

10/91
3ex

وزارة الجامعات
Ministère aux Universitaires

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

CONCEPTION D'UN BANC-D'ESSAIS POUR
SERVITUDES PNEUMATIQUES D'AIRBUS
ET BOEING 767

2 PLANCHES

~~TOME~~ : 2

Proposé par :

M.A. BELKAID
(AIR ALGERIE)

Etudié par :

F. LARABA
Dj. KERKEB
N. MAKHLOUFI

Dirigé par :

M.B. BENKOUSSAS
M.A. BELKAID

PROMOTION 1991

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT

GENIE MECANIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

CONCEPTION D'UN BANC-D'ESSAIS POUR
SERVITUDES PNEUMATIQUES D'AIRBUS
ET BOEING 767

TOME : 1

Proposé par :

M.A. BELKAID
(AIR ALGERIE)

Etudié par :

F. LARABA
Dj. KERKEB
N. MAKHLOUFI

Dirigé par :

M.B. BENKOUSSAS
M.A. BELKAID

PROMOTION 1991

إلى أبي وأمي الحبيبين ،

إلى أخواتي حميدة - زهرة وزكية

اللتان أتمنى لهما النجاح ،

إلى أعمامي ،

إلى كل عا ثلتي ،

إلى صديقاتي إلهام - نريمان وفازيلي

أهدي هذا العمل البسيط .
جازية

A mon Papa et à ma Maman
que j'aime tant ,

A mes deux sœurs HAMIDA-ZAHRA et ZAHIA
à qui je souhaite beaucoup de
réussite ,

A mes Oncles et Tantes ,

A toute ma famille ,

A mes amies FAZILAY et NARIMANE
je dédie ce mémoire .

DJAZA .

à papa et à maman chéris, que j'aime
infiniment et que je ne remercierai jamais
assez pour les soins et l'amour dont ils
m'ont entourée,

à ma grand-mère AOUICHA bien-aimée,
à la mémoire de ma grand-mère ZOULIKHA,
à mes frères et sœurs AHMED, FARAH et LEMSA,
à toute ma famille,

à mes amis BOUSSAD, WAHID, REDA, HAKIM,
SMAIL, LOTFI, ABDELOUAHAB et RABAH,

à mes amies EVA, DJAZIA, NADIA et NOUR-
el-HAYAT

Je dédie cet humble mémoire.

Fazila

A MAMA et à PAPA
A mes sœurs Amel et Linda
A mes frères Karim et Adel
A toute ma famille
A DJAZIA que j'aime beaucoup
et que je l'espère restera mon
amie pour toujours
A tous mes ami(e)s
Je dédie ce modeste mémoire

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Marimane

REMERCIEMENTS



المدسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Au terme de cette étude, nous tenons à remercier Monsieur BELKAID pour avoir proposé et suivi ce travail, et Monsieur BENKOUSSAS pour ses précieux conseils.

Nos remerciements vont également à l'adresse des professeurs et enseignants qui ont contribué à notre formation, notamment Monsieur le professeur GAHMOSSE, chargé du cours de MECANIQUE des FLUIDES-GAZODYNAMIQUE et qui nous a fait l'honneur de présider notre jury, Monsieur YOUNSI, chargé des cours de TRANSFERT THERMIQUE et TURBOMACHINES, et Monsieur KSIAZECK qui nous a fait apprécier la RESISTANCE des MATERIAUX.

Notre gratitude va aussi à l'encontre de Monsieur BENOMAR pour les contacts qu'il a établis pour nous avec THE BOEING COMPANY, et aux ingénieurs de la BASE de MAINTENANCE pour leur soutien moral.

Nous remercions aussi Messieurs YAHIAOUI et CHAOUI pour nous avoir facilité l'accès aux installations techniques et aux ateliers de maintenance.

Enfin, que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire trouvent ici l'expression de notre sincère reconnaissance et de notre vive gratitude.

N.MAKHLOUFI - F.LARABA - D.KERKIEB

ملخص:
الممراد من هذه الدراسة تصميم
وحدة اختبار عناصر ضبط الضغط
و الحرارة على متن طائرات
الـ"اربوس و البوينج 767 و تقدير
الكلفة الاجمالية لهذه الوحدة
مع محاولة استعمال أقصى قدر
ممکن من المنتوجات الوطنية في
هذا المجال.

RESUME:

Cette étude a pour but la conception d'un banc-d'essais pour servitudes pneumatiques d'AIRBUS et BOEING 767, et l'élaboration d'un cahier de charges en tenant compte d'une intégration économique.

ABSTRACT:

The aim of this research is to conceive a testing stand for AIRBUS and BOEING 767 pneumatics, and to make an estimate of this project.

Correspondance entre les unités utilisées dans ce mémoire
et les unités du Système International

Longueur

$$1 \text{ foot (ft)} = 0.3048 \text{ m} = 12 \text{ inches}$$

$$1 \text{ inch (in)} = 2.54 \text{ cm}$$

Masse

$$1 \text{ pound (lb)} = 0.4535 \text{ kg}$$

Pression:

$$1 \text{ psi (pound per square inch)} = 1 \text{ lb/in}^2 = 6895 \text{ N/ m}^2$$

$$1 \text{ in Hg} = 3386 \text{ N/ m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 14,504 \text{ psi} = 10^5 \text{ Pa} = 1,0197 \text{ Kg/cm}^2 = 1 \text{ hpz}$$

Température

$$t^{\circ} \text{ F} = 1.8 t^{\circ} \text{ C} + 32$$

$$t^{\circ} \text{ K} = t^{\circ} \text{ C} + 273.15$$

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE UN	: Introduction.....	1
CHAPITRE DEUX	: Les Systèmes Pneumatiques.....	3
2-1	: Généralités.....	4
2-1-1	: Classification des systèmes pneumatiques.....	4
2-1-2	: Avantages du système pneumatique.....	4
2-2	: Le système pneumatique dans l'aéronef.....	5
2-2-1	: Engine Air Supply System.....	6
2-2-2	: APU and Ground Air Supply systems.....	19
2-2-3	: Air Supply Indication.....	19
CHAPITRE TROIS	: Etude de Quelques Servitudes Pneumatiques Faites à partir des Manuels de Maintenance.....	23
3-1	: Généralités.....	24
3-1-1	: Section 21.....	24
3-1-2	: Section 36.....	24
3-2	: Section 21.....	26
3-2-1	: Three and One Half Inch Diameter Check Valve.....	26
3-2-2	: Water Separator.....	29
3-2-3	: Heat Exchanger.....	32
3-2-4	: Flow Control Valve.....	35

3-2-5	: Trim Air Pressur Regulating Valve.....	38
3-2-6	: Refrigeration Unit.....	41
3-3	: Section 36.....	44
3-3-1	: Pneumatic Pressure Regulator Valve.....	44
3-3-2	: Bleed Air Precooler.....	47
3-3-3	: Mid Stage Check Valve.....	50
3-3-4	: L P Bleed Check Valve.....	53
3-3-5	: APU/LP Bleed Check Valve.....	56
3-3-6	: Two and One Half Inch Diameter Regulator and Shut off Valve.....	59
3-3-7	: Fan Air Valve.....	62

CHAPITRE QUATRE : Etude Générale des Compresseurs

4-1	: Généralités.....	66
4-1-1	: Les compresseurs volumétriques.....	66
4-1-2	: Les turbocompresseurs.....	66
4-2	: Compresseur à piston.....	66
4-2-1	: Description et principe de fonctionnement.....	66
4-2-2	: Le travail de compression.....	67
4-2-3	: Les différents types de compresseurs.....	68
4-3	: Les Turbocompresseurs.....	70
4-3-1	: Principe des turbocompresseurs.....	70
4-3-2	: Le compresseur centrifuge.....	70
4-3-3	: Le compresseur axial.....	71

4-4	: Compresseur à vis.....	71
4-4-1	: Principe de Fonctionnement.....	72
4-5	: Différences Fondamentales de principe entre les compresseurs volumétriques et les turbocompresseurs.....	72
4-6	: Techniques pour le choix de la machine.....	73
4-7	: Choix du compresseur.....	74
CHAPITRE CINQ	: Conception du banc-d'essais standard.....	76
5-1	: Introduction.....	77
5-2	: Dimensionnement.....	77
5-2-1	: Dimensionnement de la veine principale de l'entrée n° un.....	81
5-2-2	: Dimensionnement des veines Secondaires de l'entrée n° un.....	88
5-2-3	: Dimensionnement de la veine principale de l'entrée n° deux.....	93
5-2-4	: Dimensionnement des veines secondaires de l'entrée n° deux.....	94
5-2-5	: Tableau Récapitulatif- conclusion.....	96
5-3	: Choix des Accessoires du banc-d'essais.....	97
5-3-1	: Le compresseur.....	97
5-3-2	: Le sécheur.....	98
CHAPITRE SIX	: Elaboration du cahier de charges.....	99
6-1	: Devis de l'installation (ENITEC).....	100
6-2	: Fourniture des Accessoires (compresseur-sécheur).....	101
6-3	: Prix de revient du banc-d'essais standard.....	101
6-4	: Conclusion.....	102

CHAPITRE SEPT : Conclusion.....103

ANNEXES:

- ANNEXE 1 : Technologie des Turboréacteurs*
- ANNEXE 2 : Le Réacteur CF6-80, Description et Particularités*
- ANNEXE 3 : Groupe de Puissance Auxillaire*
- ANNEXE 4 : Classification et Définition ATA des ensembles de rattachement.*
- ANNEXE 5 : Servitudes pneumatiques équipant les AIRBUS et BOEING 767 algériens.*
- ANNEXE 6 : Déroulements des différents tests*
- ANNEXE 7 : Conception du banc-d'essais standard*
- ANNEXE 8 : Lexique.*

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

AVANT

PROPOS

Cette étude a été menée

à la base de maintenance et

à l'atelier G M P

(Groupe Moteur Propulseur)

de l'aéroport HOUARI BOUMEDIENE

CHAPITRE UN

INTRODUCTION

Au lendemain de l'indépendance, AIR ALGERIE n'était qu'une compagnie aérienne, assurant le seul transport aérien. Il n'était point question alors de maintenance nationale; nos avions étaient révisés à l'étranger.

Cependant, il fallait se prendre en charge, et réduire notre dépendance vis-à-vis des compagnies étrangères. De ce fait, ingénieurs et techniciens furent formés pour de sommaires travaux de maintenance. On ne s'en tint point là puisque, selon la politique d'expansion, AIR ALGERIE renouvela et renforça sa flotte, acquit du matériel pour des inspections d'aéronefs programmées selon un certain potentiel en heures de vol, forma et envoya cadres et techniciens aux U.S.A, en FRANCE, et en BELGIQUE pour des stages de qualification.

Aujourd'hui, du point de vue maintenance, AIR ALGERIE est assez bien cotée à l'échelle continentale : en effet, on lui attribue l'un des meilleurs rapports qualité-prix, faisant que ses services sont assez prisés des compagnies africaines.

A noter cependant que nos réacteurs sont parfois envoyés pour révision chez AIRMOTIVE (Irlande) et ceci faute de pièces de rechange, d'appareillages ou de bancs-d'essais. Ceci frise l'aberration si on sait que parfois, les réparations sont effectuées, mais devant respecter les mesures draconiennes internationales de sécurité et de contrôle (il y va de la vie de milliers de personnes), l'élément doit passer au banc-d'essais pour un dernier check-up. Ceci se fait alors outre-mer .

C'est pour réduire cette hémorragie économique que constituent les frais de maintenance pour la compagnie, et pour éviter que de gros porteurs soient parfois immobilisés (que d'argent perdu alors) qu'est en cours de réalisation le projet H400 ou Base de Maintenance . De part son envergure et les moyens mis en oeuvre, ce projet permettra une plus large intervention sur réacteurs. Quant à notre projet, il a pour but de concevoir un banc-d'essais pour servitudes pneumatiques d'aéronefs(AIRBUS A310-203 et BOEING 767), et d'établir un cahier de charges pour la compagnie .

De ce fait, nous aborderons d'abord la description du système pneumatique et de ses composants fondamentaux. Puis, nous étudierons en détail quelques servitudes pneumatiques prises çà et là dans l'avion, et nous schématiserons leur banc-d'essais individuel. Ensuite, nous aborderons les différents types de compresseurs. On arrivera alors au noyau du sujet qui consiste en la conception du banc-d'essais : Dimensionnement des tuyauteries d'air comprimé, choix du compresseur et des accessoires du banc-d'essais.

Enfin, avant de clore notre thème, nous élaborerons un cahier de charges, basé sur une éventuelle intégration économique.

CHAPITRE DEUX

LES SYSTEMES PNEUMATIQUES

2-1- Généralités :

Le petit LAROUSSE définit la pneumatique comme étant " la science ayant pour but l'étude des gaz du point de vue de leur mouvement " . Cela couvre un immense domaine . Ce domaine est d'ailleurs tellement vaste que les différents auteurs d'ouvrages techniques en aéronautique ne semblent pas s'accorder sur ce qui entre dans la catégorie des systèmes pneumatiques et sur ce qui en est exclu .C'est pourquoi nous précisons immédiatement ce qu'ici nous qualifions de pneumatique .

