

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Saad Dahleb Blida  
Département d'aéronautique**

**Pour l'Obtention du Diplôme des Etudes Universitaires Appliquées (DEUA)  
en Aéronautique**

**Option : PROPULSION**

013/05

**THEME**



***ETUDE DESCRIPTIVE DE  
L'INVERSEUR DE POUSSEE DE  
L'A310-200***

**Présenté par:**

**Mr: BENDJERMIKH Redouane**

**Mr: BENREBIHA Rafik**

**Promoteur:**

**Mr: MOKHTARI Mohamed**

**Co-promoteur:**

**Mr: SETTOUF Mohamed**



**Promotion 2005**

## DEDICACE :

*Je dédi ce modeste travail :*

*A ma très chère Mère*

*A la mémoire de mon père*

*A ma Fiancée et Aymen*

*A mon frère : Adel*

*A mes sœurs.*

*A ma grande mère*

*A mes cousines*

*A toute ma famille, à tous mes proches.*

*A mes collègues de l'université: Rabah, Boumediene, Hakim,  
Noreddine ,Ramezi daksi, Ababeli, Abdou, l'eskro, et tous le  
groupe GNG-M17*

*A mes amis de Blida: El Gat, Bradai, Bilal, Amer, tarek,  
Monga ,Talale ,*

*A mon binôme Redouane et à toute sa famille.*

**RAFIK**

## DEDICACE :

*Je dédi ce modeste travail :*

*A mes très chers parents : ma Mère et mon Père qui m'ont encouragé et soutenu tout le long de mes études, que dieu les protège.*

*A la mémoire de mes grandes mères et de mes grands pères*

*A mes frères : Mohamed et sa femme, Noredine, Kamel,*

*A mes sœurs.*

*A Ferial.*

*A moi même.*

*A mes cousines et mes cousins surtout Diden et l'Africain.*

*A toute ma famille, à tous mes proches.*

*A mes collègues de BLIDA : Rabah, Boumediene, Hakim, Said, Krimo, Redouane, Houcine, Mohamed, Walid*

*A mes amis de MOSTAGANEM : Djilali, Sid Ahmed, Sid Ahmed (HDI), Abdellah, Azzeddine, Sofiane, Mohamed, Yacine, Aiachi, Mokhtar, Bellahouel, Abed, Hamidou*

*A mon binôme Rafik et à toute sa famille.*

REDOUANE

## ABBREVIATIONS

<b>A/C</b>	<b>Aircraft</b>
<b>AFT</b>	<b>After</b>
<b>APU</b>	<b>Auxiliary Power Unit</b>
<b>CDU</b>	<b>Centre Drive Unit</b>
<b>CRM</b>	<b>Compte Rendu Machine</b>
<b>DC</b>	<b>Direct Current</b>
<b>DCV</b>	<b>Directional Control Valve</b>
<b>DPV</b>	<b>Directional Pilot Valve</b>
<b>ECS</b>	<b>Environnement Control System</b>
<b>HP</b>	<b>Haute Pression</b>
<b>Lb</b>	<b>Pound</b>
<b>LP</b>	<b>Low Pression</b>
<b>PN</b>	<b>Part Number</b>
<b>PRV</b>	<b>Pressure Regulator Shutoff Valve</b>
<b>PSI</b>	<b>Pound Square Inch</b>
<b>REV</b>	<b>Reverse</b>
<b>REV UNLK</b>	<b>Reverse unlock</b>
<b>RIG</b>	<b>Rigging</b>

# GLOSSAIRE

ANGLAIS	FRANÇAIS
Actuator	Vérin
Aft	Arrière
Ball screw actuator	Vérin à vis
Bearing	Roulement
Between	Entre
Blocker door	Volet d'inversion
Bracket	Support
Brake	Frein
Bumper	Amortisseur
Bushing	Bague
Center body	Corps central
Clevis	Chape
Control	Commande
Cooling	Refroidissement
Core (engine)	Réacteur
Cowl	Capot-capotage
Cranking	Rotation manuelle
Decrease	Décélération
Deploy swich	Contacteur extension
Discharge	Ecoulement- refoulement
Directional pilot valve.	Vanne de commande du sens de rotation
Disconnet	Raccort auto obturateur
To drive	Entraîner- conduire
Electrical swich	Contacteur électrique
Engine core cowl	Capot réacteur
Exhaust	Ejection
Fan cowl	Capot de fan
Fan reverser	Inversion de poussée du flux primaire
Feed back	Retour d'asservissement
Forward thrust	Poussée normale
Friction point lever	Point dur sur levier de commande de poussée inverse
Full	Plein
Gearbox	Boîtier d'engrenages
Ground	Sol
Ground checkout port (test port)	Orifice d'alimentation pour essai
Handle	Poignée
Hinge	Charnière

Honey comb	Nid d'abeille
Housing	Carter
Idle	Ralenti
Inlet	Entrée
Inner	Intérieur
Jam nut	Contre écrou
Latch	Levier de fermeture
Left	Gauche
Light weight	Poids léger
Link	Pontet
Linkage	Embiellage tringlerie
Lockout	Verrouillage
Low	Bas
Mesh	Trame
Moving sector	Secteur mobile
Nose	Nez
Nut	Ecrou
Outer	Extérieur
Over lap	Recouvrement
Panel	Panneau
Plug	Bouchon prise
Pneumatique Drive unit gearbox actuator	Ensemble moteur pneumatique d'inversion
Pneumatique motor/actuator	Ensemble moteur pneumatique d'inversion
Poppet	Soupape
Power	Puissance
Pre cooler	Pré refroidissement
Pressure regulator and shutoff valve	Régulateur de pression et d'arrêt.
Pulley	Poulie
Pylon	Mât réacteur
Relay	Renvoi (transmission)
Release	Relâchement -Libération
Relief valve	Clapet de surpression
Reverser	Inverseur
Right	Droite
Rigging (Rig)	Réglage
Ring	Anneau
Rocker arm	Levier basculeur
Secondary flow	Débit secondaire
Shaft	Arbre
Sheet	Cale -tôle
Shim	Cale

Shutoff valve	Vanne d'arrêt
Side	Côté
Slot	Fente -logement
Sound	Bruit
Stop rod	Tige d'arrêt
Stored	Accumulé -stocké
Stow switch	Contacteur
Stowage	Rétraction
Straight	Droit
Supply	Alimentation
Switch	Contacteur
Test port	Alimentation pneumatique pour essai
Thrust	Poussée
Transcowl (translating cowl)	Demi Couronne inverseur
Upper	Supérieur
Vaned	Grille déviatrice
Vent	Mise à l'air libre
Wire mesh	Grillage

# SOMMAIRE

Introduction.....	01
-------------------	----

## Chapitre I

I.1 Introduction.....	02
I.2 : Fiche technique Airbus A310.....	04
I.3 Description générale du réacteur CF6-80A3.....	07
I.3.1 Les composants du réacteur CF6 80-A3.....	07
I.3.1.1 Entrée d'air.....	07
I.3.1.2 Ensemble basse pression.....	07
I.3.1.3 Ensemble haute pression.....	09
I.3.1.4 Canal d'éjection.....	09
I.3.1.5 Entraînement des accessoires.....	11
I.3.1.6 Commandes du réacteur.....	11
I.3.1.7 Caractéristiques principales du réacteur CF6-80A3.....	12
I.3.2 Les différents circuits du moteur.....	13
I.3.2.1 Circuit carburant.....	13
I.3.2.2 Circuit de graissage.....	16
I.3.2.3 Circuit d'air.....	17
I.3.2.4 Circuit de démarrage et d'allumage.....	19
I.3.2.4.1 Généralités.....	19
I.3.2.4.2 Circuit de démarrage.....	20
I.3.2.4.3 Circuit d'allumage réacteur.....	22
I.3.2.5 Circuit d'indication du réacteur.....	22

## Chapitre II

II.1 Introduction.....	26
II.2 Présentation de l'inverseur de poussée .....	27
II.3 Intérêt de l'inverseur de poussée.....	29
II.4 Les caractéristiques de l'inverseur de poussée.....	29
II.5 Les différents types d'inverseurs.....	30

II.6 Limitations d'emploi d'un inverseur de poussée.....	37
II.7 Les paramètres géométriques.....	39
II.7.1 Géométrie d'un inverseur de poussée.....	39
II.7.2 L'influence des paramètres géométriques sur l'inverseur de poussée.....	39
II.8 Les développements futurs.....	41
II.8.1 Les recherches sur la masse.....	41
II.8.2 Les recherches sur le bruit.....	42

## Chapitre III

III.1 Système d'inversion de poussée du CF6-80A3.....	43
III.2 Dispositifs d'éjection.....	43
III.2.1 Principe.....	43
III.2.2 Tuyère secondaire.....	45
III.3 Inversion de poussée.....	48
III.3.1 Généralités.....	48
III.3.2 Description de fonctionnement.....	51
III.3.2.1 Dispositifs de commande et de retour d'asservissement.....	51
III.3.2.2 Signalisation.....	55
III.3.2.3 Régulateur de pression et d'arrêt (PRV).....	58
III.3.2.4 Vanne électropneumatique de commande du sens de rotation (DPV).....	59
III.3.2.5 Moteur pneumatique d'inversion : (CDU).....	60
III.3.2.5.1 Élément moteur.....	61
III.3.2.5.2 Boîtier d'engrenages.....	62
III.3.2.5.3 Vérin central à vis.....	63
III.3.2.5.4 Boîtier de contacteur électrique.....	64
III.3.2.5.5 Vanne de sélection du sens de rotation (DCV).....	65
III.3.2.6 Vérins à vis secondaires.....	66
III.3.2.7 Fonctionnement général.....	67
III.3.2.7.1 Transit extension.....	67
III.3.2.7.2 Transit rétraction.....	68
III.3.3 Désactivation de l'ensemble inverseur de poussée.....	76
III.3.4 Commande et contrôle.....	77
III.3.5 Synthèse de mouvement extension.....	80
III.3.6 Synthèse de mouvement rétraction.....	81

## Chapitre IV

IV.1 Introduction de la recherche de panne.....	82
IV.1.1 Introduction.....	82
IV.1.2 Etapes de dépannage.....	82
IV.1.3 Causes de dépose injustifiée.....	82
IV.1.4 Les différentes méthodes de dépannage.....	82
IV.1.5 Classement de panne.....	83
IV.1.6 Différents types de pannes.....	84
IV.2 La recherche de panne de l'inverseur de poussée du réacteur CF6-80A3.....	85
<b>Conclusion.....</b>	<b>102</b>

# Liste des figures

## Chapitre I

I-1 : Présentation de l'air bus A310-200.....	06
I-2 : Description général du réacteur CF6 80-A3.....	08
I-3 : Circuit carburant du réacteur CF6 80-A3.....	14
I-4 : Schéma synoptique du circuit carburant.....	15
I-5 : Circuit de démarrage.....	21
I-6 : Control réacteur : circuit d'indication.....	24

## Chapitre II

II-1 : Principe d'inversion de poussée.....	27
II-2 : Les dispositifs de l'inverseur de poussée.....	28
II-3 : L'inverseur à grille.....	31
II-4 : L'inverseur à porte de flux secondaire.....	32
II-5 : L'inverseur à portes de flux mélangé.....	33
II-6 : L'inverseur en cascade.....	34
II-7 : Inverseur système mixte.....	35
II-8 : Des différentes méthodes de d'inversion de poussée.....	36
II-9 : Limitation d'emploi d'un inverseur de poussée.....	38
II-10 : La structure en nid d'abeille.....	42

## Chapitre III

III-1 : Dispositif d'éjection.....	44
III-2 : Tuyère secondaire.....	46
III-3 : Les éléments de l'inverseur de poussée.....	47
III-4 : Alimentation pneumatique des inverseurs.....	49
III-5 : Inversion de poussée –Circuits de commande et de contrôle.....	50
III-6 : Les manettes d'inversion de poussée.....	52
III-7 : Commande de poussée et de verrouillage.....	53
III-8 : Commande de l'inversion de poussée-Relais primaire.....	54
III-9 : Commande de poussée et signalisation.....	56
III-10 : Circuit électrique de commande et de contrôle.....	57
III-11 : Régulateur de pression et d'arrêt (PRV).....	58
III-12 : La vanne de commande de sens de rotation (DPV).....	59
III-13 : Moteur pneumatique (CDU).....	60
III-14 : Les éléments moteur (CDU).....	61
III-15 : Boîtier d'engrenages.....	62

III-16 : Vérin à vis central.....	63
III-17 : Boîtier de contacteur électrique.....	64
III-18 : Vanne de sélection du sens de rotation (DCV).....	65
III-19 : Vérin à vis secondaire.....	66
III-20 : Inversion de poussée (schéma de synthèse).....	70
III-21 : Début de course extension.....	71
III-22 : Transit en cours d'extension.....	72
III-23 : Fin de course extension.....	73
III-24 : Transit en cours rétraction.....	74
III-25 : Rétraction complète et remise en poussée directe.....	75
III-26 : Désactivation des inverseurs.....	76
III-27 : Commandes et contrôle (préliminaire).....	77
III-28 : Commande d'inversion de poussée.....	78
III-29 : Voyants d'inversion de poussée.....	79

#### **Chapitre IV :**

IV-1 : Moteur pneumatique (CDU).....	89
IV-2 : La vanne de commande de sens de rotation (DPV).....	93
IV-3 : Régulateur de pression et d'arrêt (PRV).....	96

# INTRODUCTION

Lors de l'atterrissage, l'avion A310-200 emploie plusieurs dispositifs de freinage, qui contribuent au ralentissement de cet avion de quelque dizaines de tonnes, parmi ses dispositifs le plus important est l'inverseur de poussée qui génère une force de freinage appelée contre-poussée, créée par ses deux réacteurs CF6-80A3 à double flux.

Les inverseurs de poussées de l'A310-200 sont logés dans les nacelles et utilisent les réacteurs pour tirer l'énergie pneumatique nécessaire pour leurs fonctionnements, c'est la raison pour laquelle que le **chapitre I** décrit sommairement l'avion A310-200 ainsi que le réacteur CF6-80A3.

Le **chapitre II** aborde les différents types d'inverseurs utilisés en générale par l'aviation, par contre le **chapitre III** présente une étude détaillée sur le système d'inversion de poussée utilisée par l'A310-200. Pour terminer, le **chapitre IV** expose toute la recherche des pannes qui peuvent subvenir sur le système d'inversion de poussée de l'A310-200.

# Chapitre I

## Description de l'A310-200 et le moteur CF6-80A3

## I.1 INTRODUCTION :

L'A310 est un dérivé de l'Airbus A300. Son histoire commence au début des années 70, le jeune consortium Airbus fondé par de divers pays, principalement la France et l'Allemagne ainsi que la firme britannique privé **Hawker Siddeley**, vient alors de lancer son premier avion : l'A300B2 qui rencontre de sérieuses difficultés à s'imposer. Tirant des enseignements des erreurs du passé avec en particulier le souvenir de la Caravelle qui faute de véritable famille n'a pas réussi à confortablement s'imposer sur le marché mondial, Airbus se lança très tôt dans l'étude de nouvelle version de son A300. Une de ces versions baptisée A300B10 fut officiellement lancée en Juillet 1978 suite à un besoin exprimé par Air France, Lufthansa et Swissair. Cet avion était une version raccourcie de l'A300 qui s'annonçait dès le départ très incertaine et une coopération avec Boeing sur un A300BB10 (le B supplémentaire faisant référence à Boeing) fut même envisagée.

Le principe même de l'avion était critiqué. En effet, il fut d'abord envisagé de ne modifier que la longueur du fuselage mais beaucoup d'observateurs se demandaient à juste titre quel intérêt économique justifiait de monter sur les ailes inchangées de l'A300 un fuselage plus petit. C'est pourquoi dès le mois d'octobre 1977 les ingénieurs étudièrent deux nouvelles ailes. La première était une aile complètement nouvelle tandis que la deuxième était dérivée de celle déjà existante pour l'A300. Airbus préféra la nouvelle aile devant être construite par **British Aerospace**. Elle se caractérise par une structure plus résistante et une traînée réduite à un nombre important de Mach (aux environ de Mach 0,8), elle était aussi plus petite avec une surface alaire de 219 m<sup>2</sup> pour l'A310 contre 260,12 m<sup>2</sup> pour celle de l'A300. Outre les ailes, cet avion inaugurerait aussi un nouvel empennage et un fuselage arrière redessiné. L'A310 fut également le premier gros-fuselage à utiliser les petites ailettes en bout d'ailes destinées à diminuer la traînée et à éliminer les vortex. Ces ailettes sont toutefois absentes sur les premiers exemplaires produits.

A l'origine l'A310 était proposé en deux versions : l'A310-100 et l'A310-200, dont AIR ALGERIE dispose de deux avions 7T-VJC et 7T-VJD livrés respectivement le 08/09/1984 et le 21/12/1984

Le -100 possédait une autonomie de 3700 km alors que le -200 pouvait voler sur plus de 6000 km. Toutefois l'A310-100 n'intéressa pas beaucoup les compagnies en raison de sa faible autonomie et il fut rapidement abandonné. L'A310-200 effectua son vol inaugural le 3 avril 1982. Ses pylônes de moteurs permettaient l'installation au choix des compagnies de deux réacteurs à double flux General Electric CF6-80A3, le cas d'AIR ALGERIE, d'une poussée unitaire de 22,2 t, ou **Pratt & Whitney** JT9D-7R4D de 21,3 t. Ces moteurs lui

permettent de voler à 850 km/h sur 6800 km. Sa vitesse maximale est de 897 km/h. En configuration deux classes l'A310-200 peut emporter 220 passagers contre 266 pour l'A300. Son fuselage est ainsi beaucoup plus court (45,89 mètres) que celui de son aîné qui mesure 54,07 mètres. Au niveau de l'avionique, l'A310 fut le premier gros fuselage à posséder un cockpit prévu pour seulement deux membres d'équipage. La disparition du troisième membre provoqua d'ailleurs de nombreux débats autour de la sécurité qui pouvait s'en trouver diminuée, mais grâce entre autre aux six nouveaux écrans cathodiques installés dans le cockpit, le travail du pilote et de son copilote devient plus sûr.

La certification de l'appareil intervint en mars 1983 et il fut mis en service par la Lufthansa en avril 1983. L'appareil produit était alors l'A310-200. Il rencontra un certain succès mais ne s'imposa jamais véritablement aux Etats-Unis (seul Delta Airlines exploite des A310). En version fret, l'A310-200 engendra aussi quelques commandes dont plusieurs proviennent du géant américain **Federal Express** qui exploite également des A300. Cet appareil peut transporter 14 conteneurs du type LD3. Cependant beaucoup de ces appareils nommés A310-200F sont des appareils de transport de passagers d'occasion convertit en Allemagne en cargo. L'A310-200 existe aussi en convertible passagers ou cargo baptisé A310-200C (pour Combi) utilisé pour la première fois en 1984. Le -200 fut rapidement suivi par une nouvelle version gardant les mêmes dimensions mais dotée d'un plus grand rayon d'action grâce à un nouveau réservoir et une masse maxi au décollage plus importante. Baptisée A310-300 cette version effectua son premier vol le 8 juillet 1985. Actuellement au niveau de la motorisation quatre moteurs sont disponibles, deux General Electric CF6-80 : le CF6-80C2A2 de 23,8 t de poussée ou le CF6-80C2A8 de 26,2t ; ou deux Pratt & Whitney PW4000 : le PW4152 de 23,1 t ou le PW4156 de 24.9 t.

Aujourd'hui la production des A310 n'est pas arrêtée, mais le dernier avion produit remonte à 2001. Le nombre total de commandes atteint les 260 avions. Actuellement, il ne semble pas que l'A310 possède comme l'A300-600 une chance de poursuivre sa carrière comme avion cargo. De nombreux projets militaires sont basés sur une cellule de l'A310. Le plus connu est l'A310MRT (Multi rôle Transport) allemand. Dirigé par EADS Airbus et Lufthansa Technik, ce programme commence à attirer l'attention de nouveaux pays tel que le Brésil, le Canada ou l'Australie mais intéresse surtout les forces aériennes européennes qui manquent cruellement de ce genre d'avions. Le dernier des quatre appareils commandés par l'Allemagne sera livré fin 2001. Une version encore plus polyvalente baptisée A310MRTT (Multi rôle Transport/Tanker) quelques fois appelée KC-310 MRTT selon la nomenclature américaine, permettra de convertir les MRT en ravitailleurs MRTT. Cette version a déjà été commandée par l'Allemagne pour ses 4 MRT et s'impose déjà comme une solution

européenne au manque chronique de ravitailleur. Cependant l'A310 doit faire face à la concurrence du Boeing 767 mais aussi à celle de l'A330-200.

## I.2 : Fiche technique Airbus A310

L'Airbus A310, qui a effectué son vol initial le 3 avril 1982, se différencie de l'A300 par son fuselage plus court, ses ailes et ses empennages faisant appel aux technologies les plus avancés

### ❖ Caractéristiques de l'Airbus A-310 :

#### ○ Voilure :

- Envergure : 43.9 m.
- Flèche : 28°.
- Dièdre  $\approx$  4°.

#### ○ Empennage horizontal :

- Envergure : 16.26 m.
- Dièdre : 6°.
- Hauteur totale de l'avion : 15.61m.

#### ○ Fuselage :

- Longueur totale : 45.89m.
- Diamètre intérieur : 5.64m.

#### ○ Train d'atterrissage :

- Voie : 9.6m
- Pression de gonflage :

Train avant: 149 PSI.

Trains principaux : 188 PSI.

#### ○ Capacité maximale en siège : 205.

#### ○ Poussée maximale au décollage : 50000 Lb.

○ **Réservoirs carburants**

Cinq réservoirs dont un réservoir intérieur et un réservoir extérieur dans chaque aile et un réservoir central.

Capacité en carburant utilisable à la densité de 0.785 kg/L

Volume : 55100 L.

Masse : 4325kg.

○ **Masses limitées structurales**

-Mise en route : 139500 kg

-Décollage : 138600 kg

-Atterrissage : 121500 kg

-Sans carburant : 111500 kg

○ **Performances :**

-Mach en croisière 0.79.

-Altitude de croisière maximum : 12527 m.

○ **Portes d'accès :** Quatre portes permettent l'accès à la cabine passagers :

**A l'avant :**

-A gauche : une porte d'entrée passagers de dimension : 107 cm x 193 cm.

-A droite : une porte de service de dimension : 107 cm x 193 cm.

**A l'arrière :**

-A gauche : une porte d'entrée passagers de dimension : 107 cm x 193 cm.

-A droite : une porte de service de dimension : 107 cm x 193 cm.

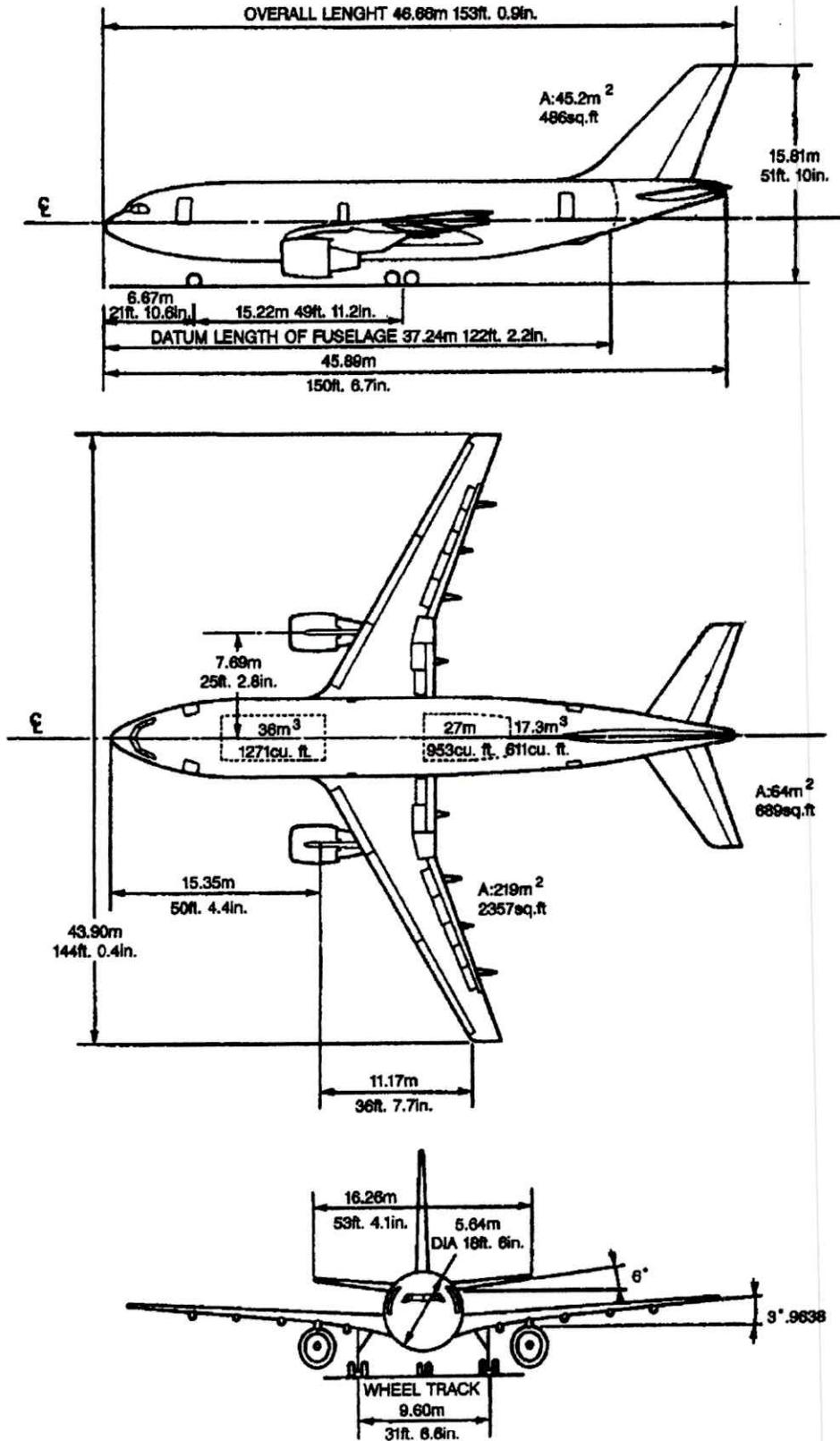


Fig (I.1) Présentation de l'air bus A310-200  
(Équipé du GTR CF6 80-A3)

### **I.3 Description générale du réacteur CF6-80A3 :**

Le réacteur général électrique CF6-80A3 est turboréacteur qui équipe l'avion airbus A 310-200. C'est un moteur double flux, double corps, turbo fan à haut taux de dilution et une vitesse d'éjection relativement faible.

#### **I.3.1 Les composants du réacteur CF6 80-A3 :**

##### **I.3.1.1 Entrée d'air :**

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

##### **I.3.1.2 Ensemble basse pression :**

Une turbine basse pression à quatre étages entraîne un compresseur basse pression à quatre étages. L'attelage basse pression tourne dans le sens horaire. Il est supporté par les trois roulements suivants :

- Le roulement N° 1 à billes
- Le roulement N° 2 à rouleaux
- Le roulement N° 6 à rouleaux

##### **a) Ailettes de fan :**

Trente huit (38) ailettes sont montées à la périphérie du disque de fan dans les alvéoles en forme de queue d'aronde. Il fournit 77% de la poussée totale. Sa structure en nid d'abeilles soudée en deux tôles en titane permet de réduire le poids ainsi que le bruit.

##### **b) Compresseur basse pression :**

Le premier étage du compresseur basse pression constitue le fan, il engendre à lui seul le flux secondaire, suivi de trois autres étages.

##### **c) Vannes de décharges :**

La décharge est réalisée par 12 vannes débouchant directement à l'arrière du fan, elles sont complètement fermées aux régimes élevés et ouvertes aux régimes de ralenti, c'est le régulateur principal carburant (MEC) qui détermine leurs positions en actionnant 02 vérins.

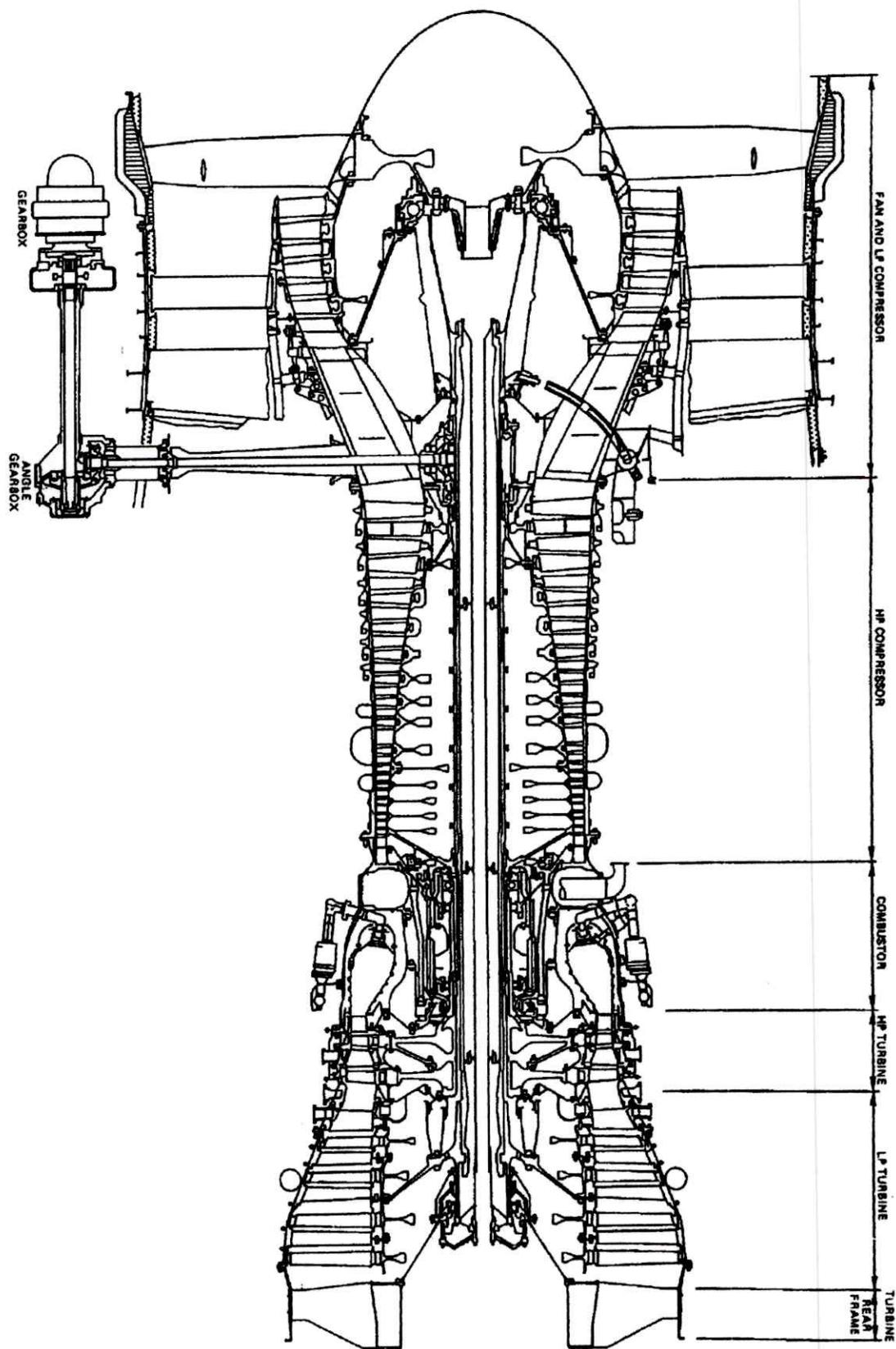


Fig (I.2) Description générale du réacteur CF6 80-A3

**d) Arbre de transmission :**

Cet arbre de grande longueur sert à relier la turbine basse pression au compresseur basse pression, cet arbre est constitué par deux parties assemblées cannelures.

Cet assemblage protège l'arbre de toute déformation ou cassure.

**e) turbine basse pression :**

Elle a pour but d'entraîner le compresseur basse pression. Elle est constituée de 04 étages, refroidie grâce à un jeu situé entre les ailettes et le carter dont son contrôle se fait à l'aide des trous dans la surface en laissant passer de l'air du fan, Cet écoulement d'air de refroidissement réduit le jeu radial du rotor au stator en augmentant la durée de vie de la turbine.

La vitesse de rotation de l'attelage basse pression est appelée régime N1 :

- Le régime N1 est indiqué en pourcentage.
- 100% de régime sont équivalents à 3432.5 tours /minute.
- Le régime N1 maximum est de 117%.

**I.3.1.3 Ensemble haute pression :****a) Compresseur haute pression :**

Il est formé de 14 étages, entraîné par une turbine haute pression à deux étages.

L'attelage haute pression est supporté par les roulements suivants :

- Le roulement N°3R à rouleaux.
- Le roulement N°4R à billes.
- Le roulement N°4R à rouleaux.
- Le roulement N°5R à rouleaux.

**b) Stator à calage variable (VSV) :**

Les cinq premiers étages du compresseur haute pression comportent des aubes de stators à calage variable et l'entrée d'air du compresseur haute pression est équipé d'aube de pré rotation à calage variable (IGV).

Comme pour les vannes de décharges c'est le régulateur principal carburant (MEC) qui au moyen de deux vérins hydrauliques, détermine la position des stators à calage variable.

Aux bas régimes les stators à calage variable réduisent le débit d'air à l'entrée de compresseur haute pression, leur position est aussi modifiée lors de l'utilisation des inverseurs de poussées.

### **c) Chambre de combustion :**

Elle se trouve à l'intérieur du carter diffuseur appelé aussi « carter arrière compresseur ».

De type annulaire, elle comporte des logements équipés de diffuseurs destinée à recevoir trente injecteurs de carburant.

On distingue deux types :

- 21 injecteurs double débit.
- 09 injecteurs simple débit.

Deux orifices en position est du type axial, permettent le montage de deux allumeurs à haute énergie.

### **d) Turbine haute pression :**

La turbine haute pression est du type axial, l'ensemble des stators et rotors des étages turbine haute pression est refroidi par circulation d'air. Le distributeur de turbine premier étage est refroidi par l'air du quatorzième étage, le distributeur de turbine deuxième étage est refroidi par l'air prélevé du dixième étage du compresseur haute pression.

La vitesse de rotation de l'attelage haute pression est appelée régime N2.

- Le régime N2 est indiqué en pourcentage.
- 100% de régime N2 sont équivalent à 9827 tours/minute.
- Le régime N2 maximum est de 110.5%.

#### **I.3.1.4 Canal d'éjection :**

Les dispositifs d'éjection assurent :

- la détente du flux primaire.
- la détente et l'inversion de poussée du flux secondaire.

**Principe :**

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

La tuyère secondaire est constituée de deux demi couronnes en configuration normale la détente du flux secondaire assure 77% de la poussée totale.

**I.3.1.5 Entraînement des accessoires :**

L'attelage haute pression entraîne le boîtier des accessoires (Gearbox), et reçoit le mouvement du démarreur par l'intermédiaire d'une prise de mouvement (IGB) et d'une boîte de transfert (TGB).

Un arbre vertical relie la prise de mouvement à la boîte de transfert.

Un arbre horizontal relie la boîte de transfert au boîtier des accessoires.

Le rapport réduction de vitesse : arbre horizontal / attelage haute pression est de 0.956 /1.

Le boîtier des accessoires est fixé à la partie inférieure du carter de fan.

Les différents accessoires entraînés par la GEARBOX sont :

**➤ Sur la face avant :**

-deux pompes hydrauliques.

-un groupe de pompes d'huile de lubrification et de récupération.

-Le démarreur.

-l'alternateur à entraînement intégré (IDG).

**➤ Sur la face arrière**

-La pompe haute pression carburant.

-Le régulateur principal carburant (MEC)

**I.3.1.6 Commandes du réacteur :**

Elles comprennent :

-La transmission de la position manette au régulateur principal carburant et au calculateur de poussée moteur.

-La commande de la manette haute pression carburant.

-La commande du robinet basse pression carburant.

**a) Manette de poussée :**

Le déplacement total de la manette de poussée est de 55°.

La commande de poussée est reliée à un transmetteur électrique qui élabore le signal TLA (throttle lever angle) destiné au calculateur de poussée (PMC).

En cas d'action manuelle sur la manette de poussée, une bielle dynamométrique assure le débrayage de l'auto manette.

**b) Manette reverse :**

Elle est confondue avec la manette de poussée, mais son déplacement se fait au sens inverse de cette dernière. Elle ne peut être déplacée que lorsque la manette de poussée est en position ralenti. Son déplacement total est de 91°30.

**c) Commande haute pression carburant (manette de démarrage) :**

La manœuvre de la vanne haute pression est réalisée par un vérin électrique monté sur le côté gauche du carter de fan, il est relié à la vanne haute pression par un renvoi et une biellette rigide.

**d) commande du robinet basse pression carburant :**

Les robinets basse pression carburant sont situés dans la zone du bord d'attaque de l'aile et des mâts réacteur.

Chaque robinet est manœuvré simultanément par deux moteurs électriques.

**I.3.1.7 Caractéristiques principales du réacteur CF6-80-A3 :**

- ❖ poussée statique maximale (F)  
Z=0 Km, température ambiante inférieure à 33°C.  
F=21800DAN.
- ❖ poussée assurée par le flux primaire : 23% de la poussée totale.
- ❖ poussée assurée par le flux secondaire : 77% de la poussée totale.
- ❖ consommation spécifique en condition statique : 0.368Kg /h /dan.  
Poussée en 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 directe du fan.
- ❖ Masse du réacteur nu : 3770Kg.
- ❖ Masse du réacteur équipé : 5900Kg.
- ❖ Longueur totale de la nacelle : 7.20 m.
- ❖ Débit d'air total: 280Kg /s.

- ❖ Débit d'air primaire : 55 Kg /s.
- ❖ Débit d'air secondaire : 225 Kg /s.
- ❖ Taux de dilution : 4.66.
- ❖ Rapport manométrique de compression : 29 /1.

