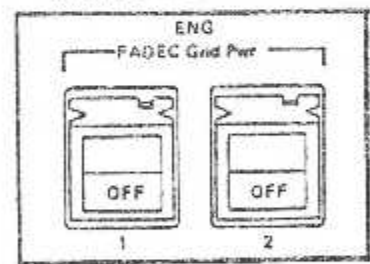
OVERHEAD PANEL 22VU



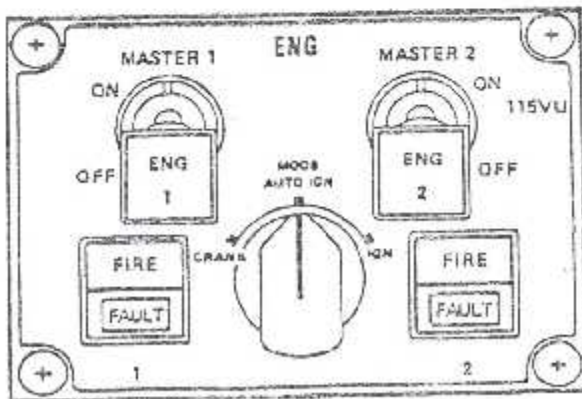
C

*Pli électrique FADEC*

MAINTENANCE PANEL 50VU



A



*ce panneau ventilation*

Fig.37\*

### V.2.2. EXTINCTION INCENDIE :

Dans chaque mat sont logées deux (02) bouteilles contenant un agent d'extinction incendie. Il s'agit de Fréon CF3Br (Halons 1301) ou encore Bromotrifluoromethane. Chaque bouteille a une capacité de 6230 cm<sup>3</sup> et contient 5 kg de Fréon, pressurisé à l'azote sous environ 4 atmosphères à 21°C. le test de la valeur correcte de cette pression s'effectue au moyen d'un bouton monté sur la bouteille

Chaque bouteille est équipée d'une tête de percussion ; il s'agit d'une cartouche pyrotechnique, dans la poudre est mise à feu par l'échauffement de petits filaments, déclenché par leur alimentation en 28 volts DC.

L'explosion provoque la rupture d'un diaphragme (qui fonctionne aussi comme vanne de surpression en cas de besoin, par exemple s'il y avait une surchauffe importante dans le mat et que l'on pouvait craindre des dégâts structuraux en cas d'éclatement d'une bouteille).

Si le feu se déclare dans la nacelle ou dans le mat, la procédure est la suivante :

- Mettre la manette du moteur correspondant sur ralenti, puis l'interrupteur MASTER SWITCH sur position OFF. Ceci commande la fermeture du robinet HP et de la vanne de carburant BP à la jonction voilure-mat, et la fermeture de la FRV.
- Appuyer sur bouton ENG 1 FIRE sur le panneau détection feu. Ceci fait cesser les alarmes, confirme la fermeture de la vanne de carburant BP, et commande la fermeture de tous les circuits associés à ce moteur : hydraulique, électrique, fourniture d'air en agissant sur les vannes et contacteurs correspondants. Enfin, cette section arme les circuits de décharge de Fréon : le voyant SQUIB s'allume sur le panneau détection feu.
- Attendre 10 seconde pour que le moteur atteigne sa vitesse de rotation en moulinet et que l'on puisse obtenir ainsi le maximum d'efficacité de l'agent d'extinction (Fréon).
- Appuyer sur le bouton-poussoir AGENT 1 sur le panneau détection feu ; le contenu de la bouteille de Fréon associée va alors se décharger sur les compartiments soufflante et corps moteur, par les circuits de pulvérisation. Le voyant DISCH s'allume.
- Au bout de 30 secondes, si le pavé ENG 1 FIRE est encore allumé, appuyer sur le bouton-poussoir AGENT 2 pour percuter sur le diaphragme de la bouteille N°2 et déverser son contenu de Fréon dans la nacelle et dans le mat.

Rappelant que les circuits de percussion des bouteilles peuvent être testés en appuyant sur le même bouton TEST qui permet de vérifier le bon état de fonctionnement des lignes de détection incendie et des circuits associés : lorsque le bouton est maintenu appuyé, les voyants SQUIB et DISCH s'allument.

**COMPARAISON**



**DESCRIPTION DU MOTEUR JT8-D****I.1. GENERALITES :**

Le moteur JT8D ( jet turbine 8D) du constructeur américain PRATT et WHITNEY est de conception classique qui remonte au années 50 ,il équipe dans ses trois séries JT8D-15, JT8D-9A , JT8D-17A ,les avions Boeing B727 , B737-200-300-400. C'est un turbofan double flux, double corps et présente un faible taux de dilution.

**I.1.1. VUE COUPEE DU MOTEUR (FIG.1.2) :**

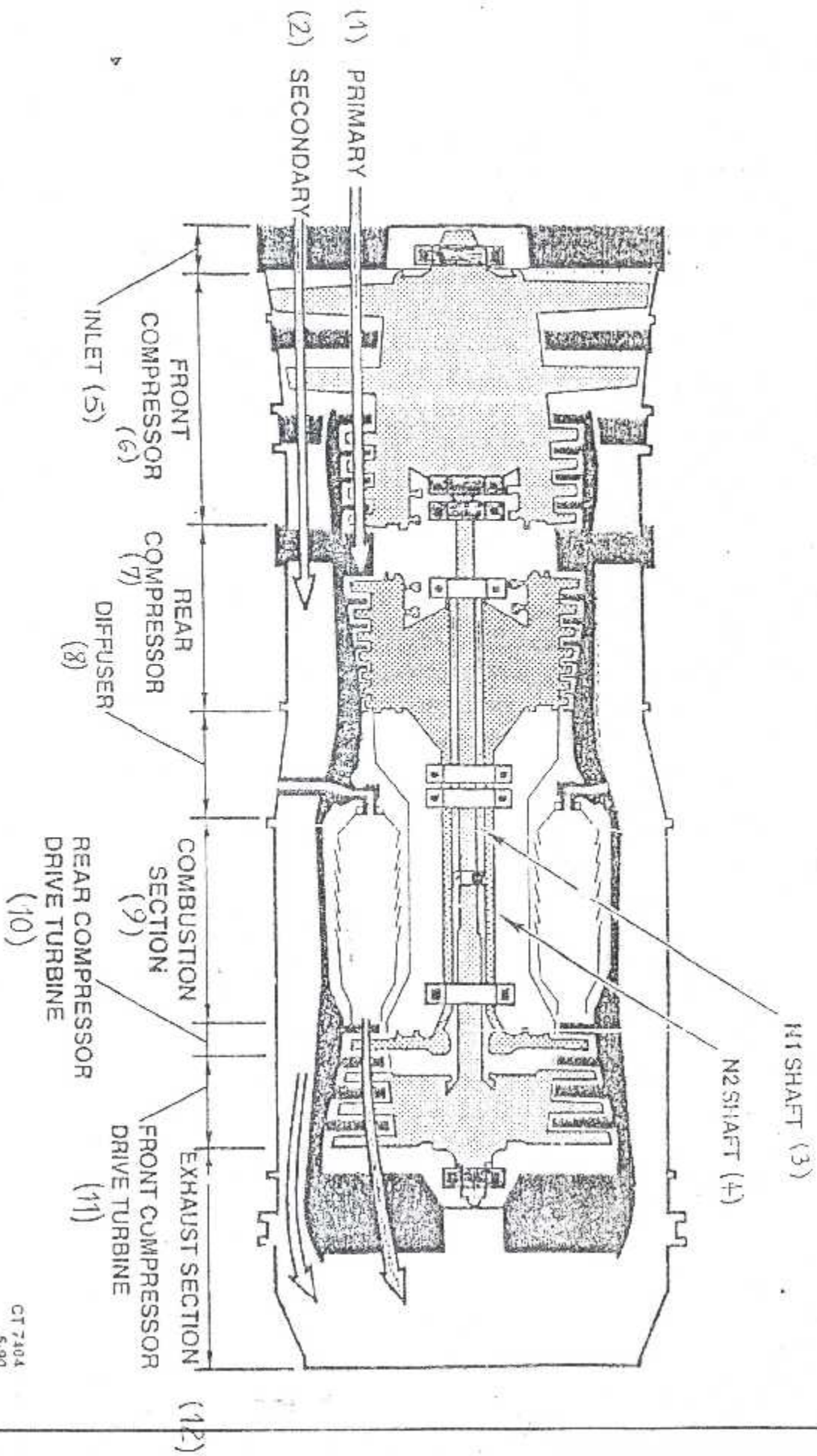
01 : flux primaire	02 : flux secondaire
03 : attelage basse pression	04 : attelage haute pression
05 : entrée fan	06 : compresseur basse pression
07 : compresseur haute pression	08 : diffuseur
09 : chambre de combustion	10 : turbine haute pression
11 : turbine basse pression	12 : section d'échappement