2-1-1 .Classification des Systèmes Pneumatiques :

Nous pouvons classer ces systèmes comme suit :

a-Le système pneumatique qui sert de source d'énergie de secours en cas de défaillance du système hydraulique ou électrique .

b-Le système pneumatique qui a, dans certains avions, les mêmes fonctions qu'un système hydraulique ,à savoir qu'au lieu d'utiliser des câbles, des tringles, des poulies de renvoi et toute une trimmerie complexe qui alourdissent la structure et lui imposent de gros efforts, il suffit d'amener une conduite au voisinage de l'élément à déplacer .

c-Le système pneumatique qui sert à approvisionner en air comprimé les dispositifs de dégivrage, de démarrage des turbines, de pressurisation et de conditionnement d'air .

Les deux premiers systèmes mentionnés utilisent des hautes pressions (de l'ordre des dizaines de MPa), alors que les dispositifs énumérés dans le troisième fonctionnent à basse pression .

2-1-2.Avantages du Système Pneumatique :

Les avantages du système pneumatique sont nombreux :

a-Il est plus léger que le système hydraulique du fait que l'air a un poids spécifique pratiquement négligeable et que ce système nécessite moins de pièces .

b-Il n'a pas besoin de conduites de retour puisque l'air peut s'échapper librement; les réservoirs étant inutiles, il n'est donc pas question de pressurisation; les accumulateurs sont de construction plus simple car ils n'ont qu'une seule chambre .

c-Enfin, mentionnons que le risque d'incendie du fluide est inexistant, que les fuites ne posent aucun problème de corrosion et que le système est propre .

2-2 .Le Système Pneumatique dans l'Aéronef

Si l'on considère à présent le système pneumatique en général, ce dernier fournit de l'air aux usagers suivants :

- Le système de conditionnement d'air ,
- Le système de chauffage ,
- Le système anti-givre des ailes ,
- Le système anti-givre de la pointe du capot moteur ,
- Le démarreur réacteur ,
- L'inverseur de poussée ,
- Le réservoir de mise en pression hydraulique ,
- La sonde de température totale de l'air ,
- Les distributeurs chasse-pluie ,
- Le réservoir de pressurisation d'eau ,
- La pompe hydraulique amenant l'air .

Si l'on schématise tout ceci :

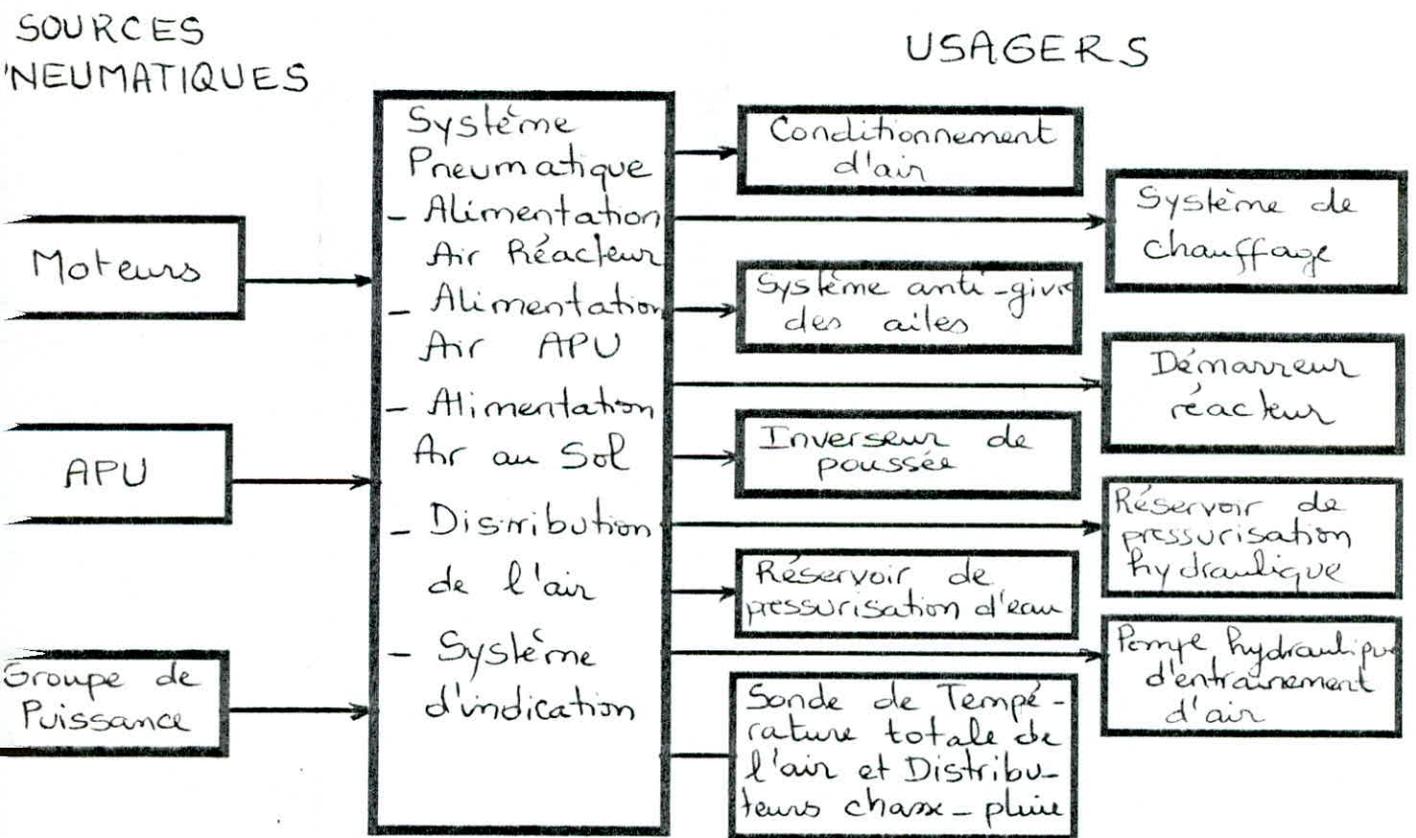


Tableau - 1: Schéma du Système Pneumatique de l'Aéronef.

Ces composants du système pneumatique sont situés un peu partout dans l'avion . [Fig-1, Pneumatic System] .
Les dispositifs de contrôle, de monitoring et d'indication de ce système se trouvent au flight compartment (1) et au main equipment center (2) .

Du point de vue localisation :

a- L'engine air supply system [(3)et(4)]est retrouvé dans trois zones : sur le moteur, entre le réacteur et le caisson et dans le caisson réacteur .

b- L'APU air supply system (5) se situe entre la cloison pare-feu APU (6) et la cloison étanche arrière (7) .

c- Le ground air supply system (8) se situe avant le groupe de conditionnement d'air gauche (9) lui-même situé devant la soute du train principal gauche (10) . ce Système ne sera pas traité dans ce mémoire .

d- L'air supply distribution system (11) s'étend d'un moteur à l'autre, et vers la cloison pare-feu APU .

2-2-1 .Engine Air Supply System :

Les vues partielles de droite et de gauche du réacteur, respectivement notées :

Fig-2 Engine AIR Supply Location, Right side

et :

Fig-3 Engine AIR Supply Location, Left side; donnent une vue globale de ce système .

Celui-ci prélève de l'air piqué au moteur à partir du 14^{ème} étage (haute pression) ou du 8^{ème} étage (intermédiaire) .Cet air est à une pression et à une température régulées, et est acheminé vers le système de distribution comme source pneumatique pour divers systèmes (cités précédemment) .

L'engine air supply system comprend en fait deux sous-systèmes identiques et indépendants l'un de l'autre, un pour chaque moteur.

Chaque sous-système comprend des valves contrôlées pneumatiquement, des organes de commande déclenchés électriquement et fonctionnant pneumatiquement, des sondes, des manostats et des thermostats .

Ces éléments fonctionnent automatiquement pour vérifier la pression et la température de l'air soutiré du réacteur.

Les documents ci-après, respectivement notés :

Fig-4 :Engine Air Supply System, Prospect View

et :

Fig-5 :Engine Air Supply System, Diagram of the operating functions

offrent une vue en perspective et une vue schématisée d'un sous-système .