### **I.3.2 Les différents circuits du moteur :**

#### **I.3.2.1 Circuit carburant :**

Le combustible utilisé est le kérosène qui provient de la distillation du pétrole. Sa densité est de 0.79. Son pouvoir calorifique est de 10.3 k cal/g.

##### **a) Rôle du circuit carburant :**

Le rôle du circuit carburant est d'assurer :

- 1- L'alimentation des trente injecteurs carburant de la chambre de combustion.
- 2- L'alimentation des circuits hydrauliques de commande des dispositifs anti-pompage, vannes de décharge et stators à calages variables.
- 3- L'alimentation des circuits hydrauliques d'asservissement et de contrôle du régulateur principal carburant.
- 4- Le refroidissement de l'huile de carburant.

##### **b) composition du circuit :**

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

- Une pompe carburant haute pression
- Un échangeur thermique principal (carburant /huile) réacteur.
- Un filtre principal.
- Un régulateur principal carburant
- Un échangeur thermique secondaire (carburant /huile) de l'alternateur à entraînement intégré
- Un transmetteur de débit carburant.
- Une rampe d'éjection carburant et trente injecteurs.

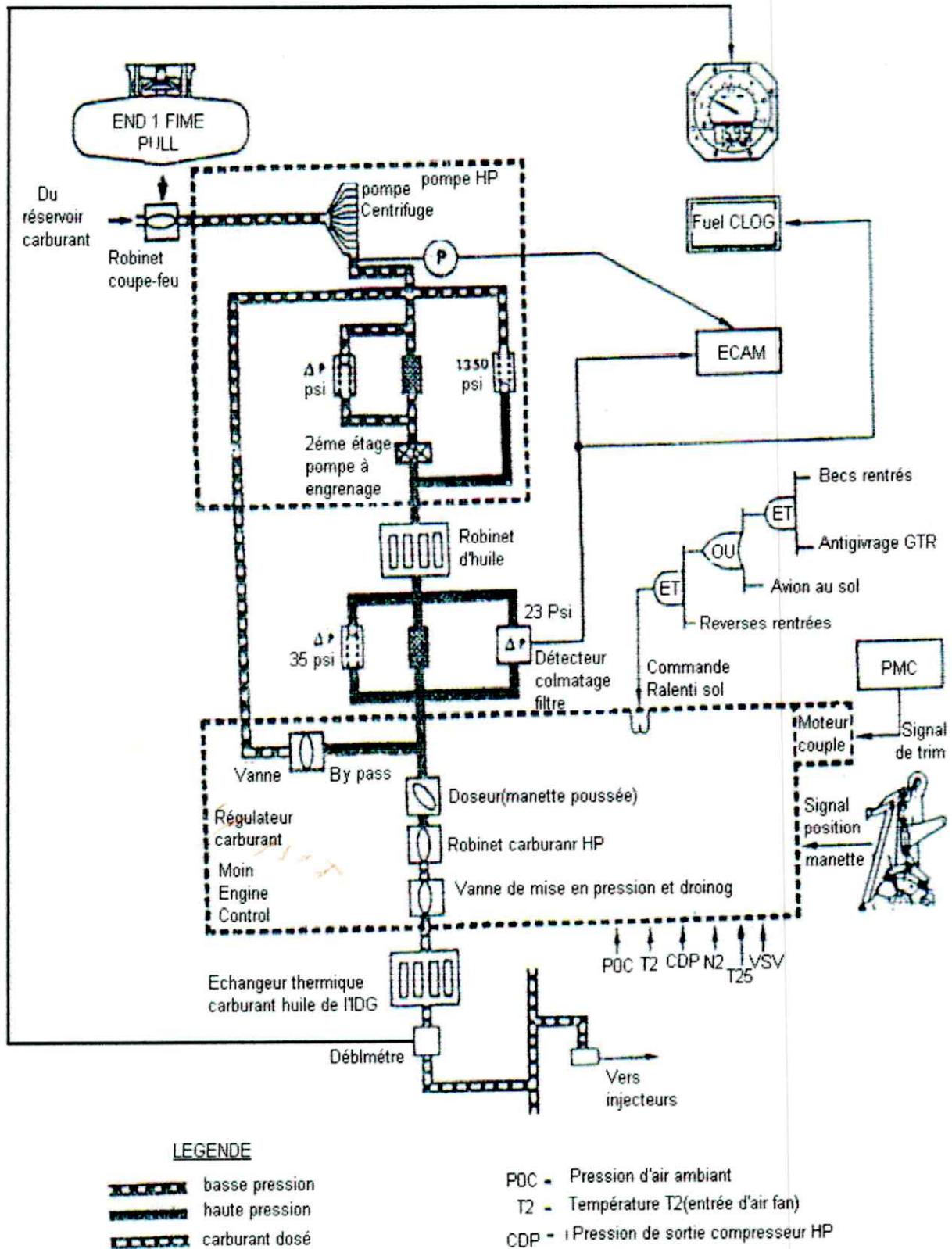


Fig (I.3).Circuit carburant du réacteur CF6 80-A3

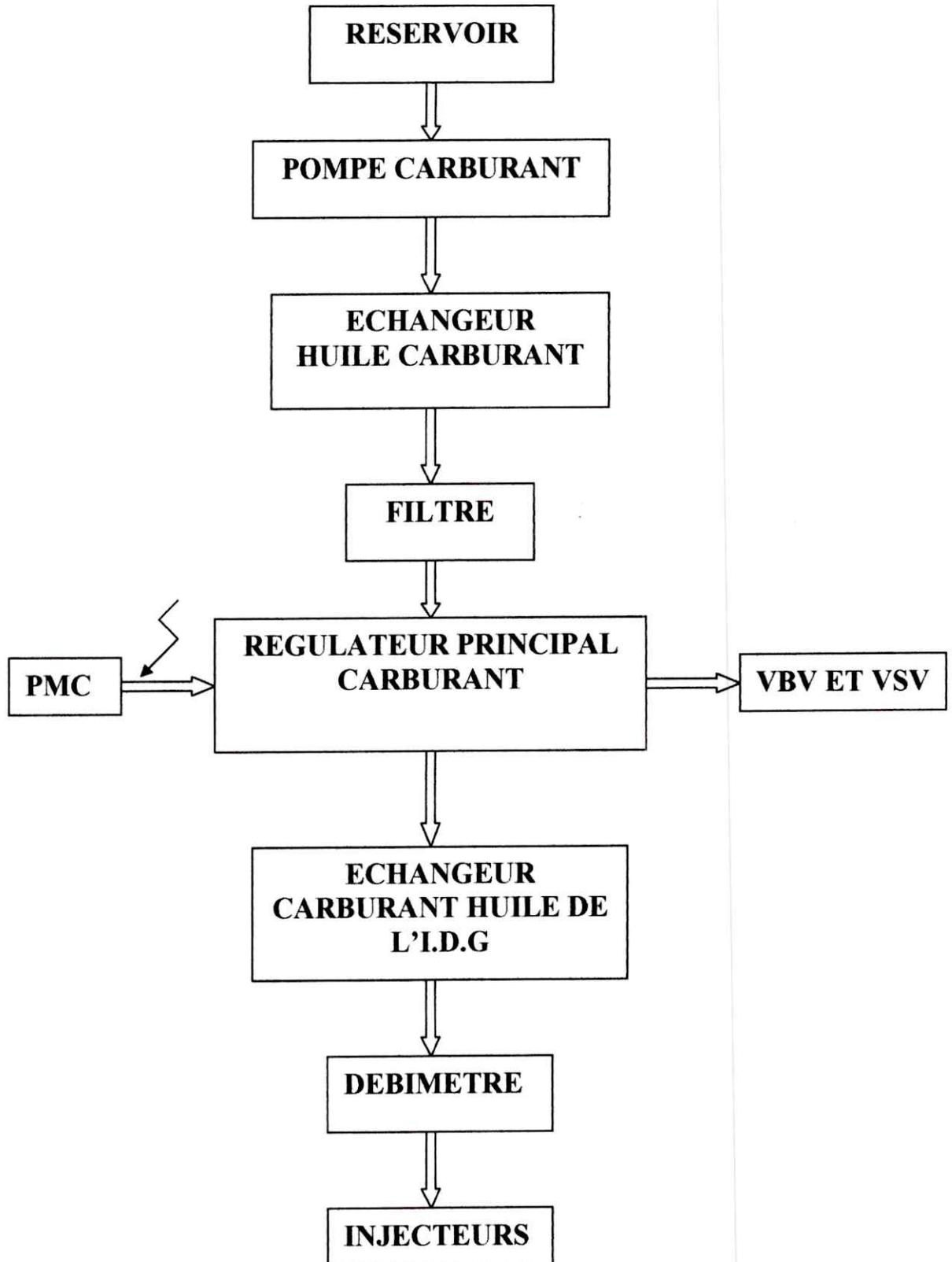


Fig (I.4) schéma synoptique du circuit carburant.

### **I.3.2.3 Circuit d'air :**

Dans le réacteur, les prélèvements d'air sont effectués sur les compresseurs aux étages suivants :

- Compresseur basse pression premier étage (fan).
- Compresseur basse pression quatrième étage.
- Compresseur basse pression septième, huitième, dixième, et quatorzième étage.

#### **Compresseur basse pression premier étage (fan) :**

- Alimentation du dispositif additif de contrôle des jeux.
- Alimentation de l'échangeur de température à l'huile de l'alternateur à entraînement intégré (IDG).
- Ventilations :

Des câbles d'allumage.

Alternateur à entraînement intégré.

Les différentes zones de la nacelle GTR.

- Alimentation du pré refroidissement de conditionnement d'air.

#### **Le quatrième étage du compresseur basse pression :**

Pressurisation de joints d'étanchéité des boîtiers de paliers.

#### **Le septième étage du compresseur pression :**

- Refroidissement du carter avant de turbine basse pression, des ailettes redresseuses du premier étage et du rotor de turbine basse pression.
- Refroidissement de la face arrière du disque de la turbine haute pression.

#### **Le huitième étage du compresseur haute pression :**

-Collecteur de génération pneumatique qui lui même alimente :

- Les inverseurs de poussées.
- Le démarreur réacteur.
- Le dégivrage voilure.
- La pressurisation des réservoirs hydrauliques.
- Les groupes de conditionnement d'air.
- Les pressurisations des réservoirs d'eau.
- Le vérin de commande du volet de groupe de conditionnement d'air.

- La pompe à vide de commande de vanne de pressurisation.

#### **Le dixième étage du compresseur haute pression :**

- Les ailettes redresseuses de turbine haute pression.
- Le dispositif passif de contrôle des jeux de turbine haute pression.
- L'alimentation de la vanne de commande de refroidissement (IDG).
- Le dégivrage du bord d'attaque de la nacelle.

#### **Le quatorzième étage du compresseur haute pression :**

- Les ailettes redresseuses de turbine haute pression.
- Le dispositif passif de contrôle des jeux de turbine haute pression.
- Les ailettes, le disque un et face avant au disque deux de la turbine haute pression.
- La pressurisation des réservoirs hydrauliques.
- A bas régime l'alimentation du collecteur du générateur pneumatique.
- Réverses.

#### **Problèmes rencontrés dans le réacteur CF6-80-A3 :**

Dans un réacteur, les problèmes les plus fréquemment rencontrés sont :

##### **a) Le fluage :**

La température des gaz sortants de la chambre de combustion est très élevée, et dû au contraintes thermique, les ailettes vont subir une distribution qu'on appelle le fluage et que les constructeurs ont évité en utilisant des matériaux qui résistent le plus à la haute température, et aussi en faisant un meilleur refroidissement.

##### **b) Le pompage :**

L'écoulement de l'air à travers les ailettes du compresseur basse pression doit être laminaire mais à bas régime, l'air arrive à l'entrée du compresseur à une certaine vitesse, l'angle d'incidence des ailettes va augmenter et lorsqu'il devient important, l'épaisseur de la couche limité augmente, alors l'écoulement devient tourbillonnaire, il entraîne un décrochage aérodynamique de l'étage et l'air dans ce cas au lieu de s'écouler du compresseur vers la chambre de combustion va retourner vers l'extérieur. Alors on aura une surchauffe au niveau de la chambre de combustion.

Pour éviter le pompage, on a les quatre solutions suivantes :

- 1) Aubage directeur ou aubage de pré rotation pour guider l'air et lui assurer un écoulement laminaire.
- 2) Double attelage compresseur.
- 3) Vannes de décharge du compresseur basse pression (VBV).
- 4) Les ailettes statoriques à inclinaison variable (VSV).

Dans le CF6 80A3, les dispositifs anti-pompage assurent la décharge par :

-La variation de l'angle de calage :

- Des aubes de pré rotation (IGV).
- Des cinq étages des ailettes statoriques à inclinaison variable (VSV).

-Les douze vannes de décharge du compresseur basse pression (VBV).

### **I.3.2.4 Circuit de démarrage et d'allumage :**

#### **I.3.2.4.1 Généralités :**

##### **a) Démarrage réacteur :**

Le circuit de démarrage réacteur utilise la pression du circuit de génération pneumatique de bord.

Il peut donc être alimenté par :

- L'APU
- Un des réacteurs déjà en fonctionnement.
- un ou deux groupes de parc pneumatique ( $25 < P < 55$  PSI).

Chaque réacteur est équipé d'un démarreur à turbine qui entraîne l'attelage haute pression.

L'alimentation du réacteur est commandée par une vanne électropneumatique.

##### **b) Allumage réacteur :**

Le dispositif d'allumage est utilisé pour provoquer l'inflammation du mélange air/carburant, dans les chambres de combustion, ou éviter l'extinction en cours de fonctionnement.

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

### **I.3.2.4.2 Circuit de démarrage :**

Il est composé de :

#### **a) Vanne de démarrage :**

La vanne de démarrage est fixée sur le collecteur d'alimentation du démarreur à l'avant du boîtier des accessoires. Elle comporte un volet « papillon » à deux positions (ouvert ou fermé). Un contacteur électrique de signalisation, commandé par l'axe du volet se forme dès que le volet commence à s'ouvrir.

#### **b) Fonctionnement :**

Le circuit de génération pneumatique est sous pression. Le circuit de chauffage est alimenté.

Lors du démarrage les composants intervenants sont :

- Le clapet de la commande manuelle est fermé par son ressort en position repos.
- Manœuvre d'ouverture.
- Manœuvre de fermeture.
- Manœuvre manuelle de la vanne.

#### **c) Démarreur :**

Le démarreur est fixé à l'avant du boîtier des accessoires. Il reçoit l'air sous pression en provenance de la vanne de démarrage. Il comporte :

- Un étage de turbine axiale dont la vitesse de rotation atteint environ 48000 tr/min lorsque le régime est de 45%.
- Un réducteur de vitesse.
- Un dispositif centrifuge de débrayage automatique.
- Un arbre d'entraînement du réacteur comportant une section réduite limitatrice de couple.

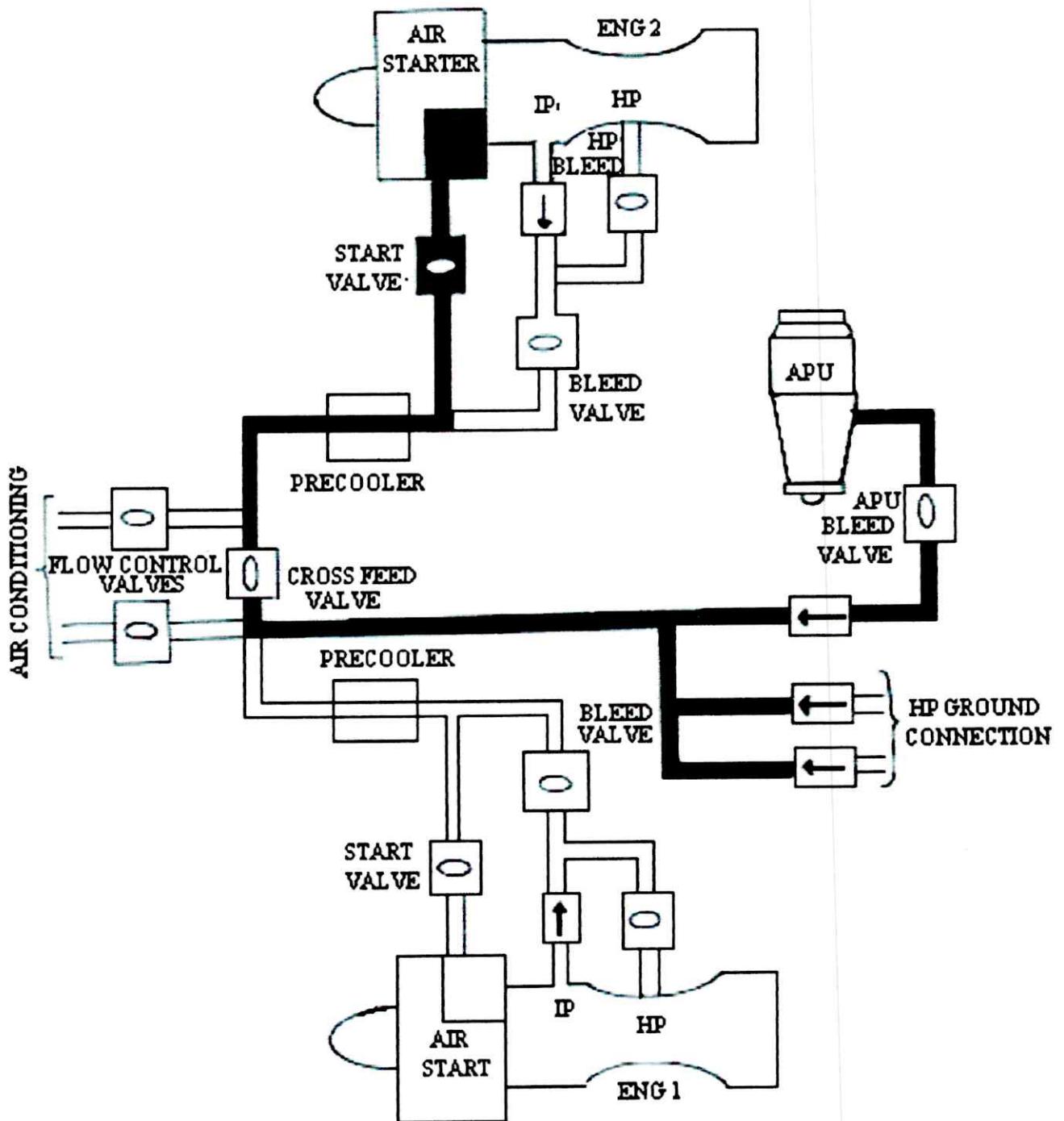


Fig (I.5) Circuit de démarrage.

### **I.3.2.4.3 Circuit d'allumage réacteur :**

#### **a) Boîte d'allumage à haute énergie :**

Les deux boîtes d'allumage sont fixées sur le côté droit du carter de fan en position 3 heures. Elles sont identiques et utilisent du carburant 115v/400Hz. Elles débitent deux décharge par seconde sous une tension d'amorçage de 15 à 20000 volts lober une énergie environ 2 joules.

#### **b) Circuit à haute tension :**

La boîte supérieure du circuit A alimente l'allumeur monté en position 4 heures. La boîte inférieure B alimente l'allumeur, monté en position 3 heures. Les câblages sous haute tension relient les boîtes aux allumeurs. Il cheminent du long du carter compresseur haute pression. Durant leur parcours en zone chaude, au voisinage du carter compresseur haute pression, les câbles sont ventilés par un prélèvement d'air en provenance du fan.

#### **c) Allumeurs :**

Les allumeurs comportent une électrode centrale en teingstène isolée par une bague en céramique. De l'air en provenance du quatorzième étage compresseur assure le refroidissement de l'embout de l'allumeur par circulation au travers de douze canaux internes.

### **I.3.2.5 Circuit d'indication du réacteur :**

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

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

#### **a) Contrôle de régime N1 :**

Il est assuré par l'intermédiaire d'une couronne segmentée comportant 38 plots montés en arrière du compresseur BP, sur l'arbre turbine compresseur.

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

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

**b) Contrôle de régime N2 :**

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

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

**c) Contrôle de la température devant turbine EGT :**

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

Les 8 sondes sont montées en parallèle a la périphérie du carter avant, de turbine BP. Le signale de température EGT est transmit par l'intermédiaire de canalisation rigide et les boites de jonction, vers l'indicateur EGT au poste de pilotage.

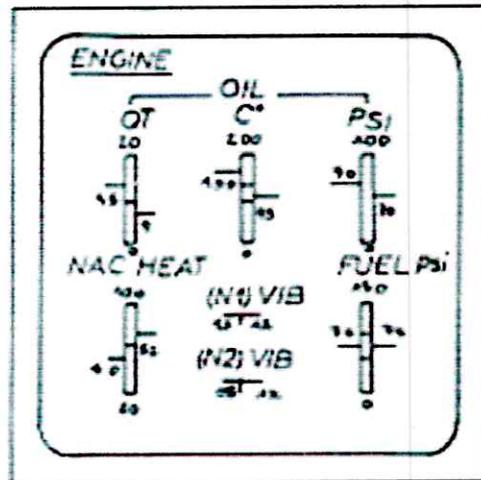
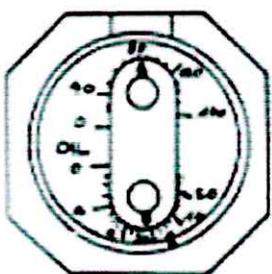
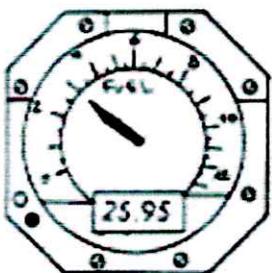
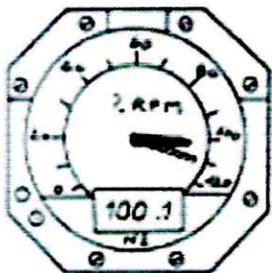
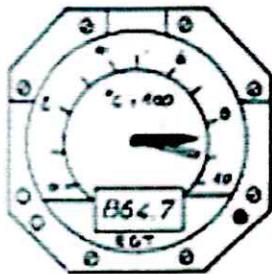
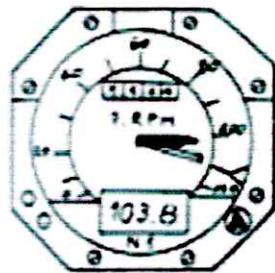


Fig (I.6) Control réacteur : circuit d'indication

**d) Contrôle de niveau de vibration :**

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

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

**e) Contrôle de débit de carburant (débitmètre) :**

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

**f) Indicateur de quantité d'huile :**

Un transmetteur de quantité fixé au dessus du réservoir.

**g) Indicateur de température et de pression d'huile :**

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

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

## Chapitre II

# Généralités sur les inverseurs de poussée

## II.1 Introduction :

Le Travel Air à vapeur vole la première fois le 12 avril 1933 à l'aéroport d'Oakland, près de San Francisco. **William Besler** était aux commandes de l'appareil après un vol inaugural il effectua un atterrissage afin d'essayer une autre caractéristique de son fameux moteur, soit la possibilité d'inverser la rotation de l'hélice en marche. Une fois les roues au sol, il renversa le sens de rotation de l'hélice, ce qui permit un arrêt complet de l'avion sur une distance de moins de 30 mètres. Besler redécolla et refit deux fois le même circuit mais inversa l'hélice cette fois-ci en vol lors de l'atterrissage. Cela permettait d'obtenir des angles d'approche très abrupts. Il est à noter qu'il s'agit là du premier inverseur de poussée connu de l'histoire de l'aviation. Il fallait attendre jusqu'au 1952 date à laquelle **Jean Bertin** (1917 1975) Directeur technique adjoint chargé des études spéciaux sur les moteurs et la propulsion en France qui réalise le premier inverseur de poussée pour réacteur expérimenté sur un Vampire.

Cet inverseur de poussée équipe aujourd'hui la presque totalité des moteurs d'avions à réaction.

### Principe :

Chaque constructeur a mis au point des dispositifs plus au moins complexes mais dans chaque cas l'on retrouve le principe suivant : dévier les gaz d'éjection (par l'intermédiaire de coquilles ou de pelles manœuvrées par des vérins hydrauliques ou pneumatiques) dans une direction oblique. Nous obtenons ainsi une poussée négative. Voir **Fig (II.1)**.

L'origine de la force de freinage s'explique comme suit :

Si  $V_5$  est la vitesse d'éjection des gaz déviés dans le sens oblique avant, cette dernière peut se décomposer en deux vitesses,  $V_5'$  (qui est la projection de  $V_5$  sur l'axe des abscisses  $x$ ) et  $V_5''$  (qui est la projection de  $V_5$  sur l'axe des coordonnées  $y$ ).

Les composants  $V_5''$  s'annulent deux à deux tandis que les composantes  $V_5'$  permettent de calculer la poussée inverse d'où l'expression de cette force freinante :

$$F = m (-V_5' + V_e)$$

Avec  $m$  : débit massique des gaz [Kg/s].

$V_e$  : Vitesse d'entrée d'air dans le réacteur [m/s].

$V_5'$  : Projection de la vitesse d'éjection des gaz sur un axe parallèle à celui du moteur [m/s].

La poussée inversée générée peut atteindre 50% et quelque fois plus de la poussée maximale du réacteur (poussée décollage).

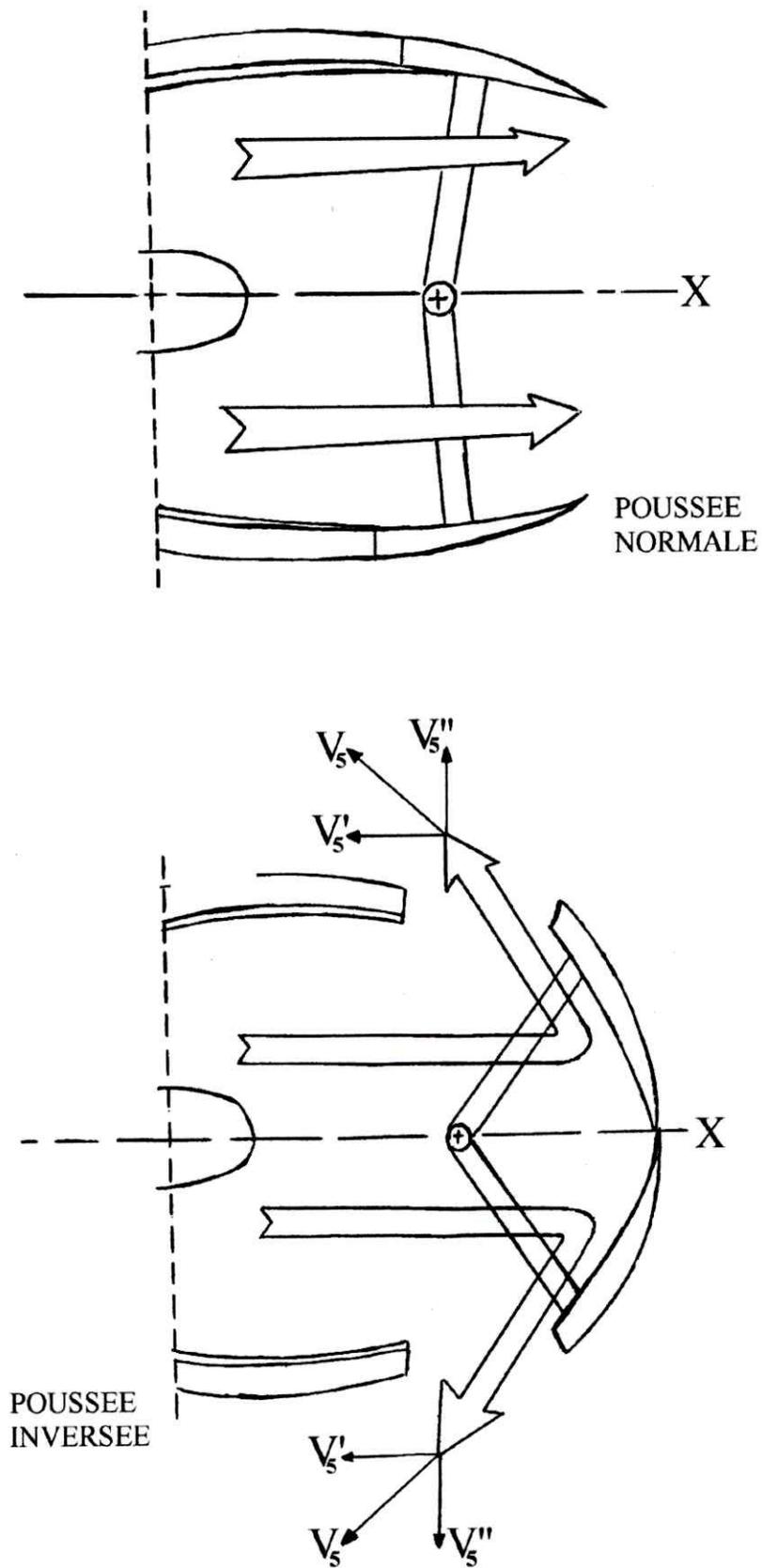


Fig (II.1) Principe d'inversion de poussée.

## II.2 Présentation de l'inverseur de poussée :

L'inverseur de poussée est le sous-ensemble le plus important de la nacelle en masse et en coût. Il joue un rôle essentiel dans l'atterrissage de l'avion. Dans cette phase, lorsque l'avion est en phase de roulage, l'inverseur obstrue la tuyère d'éjection des gaz afin de diriger le jet du moteur vers l'avant de la nacelle. On crée une force de freinage appelée contre-poussée, qui contribue au ralentissement de l'avion.

Nous verrons la distinction entre les inverseurs situés sur les cotés et ceux situés à l'arrière du réacteur.

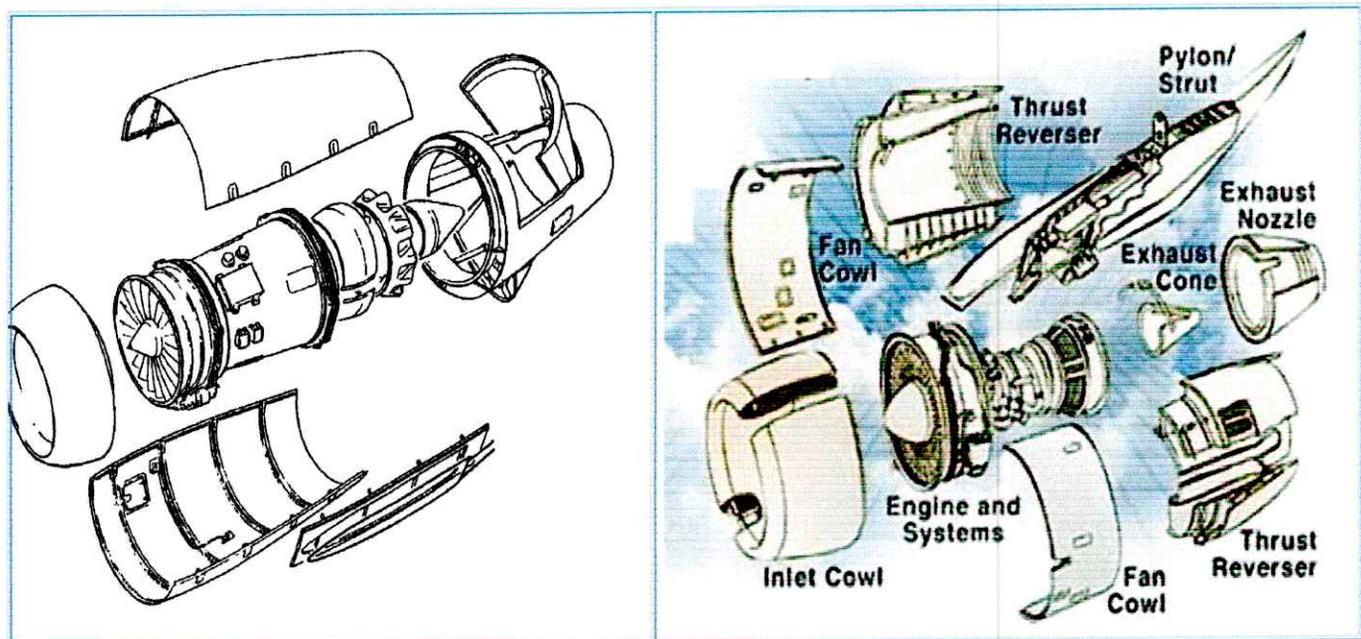


Fig (II.2) Les dispositifs de l'inverseur de poussée.

### II.3 Intérêt de l'inverseur de poussée :

Les freins des avions modernes sont très efficaces mais sur piste mouillée, glacée ou recouverte de neige, cette efficacité peut être réduite par la perte d'adhérence des pneus de l'avion sur la piste. Lors de manœuvres très délicates comme celle du décollage interrompu, l'assistance d'un système annexe aux freins de roue peut être salutaire.

C'est pourquoi l'utilisation de l'inverseur de poussée a été très largement acceptée que ce soit sur les avions de transport civils ou les avions de combat. De plus, l'une des préoccupations majeures des compagnies aériennes est de réduire les coûts de fonctionnement. L'inverseur répond à cette attente en diminuant la distance d'atterrissage. Cela entraîne une économie non négligeable pour les compagnies aériennes qui peuvent donc réduire certains frais. Le freinage étant assuré par l'effort des freins sur les roues et par l'augmentation de traînée due aux volets hypersustentateurs, on diminue ainsi l'usure des pneumatiques et des freins. On diminue aussi, comme la distance d'atterrissage est réduite, le temps d'occupation de la piste ce qui permet d'économiser du carburant et aussi de libérer la piste plus rapidement, ce qui, vu l'encombrement actuel des aéroports, est loin d'être négligeable.

On obtient alors, grâce à l'inverseur de poussée, un gain de distance d'atterrissage d'environ 25% sur piste sèche et jusqu'à 50% sur piste verglacée ou mouillée.

L'inverseur de poussée augmente la sécurité principalement sur piste mouillée ou verglacée et permet une durée de vie plus grande des freins et des pneumatiques.

### II.4 Les caractéristiques de l'inverseur de poussée :

➤ L'inverseur de poussée doit satisfaire aux quatre objectifs suivants:

- a). Assurer la compatibilité en débit avec le moteur lors des phases de déploiement du volet et en mode d'inversion complète.
- b). Garantir la contre poussée spécifiée par le motoriste.
- c). Orienter les jets inversés afin d'interdire la réingestion entre moteurs, et les interactions avec toute partie de l'avion (empennage, fuselage, aile, volet, ...).

d). Répondre aux exigences de sécurité en cas d'utilisation inhabituelle (décollage avorté, déploiement intempestif).

➤ Principe de fonctionnement de l'inverseur de poussée :

Le principe consiste à retourner le jet propulsif de la tuyère à réaction vers l'arrière, on produit une force que l'on appelle contre-poussée.

A l'atterrissage, lorsque l'avion est en phase de roulage, l'inverseur bloque et dévie le flux primaire et/ou le flux secondaire au moyen d'un obstacle solide.

## II.5 Les différents types d'inverseurs :

On peut distinguer cinq types d'inverseurs:

### a) Les inverseurs à grilles:

C'est le système le plus classique et le mieux éprouvé. Il peut être utilisé sur les deux flux simultanément ou sur le flux secondaire seulement. Son principe consiste en un capot de tuyère coulissant le long de rails.

En reculant, il découvre des grilles d'aubes cachées dans son épaisseur durant l'utilisation en jet direct et déploie des portes de blocage à l'intérieur du canal d'éjection. Le flux se trouve ainsi dévié radialement vers les grilles d'aubes qui le dévient vers l'avant.

Ce type d'inverseurs permet une bonne souplesse dans le contrôle de la direction des flux inversés mais cependant sa complexité mécanique entraînant une masse importante et un coût de maintenance non négligeable a conduit à réaliser des inverseurs à portes.