**I.1.2. VUE DE DROITE DU MOTEUR (FIG.1.3) :**

01 : boîte d'entraînement d'accessoires	02 : pompe de carburant
03 : purgeur distributeur	04 : rampe carburant
05 : boîte d'allumage	06 : prise de bougie
07 : canalisation de régulateur d'huile	08 : EPR
09 : tubes d'air	10 : carter avant fan
11 : valve anti-givrage	12 : valve de réchauffeur carburant
13 : carter intermédiaire	14 : carter du compresseur HP
15 : soutirage de 06 étages	16 : soutirage de 08 étages
17 : carter diffuseur	18 : soutirage d'air de 13 étages
19 : carter de chambre de combustion	20 : prise de bougie
21 : carter de turbine	22 : tuyère d'éjection
23 : levier de commande	24 : support de maintien moteur pour lavage
25 : trou pour boroscope	26 : plaque de prescription accessoire

**I.1.3. VUE DE GAUCHE DU MOTEUR (FIG.1.4) :**

01 : boîte d'accessoire avant	02 : GearBox
03 : pompe carburant	04 : débitmètre
05 : prise bougie	06 : boîte d'allumage
07 : purgeur distributeur	08 : ouverture de distributeur d'air du 6ème étage
09 : ouverture de distribution d'air du 8ème étage.	10 : tuyauterie d'air du 8ème étage.
11 : soutirage d'air du 13ème étage	12 : cratère de chambre de combustion
13 : carter de la turbine	14 : tuyère d'éjection
15 : valve anti-givrage	16 : trou d'évacuation
17 : drain des chambres de combustion	18 : ouverture de distribution
19 : boîte de jonction	20 : support de transmetteur de vibration
21 : support de maintien moteur pour lavage	22 : trou pour boroscope
	23 : Rampe de EGT.