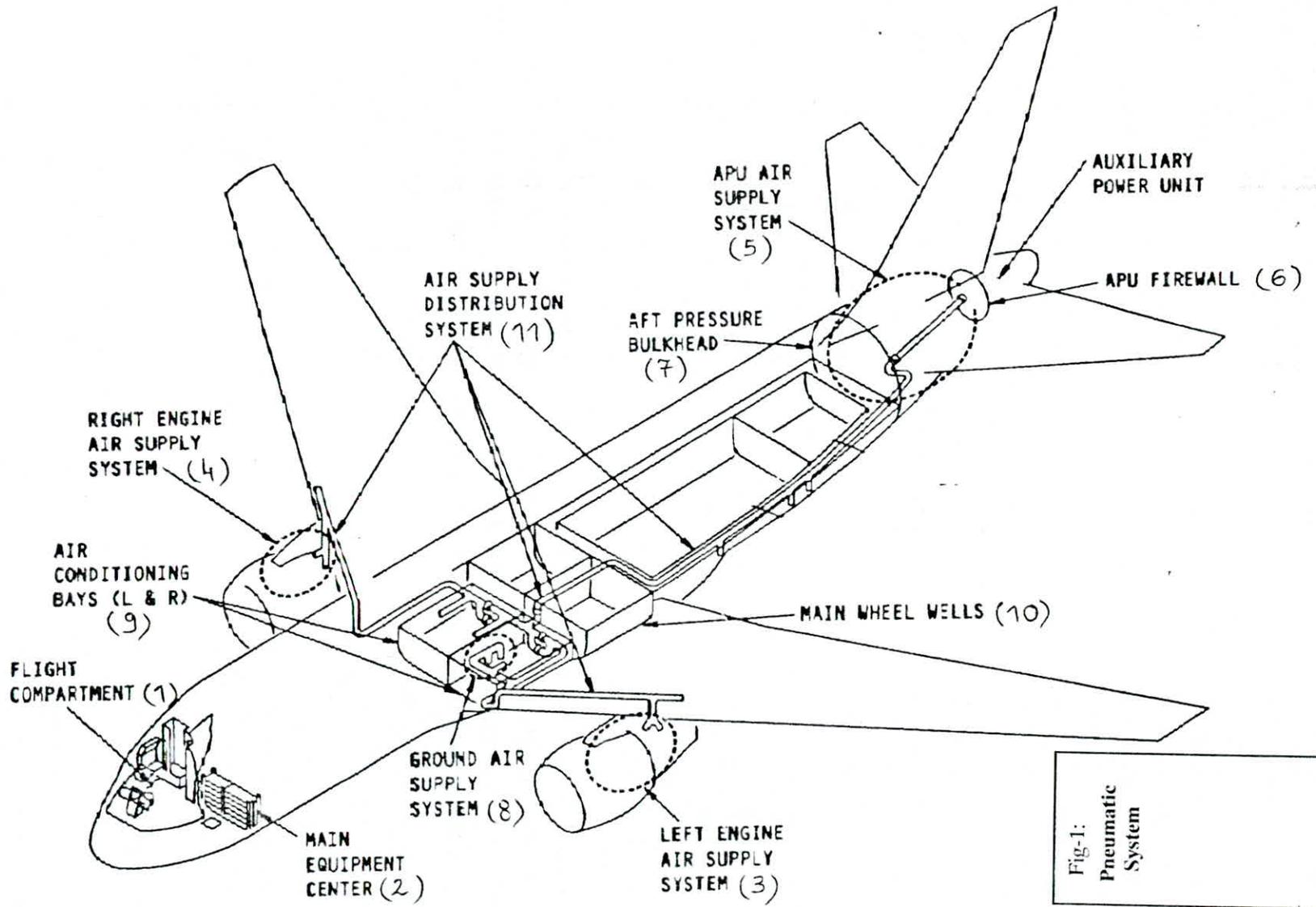


Fig-1:
Pneumatic
System

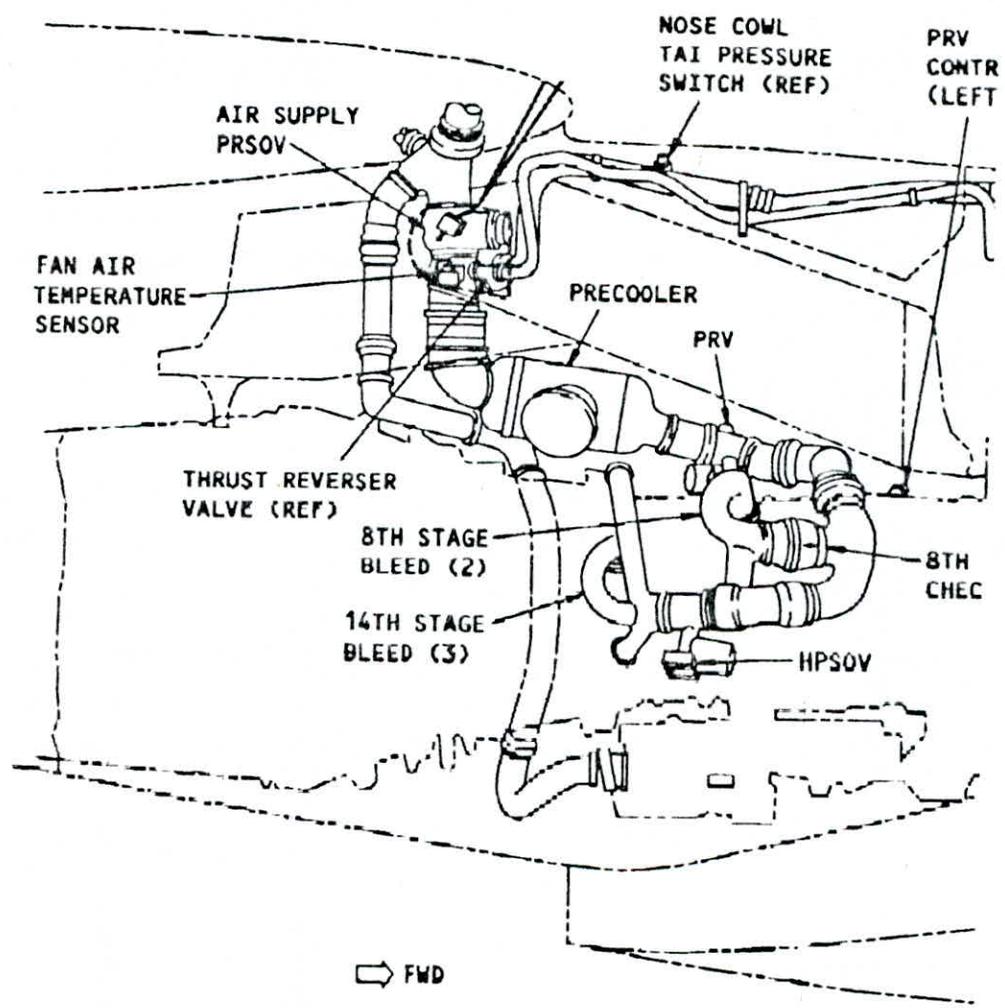


Fig-2: Engine Air Supply Location , Right side

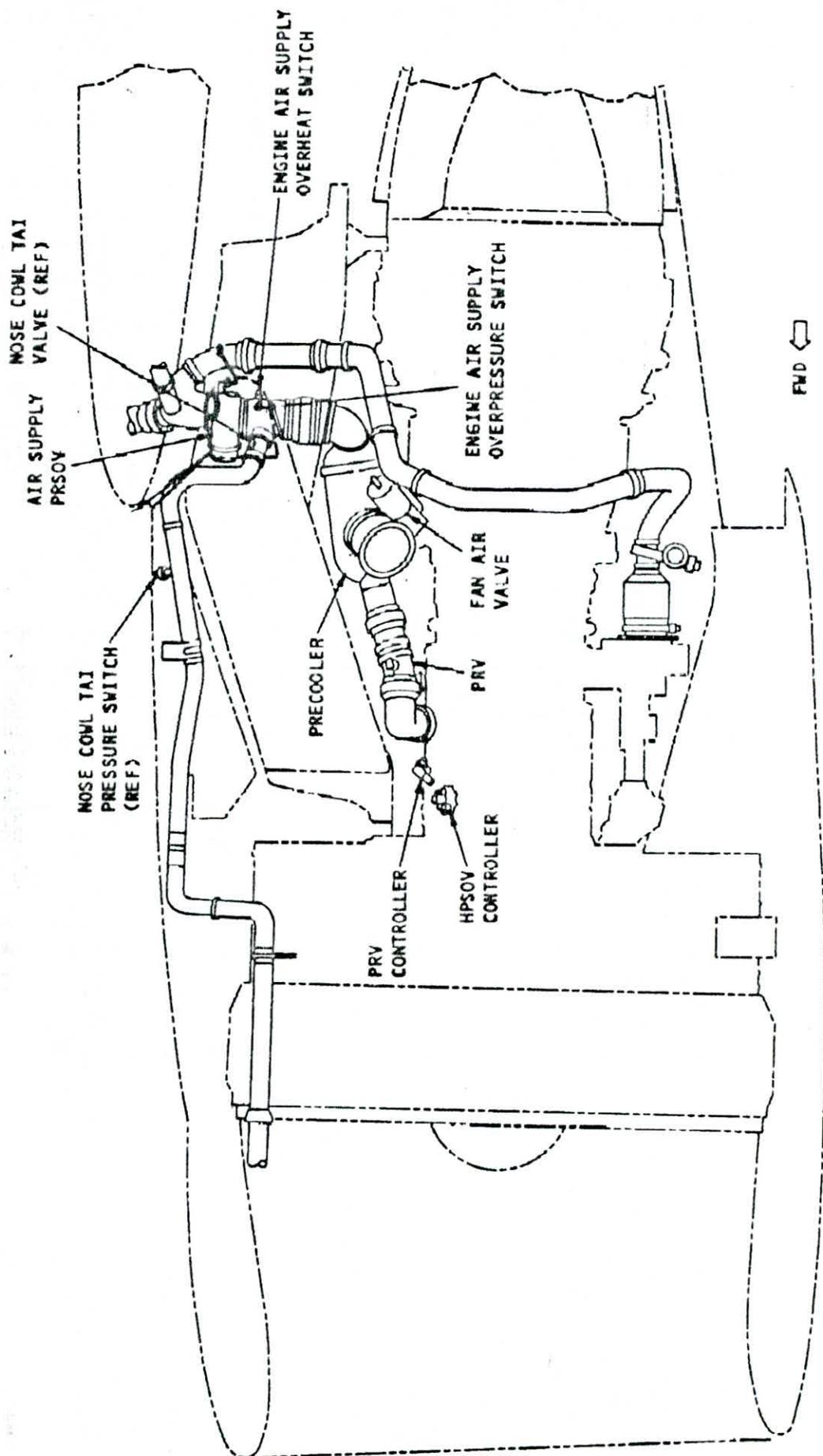


Fig-3: Engine Air Supply Location, Left side

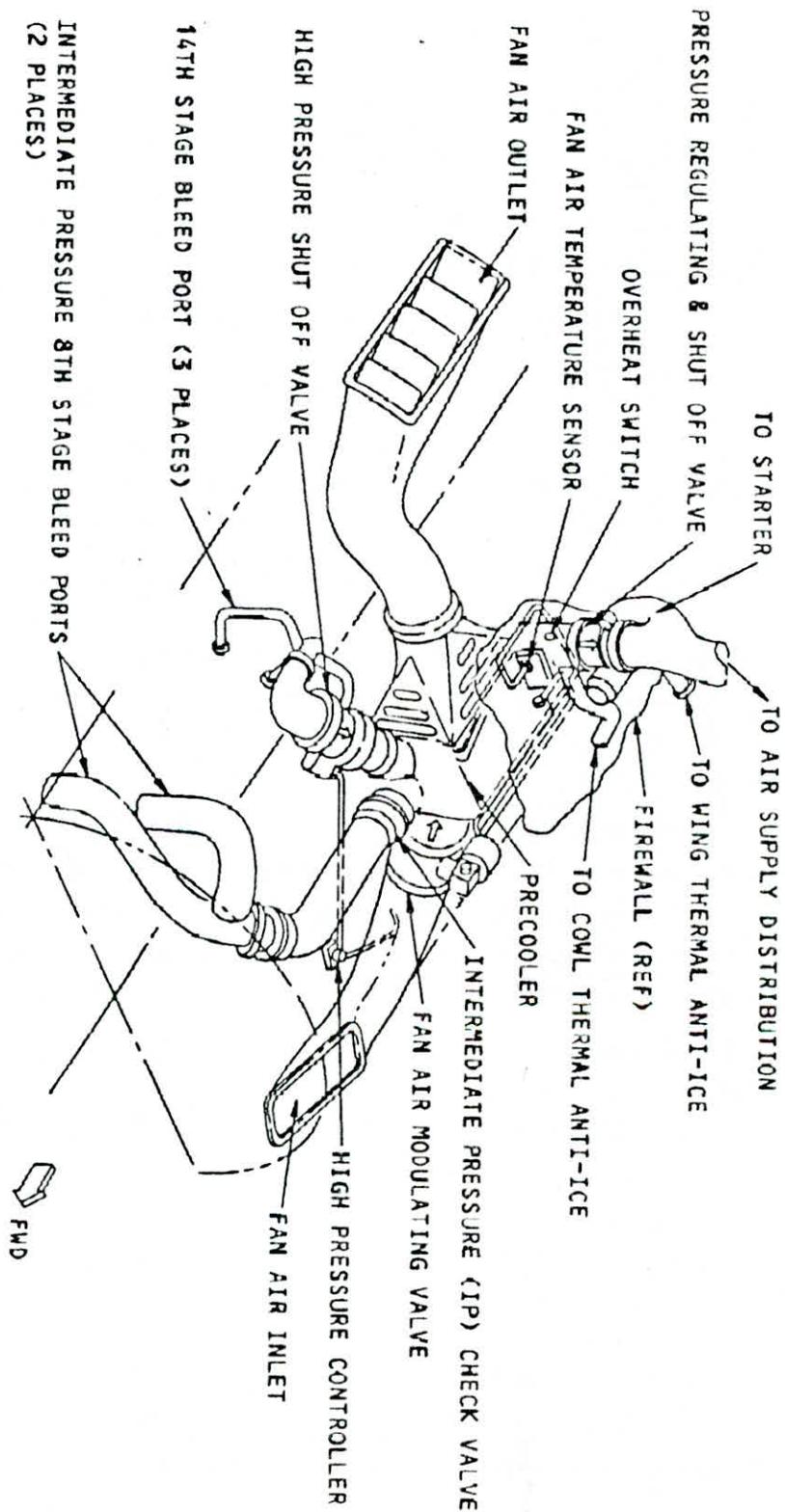
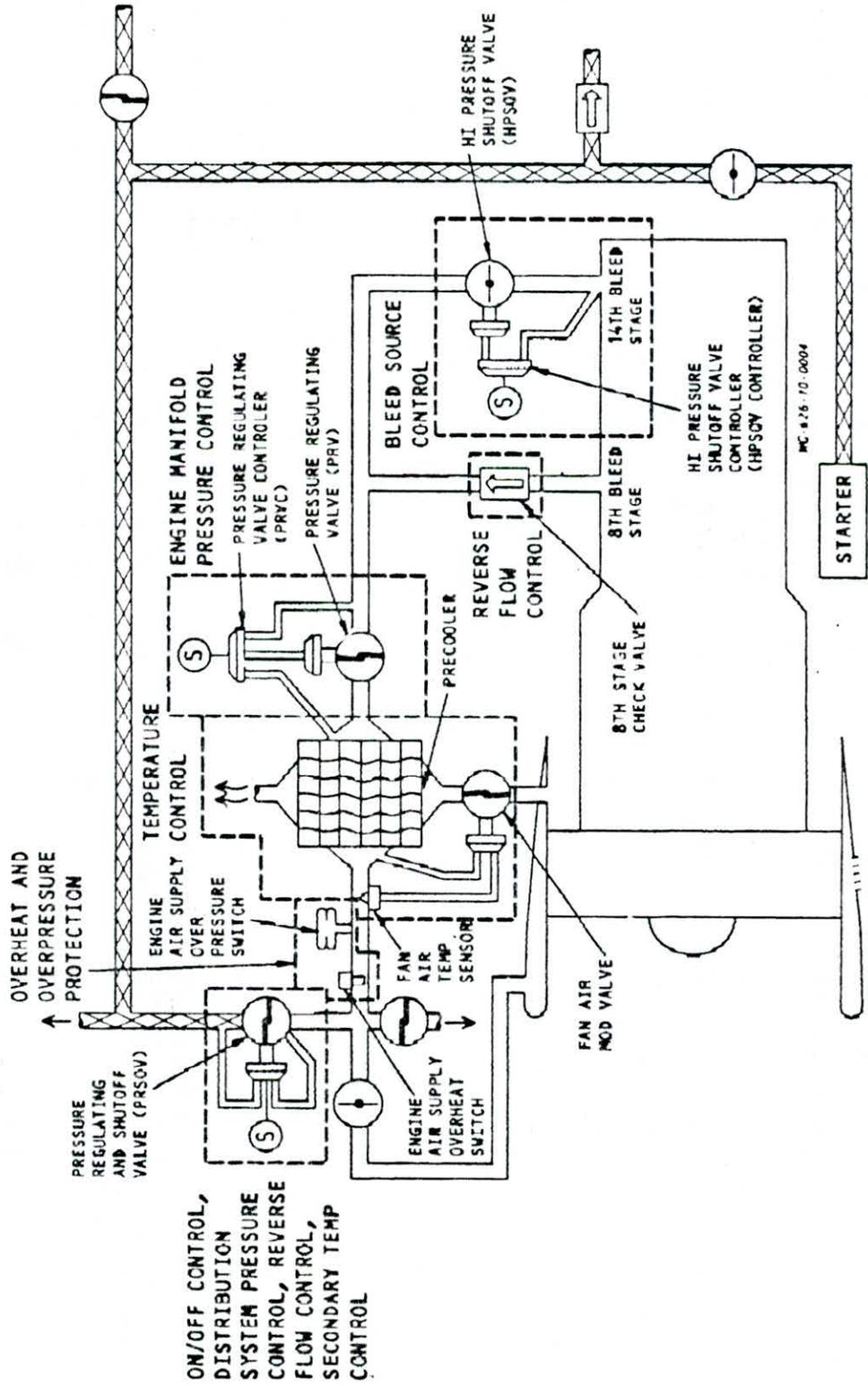


Fig-4: Engine Air Supply System, Prospect view

Fig-5: Engine Air Supply System, Diagram of the Operating Functions



a- Description d'un sous-système :

Un sous-système est en fait subdivisé selon des fonctions de contrôle qu'on classe comme suit :

. Bleed Source Control

L'élément de contrôle de cette source est la high pressure ShutOff Valve (HPSOV), pneumatiquement contrôlée par le High pressure ShutOff Valve Controller (HPSOVC). Ces deux éléments constituent le système haute pression.