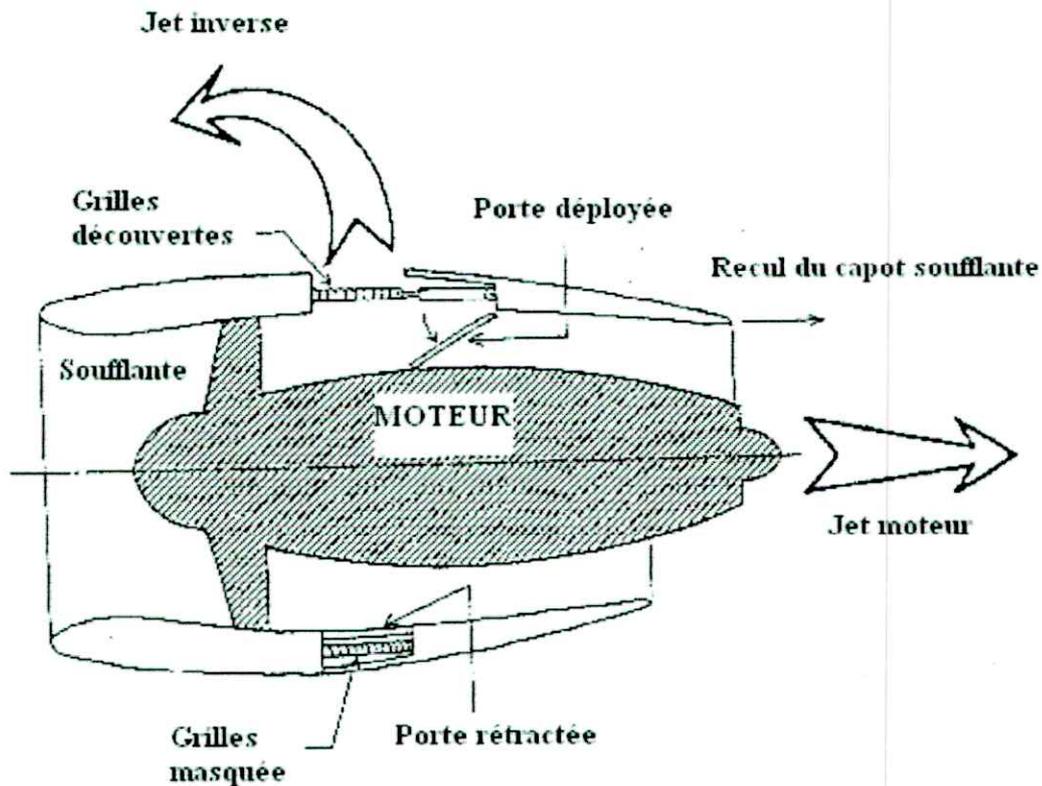


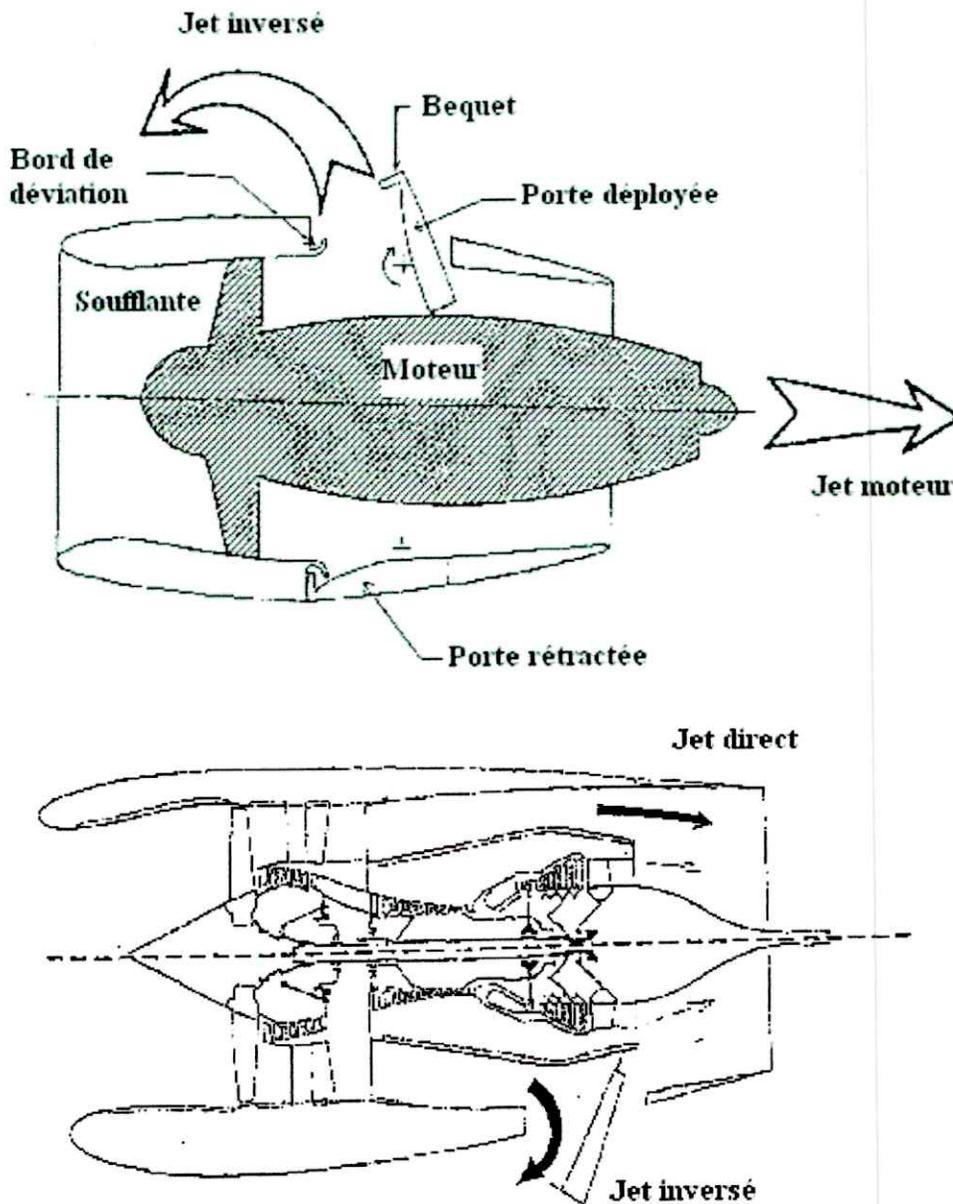
Fig (II.3) L'inverseur à grilles.

**b) L'inverseur à portes ne dévient que le flux secondaire :**

On l'utilise sur les moteurs à taux de dilution élevé. Des portes sont découpées dans le capot de la tuyère. En mode direct, ces portes sont fermées et donnent à la tuyère une forme identique à celle qu'elle aurait sans inverseur. Une fois les portes ouvertes, leurs parties inférieures bloquent le canal secondaire obligeant le flux secondaire à sortir par l'ouverture ainsi créée. Leurs parties supérieures aident à dévier le jet et jouent également un peu un rôle d'aérofreins.

Dans ce type d'inverseurs, c'est le flux secondaire qui donne toute la contre-poussée, tout en devant annuler la poussée du flux primaire non inversé.

Cet inverseur a le mérite d'être plus simple: sa masse et son coût de maintenance sont donc assez faibles.



- Fig (II.4) L'inverseur à portes de flux secondaire-

**c) L'inverseur à portes déviant les deux flux mélangés :**

C'est ce type d'inverseurs qui est utilisé par Pratt & Whitney pour le moteur JT8D équipant les B737-200. Deux portes, articulées autour d'un axe orthogonal à celui du moteur basculent vers l'intérieur du jet bloquant totalement la tuyère et donc l'écoulement tout en créant des ouvertures latérales qui

permettent de dévier le jet. Comme dans l'inverseur à porte simple flux, la partie supérieure de la porte sert à orienter la nappe vers l'avant et joue le rôle d'aérofrein.

Ce type d'inverseur présente l'avantage d'avoir une efficacité de freinage supérieure aux deux types d'inverseurs précédents tout en ayant une masse identique à l'inverseur simple flux. Son inconvénient est la difficulté d'installation sous voilure à cause d'interactions avec les gouvernes. De plus, la température du jet dévié oblige à prendre quelques précautions supplémentaires quant aux matériaux utilisés.

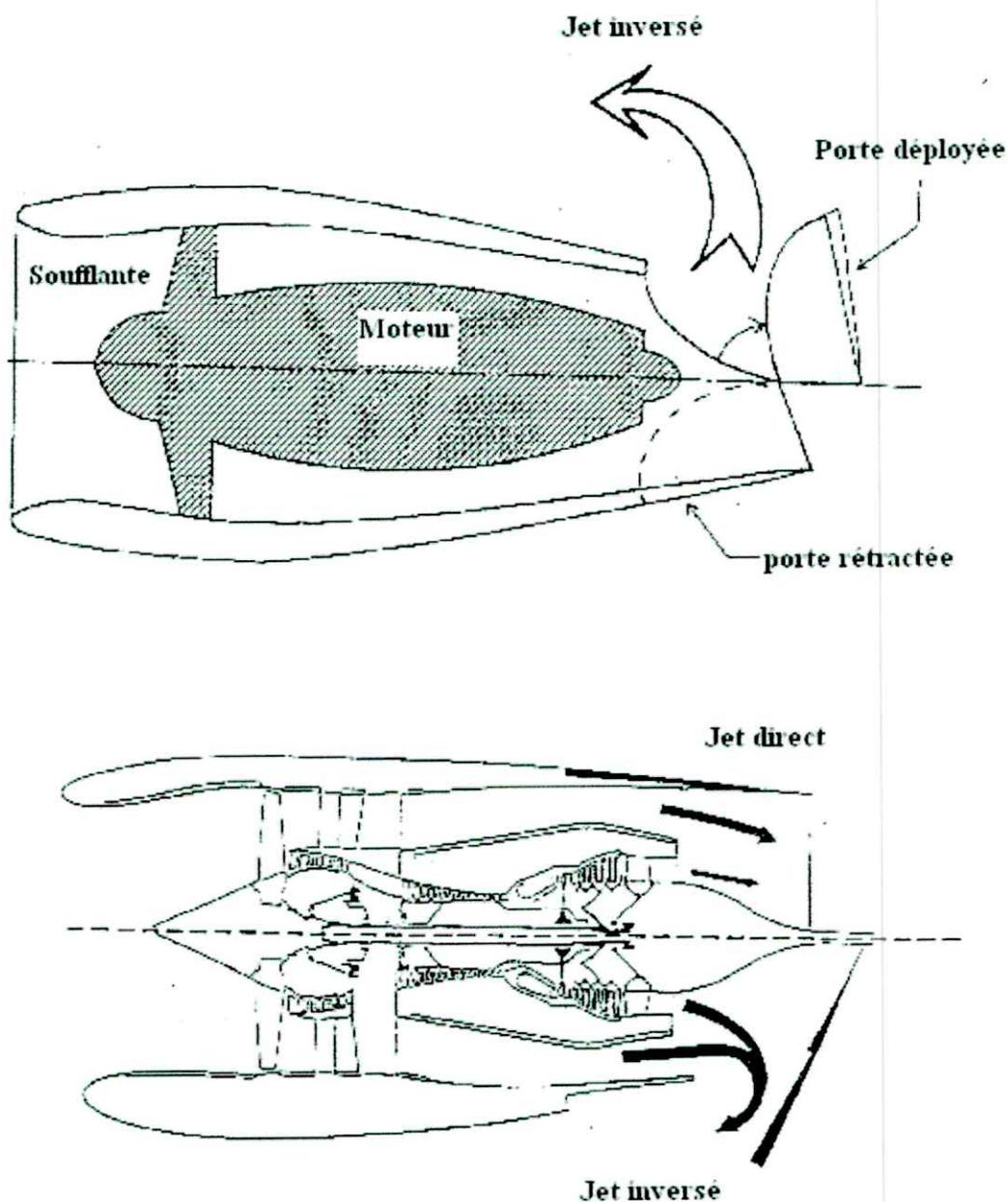


Fig (II.5) L'inverseur à portes de flux mélangé

#### d) L'inverseur en cascade :

Ce type d'inverseur détourne uniquement le flux secondaire. Le flux est dévié de l'intérieur par une porte interne qui bloque le flux et le conduit vers l'extérieur à travers une ouverture sur la surface externe du moteur. Cette ouverture est obtenue par translation d'un manchon extérieur lors du déploiement des portes intérieures. Quand le manchon s'ouvre, une série de cascade se trouve exposée dans l'ouverture. Ces cascades sont conçues avec des angles d'inclinaisons différents ce qui a pour effet de contrôler parfaitement le flux dévié. Ce système offre la meilleure performance, mais sa réalisation et sa conception sont très délicates et coûteuses. Nous pouvons retrouver ce système sur les moteur PW4000 et IAE V2500.

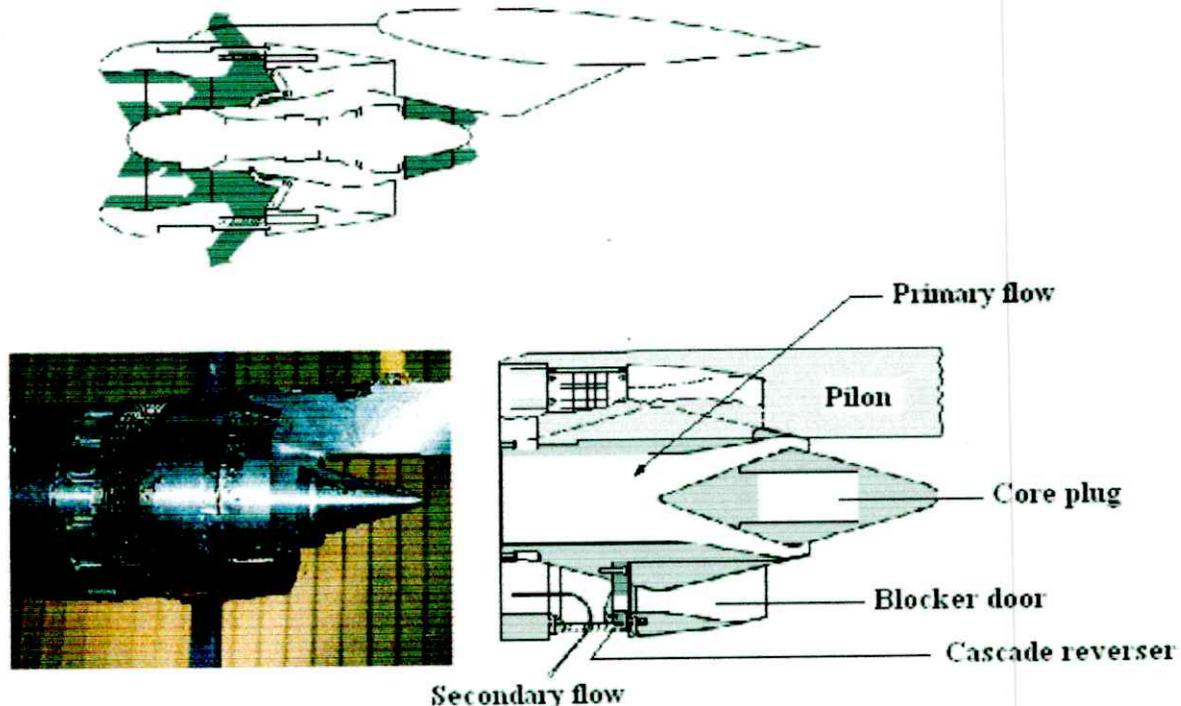


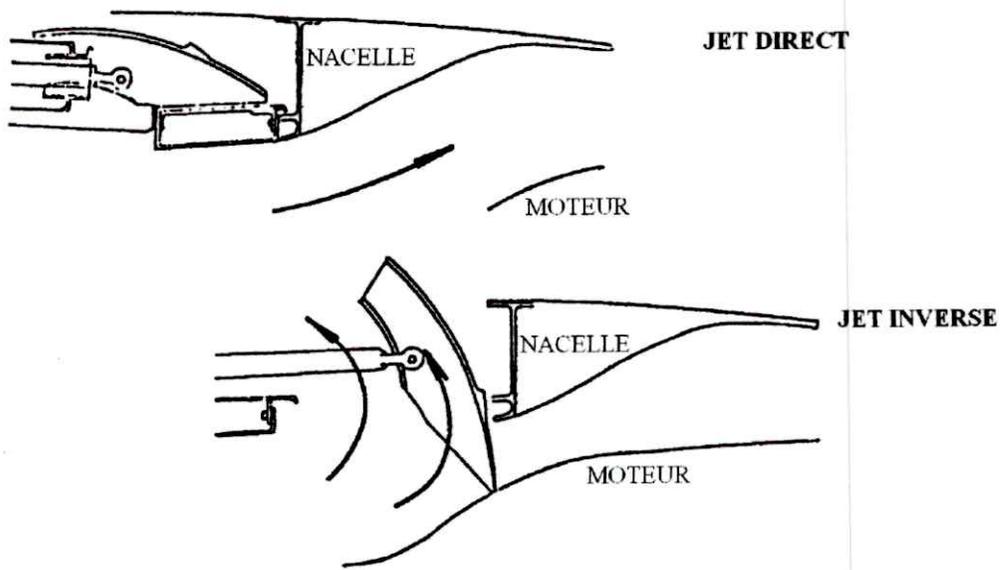
Fig (II.6) L'inverseur en cascade

#### e) Inverseur système mixte :

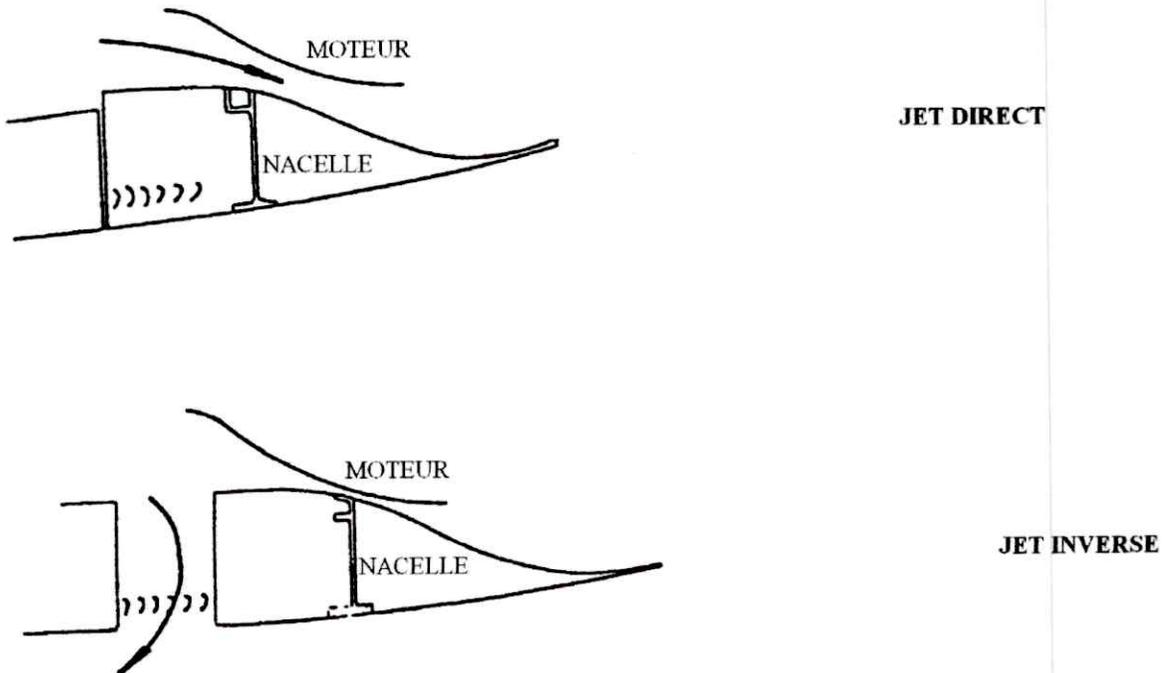
Ce système utilisait un système à porte ne déviant que le flux secondaire dans sa partie supérieure et utilisait un inverseur à grille pour sa partie inférieure.

Ce système d'inversion avait été conçu pour le Boeing 707-120B par Pratt & Whitney, mais il n'est plus utilisé actuellement.

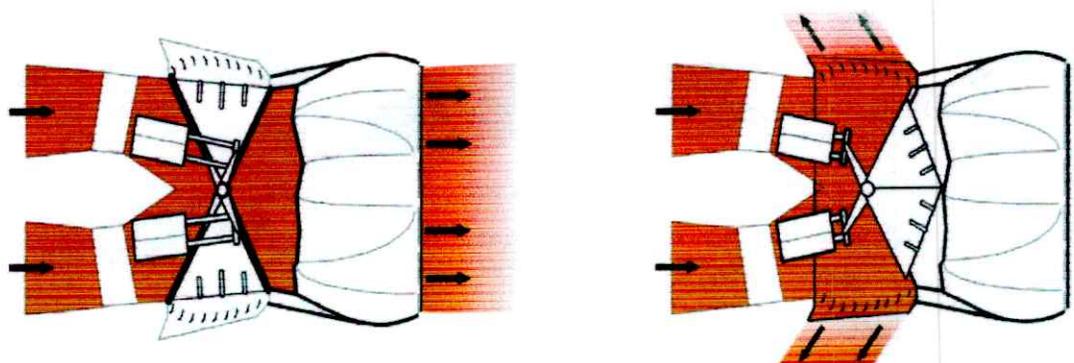
**PARTIE SUPERIEURE** (Obstacles en forme d'aubages)



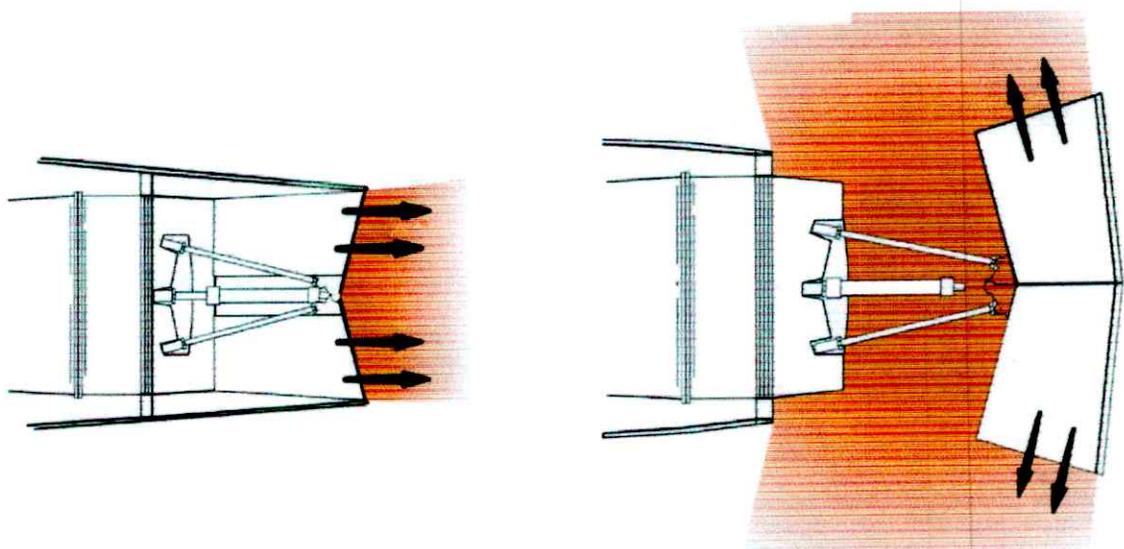
**PARTIE INFERIEURE** -Obstruction par translation  
-Aubages démasqués durant translation



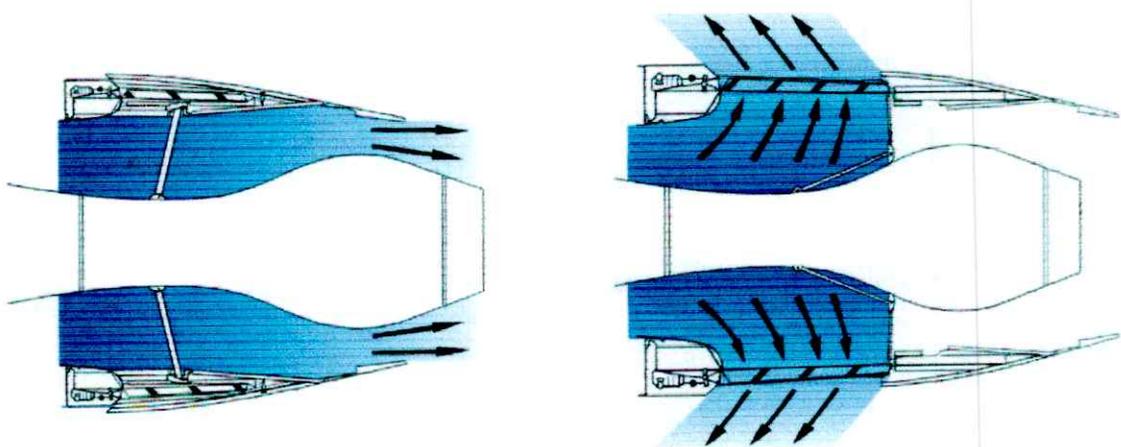
**Fig (II.7) Inverseur système mixte**



PORTES A COQUILLES



PORTES DEFLECTEURS



INVERSION DU FLUX  
SECONDAIRE

Fig (II.8) Les différentes méthodes d'inversion de poussée

## II.6 Limitations d'emploi d'un inverseur de poussée:

L'utilisation de l'inverseur de poussée se trouve limitée par différents problèmes:

### a) Les charges sur la voilure pour les moteurs installés sous ailes:

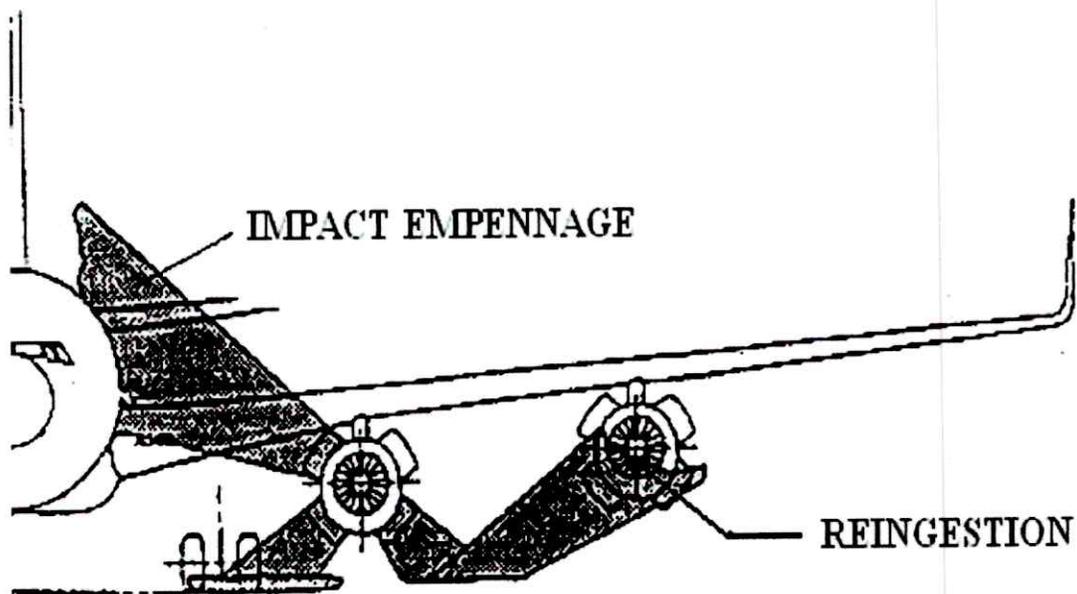
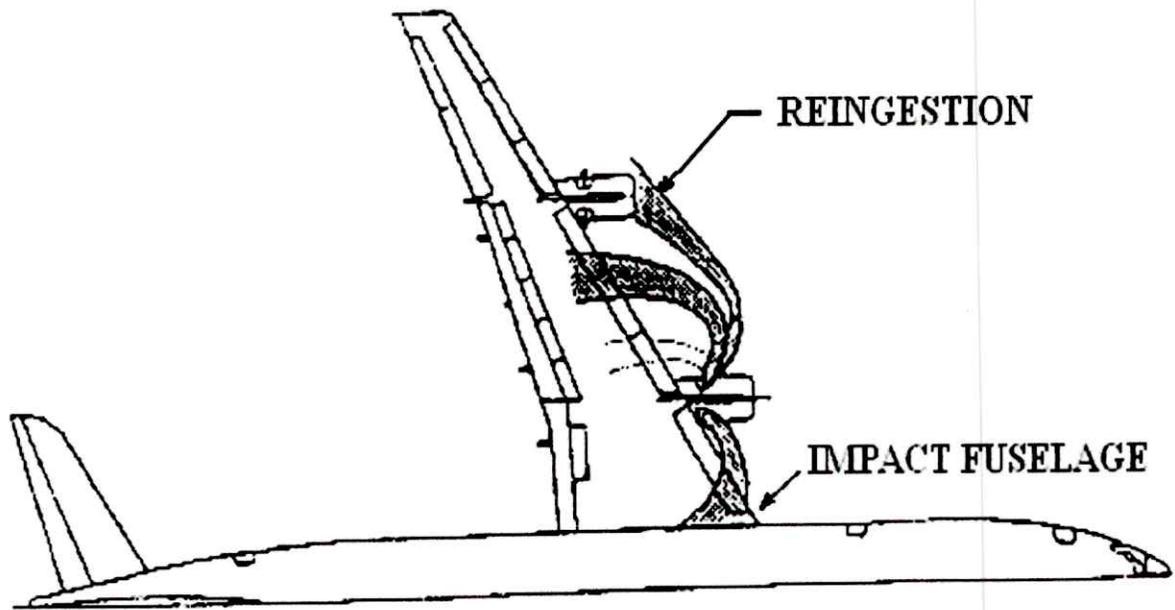
On note à bas régime une augmentation de traînée proportionnelle à la surface interceptée par les obstacles déployés dans le vent (portes). En terme de portance, un inverseur de poussée dégrade l'écoulement autour de la voilure et entraîne logiquement une certaine baisse de la portance.

### b) Interaction avec les mesures anémométriques :

Les prises de pression anémométriques, qui donnent la vitesse de l'avion, se situent sur la pointe avant du fuselage. Les nappes déviées par l'inverseur viennent perturber le champ de pression autour de ces prises, entraînant ainsi une fausse lecture de la vitesse.

### c) Réingestion :

Il s'agit de la recirculation des gaz éjectés par l'inverseur dans l'entrée d'air. Elle est due principalement à une réflexion du jet inversé sur un élément extérieur: par exemple, sur le BR 710 situé à l'arrière du fuselage, le risque de réingestion vient de la réflexion du jet sur la voilure. La limite de réingestion résulte alors d'un compromis entre l'efficacité de cet inverseur imposant un régime minimal du moteur et la durée d'utilisation.



- Fig (II.9) Limitation d'emploi d'un inverseur de poussée -

#### **d) Ouverture intempestive en vol:**

Le principal risque associé à un inverseur de poussée réside dans ce problème. C'est pourquoi sont installés sur les inverseurs de vérins de verrouillage pour empêcher les portes de l'inverseur de s'ouvrir accidentellement en plein vol. Ce risque est traditionnellement étudié en vol et fait l'objet d'un système de sécurité.

### **II.7 Les paramètres géométriques :**

#### **II.7.1 Géométrie d'un inverseur de poussée :**

La géométrie d'un inverseur à portes est tridimensionnelle. Elle se compose de parties fixes et pivotantes. En mode d'inversion, certains paramètres géométriques jouent un rôle important dans le fonctionnement aérodynamique du système. En phase de développement, ils permettent d'ajuster les performances de l'inverseur avec les exigences des motoristes. Ce sont:

1. La longueur de porte.
2. La longueur du becquet. Le becquet est une pièce rajoutée au sommet de la porte qui contribue largement à l'efficacité de l'inverseur en déviant le jet.
3. La longueur du puit d'inversion, c'est à dire la section du col géométrique de sortie ramenée à une longueur de référence.
4. La taille des fuites (mesurées en % de la section de sortie du jet direct). Ces dernières existent forcément car en position ouverte la porte ne peut récupérer tout le jet. Il peut être utile de les augmenter pour pouvoir gagner du débit. On le fait en créant un petit espace entre les deux portes.
5. La forme du bord de déviation (rond ou plat).
6. L'angle d'inclinaison de la porte par rapport à l'axe moteur.

#### **II.7.2 L'influence des paramètres géométriques sur l'inverseur de poussée :**

##### **a) Longueur du becquet :**

Pour un inverseur à porte, le becquet produit la plus grande part de la composante longitudinale de la contre-poussée. Entre une configuration sans et avec becquet, l'efficacité augmente de manière importante. Par contre, son influence est négligeable sur le débit.

L'écoulement sortant de l'inverseur est guidé par la forme géométrique du haut de porte. En absence de becquet, il reste parallèle à celle-ci, avec un angle proche de la perpendiculaire à l'axe moteur. On a donc une contre-poussée relativement faible. Le becquet joue un rôle de déflecteur et oriente le jet avec un angle plus grand sans pour autant réduire le débit. Comme la partie la plus énergétique du jet se situe près de la porte, il n'est pas nécessaire d'avoir un becquet très long pour produire un effet significatif

#### **b) Longueur des portes :**

L'efficacité et le coefficient de débit du flux primaire augmentent nettement avec la longueur de porte alors que le coefficient de débit de flux secondaire augmente mais moins fortement. L'efficacité est maximale pour une longueur de porte de l'ordre du diamètre de la tuyère au niveau de l'ouverture.

#### **c) Surface des fuites :**

Les fuites sur un inverseur en position déployé sont dues au jeu existant entre la porte et les structures fixes. La présence des fuites provoque un accroissement du débit car on augmente globalement la surface géométrique de sortie du jet. Par contre, on observe une diminution de l'efficacité. Il faut noter que cette diminution est acceptable surtout lorsque le niveau des fuites est faible.

On s'aperçoit que c'est surtout le flux primaire qui profite de cette augmentation de débit. Ceci pourrait se comprendre quand on sait que la plus grande partie des fuites se trouvent directement face à l'arrivée du flux primaire.

#### **d) Angle de porte :**

L'augmentation de l'angle de porte entraîne une diminution de débit, les pertes de pression étant plus importantes. Mais elle induit un accroissement de contre-poussée par l'effet conjugué d'un angle initial plus important et de la concentration de la partie la plus énergétique du jet vers la zone d'action du becquet qui voit donc son efficacité augmenter.

#### **e) Longueur du puits d'inversion :**

On constate qu'une augmentation de la longueur du puits d'inversion favorise le passage d'un débit plus important. Par contre, l'efficacité de l'inverseur s'en trouve réduite car le jet pouvant sortir plus facilement, la zone la plus énergétique est moins concentrée au niveau du becquet.

Le débit qui augmente le plus est celui du flux primaire. Ce résultat peut paraître surprenant, vu que l'air du flux secondaire semble profiter le premier de

l'ouverture. En fait, le flux du fan se "débrouille" pour sortir quelles que soient les conditions et donc c'est principalement le flux primaire qui pâtit d'une section trop faible. Si le flux secondaire est dévié plus tôt, il libère de la place pour le flux primaire qui gagne ainsi du débit.

#### **f) Forme du bord de déviation :**

Un bord de déviation plat a tendance à écraser le jet sur la porte (il est difficile à contourner), ce qui provoque une diminution de la section efficace, mais une augmentation de l'efficacité car la porte et le becquet ont plus d'importance.

Un bord de déviation arrondi aura l'effet inverse en guidant mieux le fluide dans le contournement du bord de déviation. On augmente la surface efficace du jet mais on a une perte d'efficacité: le fluide est dévié plus tôt et le becquet ne joue pas pleinement son rôle.

Du point de vue des performances, il est préférable d'utiliser un bord de déviation à bord arrondi.

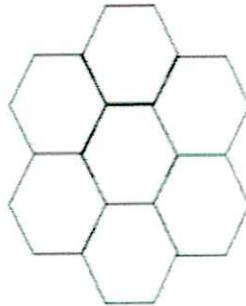
### **II.8 Les développements futurs :**

#### **II.8.1 Les recherches sur la masse :**

Comme nous l'avons fait remarqué lors de la présentation de l'inverseur, celui-ci est la partie la plus lourde du réacteur. Il est évident que dans la recherche perpétuelle de gain de masse pour les avions, réduire la masse des inverseurs apparaît donc comme une priorité. Pour cela, nous avons recensé deux méthodes pour obtenir un gain en masse :

##### **➤ Structure en nid d'abeille :**

On utilise pour réaliser cet objectif un sandwich de matériaux. On place entre deux couches d'alliages métalliques une structure à géométrie dite en nid d'abeille. Architecture très résistante aux contraintes concernées, à savoir torsion et flexion, et qui a l'avantage d'être en fait remplie d'air ce qui a pour effet de réduire sa masse

**Exemple de l'architecture dite nid d'abeille :****Fig (II.10) Structure en nid d'abeille.****➤ Utilisation de composites :**

L'utilisation des matériaux composites carbone/carbone permet une utilisation pour des très hautes températures. En effet, les caractéristiques mécaniques d'une pièce fabriquée dans ce matériau augmentent avec la température. On peut donc plonger l'inverseur dans le flux primaire, très chaud, sans craindre une rupture due à la température.

Le principal inconvénient de ces structures en carbone/carbone est en premier lieu leur prix important mais aussi la technicité pour obtenir un résultat fiable et viable.

**II.8.2 Les recherches sur le bruit :**

Le bruit n'est pas le plus gros problème sur les inverseurs de poussée. En effet, ceux-ci ne sont utilisés que sur un laps de temps très court lors de l'atterrissage, néanmoins de nombreuses recherches ont été effectuées. Parmi les solutions apportées se trouve l'inclinaison de la porte (on doit optimiser l'angle d'ouverture de celle-ci), ainsi que l'orientation des cascades.

Les recherches sont à un point où un gain de 1 dB équivaut à 1% de plus de frais d'exploitation pour la compagnie exploitant les avions, ce qui ralentit évidemment les recherches.

## Chapitre III

# Etude de l'inverseur de poussée du moteur CF6-80A3

### III.1 Système d'inversion de poussée du CF6-80A3 :

L'inverseur de poussée du moteur CF6-80A3 constitue le capotage du moteur et fournit une tuyère d'éjection des gaz. Il possède un mécanisme pour inverser la poussée.

L'échappement des gaz se fait à partir d'une structure fixe. La commande de fonctionnement de la reverse se situe en cockpit (cabine de pilotage).

### III.2 Dispositifs d'éjection (Fig III.1) :

Ils assurent :

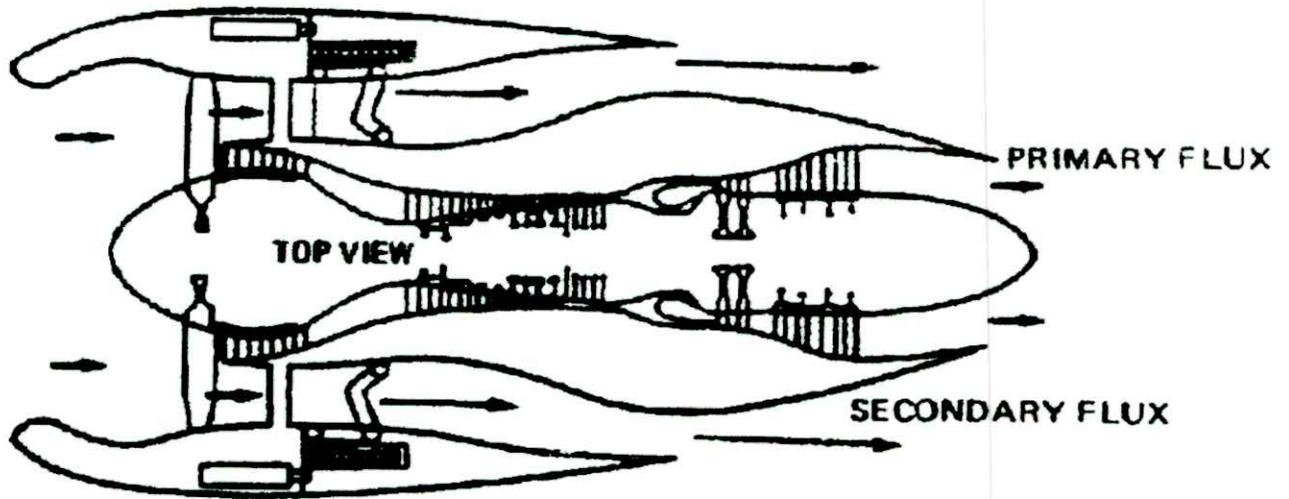
- la détente du flux primaire.
- La détente et l'inversion de poussée du flux secondaire.