VUE COUPEE DU MOTEUR Fig. I.2



VUE DE DROITE D'UN MOTEUR

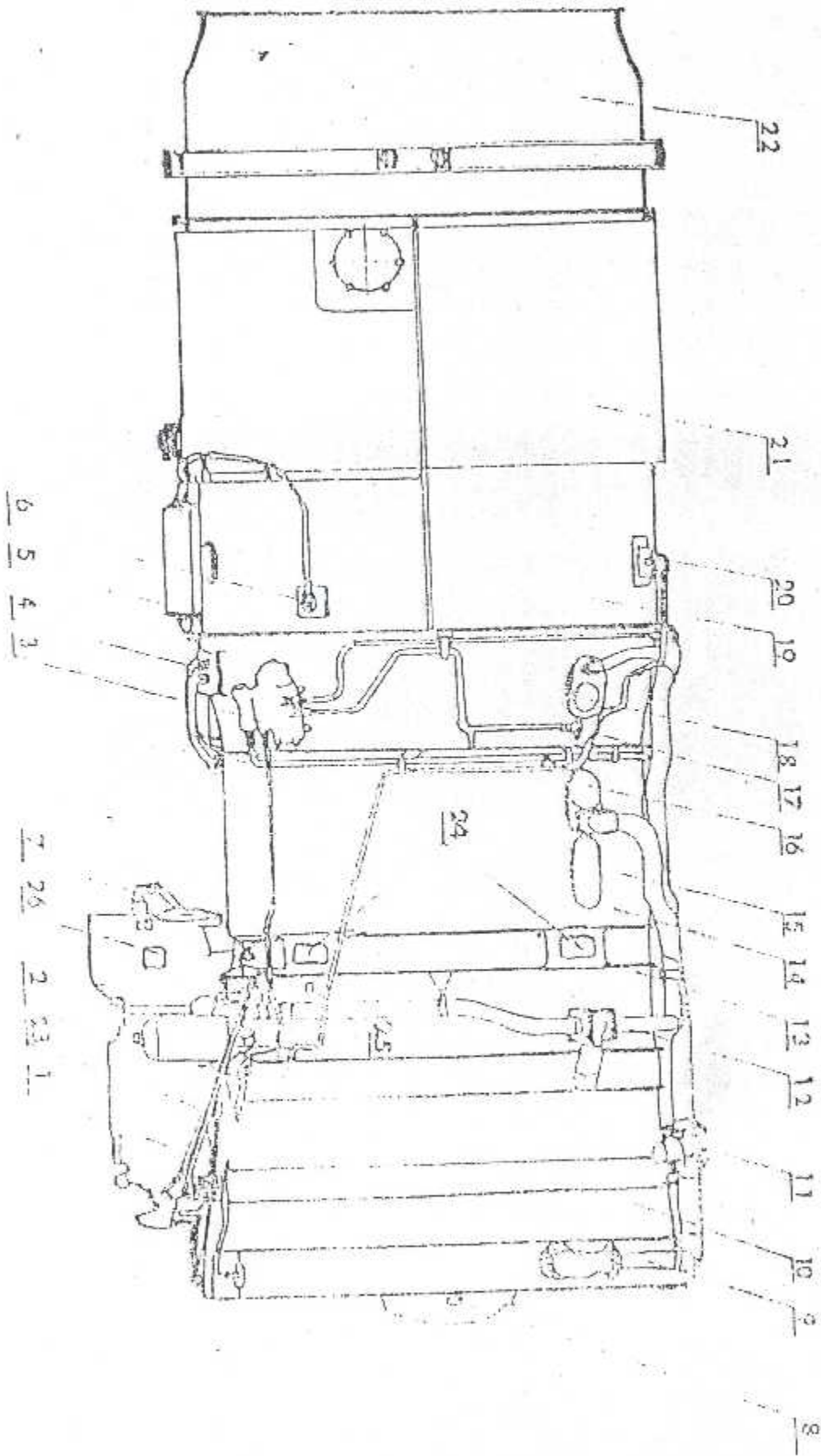


Fig 13



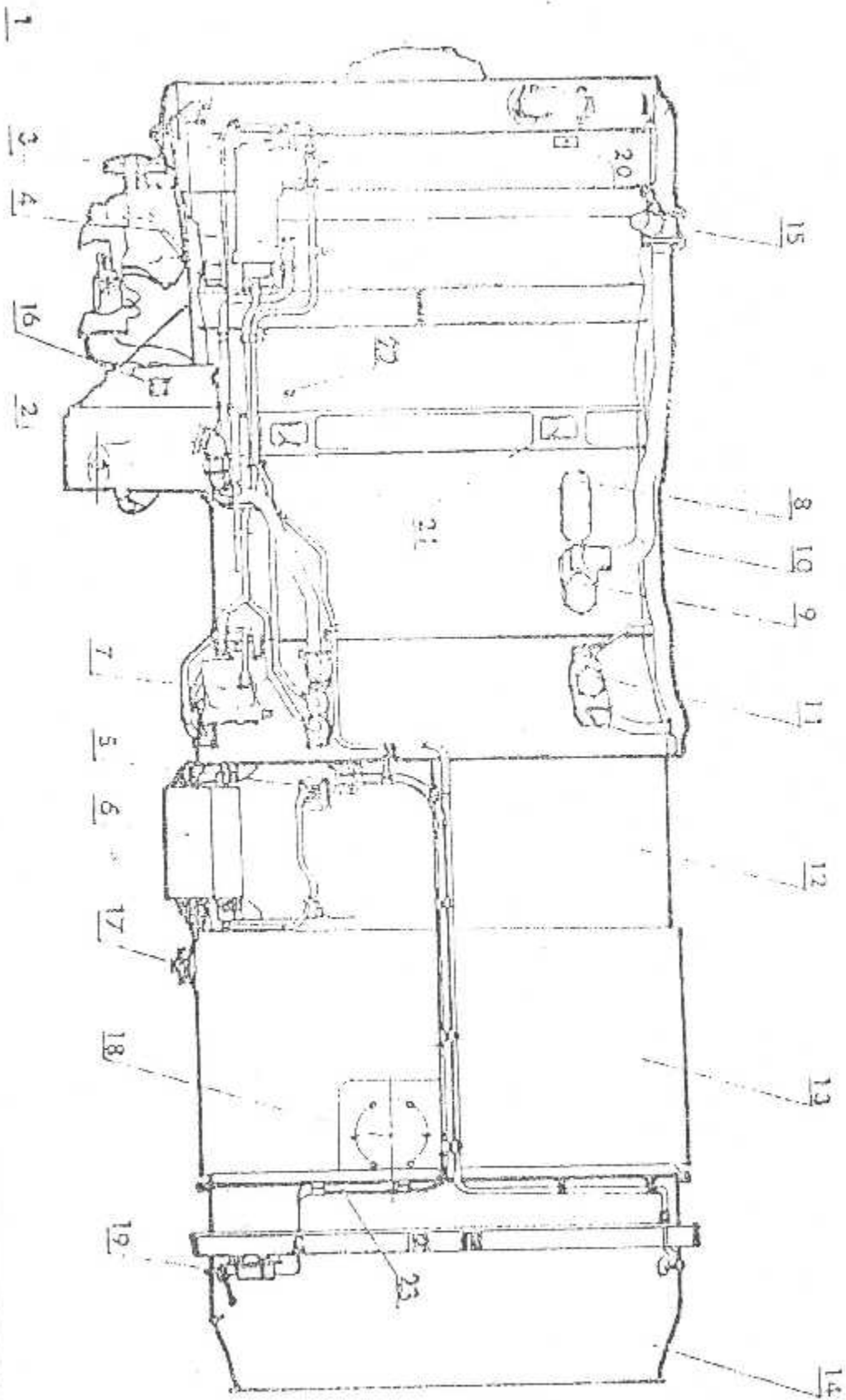


Fig 1.4

VUE DE GAUCHE D'UN MOTEUR

**1.1.4. SECTION MOTEUR (FIG.1.5) :**

01 : carter intermédiaire	02 : compresseur basse pression
03 : carter du fan	04 : boîte d'entraînement du palier N°1
05 : carter extérieur de diffuseur	06 : chambre de combustion
07 : carter de la chambre de combustion	08 : turbine haute pression
09 : turbine basse pression	10 : carter d'éjection
11 : diffuseur	12 : compresseur haute pression
13 : GearBox	

**1.2. TECHNOLOGIE D'UN TURBOREACTEUR :**

Le moteur JT8D est composé des éléments suivants :

**1.2.1. ENTREE D'AIR :**

Elle est de type pitot, c'est une conduite destinée à ramener l'air dans les meilleures conditions possibles à l'entrée du compresseur pour augmenter sa pression, généralement elles sont constituées d'une marche d'entrée à double parois en alliage d'aluminium.

**1.2.2. ENSEMBLE TOURNANT COMPRESSEUR-TURBINE :**

C'est un réacteur à double flux et à soufflante avant (turbofan) comprenant deux attelages compresseur-turbine à arbres concentrique.

- Un attelage basse pression comprenant un compresseur axial à six (06) étages entraîné par une turbine à trois (03) étages. Les deux premiers étages du compresseur constituent la soufflante de flux d'air provenant de la soufflante (flux secondaire) est canalisée autour du réacteur et rejoint dans le conduit d'éjection le flux passant à l'intérieur du réacteur (flux primaire).
- Un attelage haute pression comprenant un compresseur à sept (07) étages entraîné par une turbine à un (01) étage.

**1.2.3. CHAMBRE DE COMBUSTION :**

Elle est constituée par un caractère cylindrique contenant neuf (09) tubes à flammes numérotés de 1 à 9 (en partant du haut dans le sens horaire, le réacteur étant vu de l'arrière) :

- Un injecteur de carburant par tube à flamme.
- Deux bougies d'allumage placées respectivement dans les tubes N°4 et N°7.
- Les tubes à flammes sont reliés entre eux par des raccords d'intercommunication.

**1.2.4. TUYERE D'EJECTION :**

Elle est convergente-divergente, la détente utile à la propulsion commence après la turbine, et s'effectue dans l'ensemble du canal d'éjection. La section de celle-ci assure la liaison entre la turbine et les inverseurs de poussées.