Le HPSOVC est situé sur le moteur, avant le precooler. IL est relativement isolé pour éviter les températures et vibrations nuisibles des étages du compresseur HP.

La HPSOV est elle aussi située avant le precooler, et elle est fermée par une force de rappel élastique en cas de défaillance du HPSOVC.

Le schéma noté :

Fig-6 : HPSOV and HPSOVC : location and Views localise et représente nos deux éléments.

. Temperature Control :

Trois éléments contrôlent la température de l'air soutiré. Ce sont le precooler, la Fan Air Valve, et le Fan Air Sensor. La Pressure Regulating and Shutoff Valve (PRSOV) a pour second rôle de réguler la température. Ces éléments sont représentés sur la (Fig-4 : Engine Air Supply System, Prospect View) reconstruite précédemment .

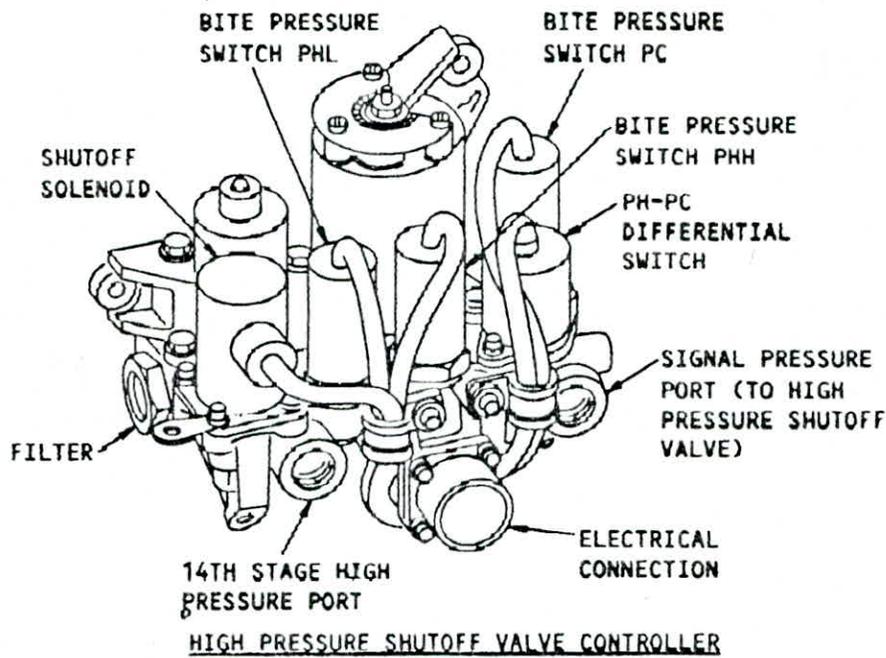
. Reverse Flow Control :

La check Valve du 8^{ème} étage assure le contrôle de toute inversion d'écoulement. Ce rôle est tenu par la PRSOV (Fig-7 : PRSOV, location)et(Fig-8 : PRSOV, Views) dans le système de distribution.

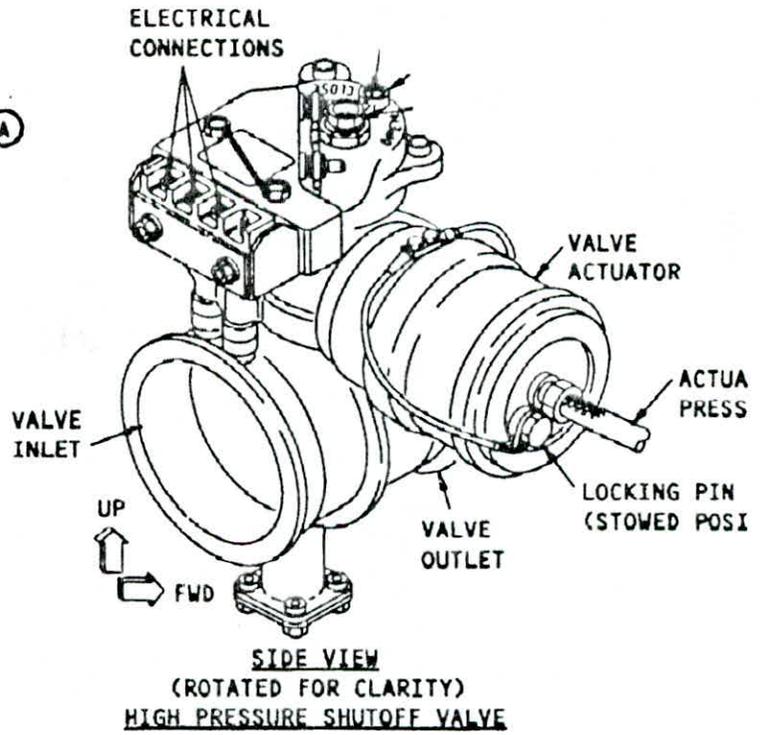
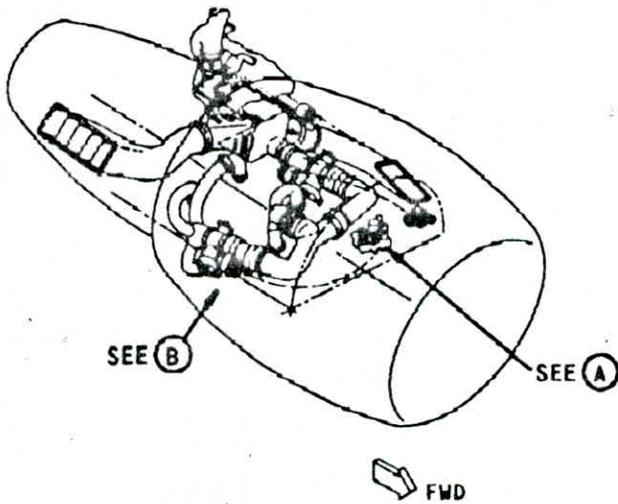
. Pressure Control :

La Pressure Regulating Valve (PRV) (Fig-9 : HPSOV and PRV) contrôle la pression de l'engine manifold area ou zone d'admission réacteur.

La PRSOV contrôle la pression de l'air soutiré du moteur pour le système de distribution et d'alimentation en air.



(A)



(B)

Fig-6: HPSOV and HPSOVC : Location and Views.

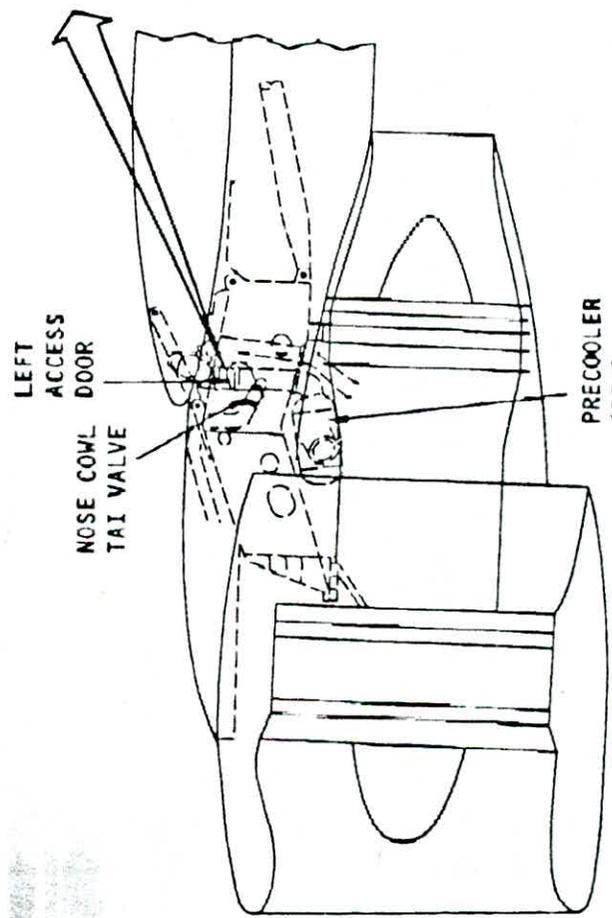
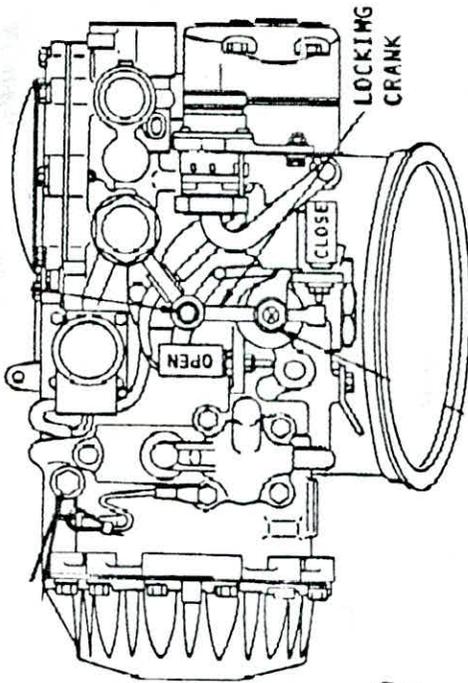
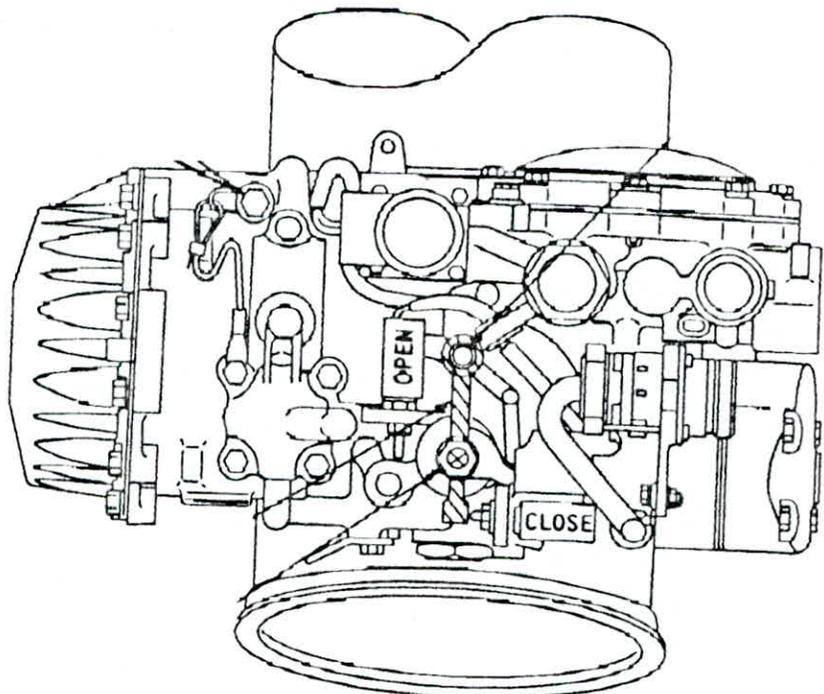
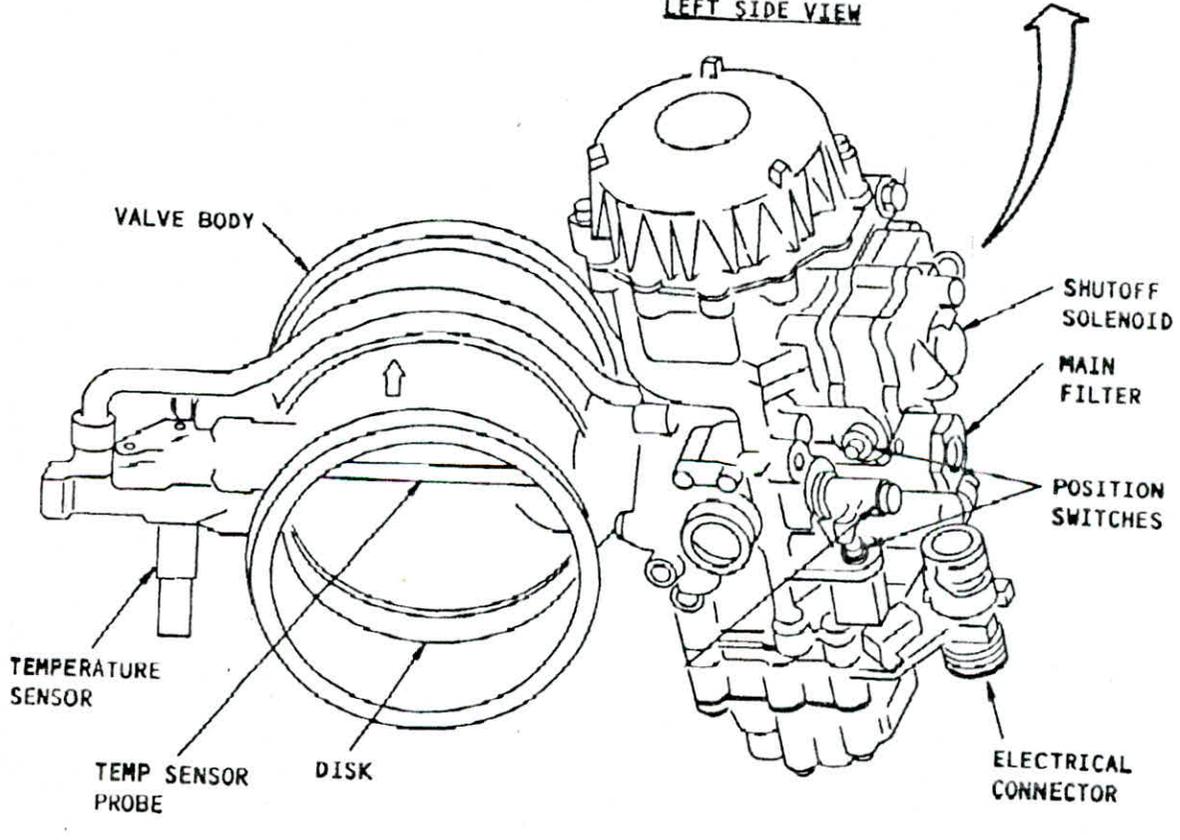