#### III.2.1 Principe :

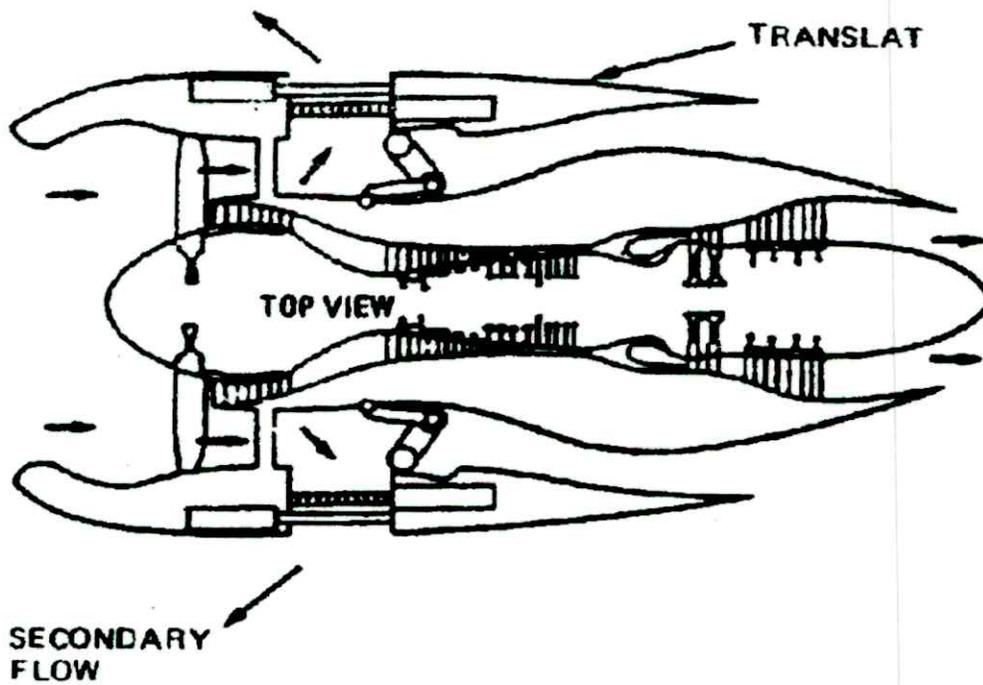
La tuyère primaire est à géométrie fixe au régime de décollage, le flux primaire développe 23% de la poussée totale réacteur.

La tuyère secondaire est constituée de 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 (translating cowl) se déplacent vers l'arrière d'environ 56 cm. Ce déplacement entraîne l'obstruction de la veine secondaire et démasque des 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 décollage.



POUSSEE : FAN ——— 77%  
CORE ——— 23%



INVERSION DE POUSSEE : FAN REV ——— 40%

Fig (III.1) Dispositif d'éjection.

### III.2.2 Tuyère secondaire : Fig (III.2)

Le canal d'éjection secondaire est constitué par les demi couronnes extérieures « Fan reverse » fixée par des charnières de part et d'autre du mât réacteur. La partie avant de chaque demi couronne est rendue solidaire du carter de fan réacteur par deux leviers et un crochet A, B et C.

A la partie inférieure du réacteur, trois leviers D, E, et F fixent les demi couronnes l'une par rapport à l'autre.

Chaque demie couronne comporte : Fig (III.3)

-Une structure métallique fixe sur laquelle sont disposées :

- Des grilles déviatrices.
- Un dispositif de commande de contrôle d'inversion de poussée

-Une structure mobile entièrement constituée de matériaux composites.

La structure mobile supporte (06) volets déviateurs (B)

Les volets déviateurs sont reliés à la partie fixe par des biellettes.

Lorsque l'inversion de poussée n'est pas utilisée, les volets sont intégrés dans la paroi interne de la structure mobile et obturent ainsi l'accès aux grilles déviatrices.

Le flux s'écoule vers l'arrière par l'espace existant entre la structure mobile et la structure fixe. Ce canal d'éjection est muni de panneaux d'isolation acoustique comporte un revêtement semi métallique impénétrable par l'eau, le glycol, le JP4 et5, le pénétrant zyglo, le skydrol et lubrifiant réacteur.

Lorsque l'inversion de poussée est utilisée, la structure mobile est entraînée vers l'arrière par trois vérins à vis. Les volets pivotent autour de leurs axes et obturent entièrement la tuyère secondaire.

Les grilles d'inversion sont démasquées. Le flux primaire est alors éjecté latéralement.

Pour effectuer les opérations de maintenance et faciliter l'accès au réacteur, chaque demi couronne peut être élevée à l'aide d'un vérin hydraulique. Chaque vérin est fixé à la partie supérieure du mât réacteur. Un clapet auto obturateur accessible à la partie basse de la structure permet la connexion d'une pompe hydraulique manuelle portable. Le circuit hydraulique de levage comporte un filtre et un orifice restreint destiné à freiner la descente des demi couronne. Le levage peut s'effectuer dans un temps d'environ 70 secondes.

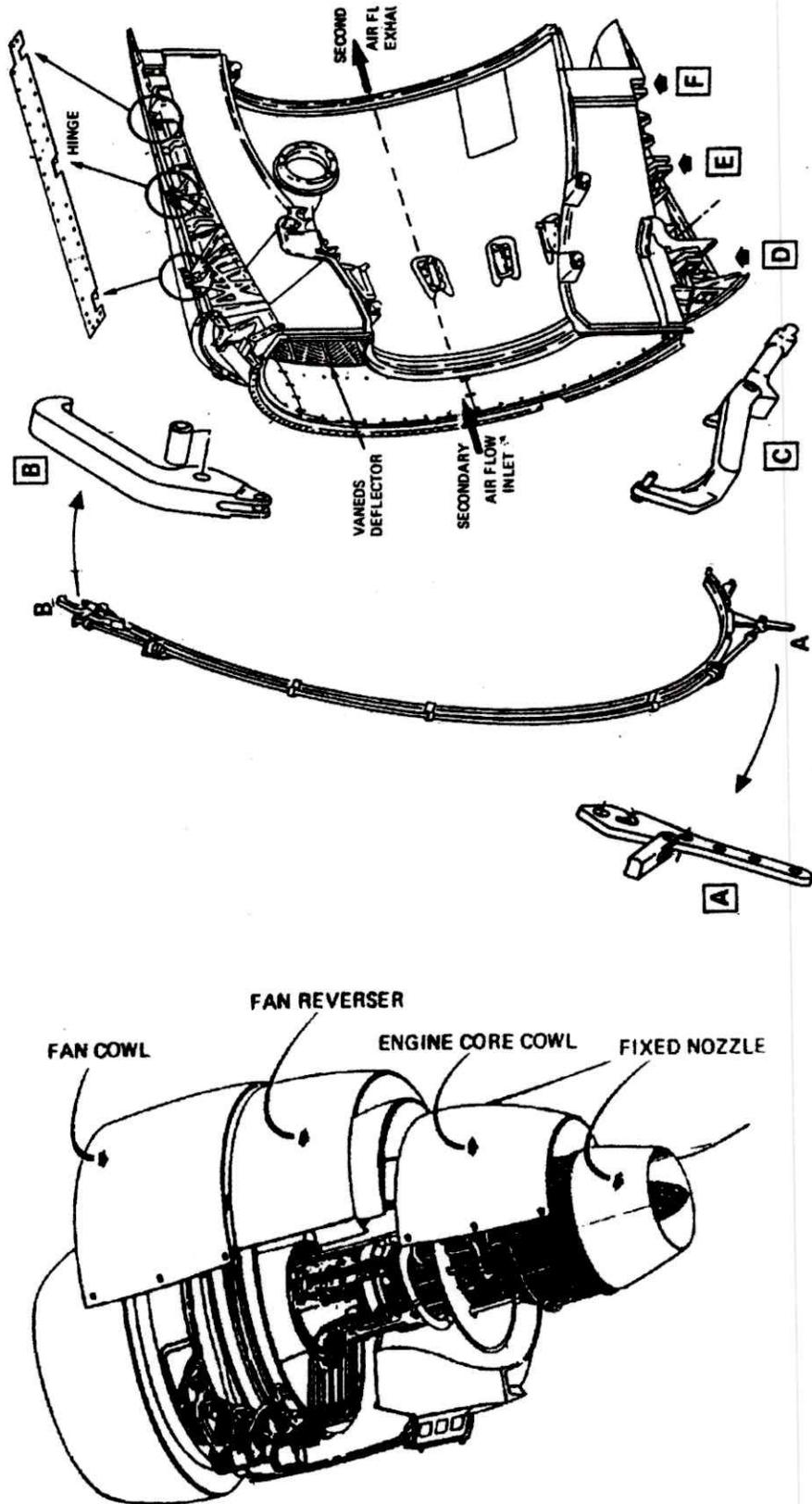


Fig (III.2) Tuyère secondaire.

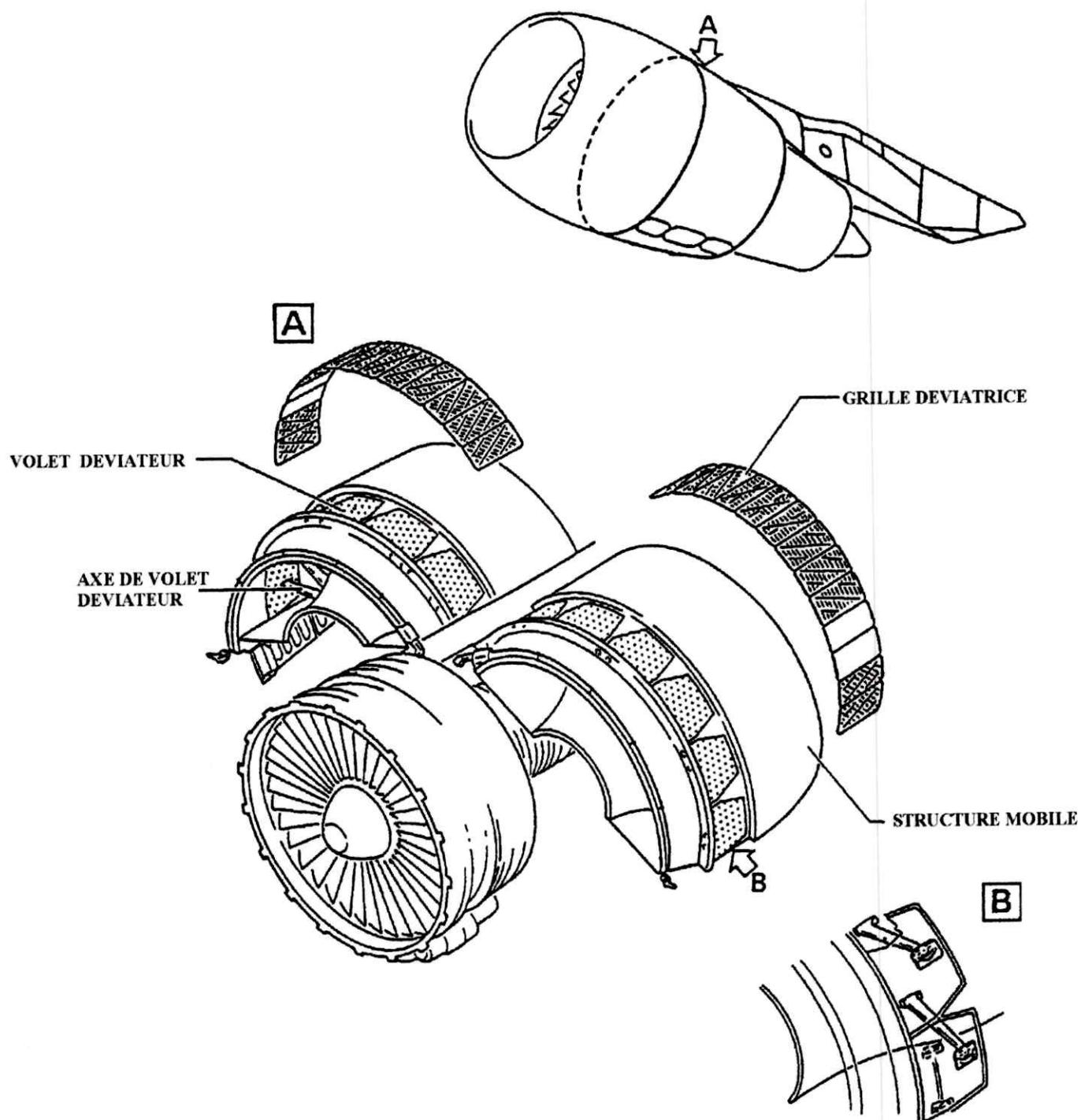


Fig (III.3) Les éléments de l'inverseur de poussée.

### III.3 Inversion de poussée :

#### III.3.1 Généralités : Fig (III.4)

L'énergie utilisée pour déplacer les demis couronnes mobiles de l'inverseur est fournie par le circuit pneumatique avion (ECS). Suivant le régime réacteur c'est le 14ème étage du compresseur HP réacteur (au travers la vanne HP) ou le 8ème 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. En aucun cas le circuit ne peut être alimenté par l'APU.

Le système d'inversion de poussée comprend : Fig (III.5)

- Un ensemble de commande, contrôles et retour d'asservissement.
- Un régulateur de pression et d'arrêt (Pressure Regulator and shutoff Valve : PRV).
- Deux moteurs pneumatiques (Center Drive Unit : CDU) munis chacun d'une vanne de sélection du sens de rotation (Directional Control Valve : DCV).
- Une vanne électro-pneumatique de commande du sens de rotation (Directional Pilot Valve : DPV).
- Six vérins à vis répartis de la façon suivante :  
Sur chaque demi couronne :

-Un vérin à vis en position centrale est entraîné directement par le moteur pneumatique.

- Deux vérins à vis (l'un en position haute, l'autre en position basse) sont entraînés par le moteur pneumatique au moyen d'arbre flexible.

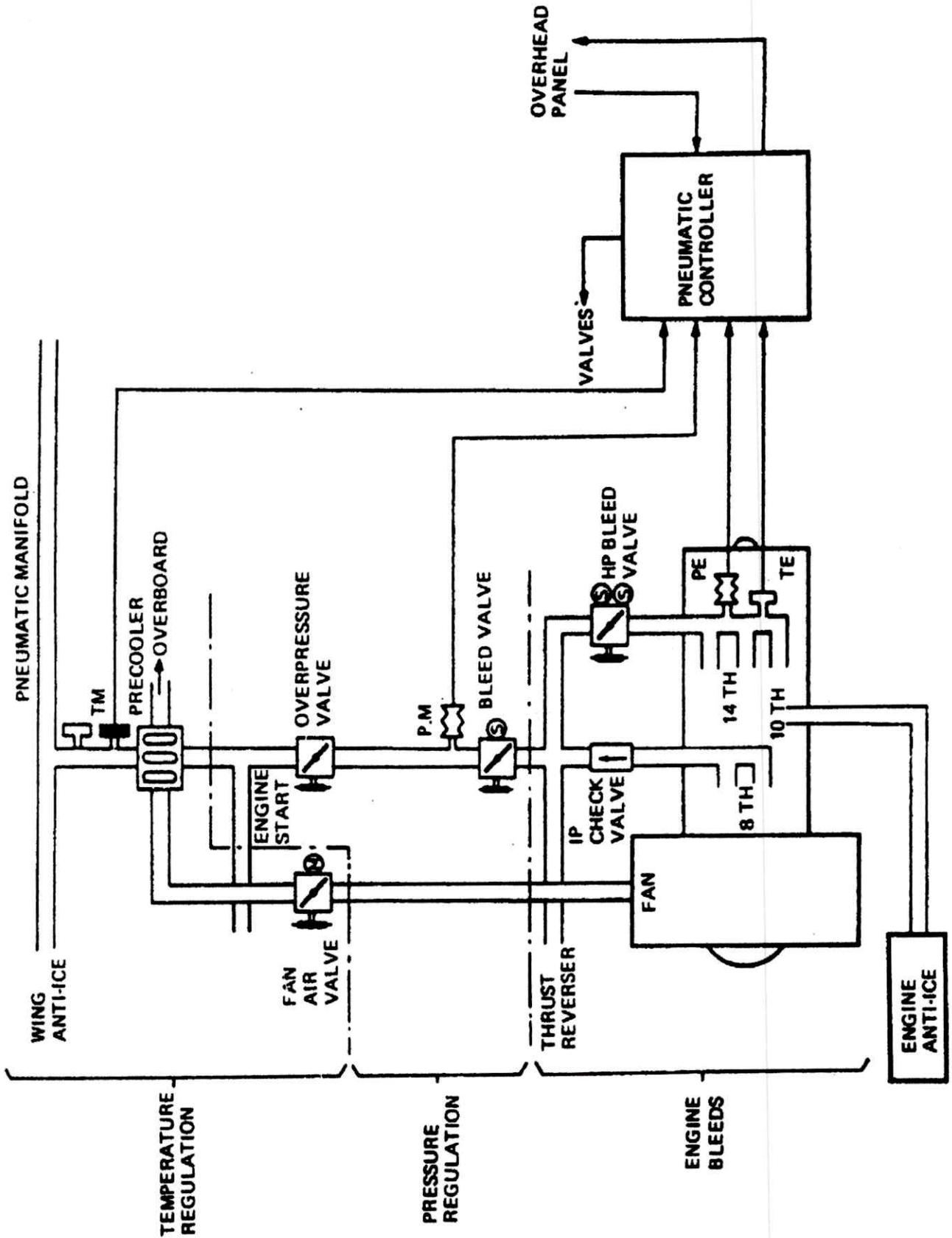


Fig (III.4) Alimentation pneumatique des inverseurs

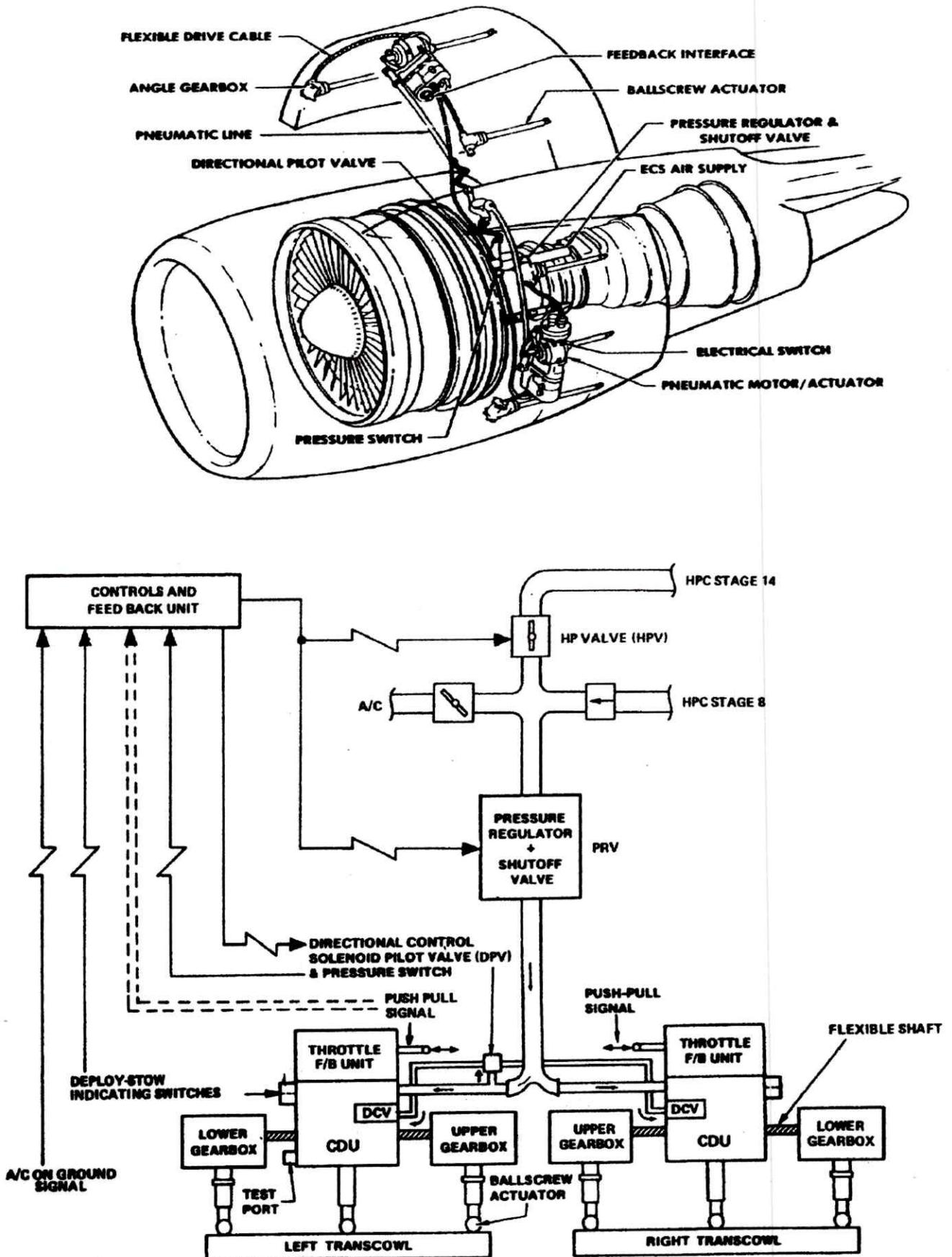


Fig (III.5) Inversion de poussée -Circuits de commande et de contrôle.

### III.3.2 Description de fonctionnement :

#### III.3.2.1 Dispositifs de commande et de retour d'asservissement : Fig (III.6)

Les manettes d'inversion se trouvent à l'avant des manettes de poussée normale. Elles ne peuvent être utilisées que lorsque les manettes réacteur sont en position « ralenti ».

La manœuvre de l'inverseur de poussée est déclenchée lorsque la manette d'inversion est élevée de 23°. Voir Fig (III.7), Fig (III.8).

A partir de cette position, les solénoïdes des vannes, d'alimentation pneumatique HPV, de régulation PRV et de commande du sens de rotation DPV, sont positionnées. Le moteur pneumatique est activé.

Durant le transit des inverseurs, un signal de retour d'asservissement, issu des CDU, interdit le déplacement du relais primaire de commande de poussée.

Après un délai d'environ deux secondes, l'inverseur dépasse 97% de sa course extension. L'inverseur de poussée est disponible, le dispositif de retour d'asservissement libère le relais primaire. Il est alors possible d'élever la manette jusqu'à 91°30', ce qui a pour effet de permettre une augmentation de régime réacteur jusqu'à pleine poussée inverse.

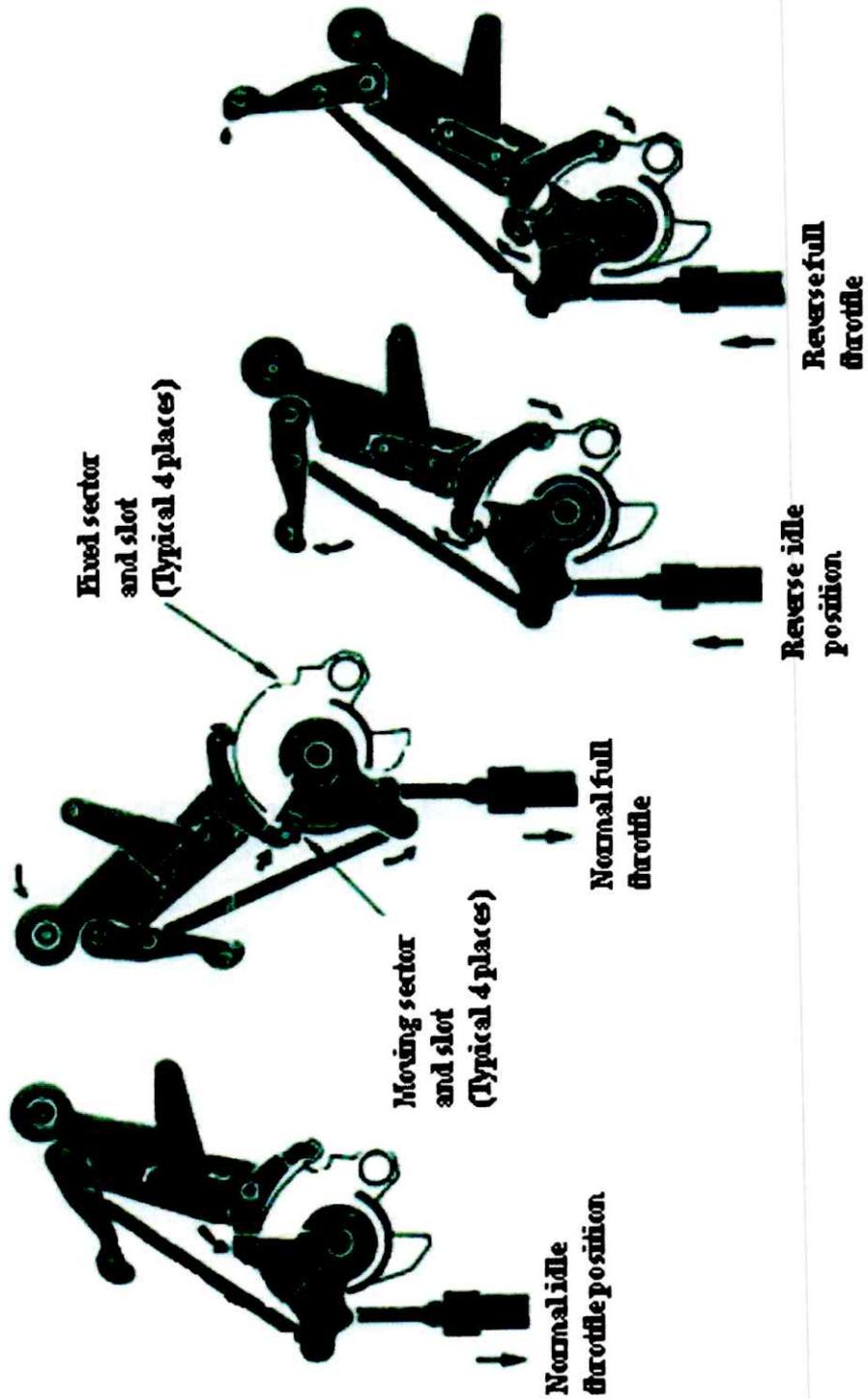


Fig (III.6) Les manettes d'inversion de poussée.

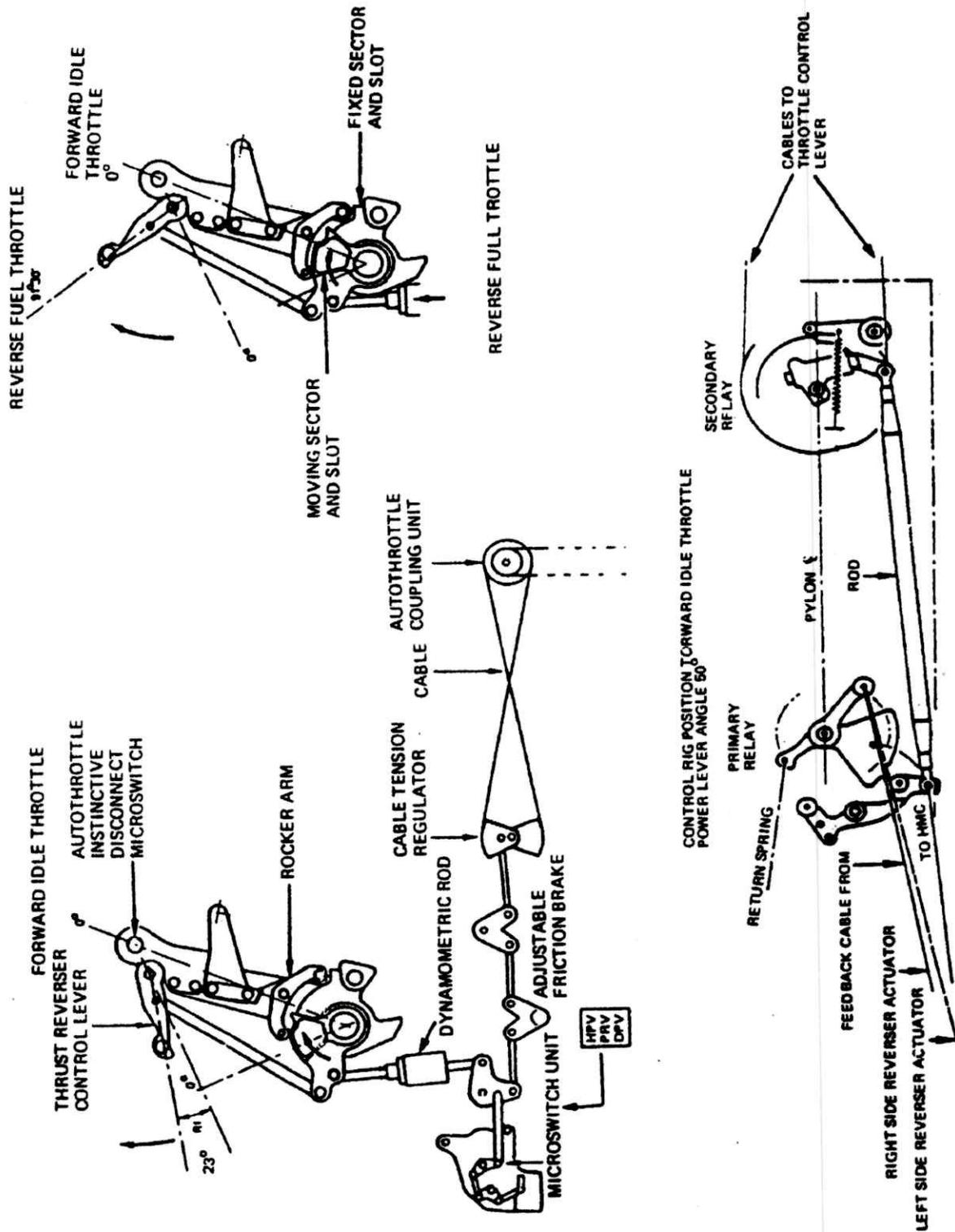


Fig (III.7) Commande de poussée et de verrouillage.

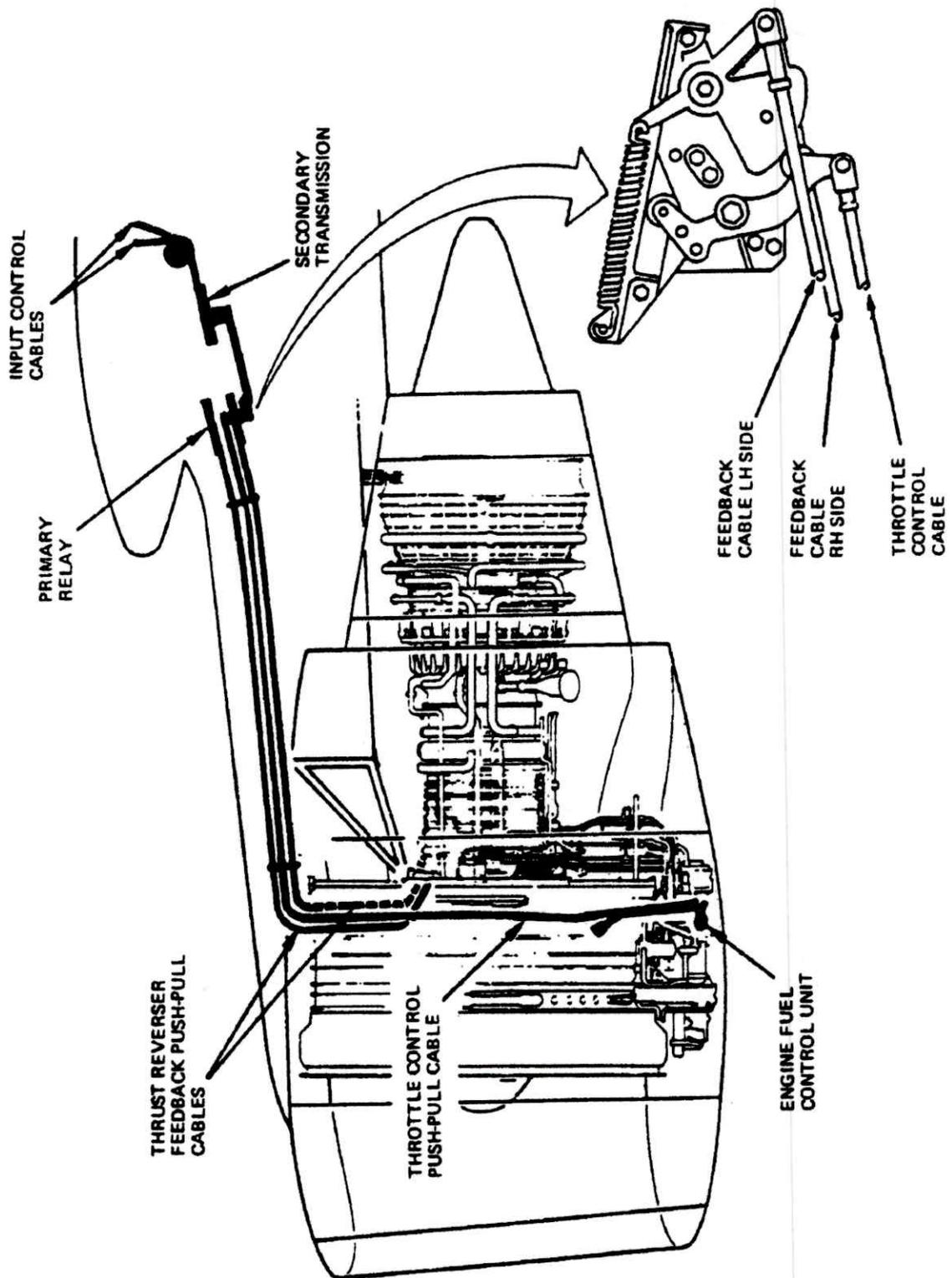


Fig (III.8) commande de l'inversion de poussée  
-Relais primaire-

### III.3.2.2 Signalisation : Fig (III.9)

Deux voyants sont disposés, à l'avant des manettes de poussée, au dessus des instruments réacteurs

#### a) Un voyant ambre repéré « REV-UNLK » :

Il s'allume en deux cas :

-Lorsque collecteur pneumatique d'inversion est sous pression, le signal est émis par un mano contact monté entre le régulateur de pression PRV et la vanne de sélection DPV.

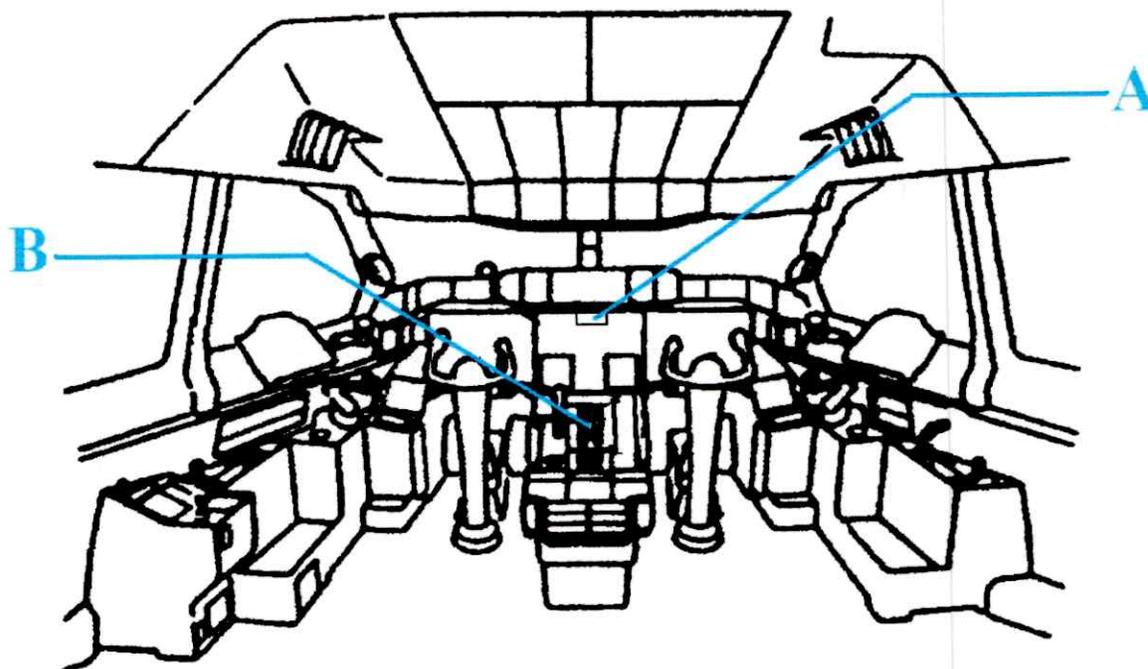
Il confirme l'alimentation du moteur pneumatique CDU ou signale un mauvais fonctionnement du régulateur de pression PRV.

-Lorsque l'inverseur est en transit. C'est-à-dire que l'une ou les deux demi couronne/s d'inversion est/sont à plus de 6.3 mm de la/leur butée avant ou encore à plus de 12.7 mm de sa/leur butée arrière. Ce signal est émis par un boîtier contacteur (Deploy, Stow Indicating Switch) monté sur les CDU. Fig (III.10).

#### b) un voyant vert repéré "REV" :

Il s'allume lorsque les inverseurs arrivent en position arrière c'est-à-dire à moins de 12,7 mm de la butée arrière .l'allumage de ce voyant est réalisé par les boîtiers contacteurs des moteurs pneumatiques et signale la disponibilité de l'inverseur de poussée.