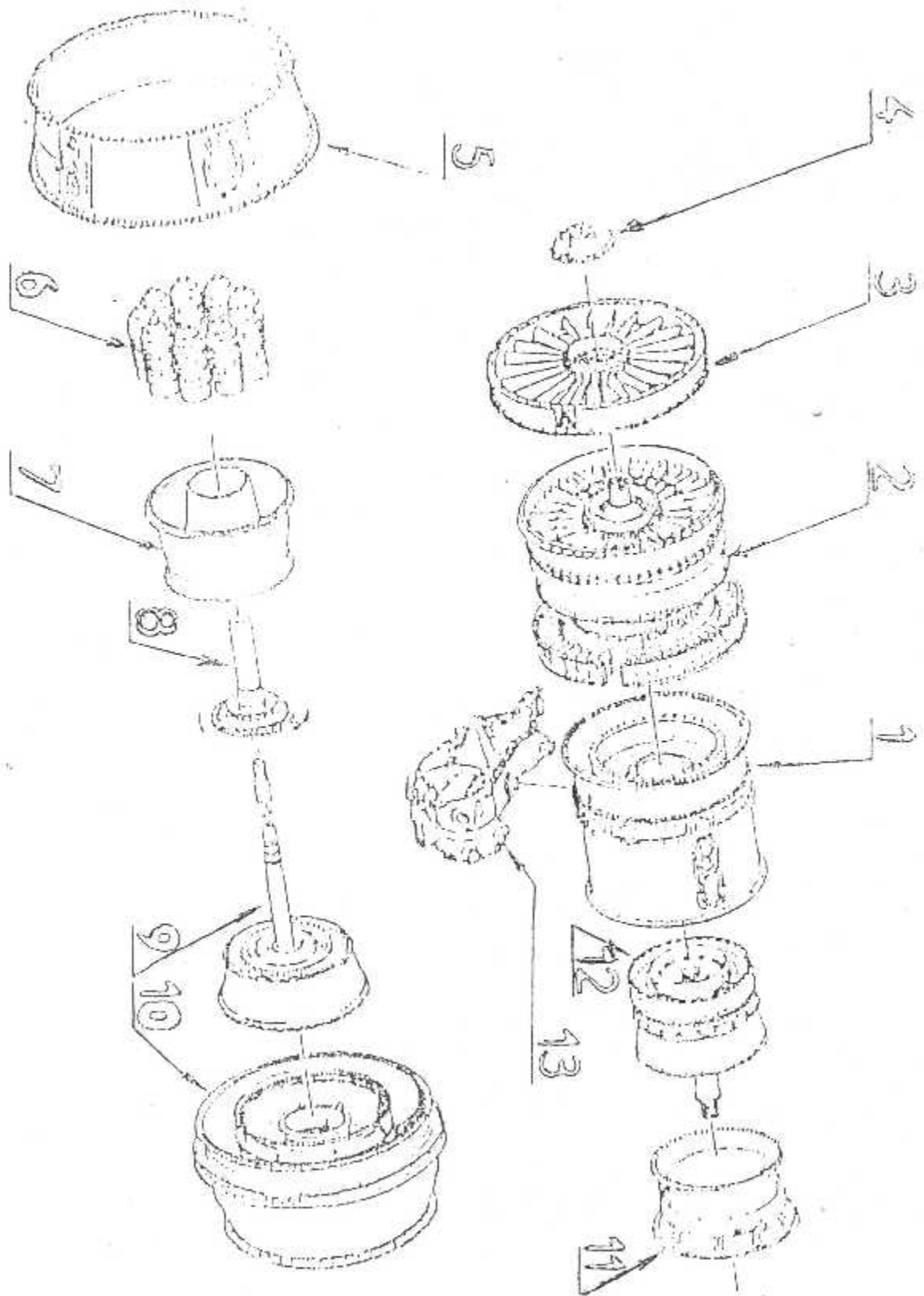


Fig 1.5

Séction moteur



**I.3. CARACTERISTIQUES GENERALES :**

✓ Poussée au décollage .....	7030 daN
✓ Poussée maximum continue .....	6235,83 daN
✓ Poussée maximum de croisière .....	5624 daN
✓ Ralentic .....	421,77 daN
✓ Longueur .....	3,137 m
✓ Diamètre maximum approximatif .....	1,07 m
✓ Vitesse de rotation à 100% .....	N1= 8590 tr/min    N2 = 12250 tr/min
✓ Vitesse de rotation maximum .....	102,4 %
✓ Poids du moteur à sec .....	1502 kg ( 1,502 tonnes)
✓ Rapport de compression ( Pt4/Pt2) .....	18
✓ Rapport de compression du fan (Pt2.5/Pt2) .....	1,975
✓ Débit d'air entrant au décollage .....	146,06/148,33 kg/h
✓ Taux de dilution (by-pass ratio) .....	0,99 ≈ 1
✓ Débit d'air .....	147 kg/s
✓ Le moteur a l'état neuf, développe une poussée d'environ 71 KN avec une consommation spécifique de 0,286 kg.h/KN au régime de décollage	
✓ Régime de décollage .....	1062°C
✓ EGT maximale ( T° à l'entrée turbine) .....	620°C

La subdivision du JT8D peut se faire suivant ses différents carters, intérieur et extérieur de façon à ce que le vide entre eux constitue le canal de refoulement du flux secondaire.

**I.4. FONCTIONNEMENT DU JT8D :**

Après l'admission de l'air dans le moteur, les deux étages du compresseur axial le compriment successivement en augmentant sa pression, puis il pénètre la chambre de combustion ; Il est alors mélangé avec le combustible vaporisé, puis brûlé.

L'énergie nécessaire au fonctionnement du compresseur est fournie par une turbine placée entre la chambre de combustion et la tuyère.

En sortant de la chambre de combustion, les gaz ayant acquis leur maximum d'énergie, sont dirigés vers les aubes turbine. A leurs passages, ils se détendent

partiellement en cédant l'énergie nécessaire à l'entraînement du compresseur de la soufflante.

Ils s'écoulent enfin dans le conduit d'éjection qui transforme la pression résiduelle en énergie cinétique. Finalement une force de poussée propulsive est produite par les éléments interne du réacteur.

## **1.5. CIRCUITS EQUIPANT LE JT8D :**

### **1.5.1. CIRCUIT D'HUILE :**

Le circuit de graissage du JT8D est totalement intégré au réacteur (circuit du type réservoir chaud). Un réservoir alimente une pompe de pression qui refoule l'huile vers des gicleurs à travers un radiateur (échangeur huile carburant) sous une pression de 40 à 55 PSI. Cette huile pulvérisée par les gicleurs, assure la lubrification des différents paliers du réacteur. Elle est ensuite reprise par des pompes de récupération et envoyée au réservoir.

#### **♦ SYNTHÈSE DE FONCTIONNEMENT DU CIRCUIT D'HUILE :**

##### **➤ CIRCUIT DE PRESSION :**

L'huile provenant du réservoir accède par gravité à la pompe de pression et est refoulée par celle-ci vers le filtre principal puis vers le radiateur. A la sortie du radiateur, l'huile accède via les filtres "dernière chance" aux gicleurs d'huile de palier. Le palier N°4 ½ est lubrifié par l'intermédiaire de la "trompette".

La pression du circuit d'alimentation des gicleurs est transmise au clapet régulateur de pression. En cas de baisse de pression d'huile, ou colmatage du filtre principal (par particule de calamine ou par corps étrangers), une lampe ambre s'allume sur le panneau central pilotes.

Le filtre principal de pression d'huile est le seul filtre démontable durant les travaux habituels d'entretien du réacteur. Les filtres "dernière chance" ne sont pas accessibles.

##### **➤ CIRCUIT DE RECUPERATION :**

La récupération de l'huile retombée dans les différents logements de paliers et dans la boîte à entraînement des accessoires est assurée par cinq (05) pompes de récupération :

- 01 pompe logée dans le boîtier de palier N°1.
- 02 pompes (dans un cratère commun) logée dans le boîtier N°4.
- 01 pompe logée dans le boîtier de palier N°6.
- 01 pompe logée dans la GEAR-BOX et entraînée par celle-ci.

La pompe de récupération du palier N°1 refoule l'huile vers la GEAR-BOX.

L'huile de graissage du palier N°2 et N°3 retombe directement dans la GEAR-BOX. L'huile collectée dans la Gear-Box est aspirée par la pompe de récupération de celle-ci et est refoulée vers le réservoir d'huile.

La pompe du palier N°6 rejette l'huile dans le logement du palier N°4 par l'intermédiaire de la "trompette". L'huile provenant des paliers N°4, 4 ½, 6 et 5 est récupérée par les pompes logées dans les boîtiers des paliers N°4 et N°5 puis envoyée au réservoir d'huile.



➤ **RENIFLARDS :**

Les vapeurs et l'air (fuites aux joints carbones : zone chaude et labyrinthe : zone froide) provenant des logements de palier et de réservoir d'huile, sont collectés dans la Gear-Box par un réseau reniflards. Ces gaz passe ensuite a travers l'épurateur centrifuge et sont finalement rejetés dans l'atmosphère.

**1.5.2. CIRCUIT CARBURANT :**

- Le circuit carburant est constitué de :
- 01 Réservoir.
  - 01 circuit de mise a l'air libre.
  - 01 circuit de remplissage / reprise.
  - 01 circuit de jaugeage.
  - 01 circuit de vidange rapide.
  - 01 circuit d'alimentation réacteurs et APU.

Le circuit d'alimentation a pour but d'amener le carburant des réservoirs jusqu'aux injecteurs avec une pression suffisante pour obtenir une bonne pulvérisation dans tout les cas de fonctionnement : ralenti, poussée maximale, altitude élevée... etc.

**a. Fonctionnement du Circuit Carburant :**

Le carburant est poussé par des pompes, il atteint l'étage de la pompe basse pression et passe par le réchauffeur carburant (air-carburant) ; l'air provient du 13ème étage compresseur, le réchauffeur est maintenu (02) deux minutes sur marche et ½ heure sur arrêt ; ensuite le carburant revient en passant par le filtre vers la pompe haute pression, il se dirige ensuite vers le FCU pour être dosé ; il passe par le débitmètre (indication débit horaire et totale) puis l'échangeur (huile-carburant ) vers le purgeur distributeur ou il se divise en deux (02) circuits (primaire et secondaire) et enfin les injecteurs.

NB :- le circuit primaire débite le carburant a n'importe quel régime.

- Le circuit secondaire débite le carburant pour les hauts régimes (au-dessus du ralenti).

• **LE REGULATEUR CARBURANT (FCU) :**

Le régulateur dose le débit carburant en fonction des signaux (N2,P,T) ainsi que la position de la manette des gaz. ainsi, il assure la régulation des régimes de fonctionnement du réacteur, aux configurations de vol, ce qui permet :

- Un régime équilibré du réacteur
- Le maintient de la poussée de ralenti constant et ce indépendamment de la température ambiante.
- Eviter les zones de fonctionnement dangereuse sur le réacteur (pompage, extinction moteur).