Fig-7: PRSOV, Location



LEFT SIDE VIEW



VALVE ROTATED FOR CLARITY

Fig-8:PRESSURE REGULATING AND SHUTOFF VALVE,Views

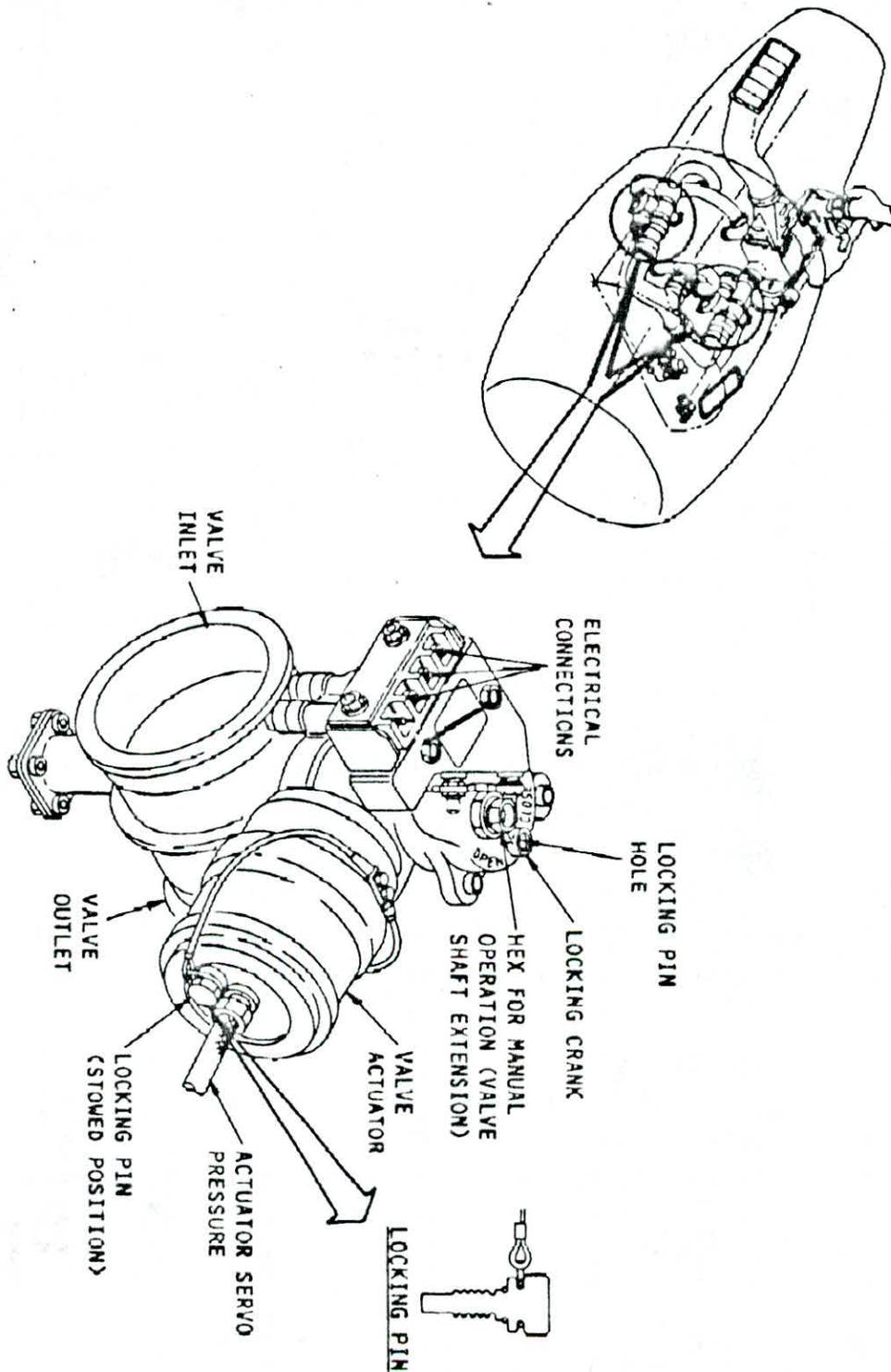


Fig-9: HPSOV AND PRV

. Overheat and Overpressure Protection :

Ce rôle est respectivement tenu par un thermostat et un manostat .

Les éléments du sous-système cités ci-dessus sont disponibles sur tous les réacteurs CF6-80. Nous noterons cependant une option du CF6-80C2 (Boeing 767 AIR ALGERIE) : l'intermediate pressure check valve (Fig-10 : IP check valve).

Située au 8^{ème} étage, il s'agit d'une in-line check valve. Elle est plus précisément située sur le côté droit du moteur, au dessous de l'inverseur de poussée, entre les orifices de soutirage 8^{ème} étage et la section Fan du moteur.

Cette valve empêche tout écoulement inverse dans le 8^{ème} étage. Son fonctionnement est basé sur la différence des pressions amont-aval :

- pression en amont de la valve > pression aval :
valve ouverte.
- valve fermée sinon.

b- Fonctionnement d'un sous-système :

* Si l'interrupteur de soutirage réacteur est en position ON , ceci déclenche la PRSOV, le PRVC et le HPSOVC.

. L'air est soutiré du moteur à partir des orifices de soutirage du 8^{ème} ou du 14^{ème} étage.

Le HPSOVC agit en fonction de la pression au niveau du 14^{ème} étage et de l'altitude de l'avion. Aux bas régimes, le 14^{ème} étage est choisi pour la fourniture de l'air.

Aux grands régimes, le 8^{ème} étage assure ce rôle .

Le bleed air control card surveille la HPSOV par le biais du disjoncteur de sécurité (fermé) de la valve.

L'indicateur de défaillance de la HPSOV sera déclenché si la vanne ne s'ouvre pas pour les raisons suivantes :

- La pression du 14^{ème} étage est supérieure à 127 psig,

ou :

- Le système de détection de surchauffe détecte une surchauffe (température supérieure à 300°F ou 149°C),

ou :

- l'engine bleed air overheat switch est déclenché (au delà de 490°F correspondant à 254°C).

* Aux bas régimes, quand l'air est soutiré du 14^{ème} étage, le clapet anti-retour du 8^{ème} étage prévient tout écoulement d'air du 14^{ème} étage vers le 8^{ème}.

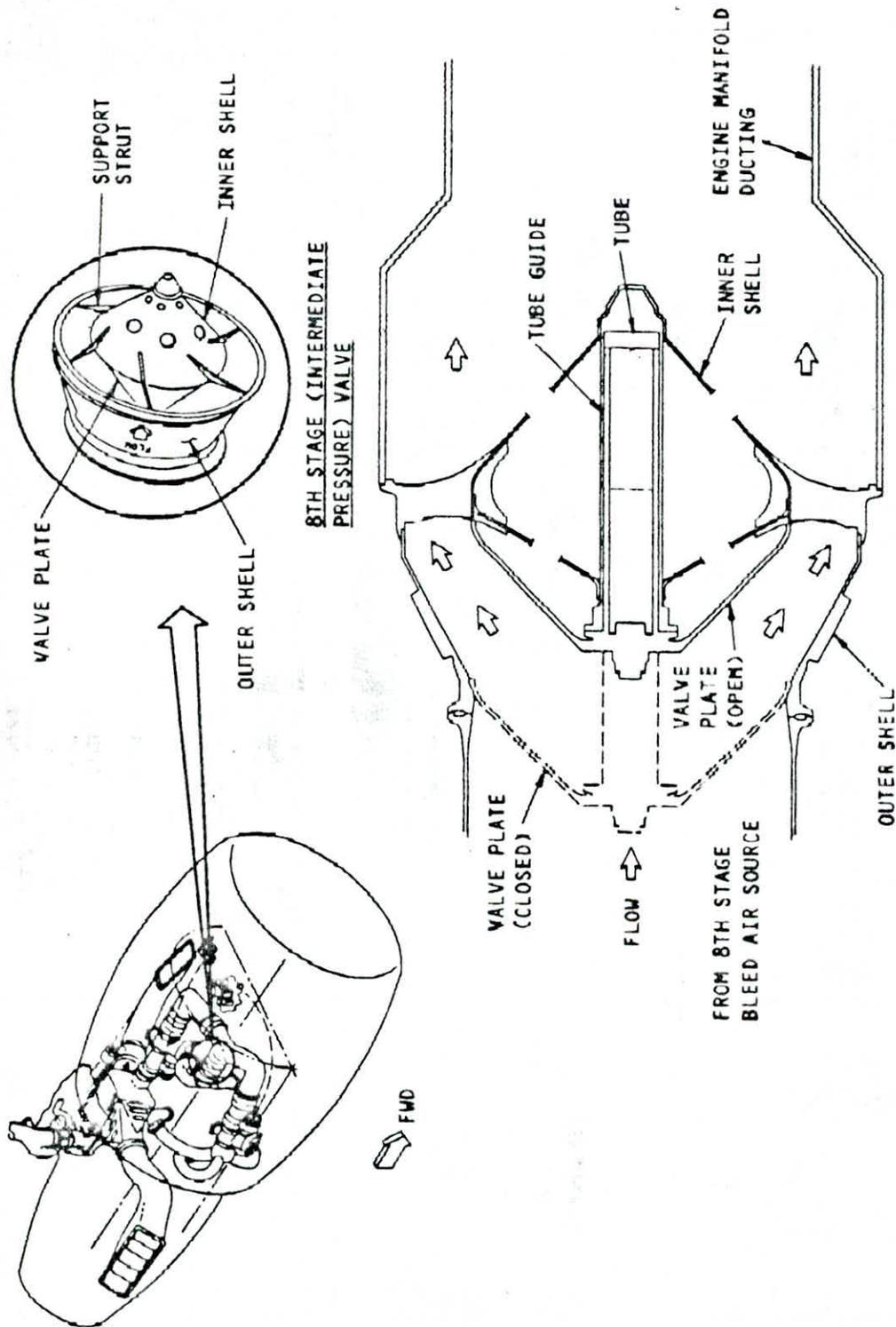


Fig-10: INTERMEDIATE PRESSURE CHECK VALVE

* Le PRVC régule la pression à l'entrée du réacteur de façon à ce qu'elle ne dépasse pas 97 psig (+5psi, -12psi).

* L'air soutiré, après son passage par le PRV, passe par le precooler qui fait partie de la section primaire de contrôle de la température de l'air soutiré du moteur. Le precooler dirige l'écoulement vers la PRSOV et refroidit l'air provenant de la Fan Air Valve. L'air soutiré du moteur et celui refroidissant le fan sont séparés par des ailettes de refroidissement.