Un schéma électrique général de commande et contrôle est présenté en Fig (III.10)



THRUST REVERSER INDICATING LIGHT

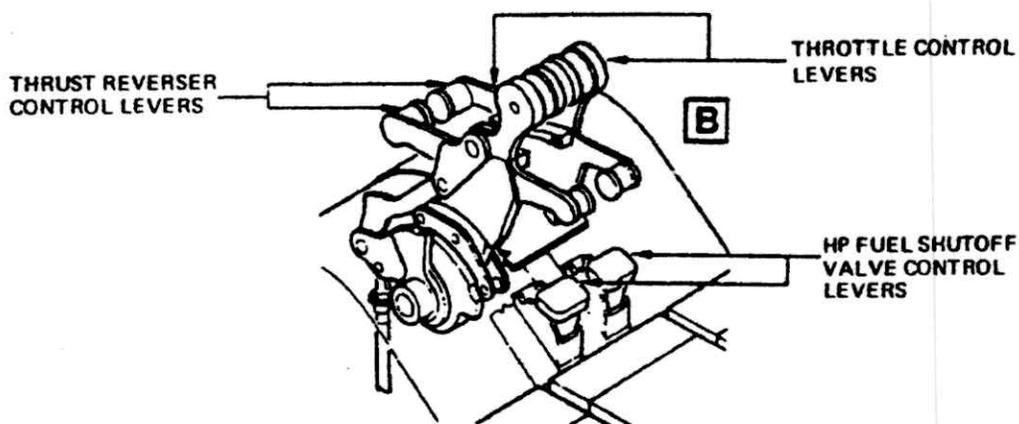
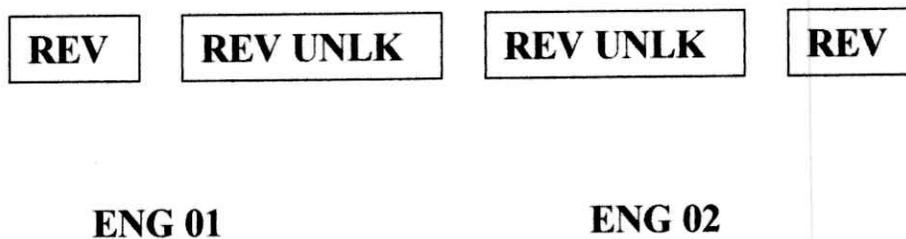


Fig (III.9) Commande de poussée et signalisation.

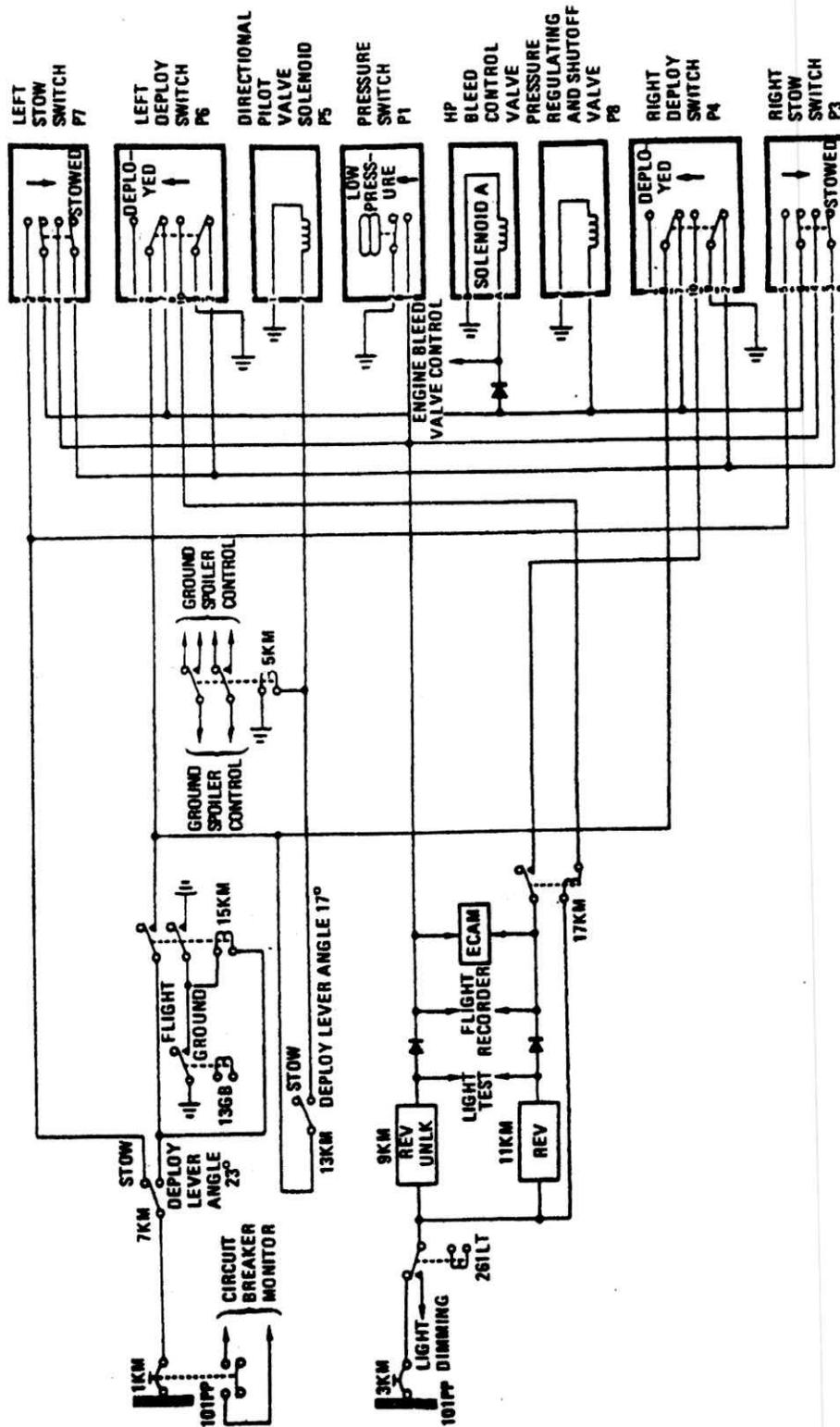


Fig (III.10) Circuit électrique de commande et de contrôle.

### III.3.2.3 régulateur de pression et d'arrêt (PRV): Fig (III.11)

Ce régulateur est monté sur le carter compresseur HP  
Il comporte :

- Une soupape de régulation et d'arrêt normalement fermée par un ressort
- Une électrovanne de commande alimentée en 28V-DC
- Un clapet de surpression taré à  $125 \pm 10$  PSI.
- Un clapet régulateur taré de 90 PSI maximum.

#### Fonctionnement :

La soupape de régulation et d'arrêt est normalement fermée par un ressort. La pression régnant dans le collecteur de génération pneumatique de l'avion concourt à maintenir la soupape fermée (mise à l'air libre ouverte).

Lors des transits de l'inverseur, dans le sens extension ou rétraction, l'électrovanne de commande est alimentée et permet l'admission de l'air sous pression vers la chambre d'ouverture. La soupape de régulation et d'arrêt s'ouvre. Sa section de passage est proportionnelle à la pression régnant dans la chambre d'ouverture. Le clapet régulateur détermine la charge dans la chambre d'ouverture afin que la pression d'alimentation des moteurs pneumatiques n'excède pas 90 PSI.

Si la pression est excessive, le clapet de surpression s'ouvre à  $125 \pm 10$  PSI.

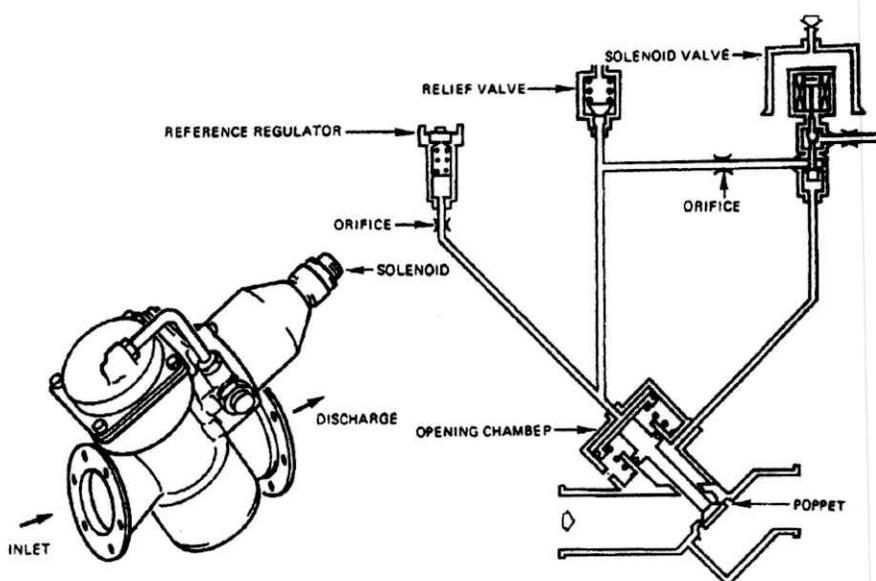


Fig (III.11) Régulateur de pression et d'arrêt (PRV).

### III.3.2.4 Vanne électropneumatique de commande du sens de rotation (DPV) : Fig (III.12)

La DPV est montée sur le même support que le mano contacte de pression sur la demi couronne gauche.

Le solénoïde de commande de la DPV est alimenté durant le transit extension de l'inverseur et pendant toute la période d'utilisation de l'inversion de poussée, c'est à dire, dès que le levier d'inversion occupe une position supérieure à 23°.

Lorsque le solénoïde est alimenté, la DPV est ouverte et envoie la pression du collecteur de reverse vers les deux CDU de façon à alimenter les moteurs pneumatiques dans le sens extension.

Lors du transit rétraction de l'inverseur, le solénoïde de la DPV n'est plus alimenté.

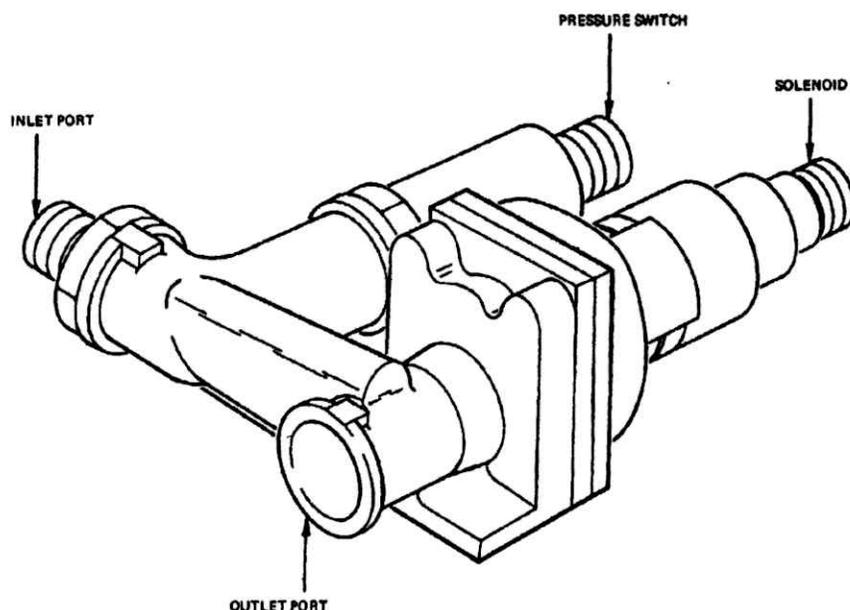
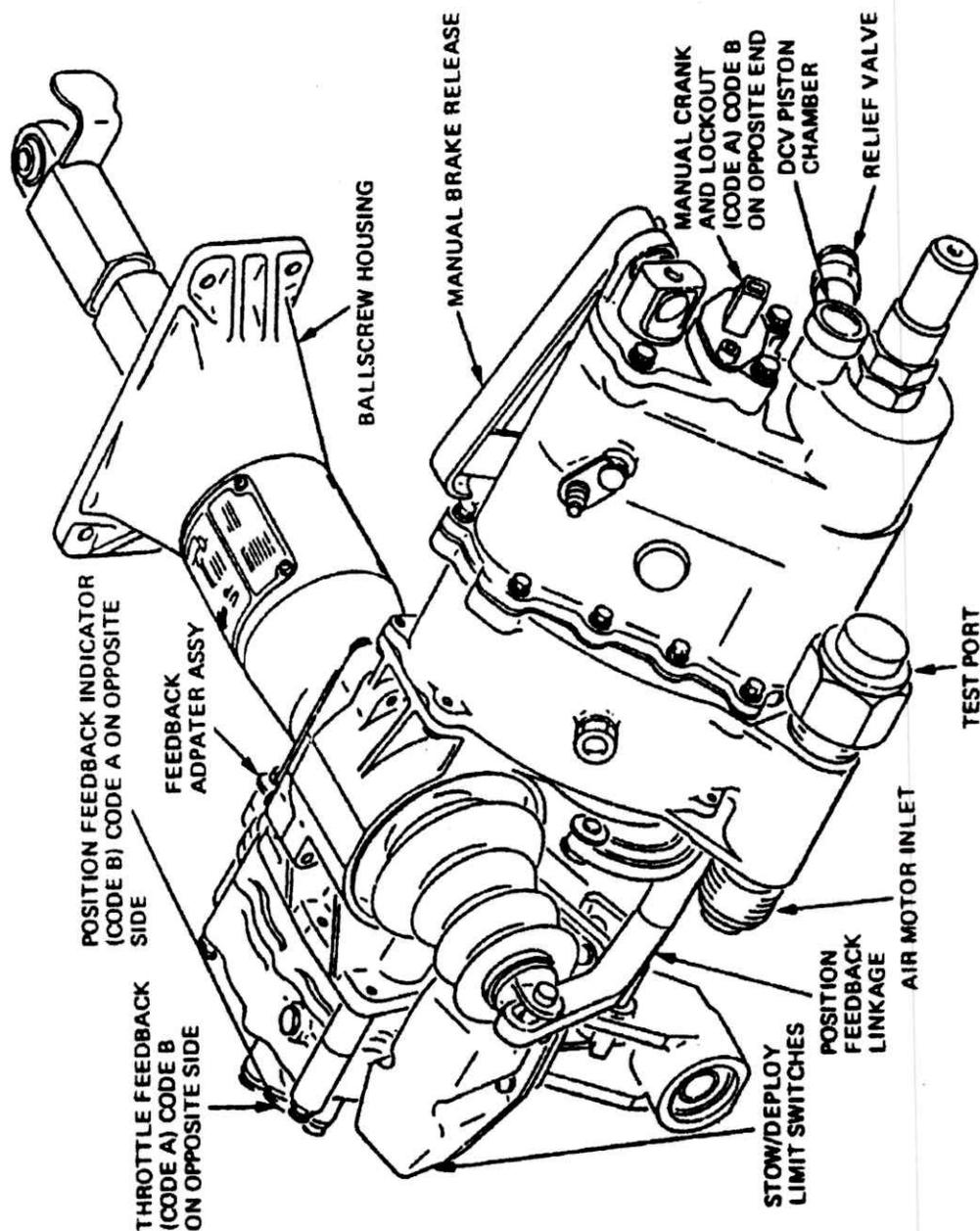


Fig (III.12) La vanne de commande de sens de rotation (DPV)

**III.3.2.5 Moteur pneumatique d'inversion : (Center Drive Unit : CDU)**

Les deux moteurs pneumatiques sont montés en position 3 et 9 heures, à l'extérieur des structures fixes des demi couronnes d'inversion. **Fig (III.13)**



**Fig (III.13) Moteur pneumatique (CDU).**

### III.3.2.5.1 Élément moteur : Fig (III.14).

Il est constitué de deux rotors tri lobes synchronisés par pignons. L'un des rotors entraîne directement le vérin à vis centrale par l'intermédiaire d'un couple conique. Ce rotor comporte un dispositif de freinage unidirectionnel. En position normale, le frein interdit toute rotation du moteur dans le sens extension. Le transit rétraction est toujours libre. Lorsqu'il passe en configuration extension, le piston de sélection du sens de rotation commande le défreinage par l'intermédiaire d'un levier.

Un levier de défreinage manuel est accessible pour les opérations de maintenance. Sa poignée de commande interdit la fermeture du capot de fan en position défreinage.

Le second rotor du moteur entraîne un boîtier d'engrenages et comporte à l'autre extrémité un raccord d'entraînement manuel pour effectuer les opérations de maintenance

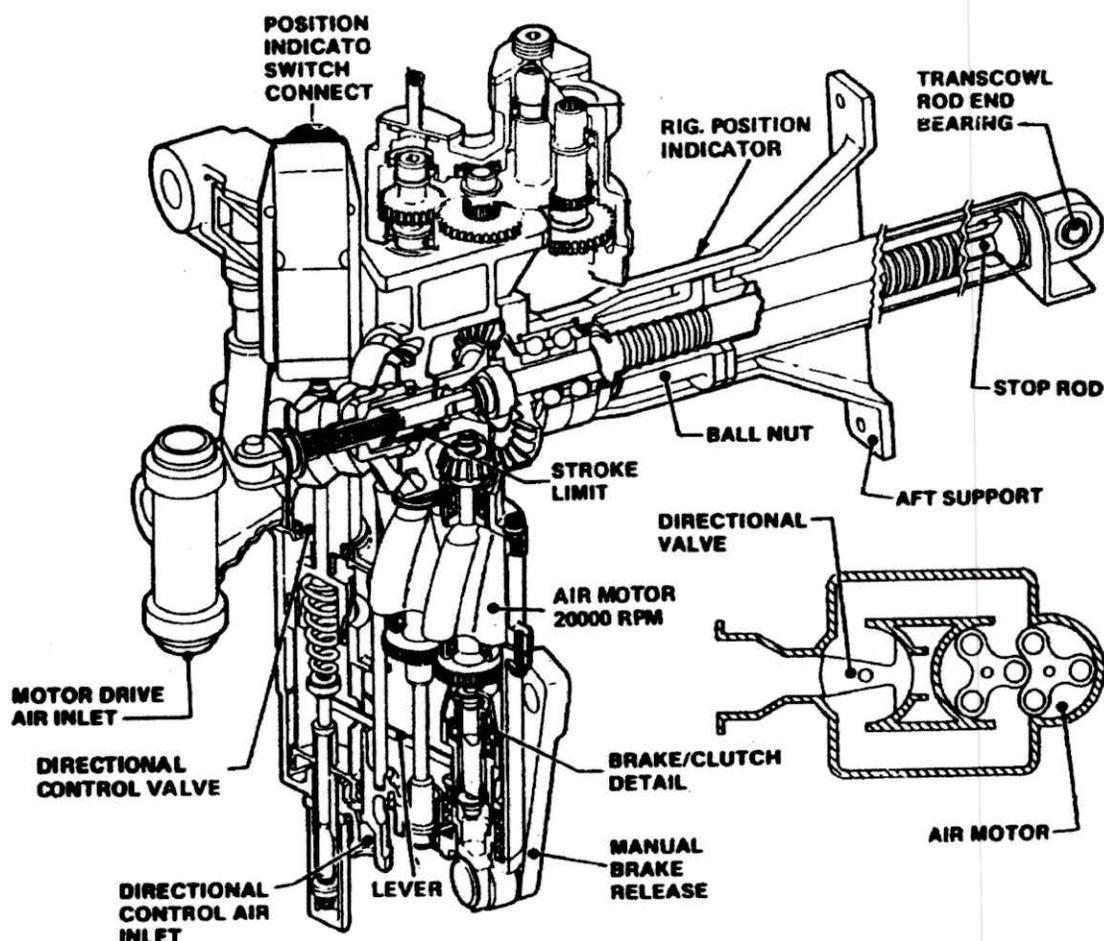


Fig (III.14) Les éléments moteur (CDU).

### III.3.2.5.2 Boîtier d'engrenages : Fig (III.15)

- Le boîtier transmet le mouvement par l'intermédiaire d'arbres flexibles vers les vérins à vis situés à la partie supérieure et inférieure des inverseurs.
- Le boîtier comporte :

Un dispositif de retour d'asservissement destiné d'une part, à interdire toute augmentation de poussée durant le transit des inverseurs, d'autre à ramener la manette de poussée en position ralenti en cas d'extension intempestive des inverseurs.

Le nombre de tours du CDU est proportionnel à la position de l'inverseur. La tige du vérin comporte deux repères de référence qui représentent les tolérances mini/maxi pour le réglage. Le carter qui contient le système de retour d'asservissement permet une inversion de la tige pour éventuelle conversion du CDU (coté gauche ou coté droit). Cette modification nécessite un réajustement en atelier. La plaque d'identification des CDU comporte un numéro (PN) terminé par PO1 ou PO2 respectivement pour le coté gauche ou le coté droit du GTR.

- Un raccord d'entraînement manuel.
- Un dispositif de blocage manuel du CDU pour désactiver l'inverseur de poussée en cas de nécessité (plaquette réversible).

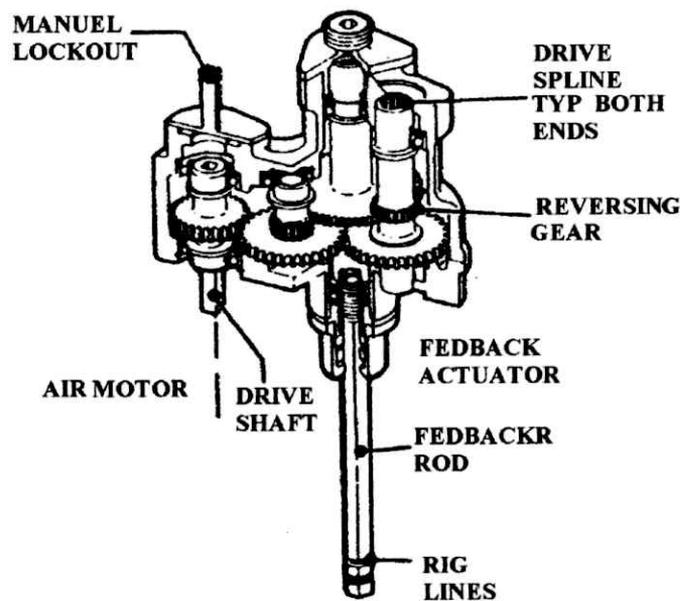


Fig (III.15) Boîtier d'engrenages

### III.3.2.5.3 vérin central à vis : Fig (III.16).

L'arbre creux du vérin à vis est entraîné en rotation par le pignon conique et assure la translation de l'écrou à billes solidaire du corps du vérin. L'arbre creux du vérin central contient une tige d'arrêt et de retour d'asservissement (stop rod).

Les mouvements de la tige d'arrêt sont limités par une butée interne dans le carter avant du couple conique. Un ressort absorbe la charge d'arrêt lorsque la butée du corps de vérin entre en contact avec la butée arrière de la tige d'arrêt (deploy stop surfaces) en fin de transit extension. En fin de transit rétraction, le fond du corps de vérin entre en contact avec l'extrémité conique de la tige d'arrêt (STOW STOP SURFACE).

La tige d'arrêt et de retour d'asservissement est reliée d'une part, à un boîtier de Contacteurs électriques de commande et de signalisation, d'autre part à la vanne de sélection du sens de rotation du CDU.

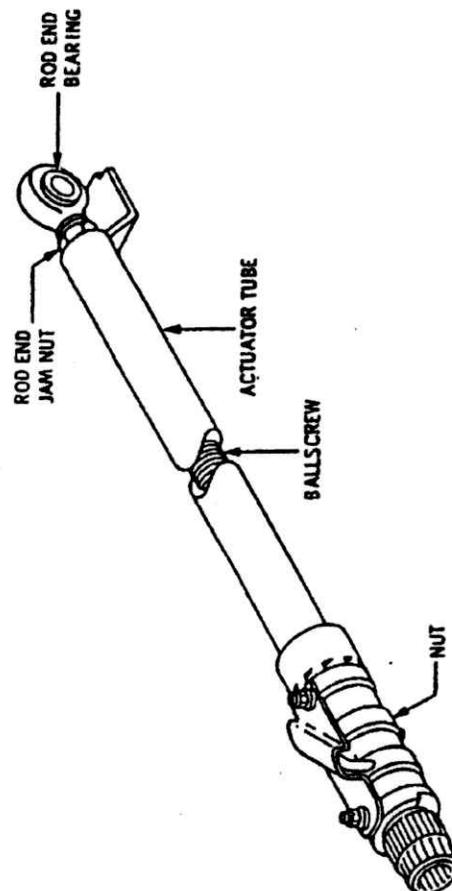


Fig (III.16) vérin à vis central.

### III.3.2.5.4 Boîtier de contacteur électrique : Fig (III.17)

Il comporte les contacteurs de position extension P4 et P6 ainsi que les contacteurs de position rétraction P3 et P7.

Le boîtier des contacteurs est interchangeable. Les contacteurs P4 et P6 sont fermés lorsque les inverseurs sont à plus de 12.7 mm de la butée arrière. Les contacteurs P3 et P7 sont fermés lorsque les inverseurs sont à plus de 6.3 mm de la butée avant.

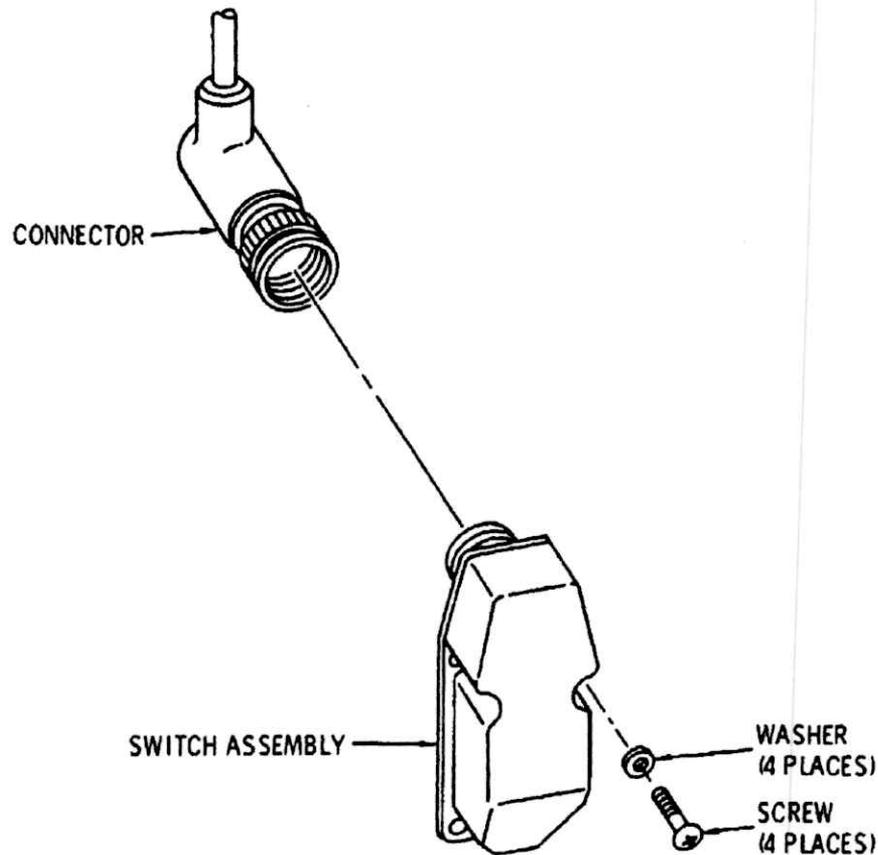


Fig (III.17) Boîtier de contacteur électrique.

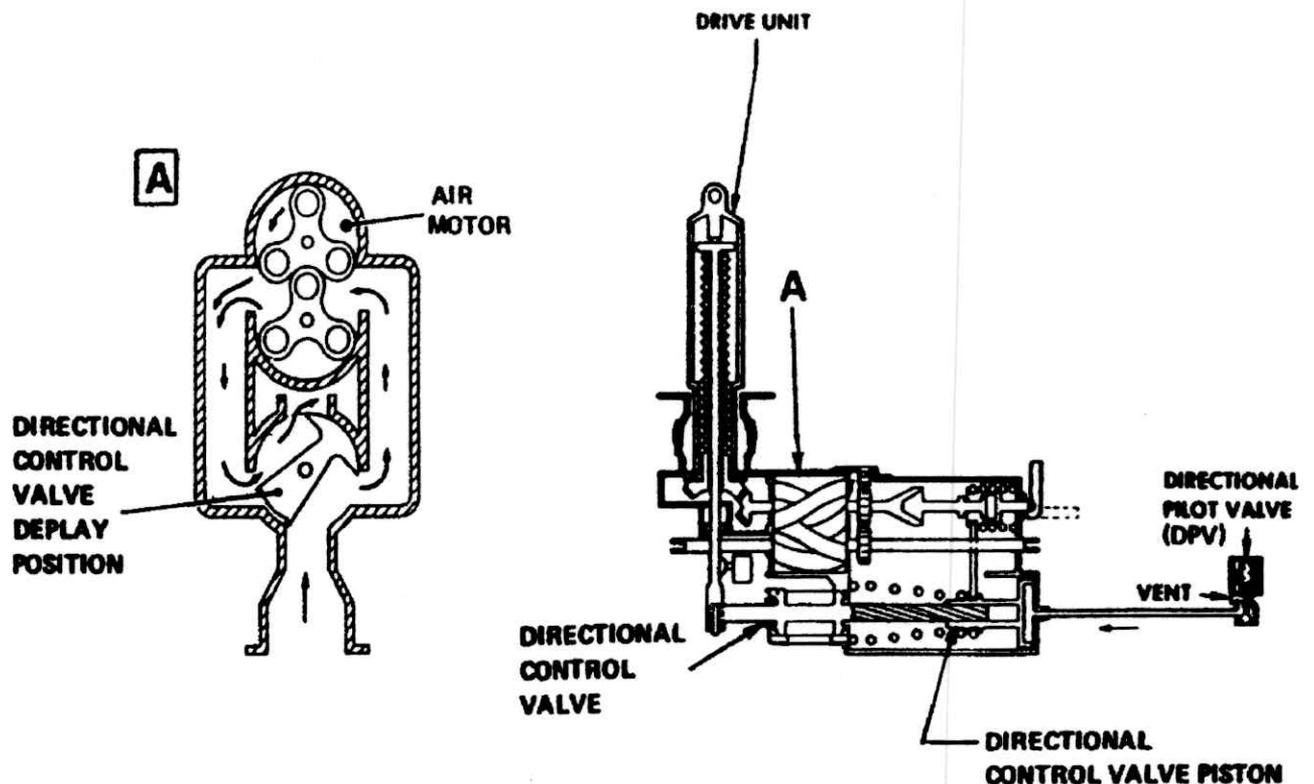
### III.3.2.5.5 Vanne de sélection du sens de rotation (DCV): Fig (III.18).

Au repos, un ressort entraîne la DCV vers la position rétraction. Lorsque le piston de commande est soumis à la pression du collecteur pneumatique d'inversion, il entraîne par l'intermédiaire d'une rampe hélicoïdale, la vanne de sélection vers la position pleine extension.

En fin de course extension, la tige d'arrêt et de retour d'asservissement surpasse l'action du piston de commande et amène progressivement la vanne de sélection en position neutre (fermeture complète).

Lors de la rétraction des inverseurs, le piston n'est plus soumis à la pression (DPV à l'air libre), le ressort le ramène en position de repos. La vanne de sélection est ramenée en position rétraction par son ressort. En fin de course rétraction, la tige d'arrêt surpasse l'action du ressort et réduit la section de passage de la vanne de sélection de façon à diminuer la vitesse de rotation et le couple du moteur. Lorsque l'inverseur est en butée rétraction, la vanne de sélection reste légèrement ouverte.

Un raccord (test port) accessible sur chaque CDU permet l'alimentation pneumatique de l'inverseur pour essai au sol.



Fig(III.18) Vanne de sélection du sens de rotation (DCV).

III.3.2.6 vérins à vis secondaires : Fig (III.19).

Les vérins à vis inférieurs et supérieurs sont synchronisés avec le vérin central par le boîtier d'engrenages et les arbres flexibles. Leur course totale est d'environ 56 cm.

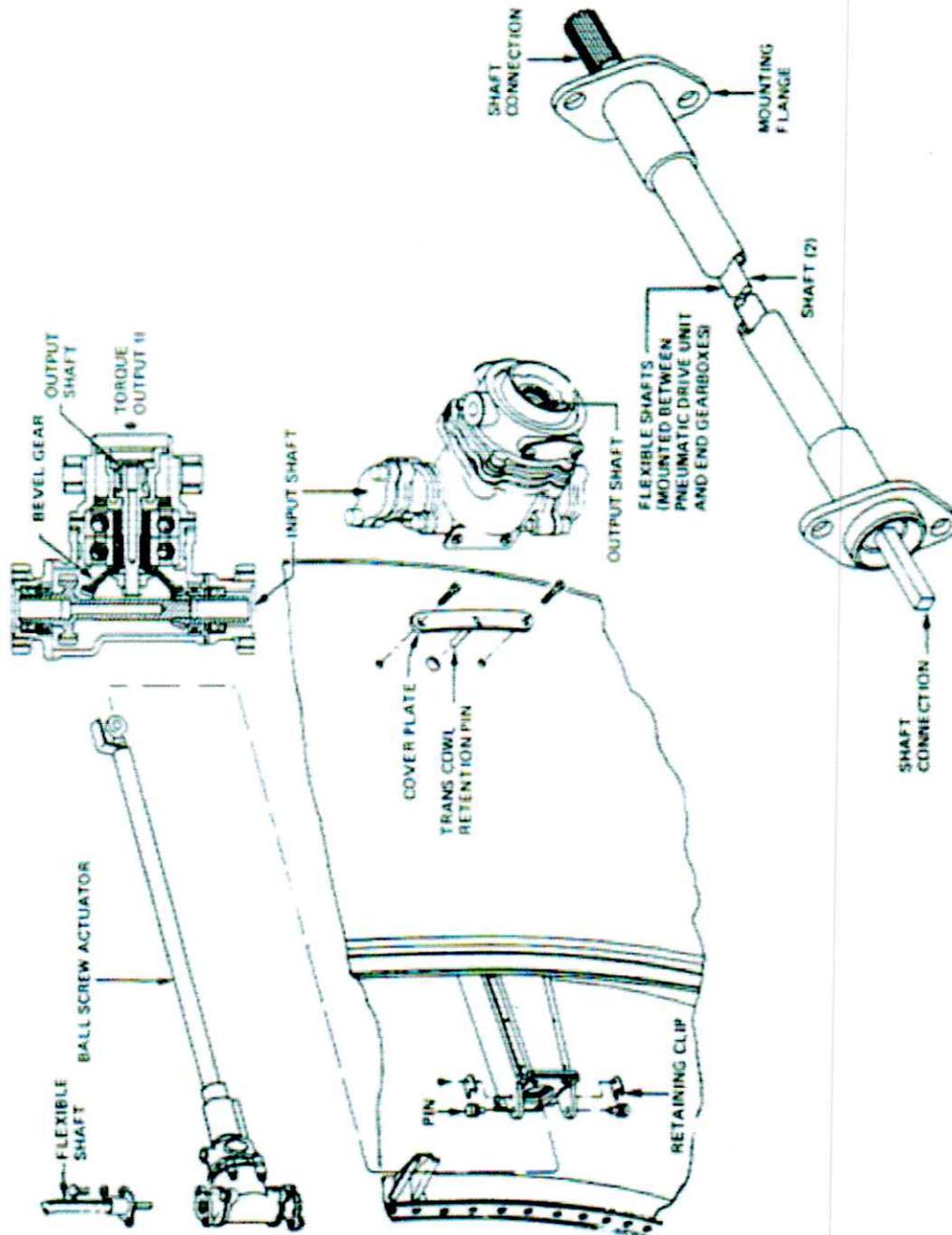


Fig (III.19) Vérin à vis secondaire.

### III.3.2.7 Fonctionnement général :

Un schéma de synthèse de l'ensemble inverseur de poussée est présenté en Fig (III.20)

#### III.3.2.7.1 Transit extension : Fig (III.21)

Manette de poussée en position ralentie, la manette d'inversion peut être déplacée jusqu'à 23°. A 17 °, le contacteur 13 KM et à 23°, le contacteur 7 KM se sont fermés. Le déplacement de la manette d'inversion reste limité à cette position tant que les inverseurs n'ont pas atteint chacun 97% de leur course extension.

Si l'avion est au sol le contacteur sol/vol 15 KM est fermé. Les solénoïdes de la vanne HP, P8 du régulateur des pression et P5 de la vanne de commande du sens de rotation sont alimentés. Le collecteur inversion est mis en pression par le 14<sup>ème</sup> étage compresseur HP. Lorsque la pression du 8<sup>ème</sup> étage atteint 87 PSI la HPV se ferme et le 8<sup>ème</sup> étage assure l'alimentation des deux CDU. Le régulateur de pression PRV contrôle la pression du collecteur d'inversion afin que celle-ci ne dépasse pas 90 PSI. Son but est de limiter les charges sur le dispositif d'inversion et d'éviter les conséquences d'un défaut de fonctionnement de la vanne HP.

Le contacteur P1 du mano contact se ferme, le voyant ambre REV UNLK s'allume.

Le piston des vannes de sélection de sens de rotation des deux CDU est sous pression. Dans leur déplacement les pistons de sélection entraînent le desserrage du frein des CDU et inversent la position des vannes de sélection dans le sens « extension ».

Le rotor du moteur pneumatique accélère rapidement et l'inversement commence sa course extension.

Lorsque les inverseurs ont effectué une course supérieure à 6.3 mm, **Fig (III.22)** les contacteurs P3 et P7 se ferment confirmant l'allumage du voyant « REV UNLK ».

Sur chaque CDU, à environ 38 mm des butées « extension », l'épaulement arrière de l'écrou à billes du vérin central entre en contact avec la tige d'arrêt et l'entraîne en translation. Celle-ci surpasse l'action du piston de sélection et ramène la vanne de sélection vers la position neutre. Elle atteint la pleine fermeture lorsque l'inverseur est à 3.2 mm de sa butée extension. Cette action entraîne un freinage du moteur pneumatique par réduction progressive du débit d'air et diminue le couple moteur en fin de course.

Par ailleurs, lorsque l'inverseur approche à moins de 12.7 mm de sa butée **Fig (III.23)**, les contacteurs P6 et P4 se ferment et entraînent :

- L'allumage du voyant vers reverse
- La coupure, dans un délai de 0.25 seconde, de l'alimentation des solénoïde de la vanne HP et du régulateur de pression.
- La fermeture de la vanne du régulateur de pression.
- La chute de pression dans le collecteur d'inversion.
- L'ouverture du contacteur P1.

L'extinction du voyant « REV UNLK ».