### **I.5.3. CIRCUIT DE DEMARRAGE :**

Pour pouvoir turbomachine, trois conditions essentielles sont à remplir :

- Entraîner le compresseur
- Assurer l'alimentation en carburant
- Enflammer le mélange

Il existe trois possibilités d'alimentation du démarreur :

- Par groupe de sol pneumatique
- Par de l'air soutiré à l'APU (Auxiliary Power Unit)
- Par de l'air soutiré au compresseur d'un des moteurs déjà démarrés

#### **a. Démarreur :**

Le démarreur entrainera l'ensemble compresseur turbine haute pression ou bien l'attelage haut pression jusqu'à une vitesse suffisante pour disposer au niveau des chambres de combustion d'une pression supérieure à la pression minimale d'inflammation. Il est monté sur la face arrière du N2 Gearbox, du côté gauche du moteur. Il est constitué d'une turbine centrifuge entraînant le compresseur haute pression par l'intermédiaire d'un réducteur de vitesse et d'un embrayage centrifuge. L'arbre de la turbine entraîne le réducteur qui est constitué de trois pignons portant chacun un pignon satellite ; ces pignons tournent à l'intérieur d'une couronne dentée.

#### **b. Séquences de Démarrage :**

Pour pouvoir démarrer un réacteur il faut s'assurer que :

- Les manettes de poussée sont sur "RALENTI".
- Les manettes d'inversion de poussée sont sur "ARRET".
- La manette de démarrage est sur "ARRET".
- Les vannes de régulation et d'isolement des groupes de climatisation sont sur "FERME".
- Les vannes de soutirage sont "OUVERTES".
- Le réacteur à mettre en route est alimenté en carburant.

Une fois ces vérifications étant faites, on débute les séquences de démarrage :

- Placer et maintenir l'interrupteur de démarrage du réacteur sur "SOL" avec pour conséquences : ouverture de la vanne de démarrage, alimentation du démarreur et mise en rotation de l'attelage haute pression (N2).
- A 15-17% de N2, placer la manette de démarrage sur "MARCHE" ce qui entraîne :

- alimentation de la boîte d'allumage haute énergie.
- ouverture de robinet HP de carburant et injection dans la chambre de combustion.
- amorçage de la combustion et accroissement de N2 et EGT.
- A 38% de N2, l'interrupteur de survitesse coupe l'alimentation électrique de la vanne de démarrage qui se fermera et le démarreur cesse son action.
- A 40% de N2, relâcher l'interrupteur de démarrage qui coupe alors l'alimentation de la boîte d'allumage haute énergie.

Si l'on veut mettre l'allumage permanent, il suffit de basculer l'interrupteur "allumage permanent" sur la position "MARCHE".

#### ***1.5.4. SYSTEME ANTI-POMPAGE :***

Le système anti-pompage aide à éviter le pompage moteur durant le démarrage et le régime ralenti. Un pompage est un écoulement inverse de l'air causé par un décollage de l'air au niveau des ailettes provoqué par un bourrage d'air au niveau du compresseur. Ce système comprend s :

- les vannes de décharge (VBV)
- Le PRBC qui commande la fermeture des vannes en fonction de :  $Pt2 / Ps3 / Ps4$ .

##### ***a. Description :***

pour éviter le pompage on ouvre les vannes de décharge pour évacuer sur le plus d'air vers l'extérieur à travers le conduit d'échappement fan, l'ouverture des vannes de décharge se fait entre 43% et 51% de la vitesse du compresseur basse pression. Les vannes de décharge contiennent un piston libre qui se déplace à l'intérieur.

Quand le moteur est en marche, la position du piston est contrôlée par la pression d'air qui pousse contre le piston. Si l'air de la Ps4 n'est pas envoyé vers les vannes de décharge, l'air du compresseur pousse le piston vers la position d'ouverture.

Ceci permet à l'aide du compresseur haute pression d'aller rejoindre le flux d'air dans le fan directement. Quand l'air du Ps4 est envoyé par le PRBC vers les vannes de décharge, il pousse le piston vers la position fermé, ceci empêche l'air du compresseur HP d'aller vers le flux secondaire.

Au démarrage (régime ralenti) la Ps3 est inférieur a la pression du ressort et de Pt2, ce qui ouvre les vannes de décharge car dans ce cas le muscle-valve du PRBC est fermé à l'air de la Ps4 ( pas de passage vers les vannes de décharge). A l'accélération le Ps3 augmente et devient supérieur a la pression du ressort et de la Pt2, ce qui ferme les vannes de décharge ; dans ce cas le muscle-valve est fermé, donc l'air de la Ps4 passe vers les vannes de décharge (fermeture).

## COMMENTAIRE :

Après avoir passé en revue la description du JT8D ainsi que ses principales caractéristiques techniques et technologiques, il en est ressorti que ce moteur fait montre de plusieurs limites, tant en sa capacité à procurer une vitesse de propulsion assez élevée, que la capacité à résister au choc thermiques ( $EGT = 620^{\circ}C$ ).

De plus son taux de compression (18) assez inférieur aux moyennes actuelles en terme de taux de compression ; et en somme la poussée maximale pouvant être fournie par ce moteur et qui est de l'ordre de (7030 daN), le limiterais sans doute à un niveau de vol inférieur bien évidemment.

D'autre part sa conception et son architecture en bloc (non modulaire) rend sa maintenance et son démarrage éventuel assez compliqué et demande un temps d'immobilisation plus important.

Et vue les besoins incessant d'aller plus vite et à des frais d'exploitations moindres en premier lieu, et de faire face à la concurrence rude que subit le constructeur Boeing, il est plus qu'indispensable de procéder aux changements de ce moyen propulsif de conception révolue.

Pour cela on se pose la question ; pourquoi le constructeur à tarder afin de procéder à ce changement d'autant plus qu'il équipe ces long courriers du CF6-80. Un turbo réacteur assez récent et qui donne entière satisfaction sur ces appareils.

Pour ce faire et afin de justifier ce choix ; il est utile de procéder à la description du dit CF6-80 puis comprendre comment cette alternative est écartée.



**DESCRIPTION DU REACTEUR CF6-80 :****II.1. DESCRIPTION :**

Le réacteur GENERAL ELECTRIC CF6-80 est un moteur double corps, double flux et à taux de dilution élevé. Il est composé de sept modules principaux :

- Module Fan
- Module compresseur basse pression (LPC)
- Module compresseur haute pression (HPC)
- Module chambre de combustion (C-C)
- Module turbine haute pression (HPT)
- Module turbine basse pression (LPT)
- Module boîte d'entraînement des accessoires.

**II.1.1. MODULE FAN :**

Ce module est composé de 38 ailettes. Il engendre à lui seul le flux secondaire et il est entraîné par la LPT.

**II.1.2. MODULE COMPRESSEUR BASSE PRESSION (LPC) :**

Il est constitué de trois (03) étages. Il est entraîné par la LPT.

**II.1.3. MODULE COMPRESSEUR HAUTE PRESSION (HPC) :**

Ce module est constitué de 14 étages. L'entrée du HPC est équipée de 34 aubes de pré-rotation à calage variable. Les cinq (05) premiers étages comportent des aubes statoriques à calage variable et constituent le dispositif anti-pompage du HPC. Il est entraîné par la HPT.