* La quantité d'air frais provenant de la soufflante et traversant le precooler est contrôlée par la Fan Air Valve, dont la position est modulée par le Fan Air Temperature Sensor. Cette sonde détecte la température de l'air à une valeur de $400^{\circ}\text{F} \pm 30^{\circ}\text{F}$ ($204 \pm 16^{\circ}\text{C}$). Le manostat et le thermostat surveillent l'air soutiré à la sortie du precooler. Si sa température excède $490^{\circ}\text{F} +10^{\circ}\text{F}, -5^{\circ}\text{F}$ ($254^{\circ}\text{C}, +6^{\circ}\text{C}, -3^{\circ}\text{C}$), le thermostat fournira un signal à la bleed air control card. Cette dernière signalera la surchauffe au cockpit et actionnera en même temps le PRV et le HPSOVC en position OFF. Une pression supérieure ou égale à 110 psig dans l'engine manifold actionnera le manostat qui le signalera au cockpit si le PRV ne se ferme pas.

* Le PRSOV, quand il est actionné, régule la pression de l'air admis dans le système de distribution à 40 ± 10 psig. La valve comprend un circuit de contrôle de température régulant le débit si la température de l'air soutiré dépasse 450°F (232°C); c'est donc un élément secondaire de contrôle de température, aidant en cela le circuit primaire cité ci-dessus.

La valve dispose aussi d'un reverse flow control qui fermera la valve si la pression de l'engine manifold est inférieure à celle du système de distribution.

2-2-2 : APU and Ground Air Supply Systems :

Ces deux systèmes ne sont pas l'objet de notre étude.

Les documents ci-après, notés :

Fig-11 : APU and Ground Air Supply Systems, Location et :

Fig-12 : APU and Ground Air Supply Systems, Diagram localisent et donnent une configuration schématique de ces deux systèmes.

2-2-3 : Air Supply Indication :

Ce système fournit toutes les informations nécessaires à l'équipage ou au personnel de maintenance, concernant les circuits de contrôle et de monitoring pour toute condition ou état normal ou anormal du système pneumatique.

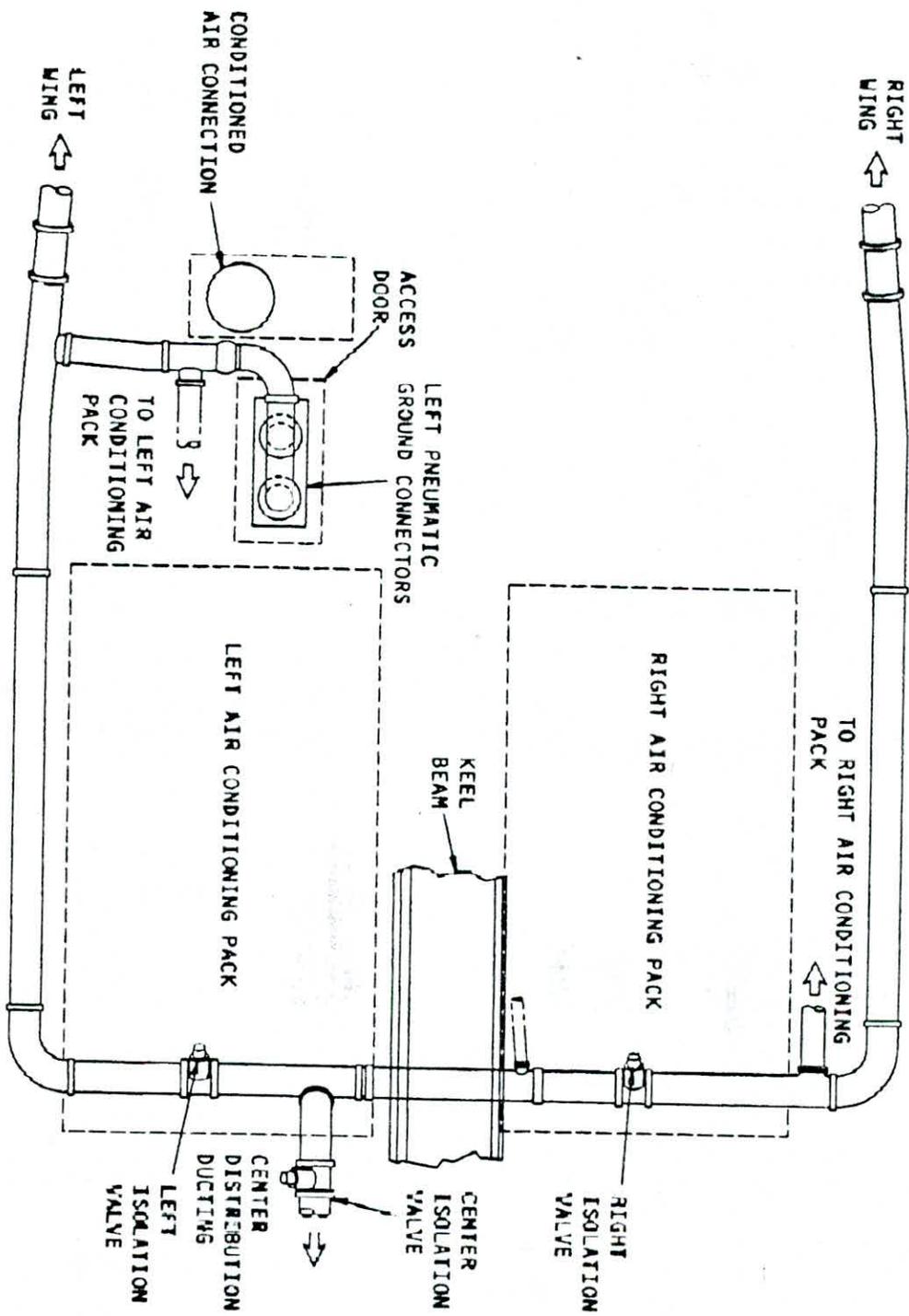


Fig-12: APU AND GROUND AIR SUPPLY SYSTEMS, Diagram

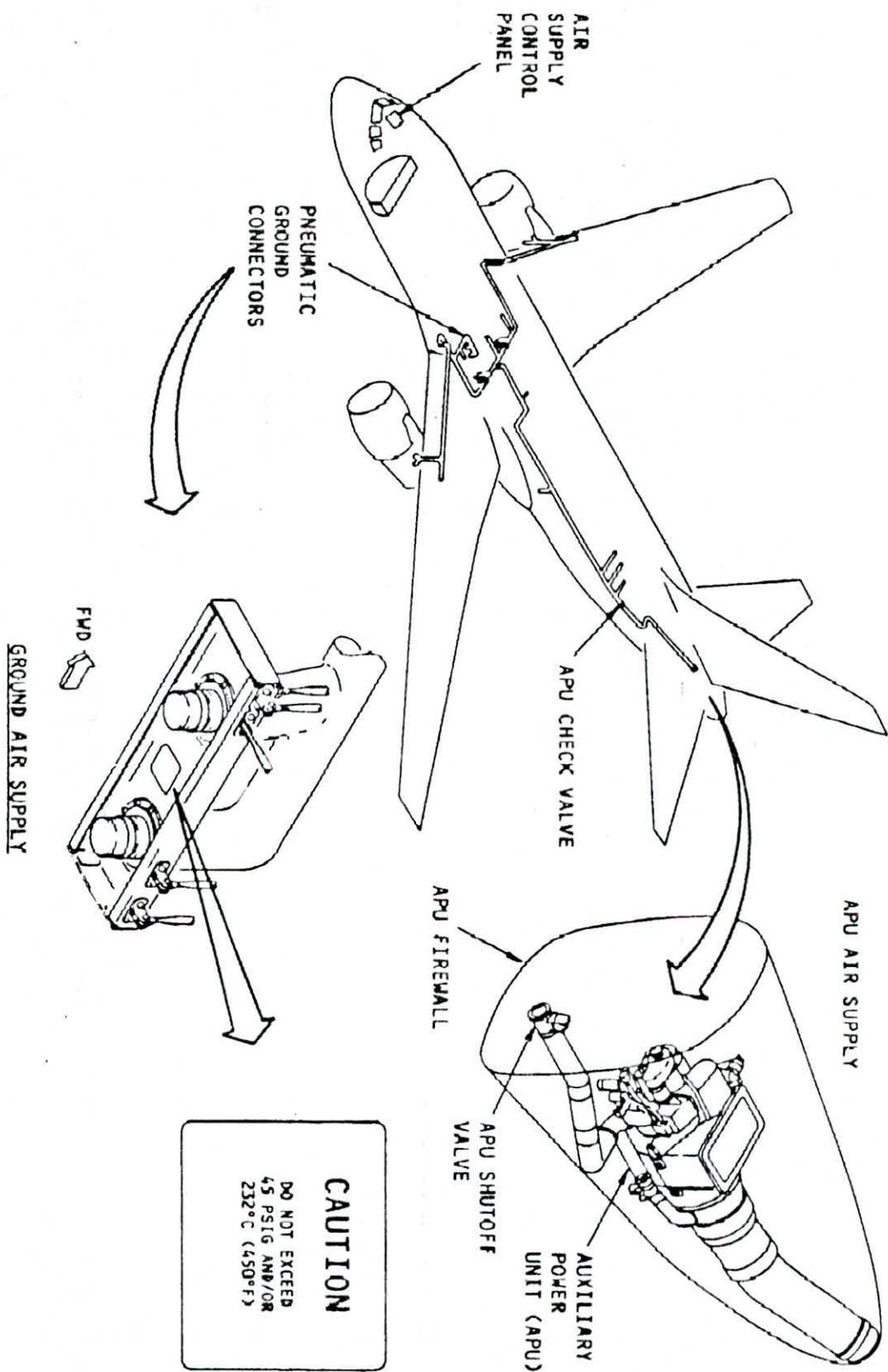


Fig-11: APU AND GROUND AIR SYSTEMS,Location

Le système comprend un engine air supply overheat control et son circuit d'indication, un circuit d'indication de pression des tuyauteries, un engine air supply overpressure control et son circuit d'indication ainsi qu'un dispositif de monitoring de l'engine air supply system.

Les circuits de contrôle de surchauffe ou de surpression ont été traités dans l'engine air supply system.

CHAPITRE

TROIS

ETUDE DE QUELQUES

SERVITUDES PNEUMATIQUES

FAITE A PARTIR

DES MANUELS DE

MAINTENANCE

GARRETT

3-1 : Généralités :

Après une étude générale du système pneumatique, nous avons choisi quelques servitudes pneumatiques à partir d'une longue liste. (Annexe 5 : Servitudes Pneumatiques Equipant les Airbus et Boeing 767 algériens). Ces servitudes sont classées selon la désignation ATA (Air Transport Association of America) comme appartenant à deux ensembles de rattachement : 21 et 36. (Annexe 4 : Classification et Définition ATA des Ensembles de Rattachement).

Notre choix a essentiellement été dicté par les facteurs suivants :

- Il a fallu choisir des éléments pouvant passer sur un banc-d'essais optimisé du point de vue équipement,
- Ces éléments sont ceux le plus souvent révisés,
- Ces éléments, de par leur rôle, nous semblent les plus importants.

Notre étude détaillée s'est alors faite sur la liste suivante :

3-1-1 : Section 21 :

- Three and One Half Inch Diameter Check Valve (21-61-02)
- Water Separator (21-54-04)
- Heat Exchanger (21-53-14)
- Flow Control Valve (21-51-23)
- Trim Air Pressure Regulator Valve (21-61-35)
- Refrigeration Unit (21-53-09)

3-1-2 : Section 36 :

- Pneumatic Pressure Regulator Valve . (36-12- 11)
- Bleed Air Precooler . (36-13-04)

- Mid Stage Check Valve. (36-12-41)
- Low Pressure Bleed Check Valve . (36-11-73)
- APU / LP Bleed Check Valve. (36-11-77)

- Two and One Half Inch Diameter Regulator and Shutoff Valve.
(36-11-63)

- Fan Air Valve. (36-13-07)

Notons enfin que le déroulement des tests à faire sur chaque élément est mentionné en :

Annexe 6 : Déroulement des Différents tests.

3-2 : Section 21

3-2-1 : Three and One-Half Inch Diameter Check Valve

Cet élément est aussi dit "check valve de diamètre 3 1/2 inch"

a- Rôle de l'élément :

Cette vanne est utilisée pour assurer un écoulement d'air unidirectionnel dans le système pneumatique de l'aéronef .

Pour la configuration de l'élément, voir figure -1.

b- Test setup de l'élément :

Le banc-d'essais individuel de cet élément nécessite l'équipement suivant :

NUMERO	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES
01	Régulateur de pression d'air	0 à 50 psig
02	Robinet d'arrêt	0 à 50 psig
03	Jauge de pression	
04	Robinet d'arrêt	
05	Robinet d'arrêt	
06	Robinet d'arrêt	
A	Débitmètre	0.00 à 0.01 ppm
B	Débitmètre	0.00 à 0.15 ppm

La source d'air doit fournir de l'air sec, propre et comprimé à une température allant de 40° à 120°F et à une pression de 0 à 50 psig .