A cette même position, le vérin linéaire qui constitue le système de retour d'asservissement se rétracte à l'intérieur du boîtier d'engrenages du CDU. Dans son déplacement il tire sur les câbles flexibles du système de déblocage manette et libère le renvoi primaire. Il est alors possible de déplacer la manette jusqu'à pleine poussée inverse.

Lorsque l'inverseur arrive en butée arrière, la tige d'arrêt absorbe l'inertie de l'ensemble mobile. La déformation élastique de la tige stop est normalement inférieur à 3.2 mm.

La durée totale du transit extension est de deux secondes.

L'électrovanne de sélection de sens de rotation reste alimentée tant que la manette d'inversion occupe une position supérieure à 23°.

Durant l'utilisation de l'inversion de poussée, le régime réacteur peut être modulé en dépliant la manette d'inversion entre 91°30 et 32°. Afin d'éviter une rétraction intempestive de l'inverseur lorsque la manette est au voisinage de 23°, « un point dur » (friction point lever) sur le renvoi secondaire, signale cette position au pilote.

#### **III.3.2.7.2 Transit rétraction : Fig (III.24)**

Pour ramener les inverseurs en position avant, le pilote repousse la manette d'inversion en butée avant.

A 32° il surpasse le point dur de la manette.

A 23° le contacteur 7 KM prend la position rétraction.

Quelle que soit la position du relais sol/vol les solénoïdes de la vanne HP et du régulateur de pression P8 sont alimentés. Les vannes s'ouvrent et régulent la pression comme en transit extension.

Le contacteur P1 se ferme, le voyant ambre « REV UNLK » s'allume.

Le solénoïde de la vanne de commande de sens de rotation DPV n'est plus alimenté. La DPV se ferme et let le piston de sélection à l'air libre. Le piston est en position repos. Le ressort ramène la vanne de sélection, en position rétraction.

Le frein est inefficace dans ce sens de déplacement. Le rotor accélère rapidement et l'inverseur commence sa course rétraction.

Lorsque les inverseurs ont effectué une course supérieure à 6.3 mm, les contacteurs P6 et P4 changent de position, le voyant vert « REV » s'éteint et l'alimentation du voyant « REV UNLK » est confirmée.

A environ 38 mm de la butée rétraction, l'extrémité conique arrière de la tige d'arrêt est contactée par le fond du tube du vérin à vis central. La tige d'arrêt se déplace vers l'avant et entraîne la vanne de sélection, contrecarrant l'action du ressort de la vanne. Ce mouvement réduit progressivement la section de passage de l'alimentation pneumatique afin de réduire la vitesse de rotation du moteur CDU en fin de course.

Lorsque l'inverseur est à moins de 3.2 mm de sa butée avant **Fig (III.25)**, les contacteurs P3 et P7 s'ouvrent et entraînent la fermeture du régulateur de pression, à vitesse relativement lente, de façon à assurer l'achèvement de la course rétraction.

La vanne HP passe sous le contrôle du circuit pneumatique avion. Quand l'inverseur atteint sa position avant, la tige d'arrêt est comprimée contre sa butée. L'embiellage de la tige est conçu de telle façon que la fermeture complète de la vanne de sélection ne soit jamais atteinte. Cette disposition assure un couple résiduel en provenance du moteur pneumatique sur les vérins d'inverseurs. Lors de l'impact, le frein se serre automatiquement à la cour du rebond vers extension. Le blocage en contrainte est ainsi maintenu au niveau maximum de l'impact.

La pression dans le collecteur d'inversion chute, le contacteur P1 s'ouvre le voyant « REV UNLK » s'éteint.

La vanne de sélection du sens de rotation reste légèrement ouverte dans le sens rétraction. Par ailleurs, le système d'asservissement du CDU repositionne le renvoi primaire ; si nécessaire, la manette de poussée normale peut être avancée. La durée totale du transit « rétraction » est de trois secondes.

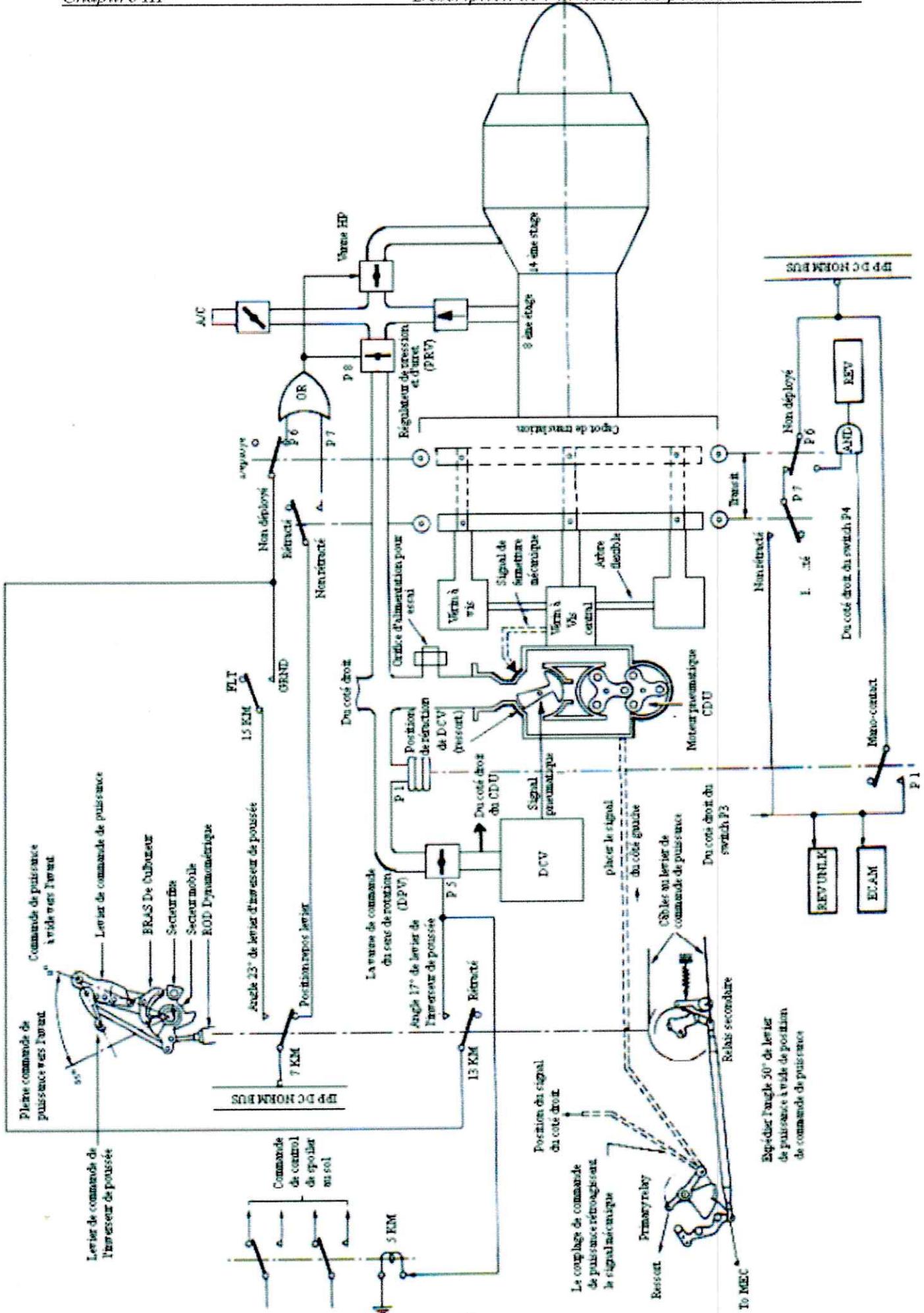


Fig (III.20) inversion de poussée (schéma de synthèse)

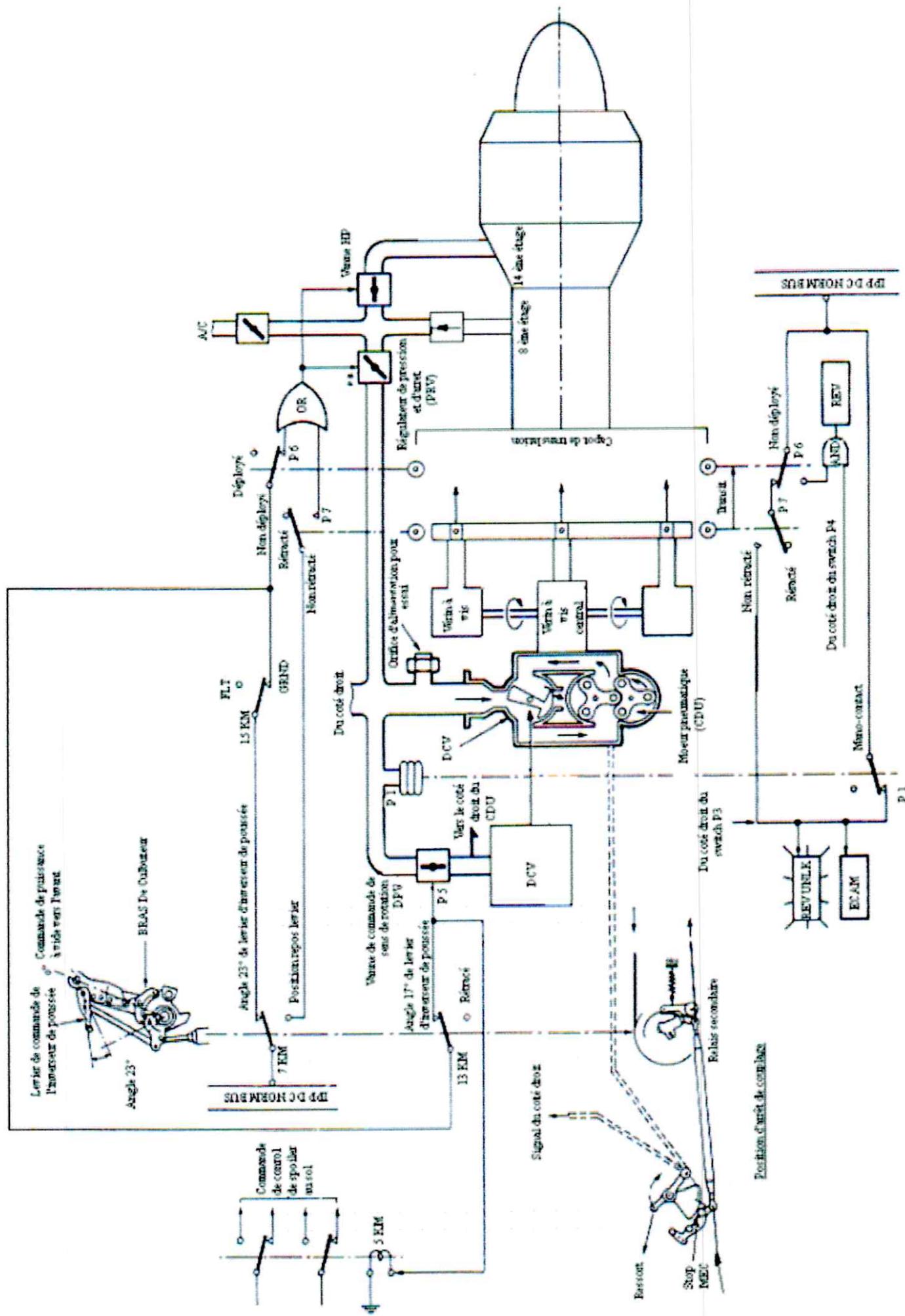


Fig (III 21) Début de course extension

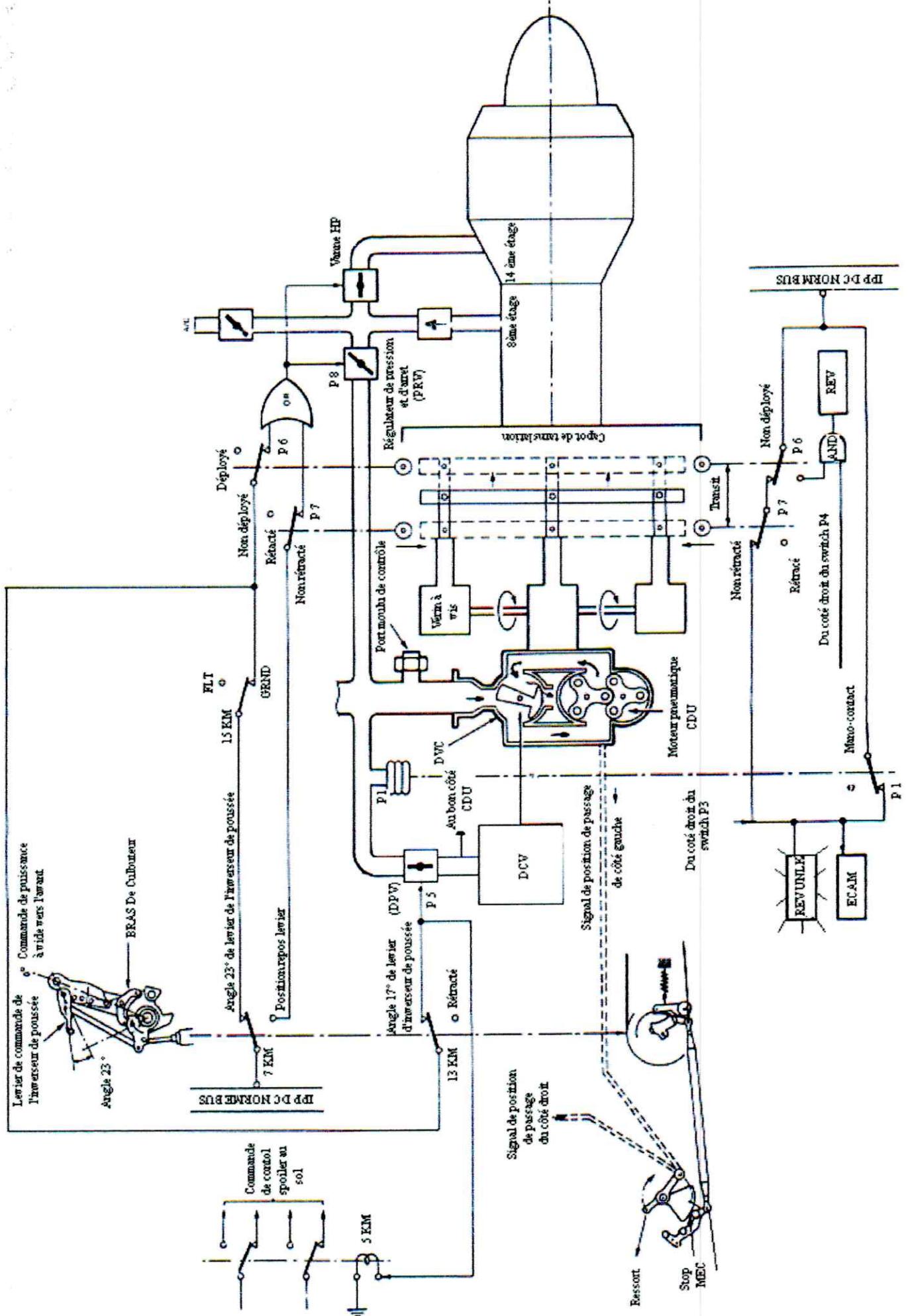


Fig (III.22) Transit en cours d'extension

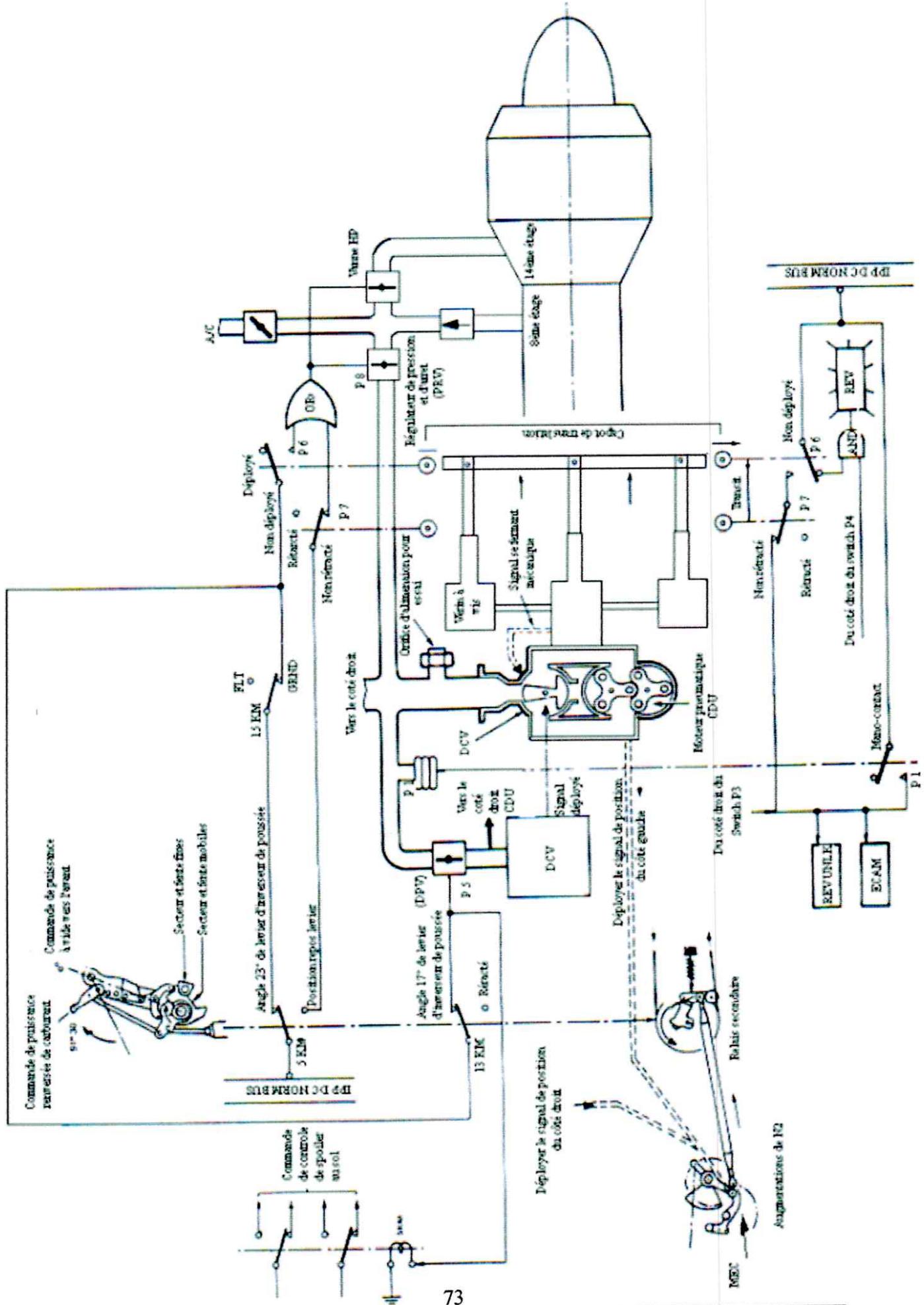
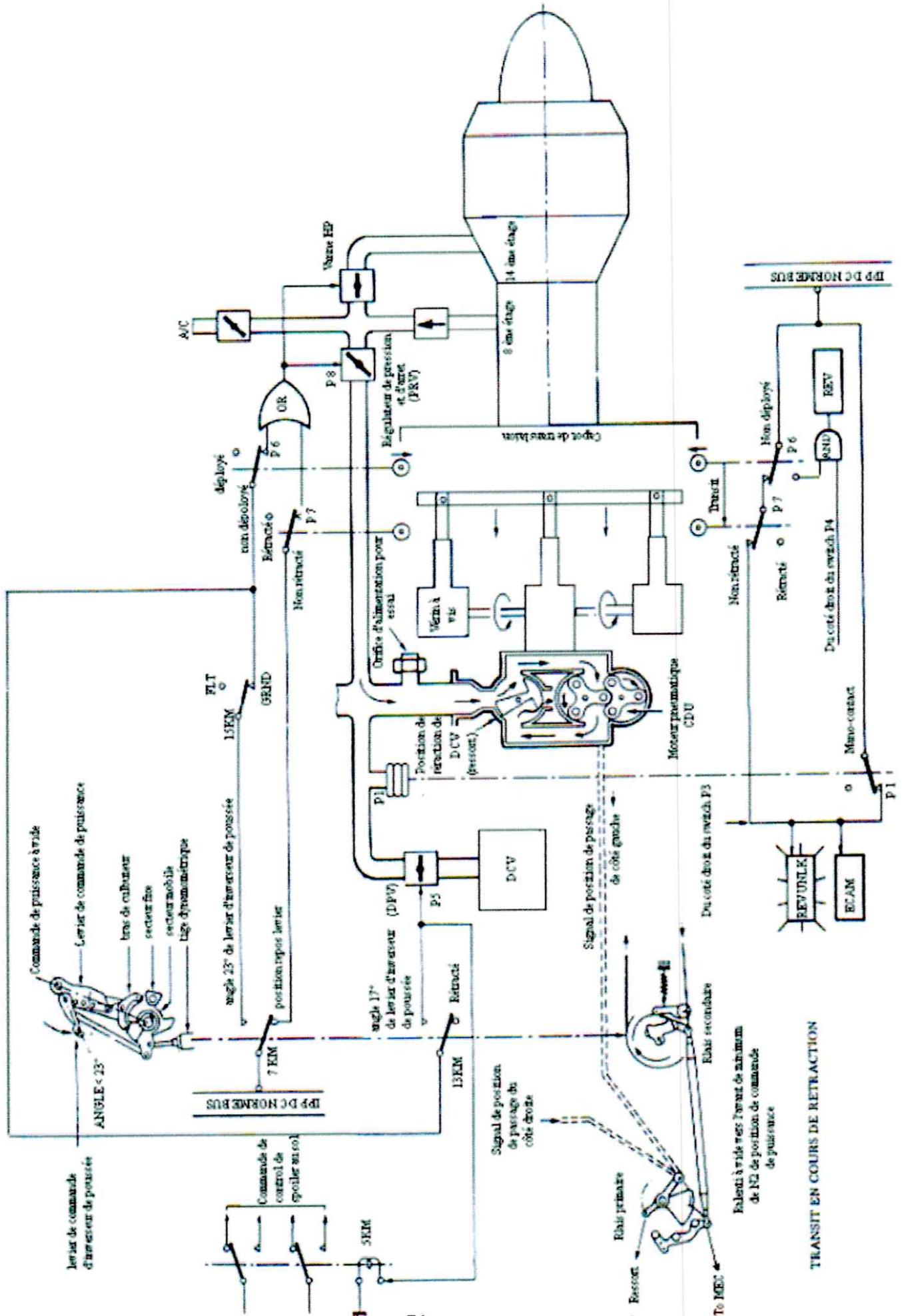
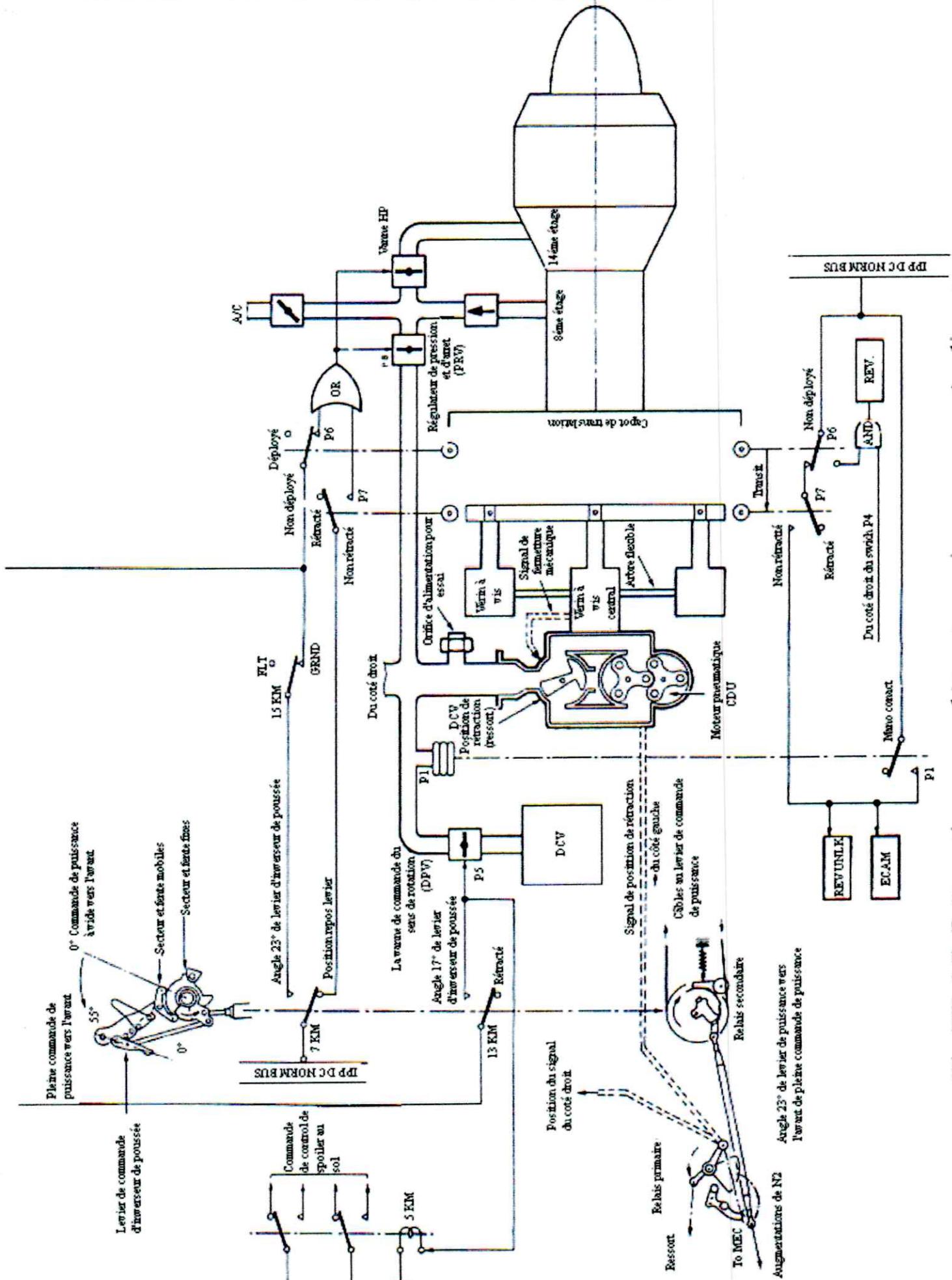


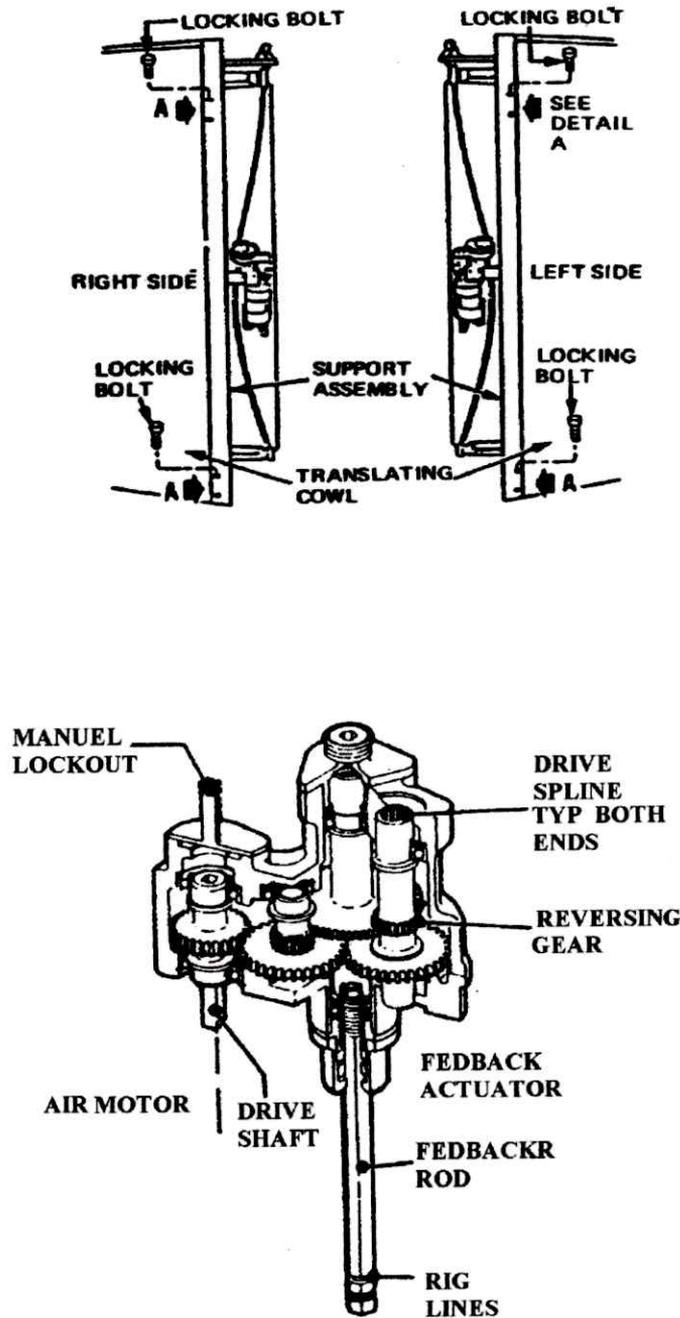
Fig (III 23) Fin de course extension





**III.3.3 Désactivation de l'ensemble inverseur de poussée : Fig (III.26).**

En plus du dispositif manuel de blocage du boîtier d'engrenages des CDU, des vis montées en attente sur les parties fixes des inverseurs, permettent en cas de nécessité, de rendre les parties mobiles solidaires des parties fixes.



**Fig (III.26) Désactivation des inverseurs**

### III.3.4 Commande et contrôle : Fig (III.27).

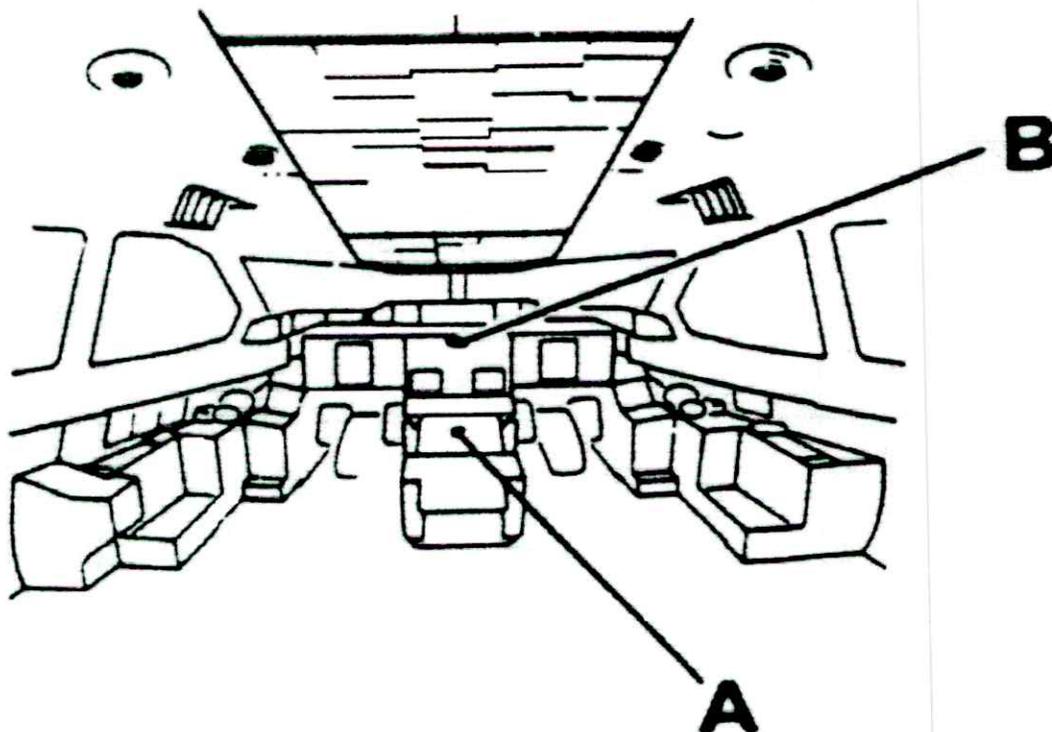


Fig (III.27) Commande et contrôle (Preliminaires).

#### A) commande d'inverseur de poussée : Fig (III.28).

Quand les manettes de poussée ne sont pas sur ralenti, les commandes d'inversion de poussée sont verrouillées mécaniquement en position normale. Lorsque l'avion est en vol, le déplacement de ces commandes est possible mais sans effet.

Quand les conditions d'utilisation sont réunies, c'est-à-dire :

- Manettes de poussée sur ralenti.
- Amortisseurs de trains principaux comprimés.

Les commandes d'inversion de poussée sont déverrouillées et peuvent être déplacées jusqu'à la butée « position d'inversion au ralenti ».

A cette position :

- L'ensemble d'inversion se déplace vers l'arrière.
- les voyants REV UNLK s'allument.

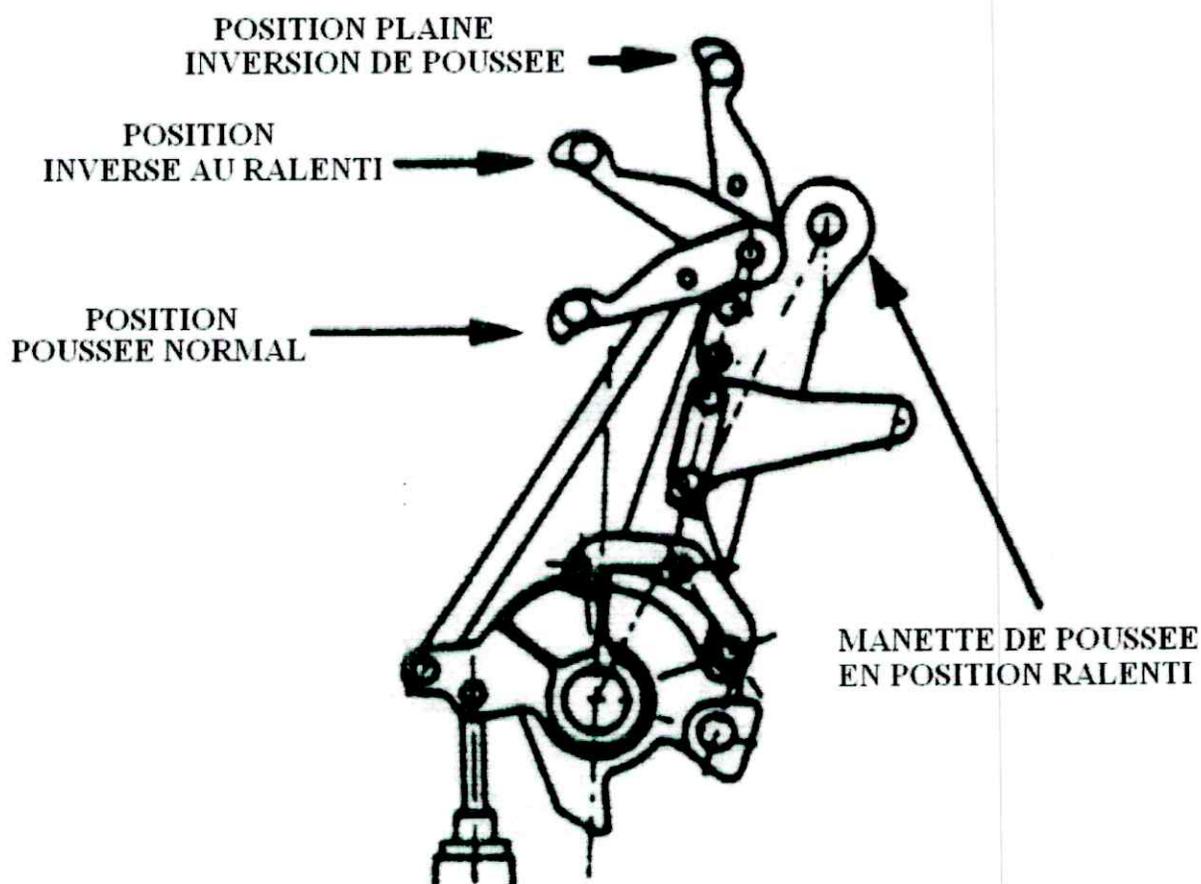
Lorsque l'ensemble d'inversion est proche de la position sortie :

- Les voyants REV s'allument –Les voyants REV UNLK s'éteignent.
- Les commandes d'inversion de poussée sont libres de tout mouvement.
- La poussée inverse Peut être augmentée tirant sur les commandes.

Pour ramener les ensembles d'inversion, les commandes d'inversion sont déplacées vers l'avant puis poussée vers le bas. Durant le transit de l'ensemble d'inversion.

- Les voyants REV s'éteignent.
- Les voyants REV UNLK s'allument.

Quand l'ensemble d'inversion est en position rentrée et verrouillée, les voyants REV UNLK sont éteints.



**Fig (III.28) Commande d'inversion de poussée**

## B) Voyants inversion de poussée : Fig (III.29).

Les voyants d'inversion indiquent la position des ensembles d'inversion. Quand tous les voyants sont éteints, les ensembles d'inversion sont en position rentrée et le dispositif d'inversion est verrouillé dans cette position.

### 1) Voyant déverrouillage inverseur (REV UNLK) :

Un voyant REV s'allume ambre quand :

- Le dispositif d'inversion est déverrouillé.
- Les ensembles d'inversion sont en transit.

### 2) Voyant inverse de poussée (REV) :

Un voyant s'allume vert quand :

- L'ensemble d'inversion correspondant est proche de la position sortie.
- Il s'éteint quand le mouvement vers rentrée commence.