**II.1.4. MODULE CHAMBRE DE COMBUSTION (C-C) :**

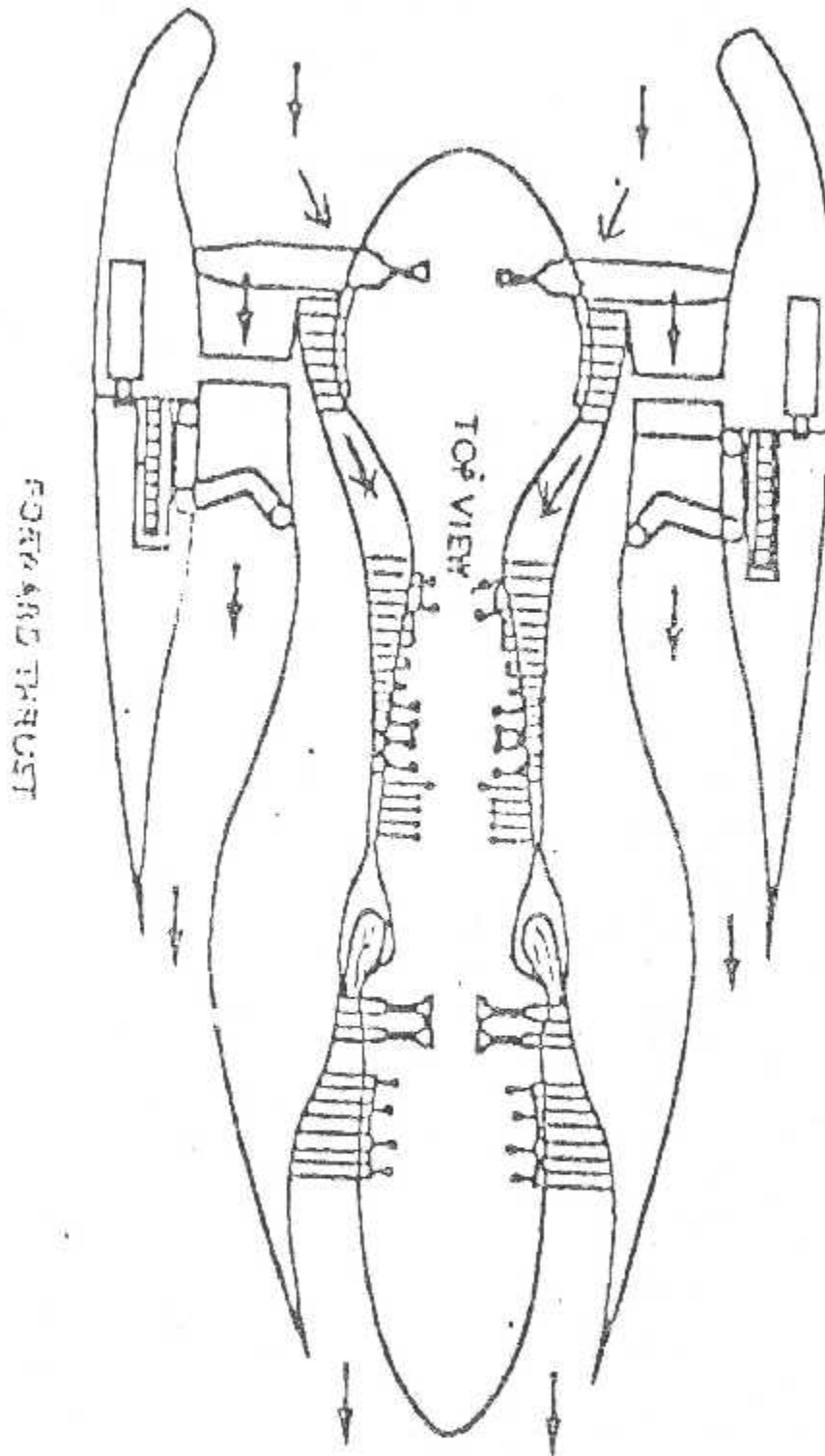
Ce module est constitué d'une chambre de combustion de type annulaire. Elle comporte des logements équipés de diffuseurs destinés à recevoir trente (30) injecteurs de carburant.

Deux (02) orifices en position 3 et 4 heures permettent le montage des deux allumeurs à haute énergie.

**II.1.5. MODULE TURBINE HAUTE PRESSION (HPT) :**

Ce module est équipé de deux (02) étages, il entraîne le HPC et la boîte d'entraînement des accessoires. L'ensemble HPT-HPC est appelé « attelage HP » (N2).

Cet attelage tourne dans le sens horaire, il est supporté par quatre (04) roulements (3R,4B,4R,5B).



**II.1.6. MODULE TURBINE BASSE PRESSION (LPT) :**

Ce module est constitué de quatre (04) étages. Il entraîne le LPC. L'ensemble LPC-LPT est appelé « attelage BP » (N1). Cet attelage tourne dans le sens horaire et il est supporté par trois (03) roulements (1B,2R,6R).

**II.1.7. MODULE BOITE D'ENTRAÎNEMENT DES ACCESSOIRES :**

L'attelage HP entraîne le boîtier d'entraînement des accessoires et reçoit le mouvement du démarreur par l'intermédiaire d'une prise de mouvement et d'une boîte de transfert. Il est fixé à la partie inférieure du Fan et il est équipé des différents accessoires suivants :

Sur la face avant :

- Deux pompes hydrauliques.
- Un groupe de pompes à huile de lubrification et récupération.

- Un démarreur.
- Un alternateur.

Sur la face arrière :

- Une pompe carburant HP.
- Un régulateur principal carburant.

**➤ Capotage du réacteur :**

- Capot Fan
- Capot reverse
- Capot core

**• Régimes :**

N1	{ 100 % = 3432,5 tr/min.
	{ 117 % = 4016 tr/min. (max.)
N2	{ 100 % = 9827 tr/min.
	{ 110,5 % = 10858,8 tr/min. (max.)
EGT = 960 °C (max.).	

**II.2. DIFFERENTS CIRCUIT DU REACTEUR :****II.2.1. CIRCUIT CARBURANT :****❖ ROLE DU CIRCUIT :**

Le rôle du circuit carburant est d'assurer :

- L'alimentation des trente (30) injecteurs dans la chambre de combustion.
- L'alimentation des circuits hydrauliques et commande des dispositifs; anti-pompage, vannes de décharge et stators à calage variable.
- L'alimentation des circuits hydrauliques d'asservissement et de contrôle du régulateur principal carburant (MEC).
- Le refroidissement de l'huile de graissage du réacteur.
- Le refroidissement de l'huile de graissage de l'alternateur (IDG).



**❖ COMPOSITION DU CIRCUIT CARBURANT :**

Le circuit carburant est entièrement intégré dans la nacelle et il comprend :  
Une pompe à carburant HP.

- Un échangeur thermique (carburant/huile) principal réacteur.
- Un filtre principal.
- Un régulateur principal carburant (MEC).
- Un échangeur thermique secondaire (carburant/huile) de l'alternateur (IDG).
- Un transmetteur du débit carburant.
- Une pompe d'injection carburant.
- Trente (30) injecteurs.

**❖ CONTROLE DU CIRCUIT CARBURANT :**

La surveillance de ce circuit est réalisée à partir :

- D'un voyant d'alarme en bas de la planche centrale pilote, associé à l'ECAM « colmatage filtre carburant ».
- D'une indication de la pression carburant sur l'écran droit de l'ECAM page moteur.

**II.2.2. CIRCUIT DE GRAISSAGE :****❖ ROLE DU CIRCUIT :**

Le rôle du circuit de graissage est de :

- Lubrifier, refroidir et nettoyer les sept (07) paliers et le boîtier des accessoires.
- Assurer la lubrification par gicleurs de tous les roulements, pignons et cannelures du réacteur et des boîtiers de transmission.
- Drainer les impuretés vers les filtres.
- Réchauffer le carburant.

**❖ COMPOSITION DU CIRCUIT :**

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

- Un réservoir.
- Une pompe de pression.
- Cinq (05) pompes de récupération.
- Un filtre principal équipé d'une by-pass.
- Un régulateur de pression d'huile.
- Un transmetteur de la pression d'huile.
- Un manocontact de baisse de pression d'huile.
- Un détecteur magnétique principal de limaille.
- Une sonde de température d'huile de récupération.
- Un filtre de récupération équipé d'un by-pass.
- Un manocontact détecteur de colmatage.

**❖ CONTROLE DU CIRCUIT :**

La surveillance du circuit de graissage est réalisée à partir :

- Des indicateurs : de pression d'huile et de quantité d'huile.
- Des alarmes sonores et visuelles de : baisse de pression et colmatage filtre.

La page moteur peut être visualisée au système ECAM, elle comporte entre autre :

- la quantité d'huile
- la température d'huile
- La pression d'huile.

**II.2.3. CIRCUIT DE DEMARRAGE :****❖ DEMARRAGE ET ALLUMAGE REACTEUR :****✓ DEMARRAGE :**

Le circuit de démarrage réacteur utilise la pression du circuit de génération pneumatique de bord, il peut être alimenté par :

- L'APU.
- Un des réacteurs déjà en fonctionnement.
- Un ou deux groupes de parc pneumatique.