La schématisation du banc-d'essais est donnée en Fig-2.

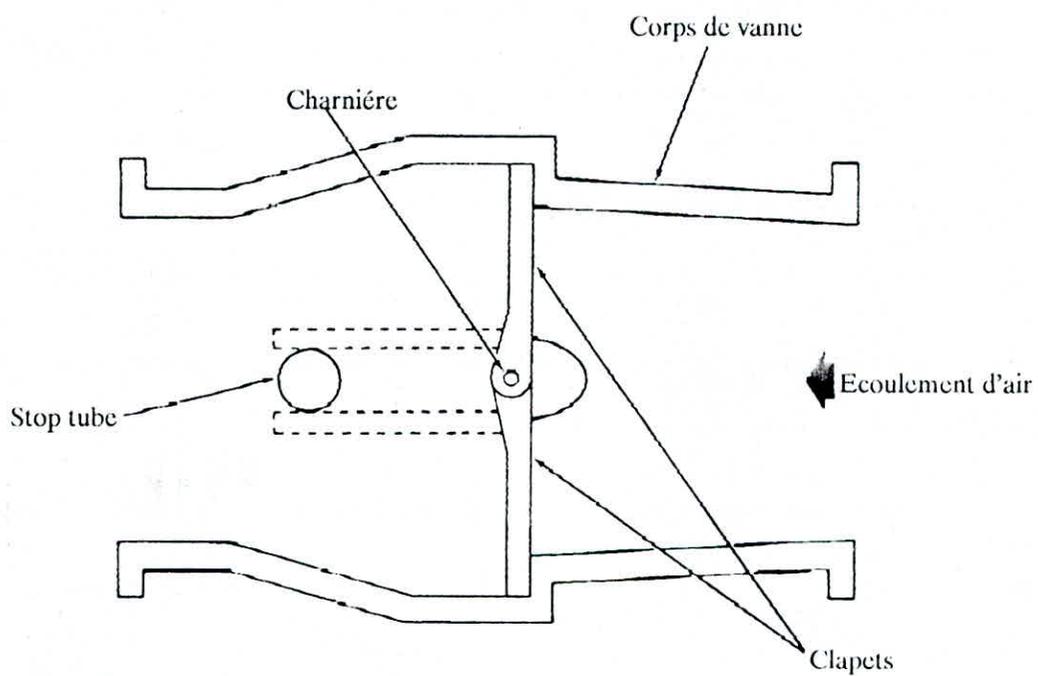


Fig-1 : Schéma de check valve de diamètre 3 1/2 inch

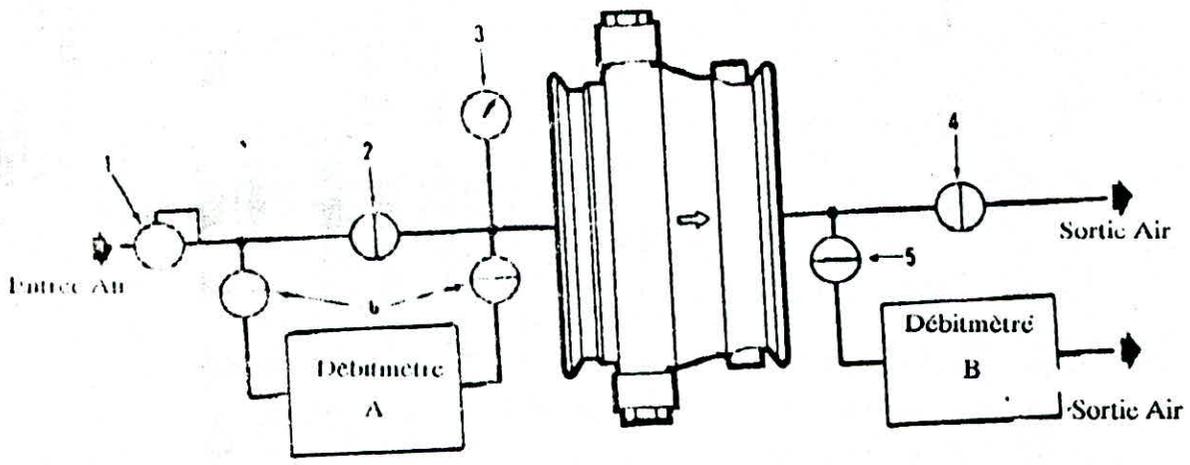


Fig:2: Test Setup

3-2-2 : Water Separator

Cet élément est aussi dit "séparateur d'eau".

a- Rôle de l'élément :

Le séparateur d'eau enlève l'humidité de l'air du système de conditionnement d'air de l'aéronef en augmentant la taille des particules d'eau et en les séparant de l'air par la force centrifuge .

Pour la configuration de l'élément, voir Fig 1 .

b- Test setup de l'élément :

Le banc-d'essais individuel de cet élément nécessite l'équipement suivant :

NUMERO	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES
01	Robinet d'arrêt	
02	Robinet d'arrêt	
03	Jauge de pression	0 à 15 psig
04	Robinet d'arrêt	
05	Jauge de pression	0 à 100 psig

La source d'air doit fournir de l'air à une pression de 125 psi.

La schématisation du banc-d'essais est donnée en Fig-2.

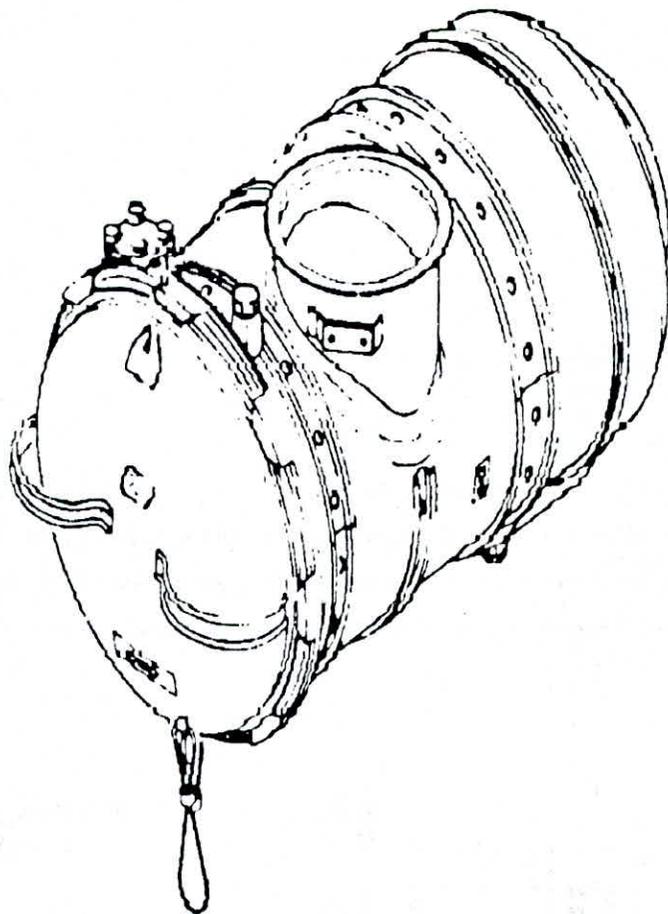


Fig-1: Water Separator

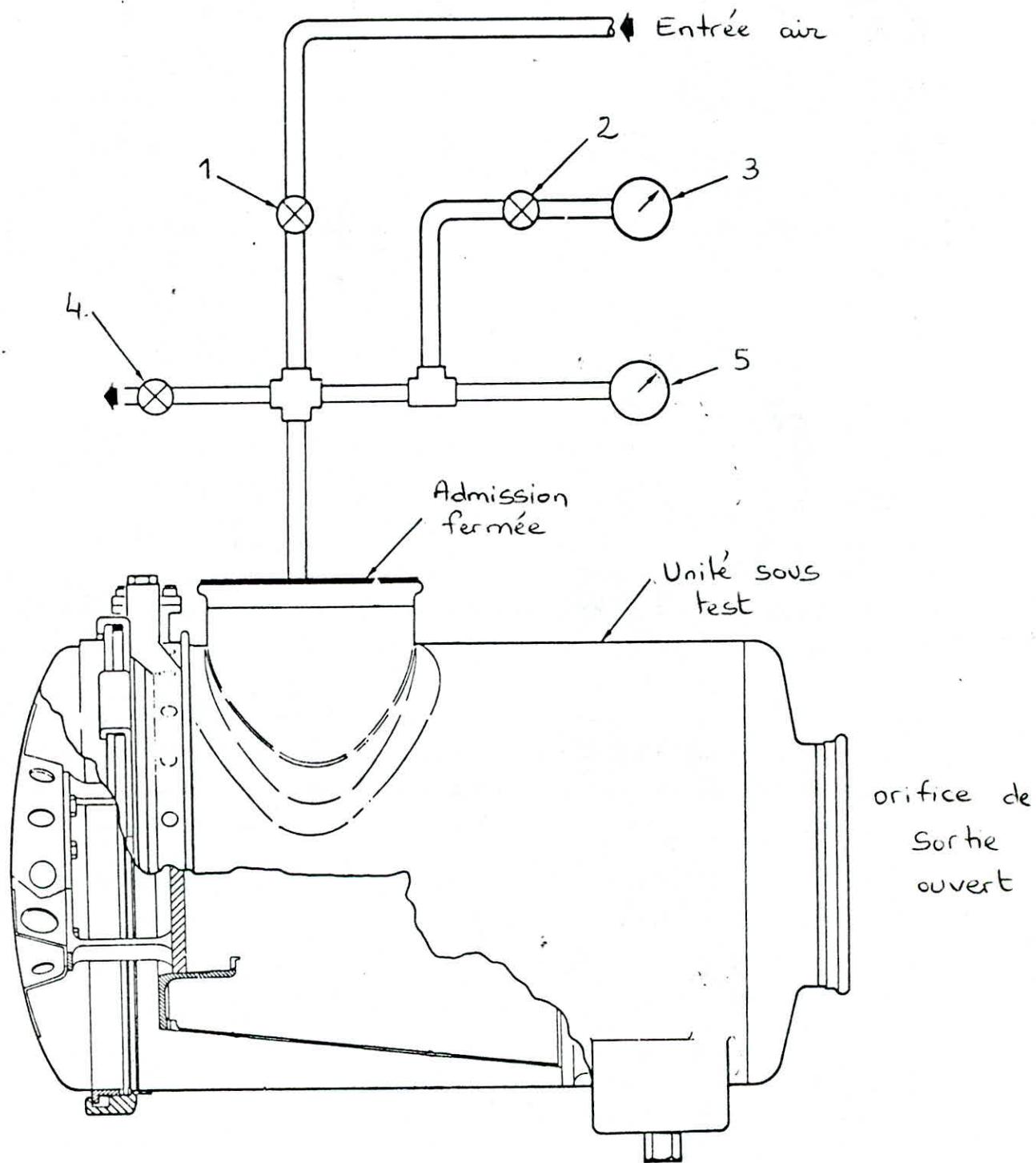


Fig-2 : Test Setup.

3-2-3 : Heat Exchanger

Cet élément est aussi dit "échangeur de chaleur".

a- Rôle de l'élément :

L'échangeur de chaleur a pour rôle de refroidir l'air soutiré de la turbine dans le système de conditionnement d'air de l'aéronef .

b- Description :

L'échangeur de chaleur est constitué d'un corps (core assembly) et de deux bacs (pan assemblies) soudés ensemble et formant un seul élément. Le corps est formé d'une série de tubes plats et de tubes fins solidaires séparés par de l'air frais. Les conduites d'admission et de dérivation sont montées sur un seul bac, les conduites de sortie d'air sont sur l'autre bac .

Pour la configuration de l'élément, voir Fig-1.

c- Test setup de l'élément :

L'équipement nécessaire est le suivant :

NUMERO	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES
01	Robinet d'arrêt	
02	Robinet d'arrêt	
03	Jauge de pression	0 à 100 psig

La source d'air doit fournir de l'air à une pression de 100 psi .

La schématisation du banc-d'essais est donnée en Fig-2.