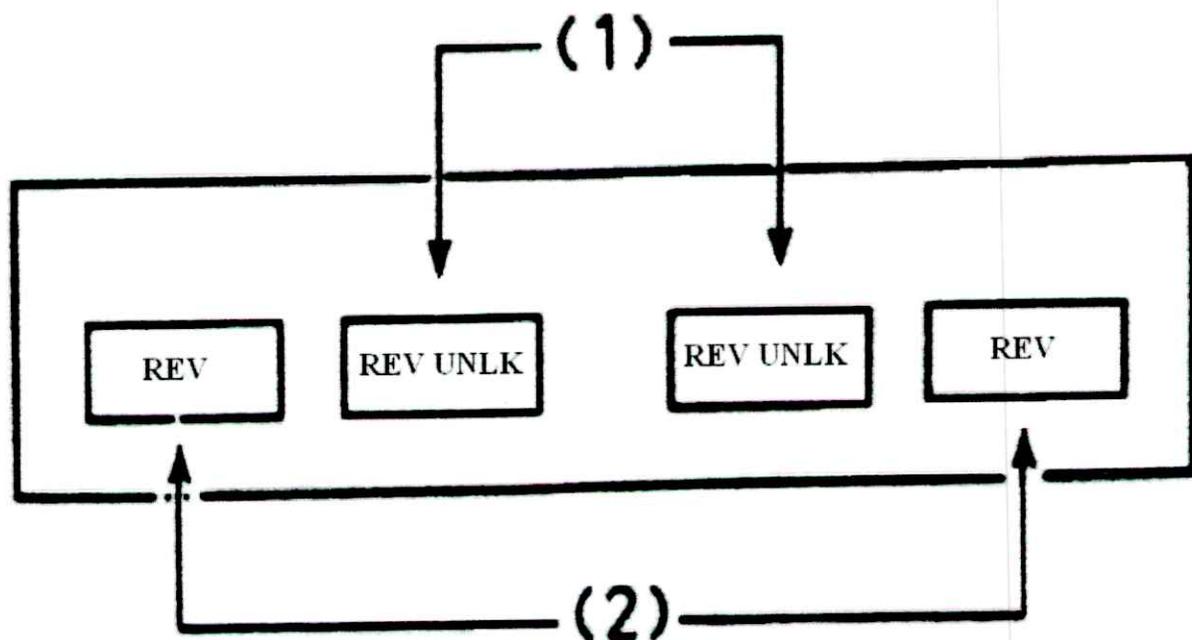
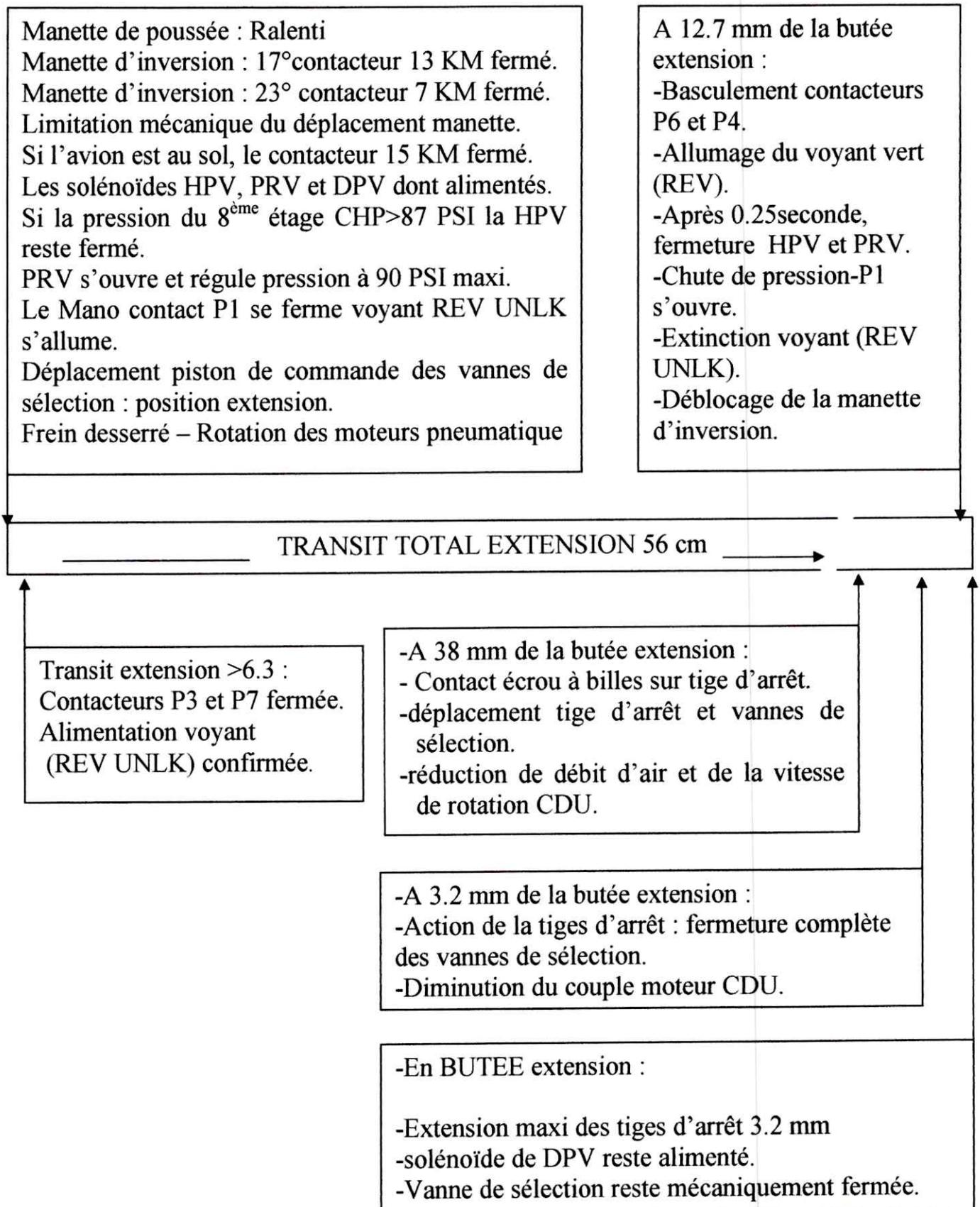
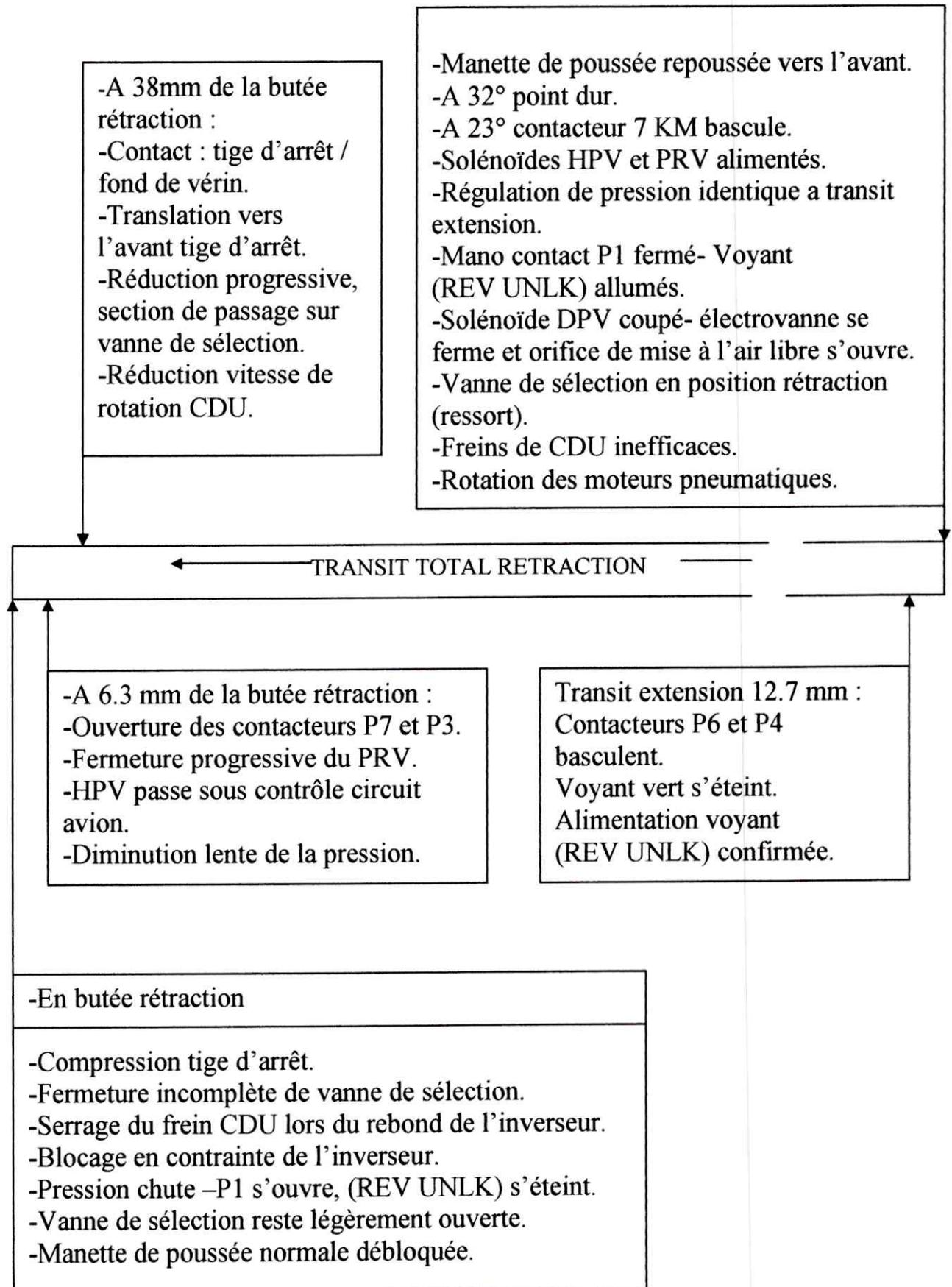


Fig (III.29) Voyants d'inversion de poussée.

### III.3.5 Synthèse de mouvement extension :



### III.3.6 Synthèse de mouvement rétraction :



## Chapitre IV

*La recherche de panne de l'inverseur de poussée*

*du moteur CF6-80A3*

## **IV.1 Introduction de la recherche de panne :**

### **IV.1.1 Introduction :**

Dans ce chapitre on va étudier la procédure de recherche de panne et la méthodologie de dépannage attribuée. A chaque avarie survenue en fonctionnement, les erreurs de fonctionnement ne doivent pas dépasser un certain intervalle de tolérance pour cela la panne doit être éliminer avant une exploitation ultérieure de l'appareil.

Le but principal de la recherche de panne est détecté les défauts engendrant un néfaste comportement des pièces et de fournir des données concrètes pour juger l'état des systèmes.

### **IV.1.2 Etapes de dépannage :**

- Plainte équipage (panne), CRM : compte rendu machine.
- Recherche de panne.
- Pose/dépose.
- Teste de bon fonctionnement.
- Compte rendu.
- Restitution de l'avion à l'exploitation.

### **IV.1.3 Causes de dépose injustifiée :**

- Compétence insuffisante du personnel de la piste.
- Absence d'historique de panne.
- Inefficacité du support du personnel de piste (documentation, bon de teste incorrecte).
- Le personnel de piste a parfois trop confiance dans son savoir faire.
- Non suivit des procédures de dépannage déjà établies dans le manuel de recherche de panne.
- Inefficacité des dispositifs automatique de recherche de panne qui fournit des informations incompétences.

### **IV.1.4 Les différentes méthodes de dépannage :**

#### **a) Méthode globale :**

Consiste a remplacer tous éléments de la fonction du système incriminer. Cette méthode est rapide, sur et avec elle en sauvegarde la ponctualité d'avion (régularité, disponibilité), mais elle impose des inconvénients comme suite :

- Nécessite de disposer au magasin ou en stock tous les éléments constitutifs de la fonction.
- Beaucoup de dépose injustifiée.
- Manipulation excessive (pose/dépose) des équipements dont la fiabilité décroîtra.

#### **b) Méthode progressive :**

Cette méthode consiste à remplacer successivement les équipements de la fonction incriminer et de son analyse approfondit.

Une fois l'équipement remplacé on procède à un essai qui permet de vérifier si la fonction est assurée. Dans le cas contraire, on remonte l'ancien équipement et on procède au remplacement du suivant et ainsi de suite jusqu'au dépannage complet ou total de la fonction du système.

#### **c) Méthode historique :**

On cherche l'historique de chaque équipement puis on trouve le pourcentage de panne élevé.

Cette méthode a avantage de résoudre environ 90% des pannes par le processeur qui fait intervenir une analyse simple, et de toucher les panne les plus probable mais sa provoque comme inconvénient une diminution de fiabilité d'équipement.

#### **d) Méthode analytique :**

Cette méthode permet d'affiner la méthode progressive (méthode par exclusion) et d'incriminer à coût sur.

Cette méthode nécessite des spécialités ayant une bonne connaissance du système, la demande à suivre est de faire la liste de toute les causes possible, et construire l'arbre de défaillance, qui permettra d'éliminer les causes par la prise en considération les informations sur l'avion (alarme, indication, observation d'équipage).

### **IV.I.5 Classement de panne :**

On distingue différentes classes de pannes en fonction de leur gravité (conséquence).

**-Panne classe 1:**

Elle nécessite d'être portée à la connaissance de l'équipage parce qu'elle ont des conséquence opérationnels (pour suite de vol)), elles nécessitent obligatoirement une action du pilote pour remédier à la panne (c'est une panne no go), c'est-à-dire ; elles impérativement réparer, si non l'avion ne décolle pas.

**-Panne classe 2 :**

Elles n'ont pas de conséquences opérationnelles pour le vol en court et pour les prochains vols (dans la limite retour à la base principal), elles sont directement portées à la connaissance de l'équipage, elles doivent être rapporté au log book.

**-Panne classe 3 :**

Elles ne sont indiquées à l'équipage car elles n'ont pas des conséquences opérationnelles sur l'avion et n'affectent en rien la sécurité de l'avion. Elles ne peuvent être jamais réparé si ce n'est pour des considérations économiques et disponibilité. Ce sont des pannes GO, sans conditions car elles n'ont pas besoin d'être réparer, leur dépannage relever alors du critère lié à la gestion de la compagnie, en autre critère économique de prestige, et disponibilité de l'équipement.

**IV.1.6 Différents types de pannes :**

- Panne simple active : comme blocage des commande, fuite, rupture.
- Panne passive (cachée) : c'est une panne dont la présence n'est pas immédiatement détecté (système de protection).
- Panne multiple due à une cause unique : comme le feu l'exploitation, la foudre, dégât causé par des corps étrangers (FOD) (pierre, oiseau) ou dégât causé par un phénomène naturel DOD (aillette est soumis à des contrainte thermique +mécanique qui va causé sa cassure).
- Panne en cascade : c'est une panne simple pas critique en elle-même entraîne une série d'autre pannes successives :

-Erreur de conception : environnement différent de celui prévu (erreur logicielle).

-Erreur de fabrication assurance qualité (JAR145).

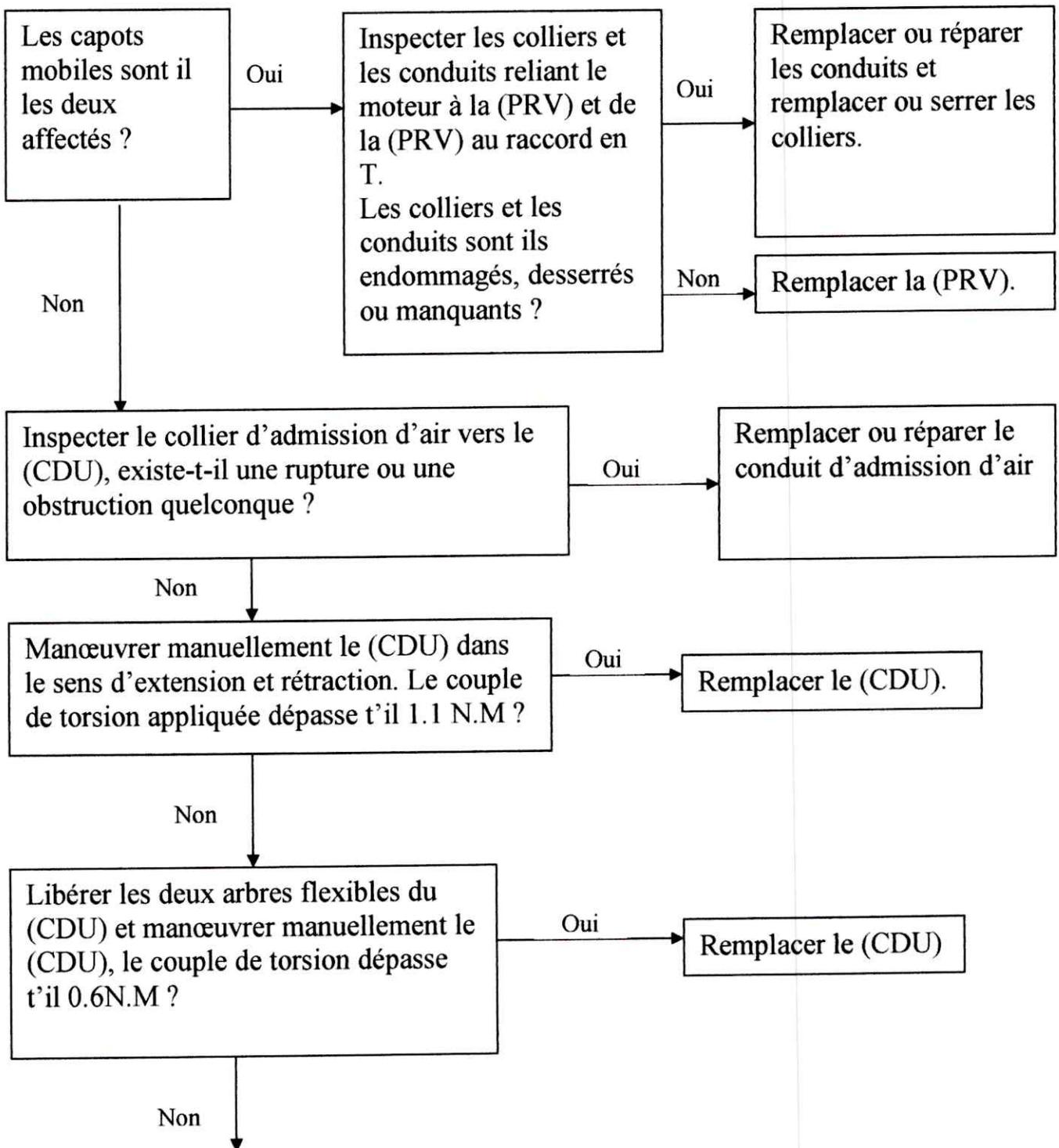
-Erreur de maintenance : oublie outil, montage incorrecte.

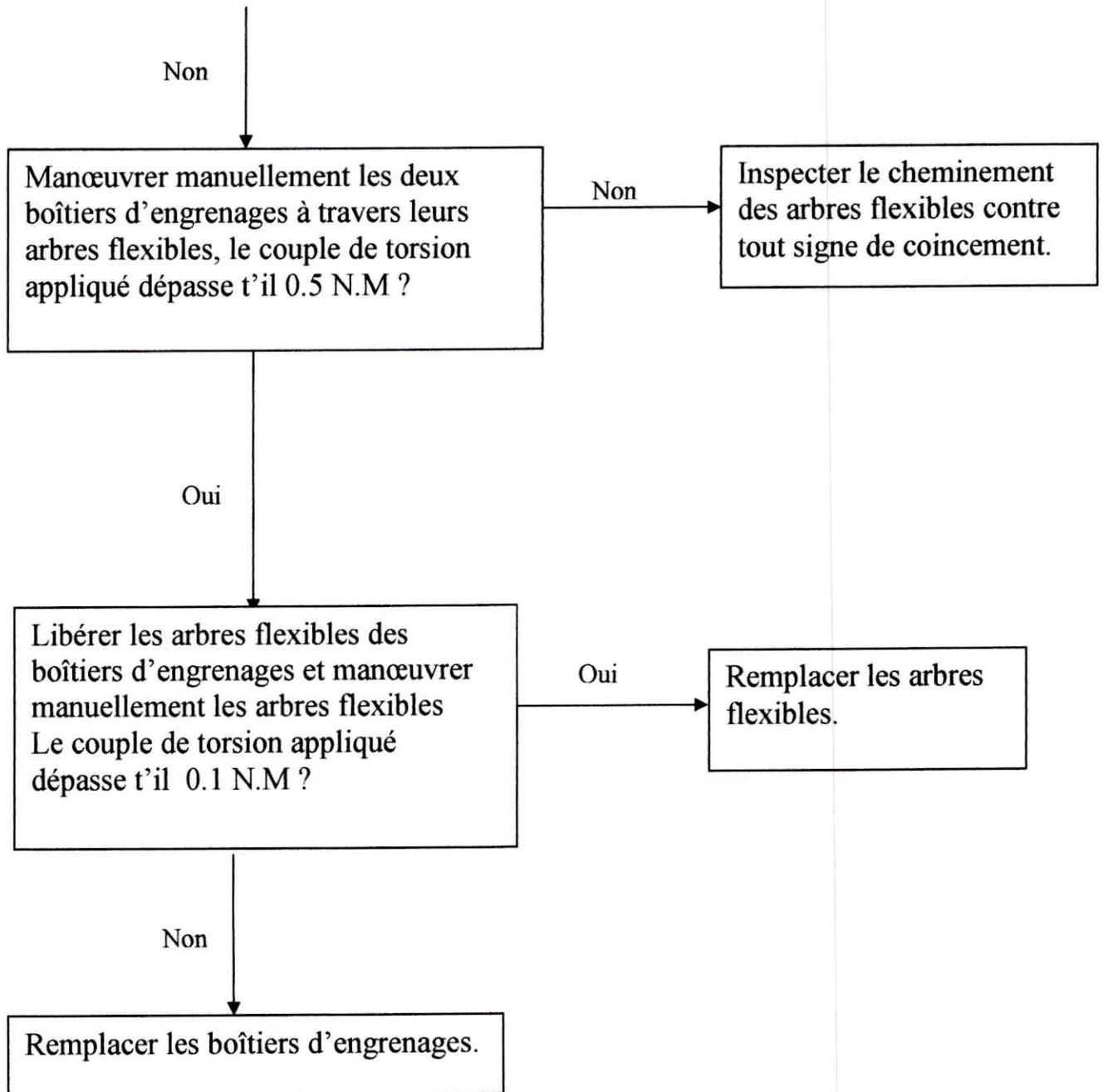
-Erreur dans l'application du teste (banc d'essai).

-Erreur de pilotage (erreur d'application de procédures).

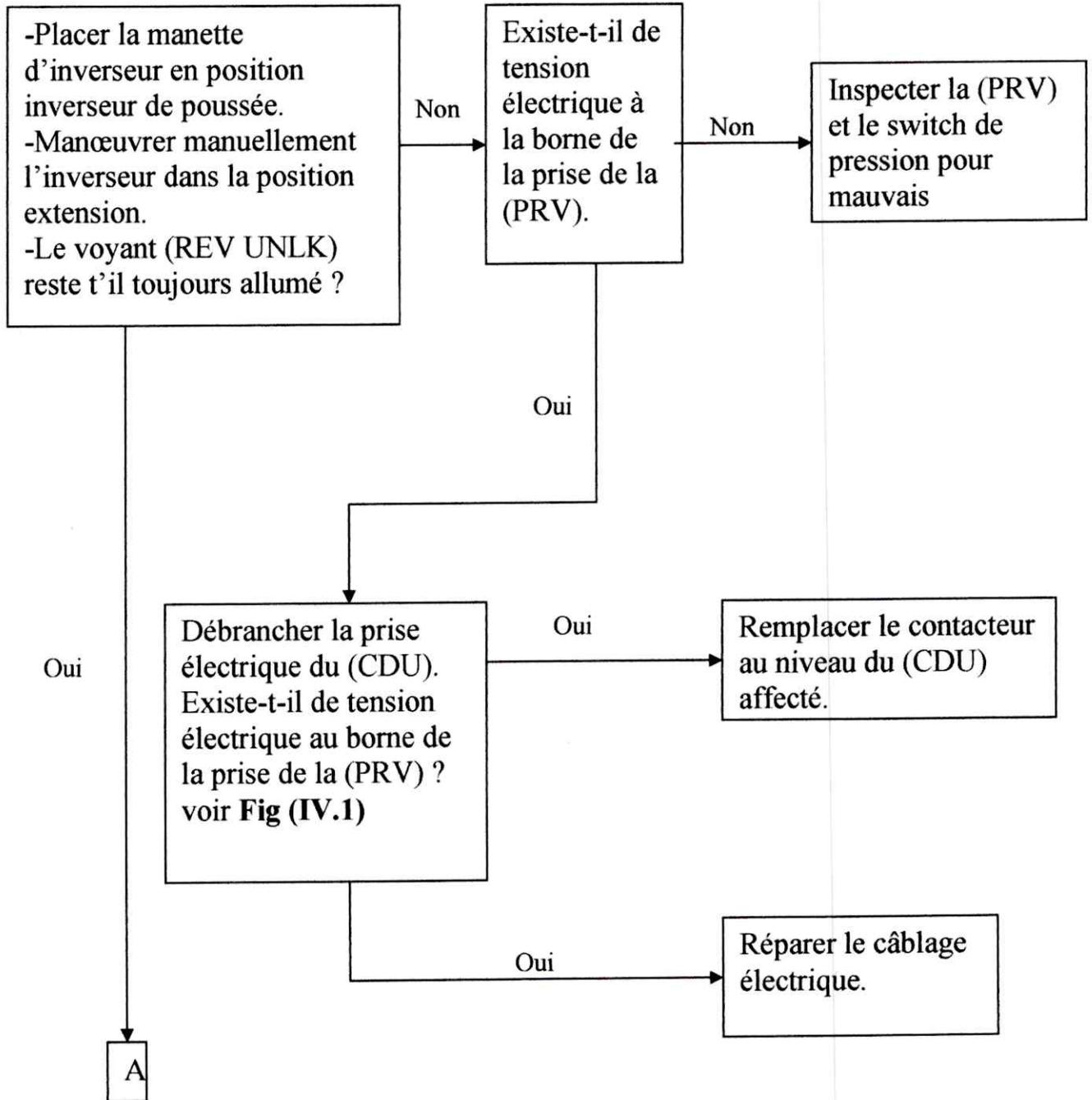
## IV.2 La recherche de panne de l'inverseur de poussée du réacteur CF6-80A3 :

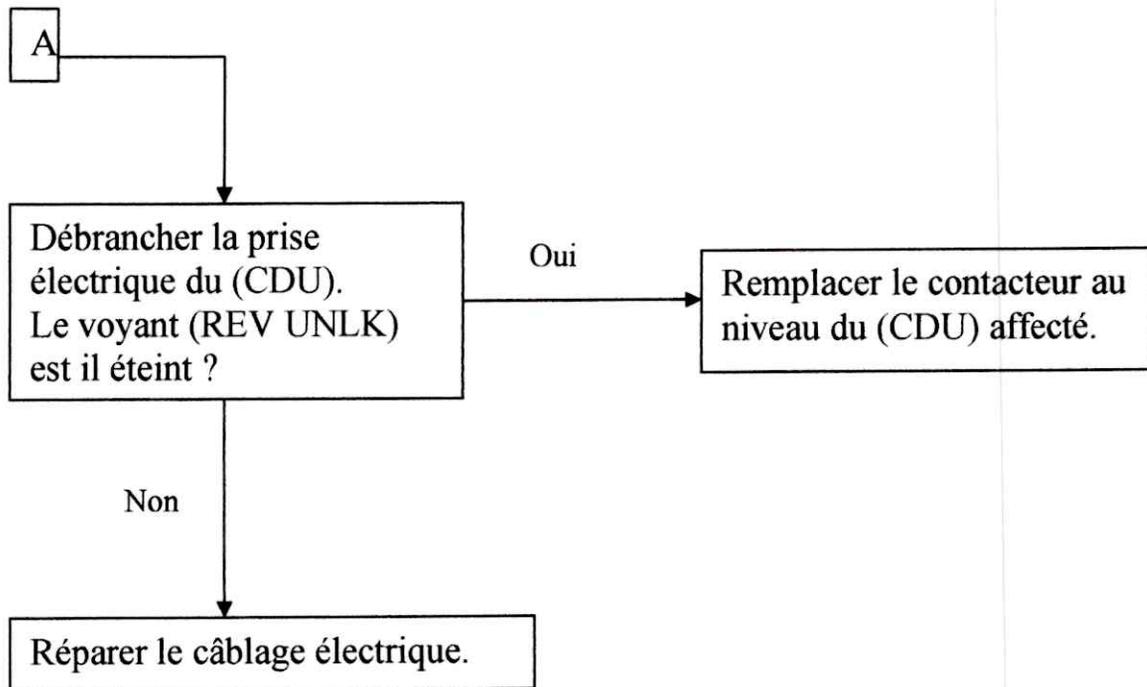
1. La manœuvre de l'inverseur est lente ou régulière durant l'extension et/ou la rétraction.

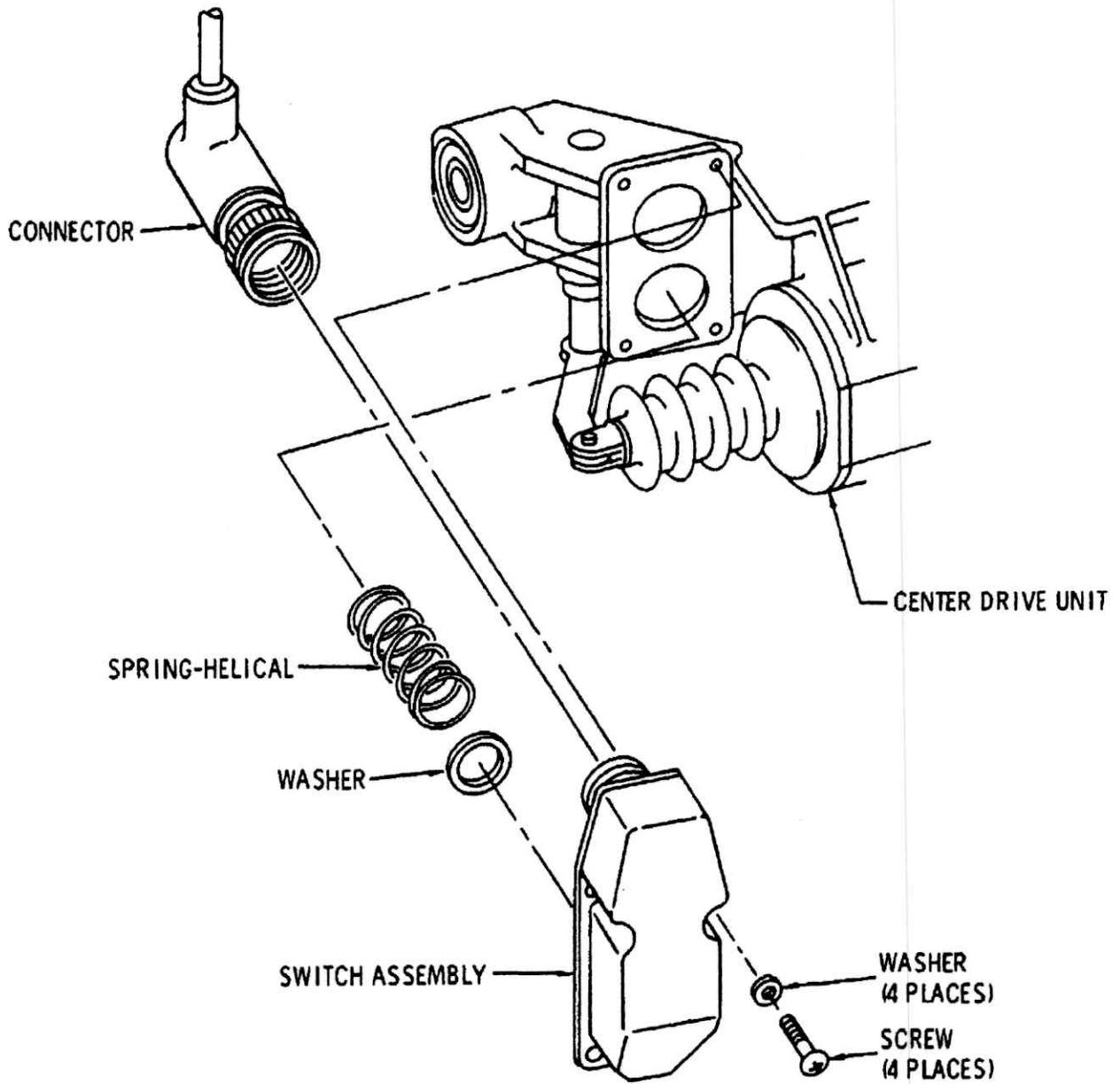




2. L'inverseur de poussée en extension, le voyant (REV) s'allume mais le voyant (REV UNLK) reste aussi allumé.



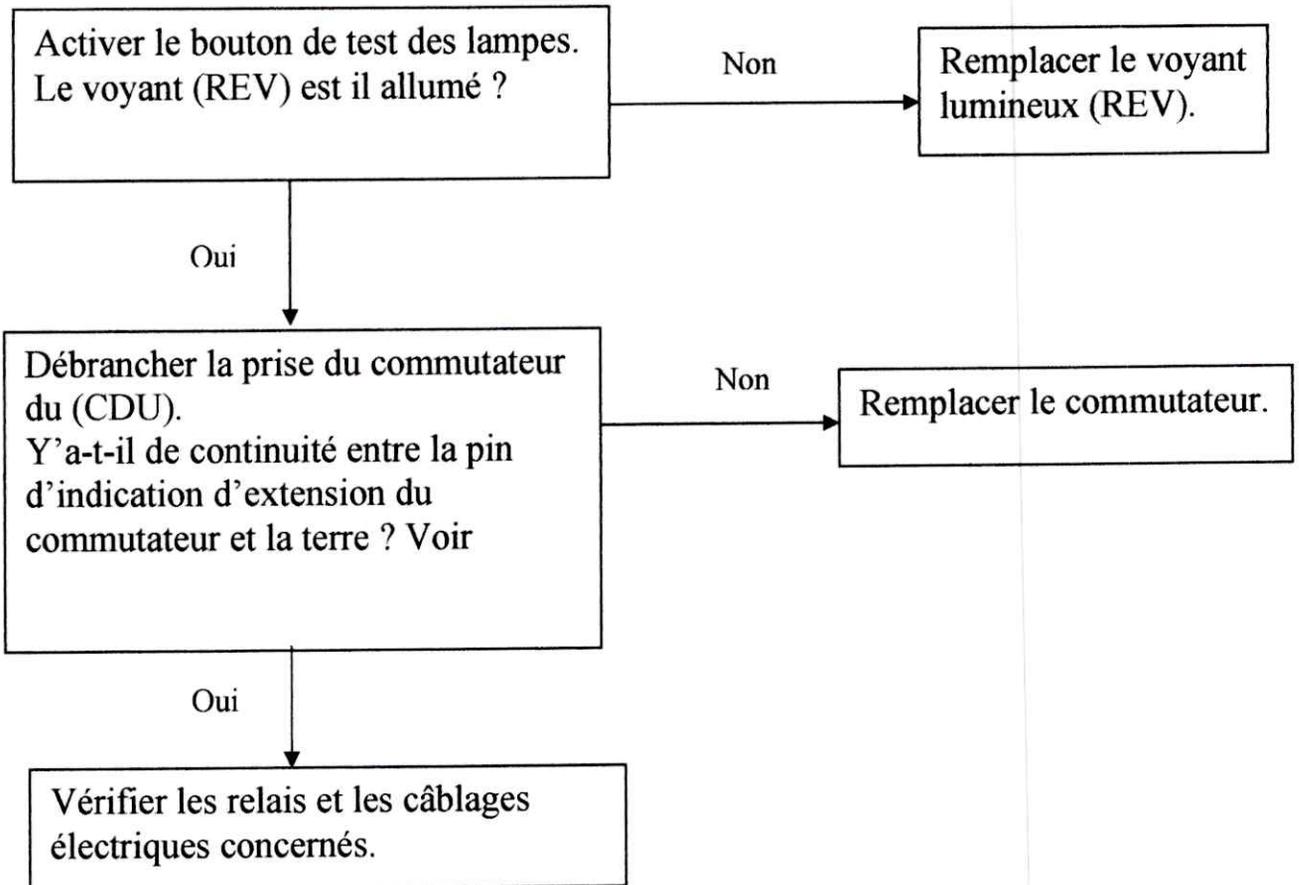




**Fig (IV.1) Moteur pneumatique (CDU).**

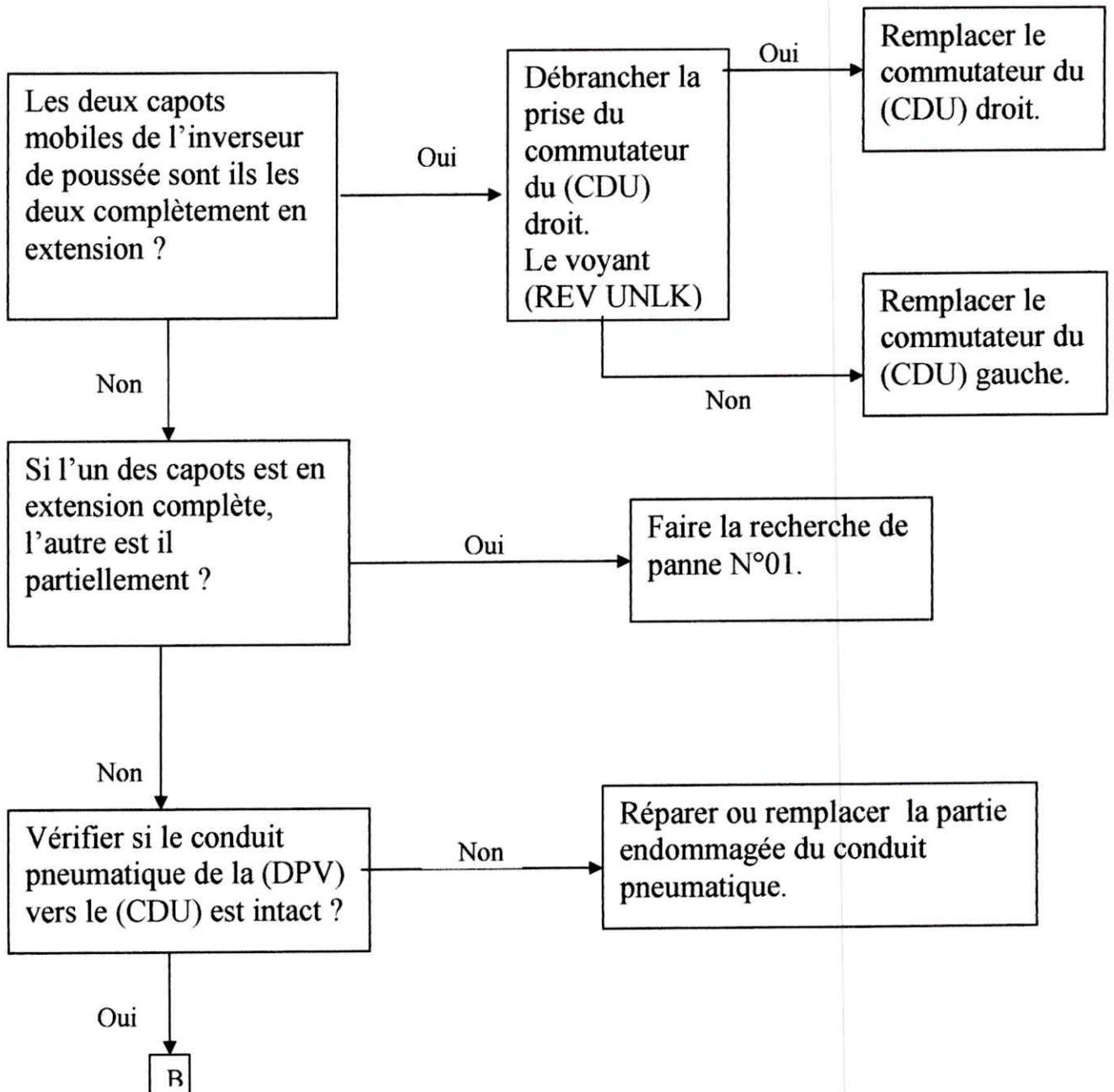
3. L'inverseur de poussée en extension.