Chaque réacteur est équipé d'un démarreur pneumatique à turbine qui entraîne l'attelage HP. L'alimentation du démarreur est commandée par une vanne électropneumatique.

**✓ ALLUMAGE :**

Le dispositif d'allumage est utilisé pour provoquer l'inflammation du mélange Air/Carburant dans la chambre de combustion ou éviter l'extinction en cours de fonctionnement.

L'ensemble est constitué par deux circuits identiques A et B indépendants.

**❖ COMMANDES ET CONTROLES :**

- Panneau de démarrage : il est situé sur le panneau supérieur pilote.
- Sélecteur de démarrage : il permet la sélection du programme de fonctionnement du démarreur et des circuits d'allumage A et B.

Il comprend cinq (05) positions :

- arrêt.
- ventilation.
- Démarrage A.
- Démarrage B.
- Allumage continue.
- Deux boutons poussoirs de démarrage.

## II.2.4. CIRCUIT REVERSE :

### ❖ DISPOSITIF D'EJECTION :

Il assure à la fois la détente du flux primaire, la détente et l'inversion de poussée du secondaire.

#### • Principe :

La tuyère primaire est à géométrie fixe au régime de décollage. Le flux primaire développe 23 % de la poussée totale du réacteur.

La tuyère secondaire compte deux demi-couronnes. En configuration normale, la détente du flux secondaire assure 77 % de la poussée totale.

En inversion de poussée, la partie extérieure des deux demi-couronnes mobiles d'éjection se déplacent vers l'arrière d'environ 56 cm. Ce déplacement entraîne l'abstraction de la veine secondaire et démasque les grilles d'éjection latérale. La totalité du flux secondaire est alors déviée et développe vers l'avant une poussée inverse égale à 40 % de la poussée au décollage.

### ❖ INVERSION DE POUSSEE :

L'énergie utilisée pour déplacer les deux demi-couronnes mobile de l'inverseur est fournie par le circuit pneumatique avion. Suivant le régime, c'est le 14<sup>ème</sup> étage du HPC (au travers de la vanne HP) ou le 8<sup>ème</sup> étage (au travers de son clapet anti-retour) qui alimente le dispositif pneumatique d'inversion. Le circuit pneumatique d'inversion ne peut être activé que lorsque l'avion est au sol. Ce circuit ne peut être en aucun cas entraîné par l'APU.

Le système d'inversion de poussée comprend :

- Un ensemble de commandes contrôles et retour d'asservissement.
- Un régulateur de pression et d'arrêt.
- deux moteurs pneumatiques, chacun d'eux est muni d'une vanne de sélection du sens de rotation.
- Une vanne électromagnétique de commande du sens de rotation.
- Six vérins à vis repartis comme suit :
- Un en position centrale est entraîné directement par le moteur pneumatique.
- Deux (l'un en position haute, l'autre en position basse) sont entraînés par le moteur pneumatique au moyen d'arbre flexible.

### ❖ SIGNALISATION :

Deux voyons sont disposés au-dessus des instruments réacteur en l'occurrence :

- Un voyons ambre repéré (REV- UNLK), reverse déverrouillé (en transit).
- Un voyons vert repéré (REV), reverse sortie et verrouillée.



### II.3. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DU REACTEUR :

- Poussée statique max. :  $F = 21800$  daN
- $Z = 0$  ; température ambiante  $< 33$  °C
- Poussée assurée par le flux primaire = 23 % de la poussée totale
- Poussée assurée par le flux secondaire = 77 % de la poussée totale
- Consommation spécifique en condition statique : 0,368 kg/h/daN
- Poussée de croisière :  $Z = 350$  m,  $M = 0,8$ ,  $F = 4800$  daN
- Consommation spécifique en croisière = 0,632 kg/h/daN
- Poussée inverse = 40 % de la poussée direct du Fan
- Masse du réacteur = 3770 kg
- Masse du réacteur équipé = 5900 kg
- Longueur totale de la nacelle = 7,2 m
- Hauteur totale de la nacelle = 2,96 m
- Débit d'air total = 280 kg/h
- Débit d'air primaire = 55 kg/h
- Débit d'air secondaire = 225 kg/h
- Taux de dilution = 4,66

### II.4. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU REACTEUR :

Le turboréacteur reçoit un flux d'air à travers son entrée d'air qui se présente sous forme d'un conduit divergent où l'air subit une compression et une décélération pour aborder le plus avantageusement le compresseur.

Le flux d'air ainsi comprimé et orienté sera divisé en deux parties, une qui traverse le Fan, le LPC, le HPC, la C-C, la LPT dite le flux primaire et une autre qui traverse uniquement le Fan dit le flux secondaire.

Le flux primaire aborde le compresseur pour élever sa pression et sa température afin d'acquiescer les meilleures conditions d'inflammation du mélange Air/Carburant au sein de la chambre de combustion, où l'énergie chimique et l'énergie de pression du mélange sont transformées en énergie calorifique grâce à l'injection et l'inflammation qui assurent une combustion permanente.

Après la combustion, les gaz chauds subissent une détente au niveau de la turbine où l'énergie calorifique est transformée en énergie mécanique pour les compresseurs et le Fan. Le reste du mélange gazeux est orienté vers la tuyère d'éjection.

Le flux secondaire traverse le Fan et refroidit la chambre de combustion et les turbines puis il est mélangé au flux primaire au niveau de la tuyère d'éjection pour être éjecté et engendre de ce fait une poussée propulsive.

**COMPARAISON ENTRE LE CF6-80 et le JT8-D**

	JT8D	CF6-80
Longueur	3,137 m	7,2 m
Diamètre	1,07 m	2,96 m
Poids à vide	1052 kg	3770 kg
Poussée	7030 daN	21800 daN
Mach	0,8	0,8
N1 Max.	102 % ( 8510 tr/min.)	117 % (4016 tr/min.)
N2 Max.	102 % (12250 tr/min.)	110,5% (10858tr/min)
Taux de Compression	18	30 à 32
Taux de Dilution	0,99	4,66
Débit d'air au décollage	146,6 à 148,3 kg/s	280 kg/s
Consommation spécifique	0,286 kg/h/daN	0,632 kg/h/daN
EGT	620 °C	960 °C

Après avoir passer également en revue le CF6-80 et en le comparant au JT8D, on constate que le CF6-80 présente une poussée beaucoup plus grande et un taux de dilution plus élevé, ce qui lui confère un meilleur rendement de propulsion et l'aptitude d'opérer à des régimes de hautes températures et de haute vitesse de rotations.

D'autre part, le CF6-80 présente un poids, un diamètre et une longueur bien supérieur comparé au JT8D (3,5 fois plus lourd ; 2,75 plus large; 2,30 fois plus long).

On voit bien que pour adopter un tel moteur il faudrait redimensionner les trains d'atterrissage afin de conférer à l'appareil une hauteur suffisante pour pouvoir embarquer ce moteur. De plus il faudrait redimensionner les ailes toutes entières.

En effet un tel moteur nécessite des ailes plus larges et plus robustes vue la longueur et la charge contraignante du moteur.

Il est évident a cet effet que de tels redimensionnements s'avéreraient très onéreux. L'alternative la plus judicieuse consisterait donc à réunir dans la mesure du possible et dans le même moteur les performances du CF6-80 tout en restant dans les dimensions du JT8D.

Voyons maintenant si le CFM56-7B représenterai cette solution; et pour ce faire nous allons le comparer aux deux réacteurs JT8D et CF6-80.

	JT8D	CF6-80	CFM56-7B
Longueur	3,137 m	7,2 m	2,50 m
Diamètre	1,07 m	2,96 m	1,55 m
Poids à vide	1052 kg	3770 kg	2358 kg
Poussée	7030 daN	21800 daN	18000 à 27000 daN
Mach	0,8	0,8	0,8
N1 Max.	102 % ( 8510 tr/min.)	117 % (4016 tr/min.)	104 % ( 5380 tr/min.)
N2 Max.	102 % (12250 tr/min.)	110,5% (10858tr/min)	105 % (15183 tr/min.)
Taux de Compression	18	30 à 32	32
Taux de Dilution	0,99	4,66	5,6
Débit d'air au décollage	146,6 à 148,3 kg/s	280 kg/s	385 kg/s
Consommation spécifique	0,286 kg/h/daN	0,632 kg/h/daN	0,59 kg/h/daN
EGT	620 °C	960 °C	950 °C

	JT8D	CF6-80	CFM56-7B
SYSTEME D'HUILE	01 Réservoir Circuit refoulement Circuit d'aspiration Circuit d'aération Echangeur thermique Indication (T°, P ....)	01 Réservoir Circuit refoulement Circuit d'aspiration Circuit d'aération Echangeur thermique Indication (T°, P ....)	01 Réservoir Circuit refoulement Circuit d'aspiration Circuit d'aération Echangeur thermique Indication (T°, P ....)
	Capacité du réservoir (20,81 L)	Capacité du réservoir ( 26.2)	Capacité du réservoir (23,26 L)
	Capacité utilisable (15,14 L)	Capacité utilisable (22.3 L)	Capacité utilisable (20,90 L)
	5 pompes de récupération avec 4 chip detector	5 pompes de récupération reliée à un seul Chip detector	3 pompes de récupération avec 3 chip detector
	Reniflard	Régulateur de pression d'huile	Soupape de protection de surpression



	JT8D	CF6-80	CFM56-7B
SYSTEME CARBURANT	01 Réservoir 01 Pompe carburant à (2) étages BP et HP Echangeur thermique Réchauffeur carburant (prélèvement d'air) Filtre carburant Indication  Régulateur de carburant (FCU)  18 Injecteurs  <i>Fonctionnement :</i> Réservoir ⇒ Pompe BP ⇒ Réchauffeur ⇒ Filtre ⇒ Pompe HP ⇒ Débitmètre ⇒ Echangeur ⇒ Purgeur ⇒ Distributeur ⇒ Injecteurs	01 Réservoir 01 Pompe carburant à (2) étages BP et HP Echangeur thermique Réchauffeur carburant (prélèvement d'air) Filtre carburant Indication  MEC  30 Injecteurs  <i>Fonctionnement :</i> Réservoir ⇒ Pompe BP ⇒ Echangeur ⇒ Filtre ⇒ Pompe HP ⇒ MEC ⇒ (1) ↓ (2) (1) : Doseur asservi (FMV) ⇒ Débitmètre ⇒ Injecteurs. (2) : Réchauffeur carburant ⇒ Asservissement ⇒ MEC ⇒ Actionner les VSV et VBV.	01 Réservoir 01 Pompe carburant à (2) étages BP et HP Echangeur thermique Réchauffeur carburant (prélèvement d'air) Filtre carburant Indication  HMU commandé par la EEC  20 Injecteurs  <i>Fonctionnement :</i> Réservoir ⇒ Pompe BP ⇒ Echangeur ⇒ Filtre ⇒ Pompe HP ⇒ HMU ⇒ (1) ↓ (2) (1) : Doseur asservi (FMV) ⇒ Débitmètre ⇒ Injecteurs. (2) : Réchauffeur carburant ⇒ Asservissement ⇒ HMU ⇒ Actionner les VSV et VBV.

	JT8D	CF6-80	CFM56-7B
SYSTEME DE DEMARRAGE	Peuvent être allumés par : - Groupe de sol - APU - Soutirage  Séquence de mise en route : manuelle.	Peuvent être allumés par : - Groupe de sol - APU - Soutirage  Automatique (FADEC) et manuelle	Peuvent être allumés par : - Groupe de sol - APU - Soutirage  • boîtier d'allumage alimenté en 115 VAC • Etincelles (2 joules/étincelle) sous 20000 volts au rythme de 2 secondes • Une bougie dont l'électrode centrale est en Iridium • Un câble électrique transportant l'impulsion du boîtier à la bougie  Automatique (FADEC) et manuelle

En comparaison du CFM56-7B au CF6-80 d'une part et le JT8D d'autre part, on constate que celui-ci présente une poussée aussi grande que le CF6-80 et un taux de dilution plus élevé. De plus, il a un poids, un diamètre et une longueur bien inférieurs comparés au CF6-80 (1,6 fois moins lourd ; 1,8 fois moins large ; 2,8 fois moins longues) ; par contre, on remarque qu'il avoisine les dimensions du JT8D (moteur compact).

De plus le CFM56-7B présente de plus amples avantages comparés aux deux moteurs (CF6-80 et JT8D) tels que son taux de dilution élevé, sa consommation spécifique moindre lui conférant un meilleur rendement propulsif et une aptitude d'opérer à des hautes températures et de hautes vitesses de rotations.

Sa conception modulaire facilite mieux sa maintenance et son dépannage, il est également assisté par le FADEC dont nous avons énuméré les avantages dans le chapitre II.

Et à présent on comprend mieux le choix de Boeing porté sur le CFM56-7B.

**PREPARER L'AVENIR :**

Le programme TECH56 d'acquisitions technologiques pour les besoins futurs des clients, est entré dans sa deuxième phase avec la réalisation d'essais de composants. Notamment, l'aube de soufflante en flèche à fait l'objet d'un essai moteur. Ces développements permettront de définir un nouveau moteur lorsque le marché en ressentira le besoin, de réaliser des dérivés des moteurs existants et de proposer des kits d'amélioration des moteurs en service.

Ce programme permettra à SNECMA et à GE de conserver leur position de numéro 1 mondial sur le marché des moteurs de « 20000 à 35000 lb. » de poussée.

Dans le cadre de son partenariat avec GE, SNECMA poursuit le développement de son activité sur le segment du marché des moteurs de forte poussée, au-delà des « 50000 lb. ». Elle participe à une hauteur de 25 %, au programme GE90 « 77000 à 94000 lb. » qu'elle envisage d'étendre au GE90 "GROWTH" « 110000 à 115000 lb. » retenue en exclusivité par Boeing pour la motorisation de ses nouveaux 777-200 et -300.

Le programme CF6-80 « 50000 à 72000 lb. » s'enrichit d'une nouvelle version CF6-80<sup>E1-A3</sup> qui équipera les A330-200 à partir de l'année 2001. SNECMA participera à une hauteur de 20%. Le CF6-80C2 auquel SNECMA a participé à hauteur de 10%, connaît un succès croissant auprès des compagnies aériennes qui l'ont sélectionné trois fois sur quatre pour la motorisation de leurs futurs B747 et B767.

SNECMA envisage également une prise de participation au moteur GP7000 de l'Engine Alliance destiné à la motorisation des A3XX et dérivés B747. Dans ce cadre, elle a mis en place un programme de démonstration d'un compresseur haute pression dont les essais en eu lieu début 2000.

Enfin, SNECMA s'est préparée à un doublement des cadences de production de la turbine à gaz LM600 de 45 MW pour supporter la forte croissance du marché de la cogénération à partir de 2000.



**CONCLUSION**

## CONCLUSION :

A l'issue de cette étude, nous avons pu constater que les moteurs de nouvelle génération sont l'aboutissement de plusieurs années d'expérimentations, de recherche et de perfectionnement qui permettent finalement la fabrication d'un moyen de propulsion efficace et sûr et surtout économique.

Par conséquent, l'intervention et l'entretien d'un moteur nouvelle génération, demande moins de temps d'immobilisation grâce à un système efficace de transmission des informations sur tous les paramètres de ce dernier en temps réel.

Ainsi, à travers cette étude nous avons parcouru l'ensemble du moteur CFM56-7B avec une étude détaillée de ce dernier, et une comparaison avec d'autres moteurs moins récents mais toujours d'actualité. Cependant, nous serions amenés à les différencier en fonction de leurs spécifications en prenant en considération plusieurs paramètres propres aux compagnies aériennes. A savoir les rayons d'actions, la capacité de remplissage, les types de rotations et les aéroports de destinations et les réglementation en vigueur.

Enfin, nous souhaitons que ce modeste travail apportera un plus au sein de notre institut, et sera un support utile pour les futures ingénieurs et Techniciens.