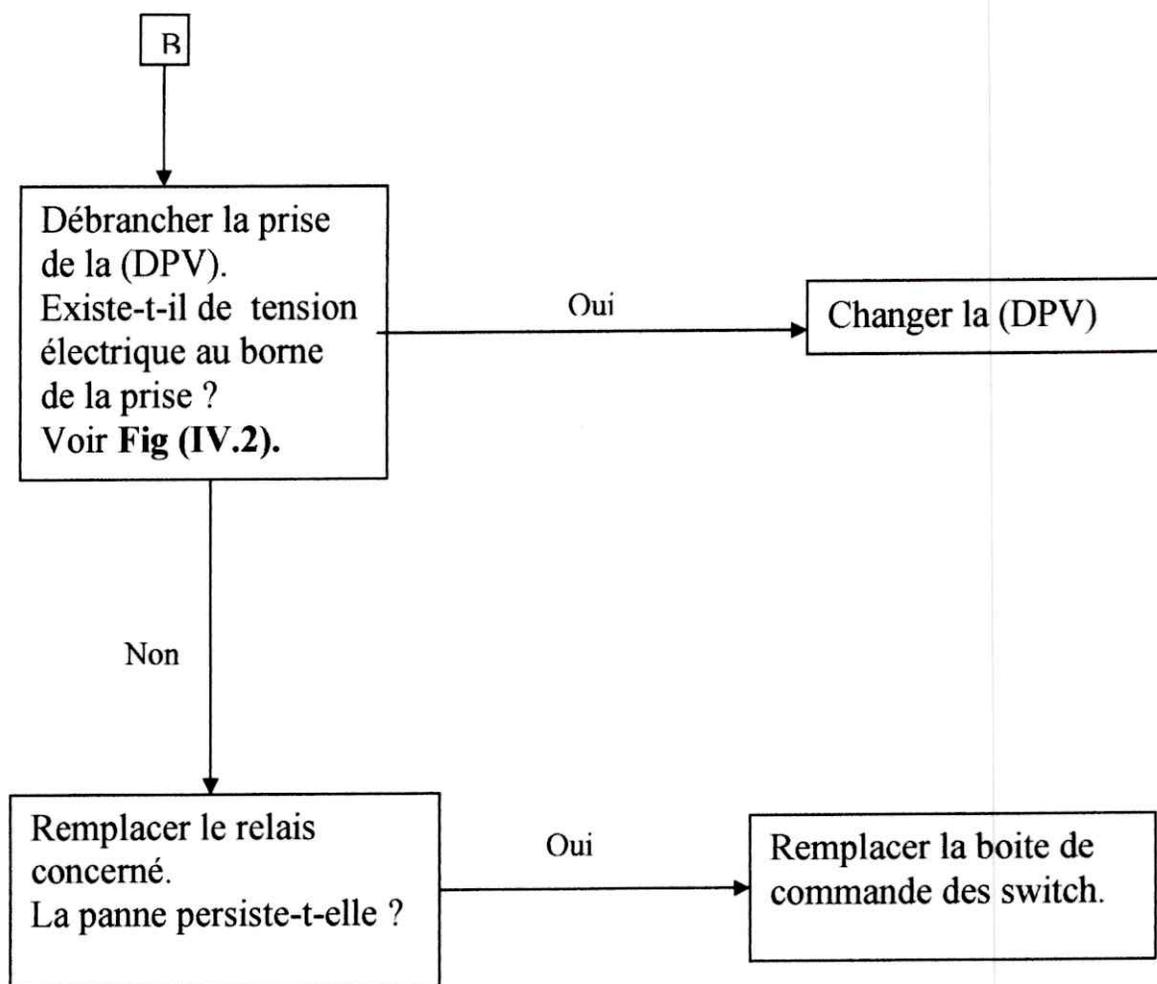
Le voyant (REV UNLK) est éteint, mais le voyant (REV) n'est pas allumé.



4. L'inverseur en extension.

Le voyant (REV UNLK) est allumé et le voyant (REV) reste aussi allumé.





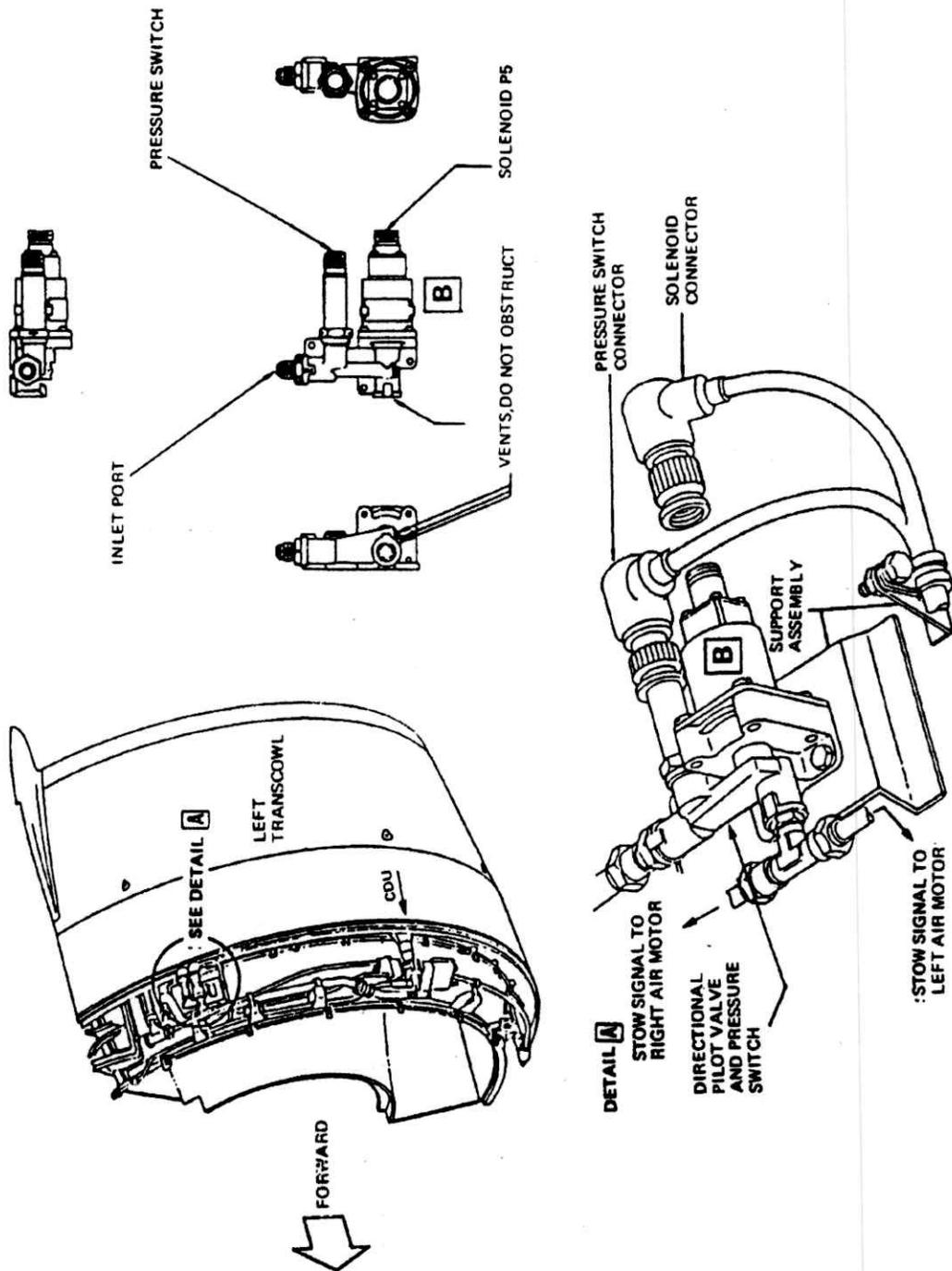
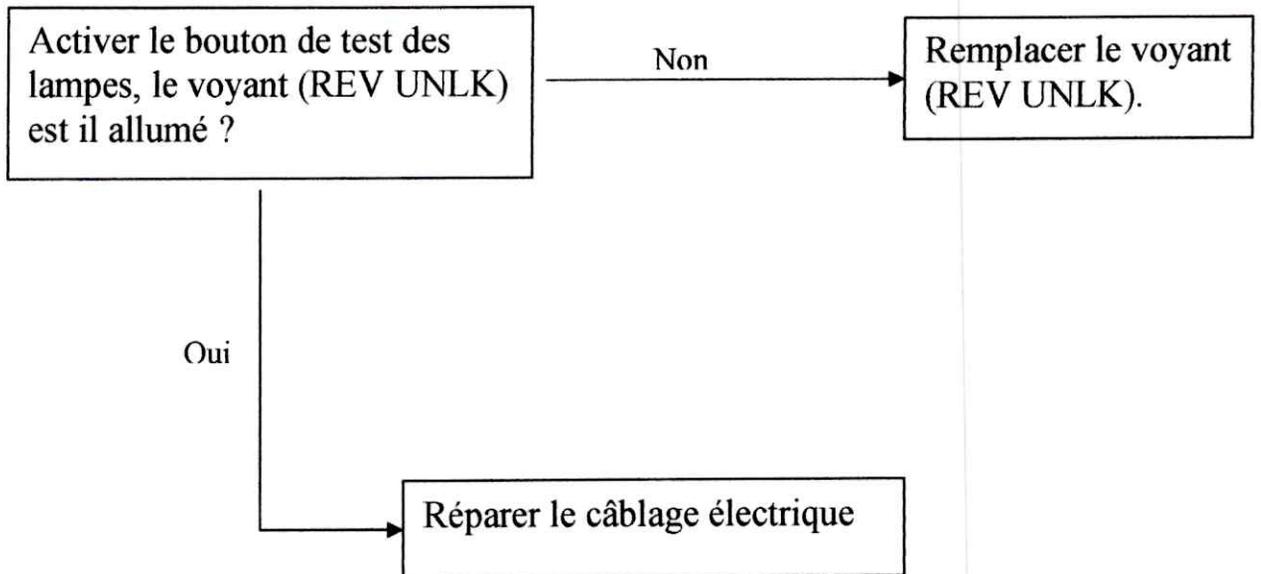
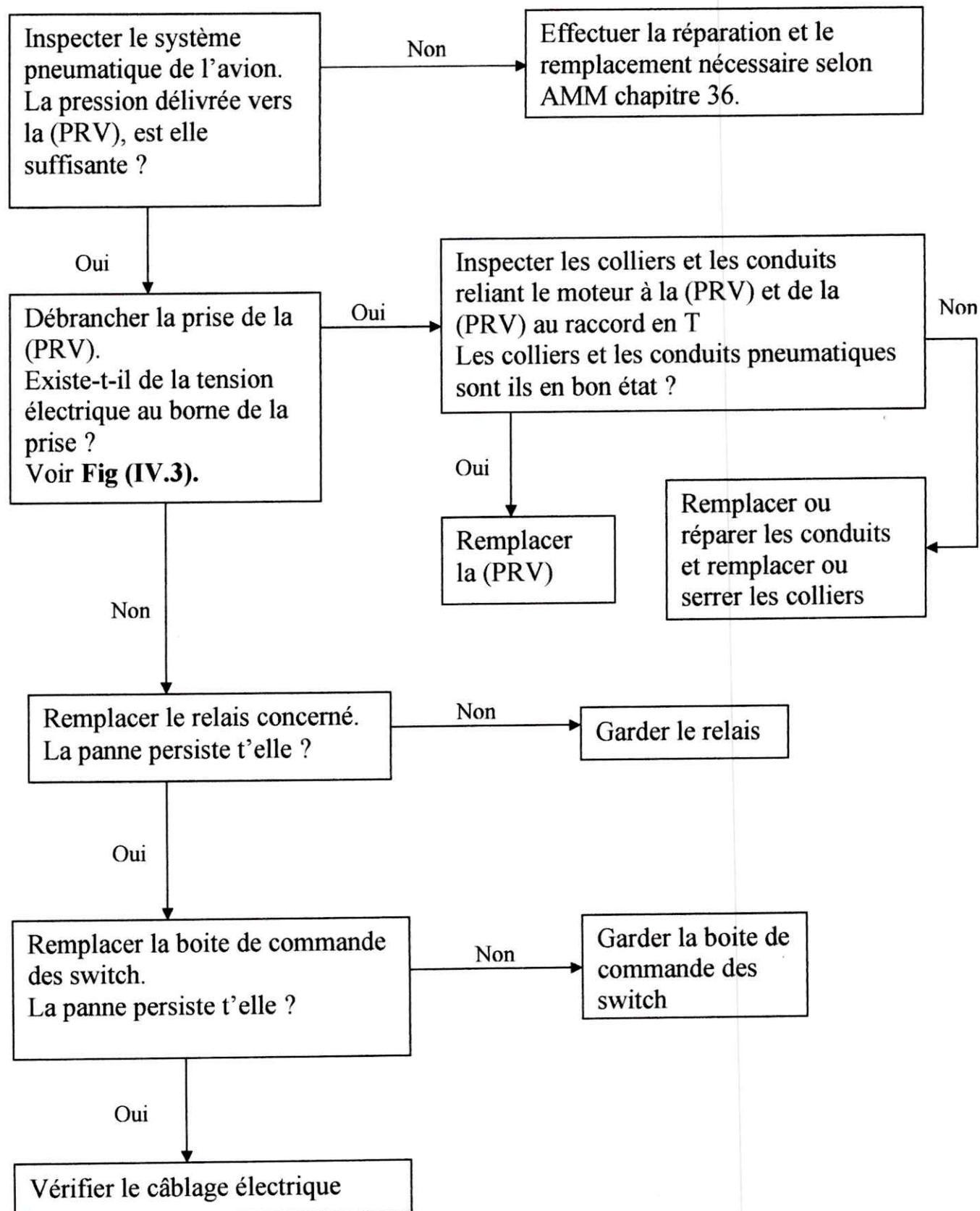


Fig (IV.2) La vanne de commande de sens de rotation (DPV).

5. Le voyant (REV UNLK) s'allume par intermittence durant les opérations d'extension et de rétraction, par contre le voyant REV s'allume normalement.



6. L'inverseur n'est pas déployé quand il est commandé.  
Le voyant REV UNLK et le voyant REV ne s'allument pas.



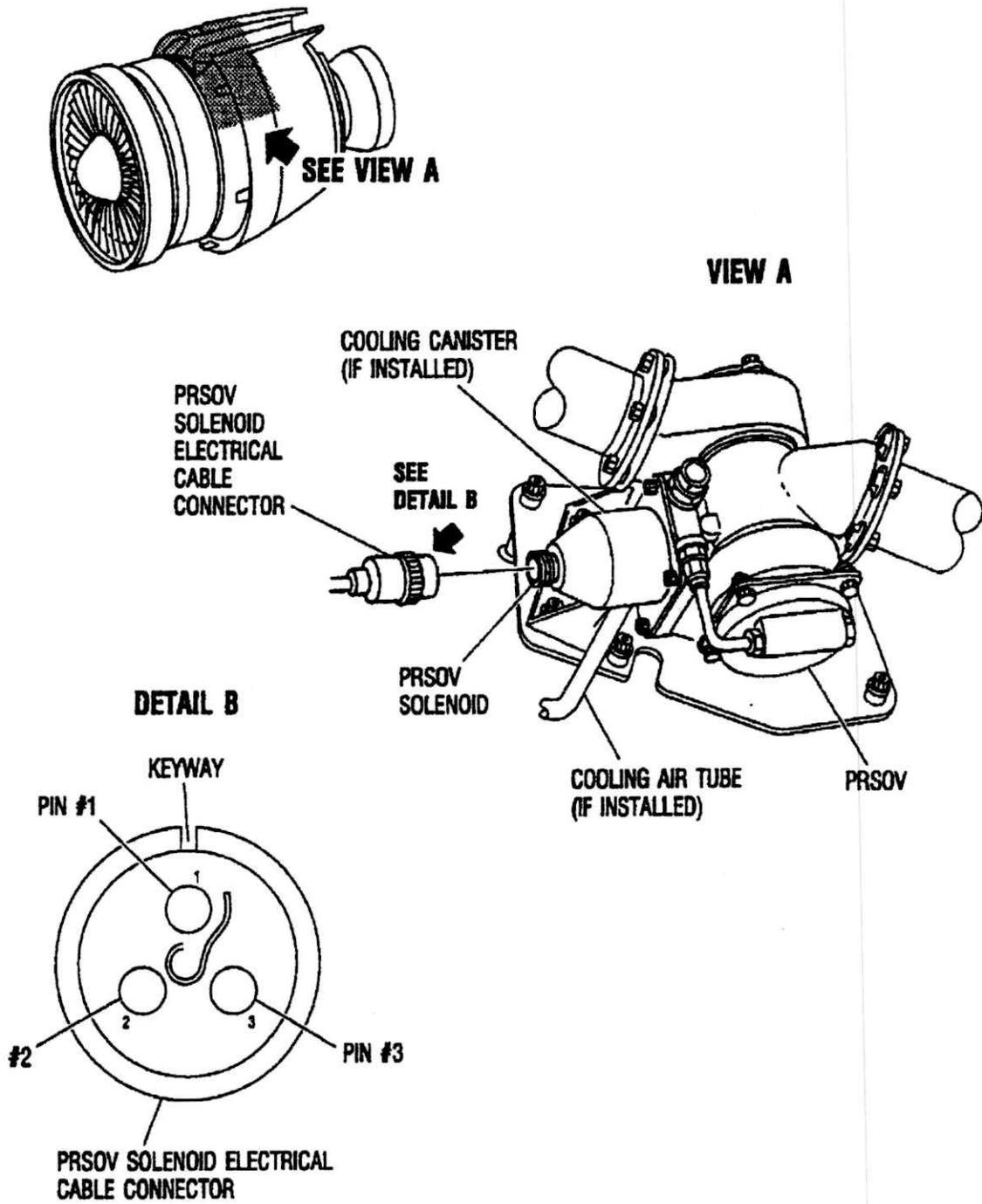
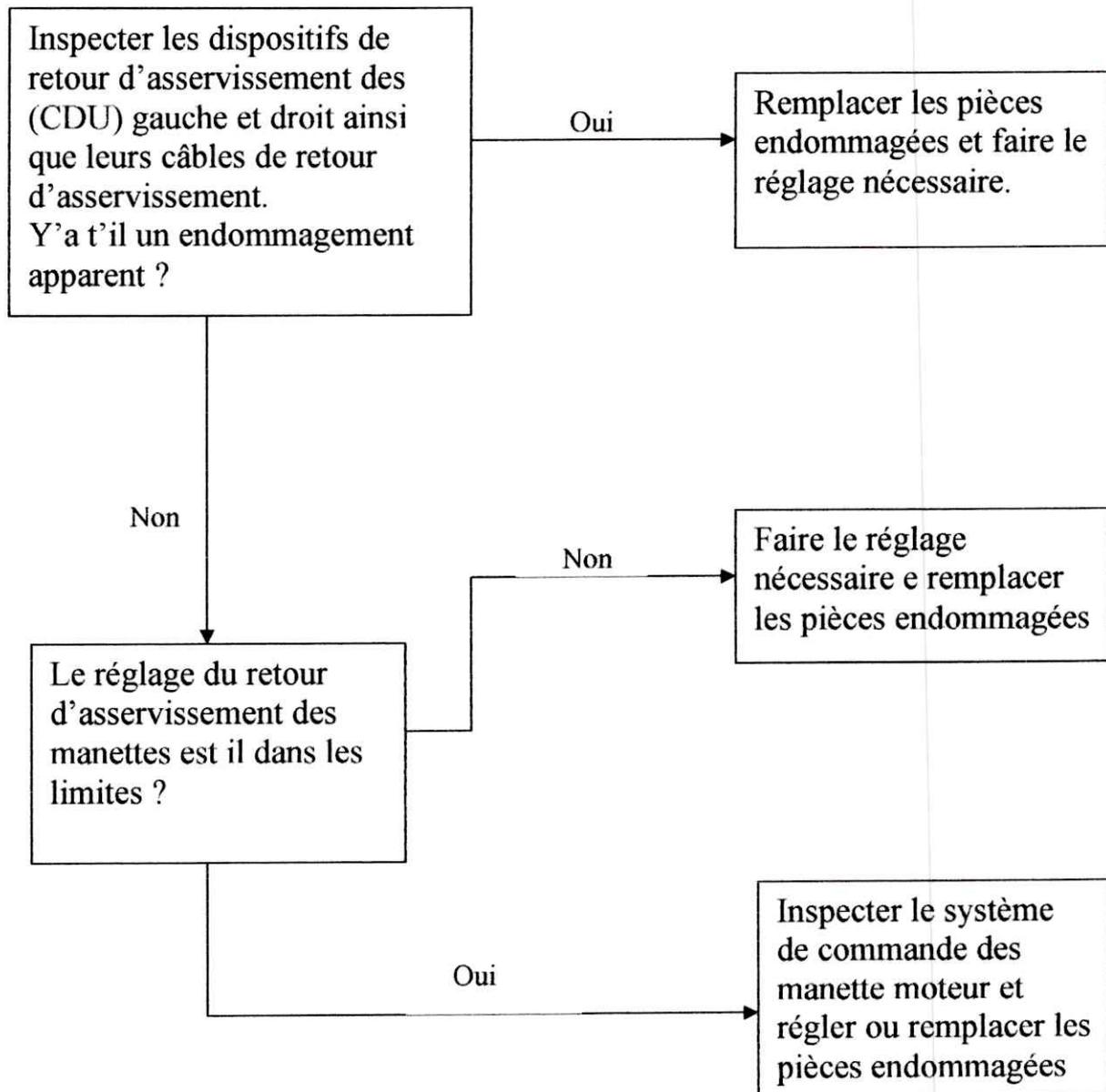
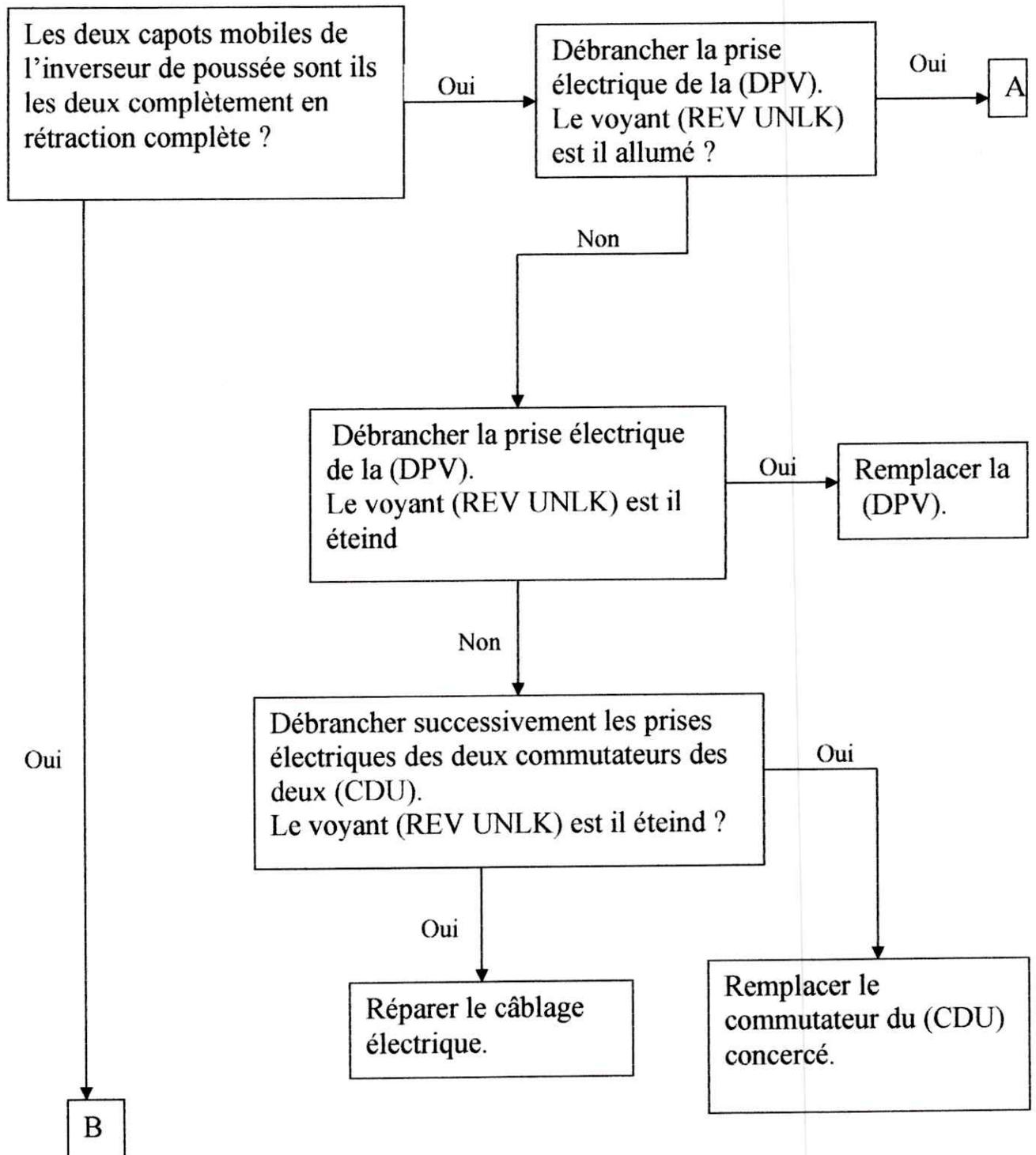


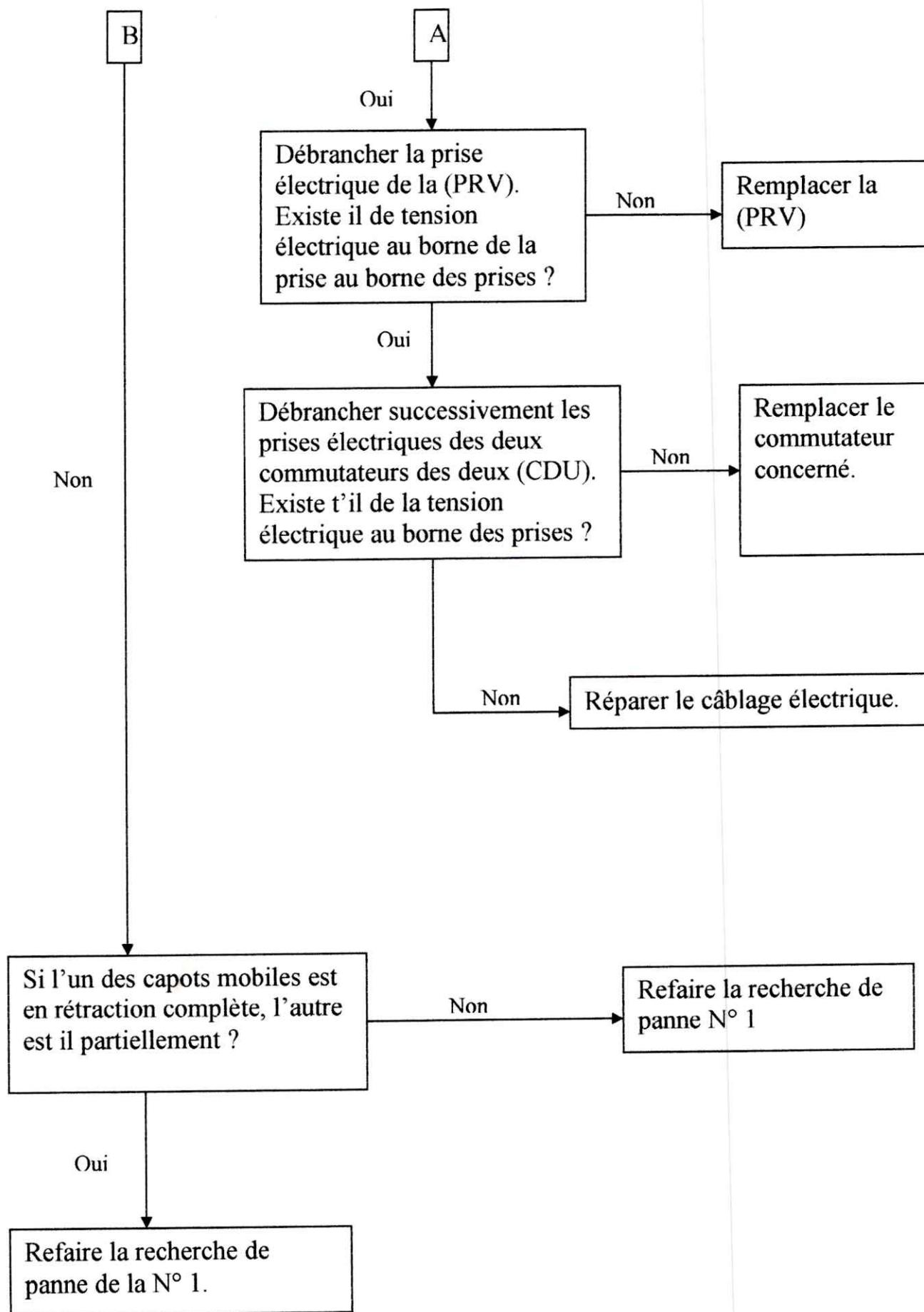
Fig (IV.3) Régulateur de pression et d'arrêt (PRV).

7. Quand les deux capots mobiles sont complètement déployés.  
 La manette d'inverseur de poussée ne se déplace pas de la position ralenti vers la position plein poussée inverse.

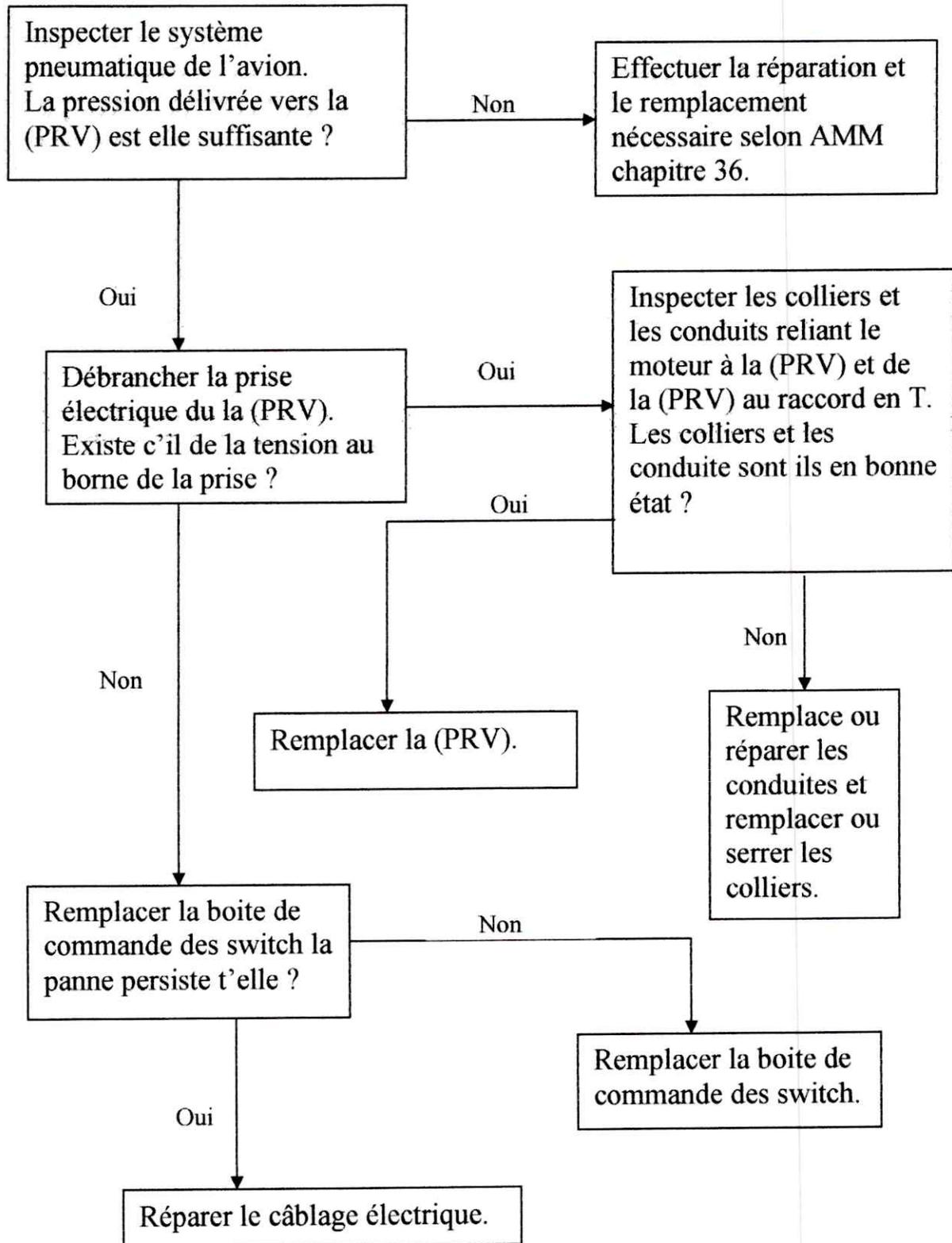


8. Durant la rétraction de l'inverseur de poussée.  
Le voyant (REV) est éteint, le voyant (REV UNLK) s'allume mais ne s'atteind pas.

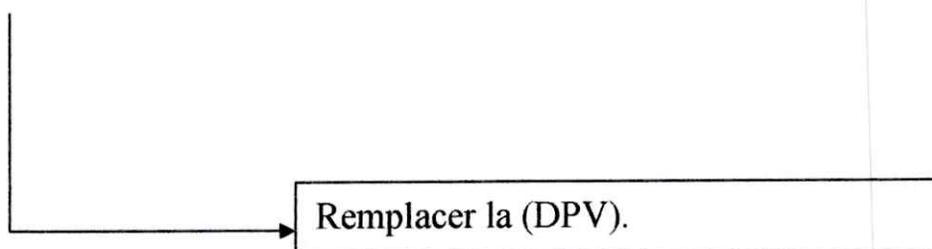




9. La manette d'inverseur de poussée est placée dans la position rétraction  
Le voyant (REV) ne s'atteind pas, le voyant (REV UNLK) ne s'allume pas.



**10.** La manette d'inverseur de poussée en position rétraction.  
Le voyant (REV) reste allumé, le voyant (REV UNLK) est allumé.



## CONCLUSION

Nous avons pu voir que les inverseurs, quoi que très peu connus, mettent en œuvre une technologie de pointe et participent à la sûreté des avions.

Malgré une utilisation de très courte durée, la technicité utile à sa réalisation est très importante, non seulement dans la géométrie retenue mais aussi dans les matériaux et les tests.

Nous avons effectué notre stage de fin d'études au sein d'AIR ALGERIE, dans l'atelier des inverseurs de poussée qui fait la réparation et la maintenance des inverseurs de poussée des avions B727, B737, B767 et A310.

Ce projet de fin d'étude nous a permis de compléter nos connaissances antérieures sur cet élément indispensable dans l'aéronautique commerciale et militaire.

Ce travail a non seulement été le fruit d'une recherche documentaire, mais il nous a permis d'entrer dans le domaine de réparation et maintenance des inverseurs de poussée.

# BIBLIOGRAPHIE

[1]-AIRCRAFT MAINTENANCE MANUAL (AMM) - A310, « Chap 78 ».

[2]-FAULT ISOLATION MANUAL (FIM)-A310, « Chap 78 ».

[3]-Training Manual AIR FRANCE livret N°10.034.

[4]-Dictionnaire technique de l'aéronautique.

## **Thèses :**

[5]-Etude descriptive des inverseurs de poussée de la flotte AIR ALGERIE,  
« IAB, 1995 ».

Diriger par : Mr Laid Bouadi, réaliser par : Djamel Aflalaye, Rabah bouallout.

[6]-Etude comparative des dispositifs anti pompage des réacteurs CF6-80A3 et  
CFM 56-7B, « IAB, 2003 ».

Diriger par : Benomar Abdelkader, réaliser par : Moulla idir, teldji smail.

[7]-Cour de Mr ABADA Omar : recherche de panne.

## **Site internet :**

[WWW.Reverse.com](http://WWW.Reverse.com)

[WWW.GE.com](http://WWW.GE.com)