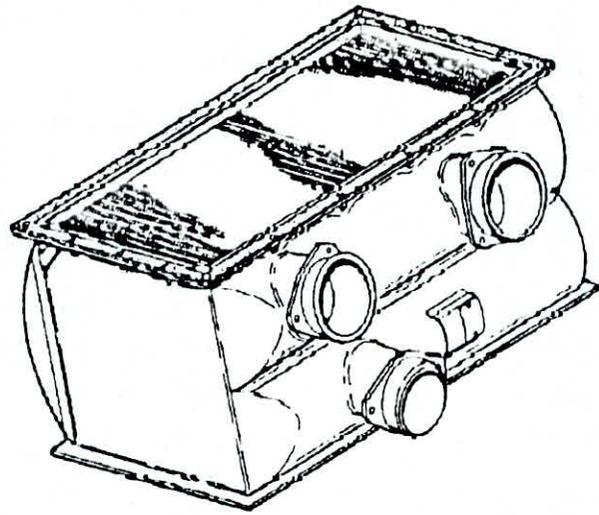


Fig-1: Echangeur de chaleur

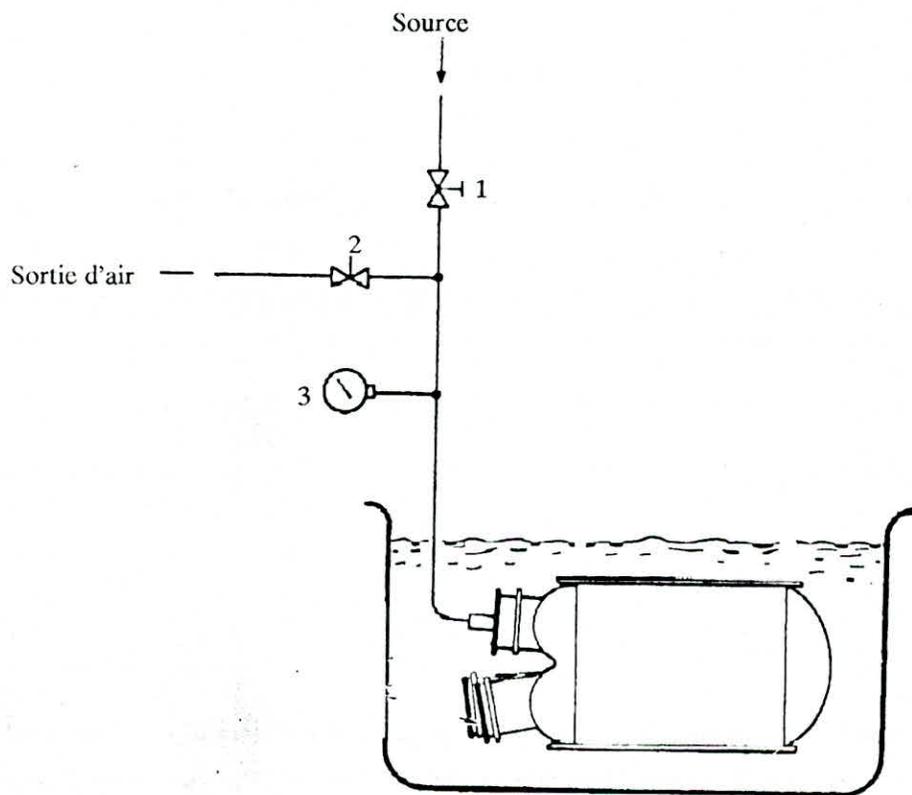


Fig-2: Test Setup

3-2-4 Flow Control Valve

Cet élément est aussi dit "limiteur de débit" .

a- Rôle de l'élément :

La flow control valve est conçue pour l'installation en amont de l'air conditionné dans le système pneumatique de l'avion. Pour la configuration de l'élément, voir Fig-1.

b- Test setup de l'élément :

Le banc-d'essais individuel de cet élément nécessite l'équipement suivant :

NUMERO	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES
01	Régulateur	690 KPa
02	Jauge	690 KPa
03	Robinet d'arrêt	690 KPa
04	Thermocouple	
05	Robinet d'arrêt	690 KPa
06	Robinet d'arrêt	690 KPa
07	Robinet d'arrêt	690 KPa
08	Pompe	
09	Manomètre	0 à 152 cm Hg
10	Thermocouple	
11	Manomètre	0 à 254 cm Hg
12	Robinet d'arrêt	0 à 690 KPa
13	Robinet d'arrêt	0 à 690 KPa
14	Jauge	0 à 690 KPa
15	Robinet d'arrêt	0 à 690 KPa
16	Robinet d'arrêt	0 à 690 KPa
17	Manomètre	0 à 142 cm Hg
18	Manomètre différentiel	0 à 152 cm Hg
19	Manomètre	0 à 152 cm Hg
20	Robinet d'arrêt	
21	Manomètre différentiel	0 à 305 cm Hg
22	Manomètre différentiel	0 à 305 cm Hg
A	Débitmètre	200 pounds (91gr)/ mn
B	Débitmètre	0,27 pounds (0,122gr)/ mn
C	Débitmètre	0,0016 pounds (0,726gr)/mn

La source d'air doit fournir de l'air propre, sec, filtré et comprimé à une température variant de 40° à 120°F (4 à 49°C) et à une pression de 0 à 100 psig (690 KPa) .

La schématisation du banc-d'essais est donnée en Fig-2

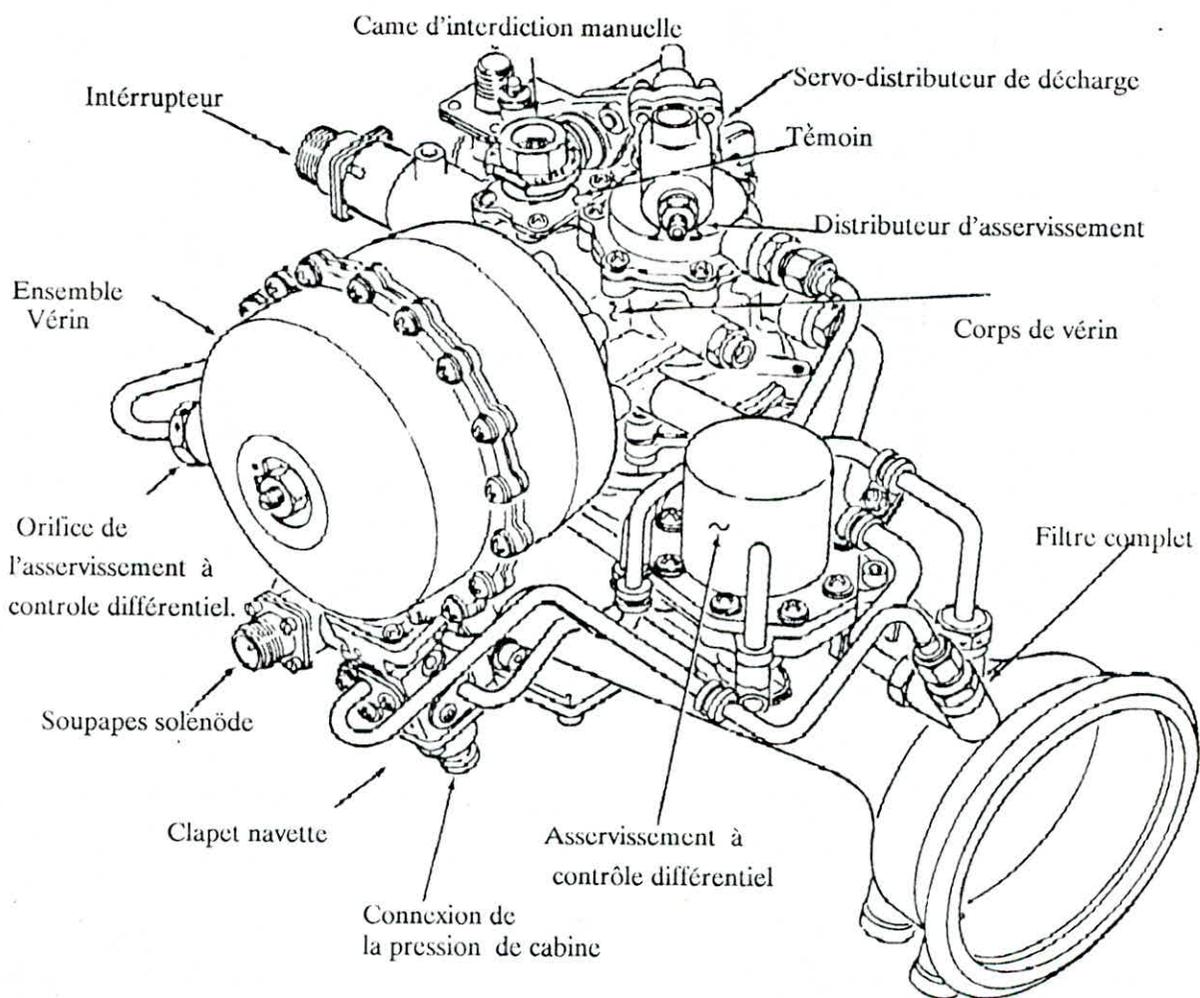


Fig-1: Schéma du limiteur du débit

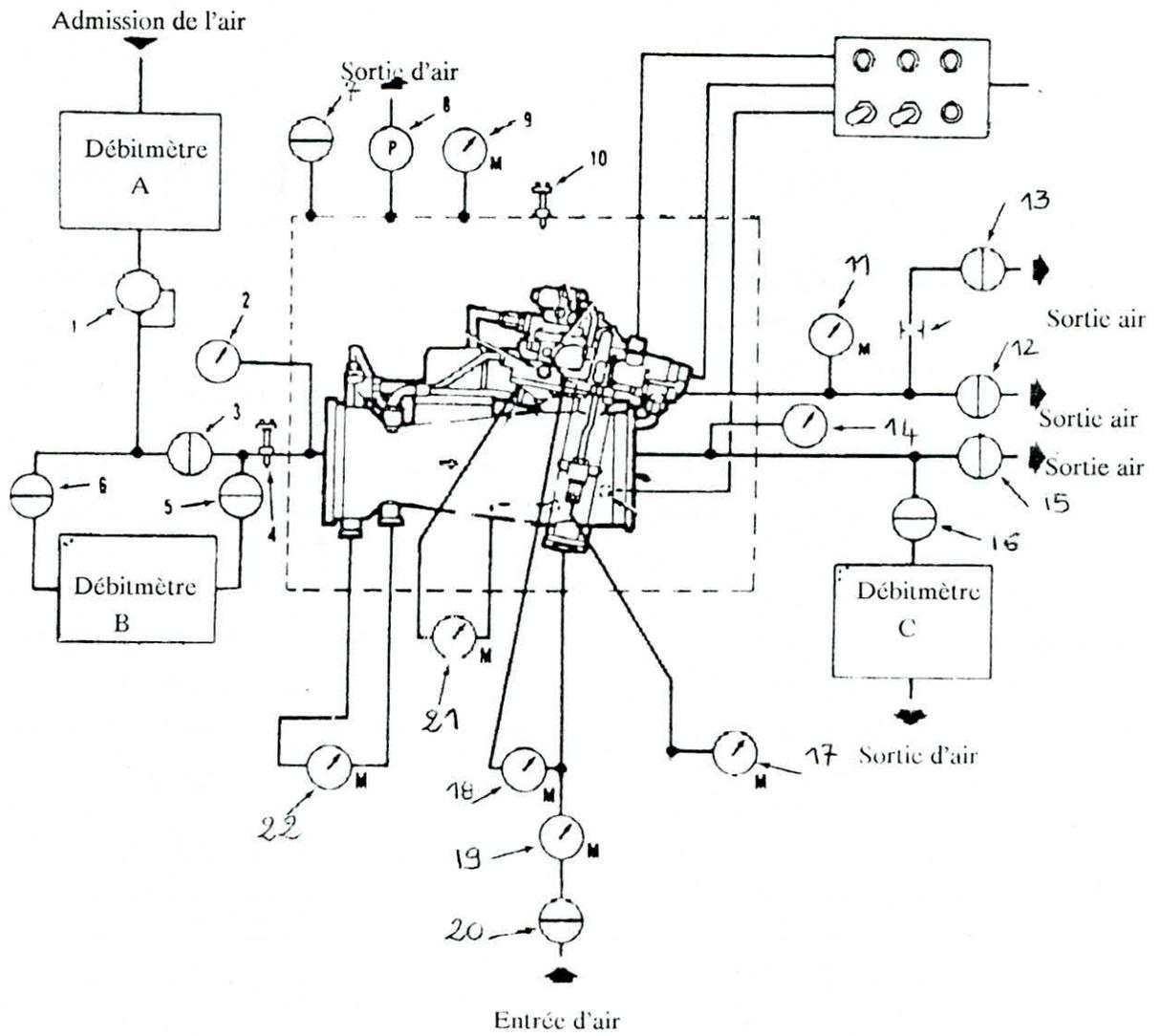


Fig-2 : Test Setup

3-2-5 : Trim Air Pressure Regulating Valve .

Cet élément est aussi dit " vanne de régulation collecteur chaud ".

a- Rôle de l'élément :

La vanne de régulation collecteur chaud est un dispositif dont la fonction est d'assurer la régulation et la fermeture de la source d'air.

Pour la configuration de l'élément, voir Fig-1 .

b- Test setup de l'élément:

Le banc-d'essais individuel de cet élément nécessite l'équipement suivant :

NUMERO	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES
01	Robinet d'arrêt	0 à 100 psi
02	Jauge de pression	0 à 100 psi
03	Jauge	0 à 60 psi
04	Robinet d'arrêt	0 à 100 psi
05	Robinet d'arrêt	0 à 100 psi
06	Robinet d'arrêt	0 à 100 psi
07	Robinet d'arrêt	0 à 100 psi
08	Régulateur pression air	0 à 100 psi
A	Débitmètre	100hb par mn
B	Débitmètre	0,6 Lb/mn
C	Débitmètre	0-0,003 Lb/mn

La schématisation du banc-d'essais est donnée en fig-2 .

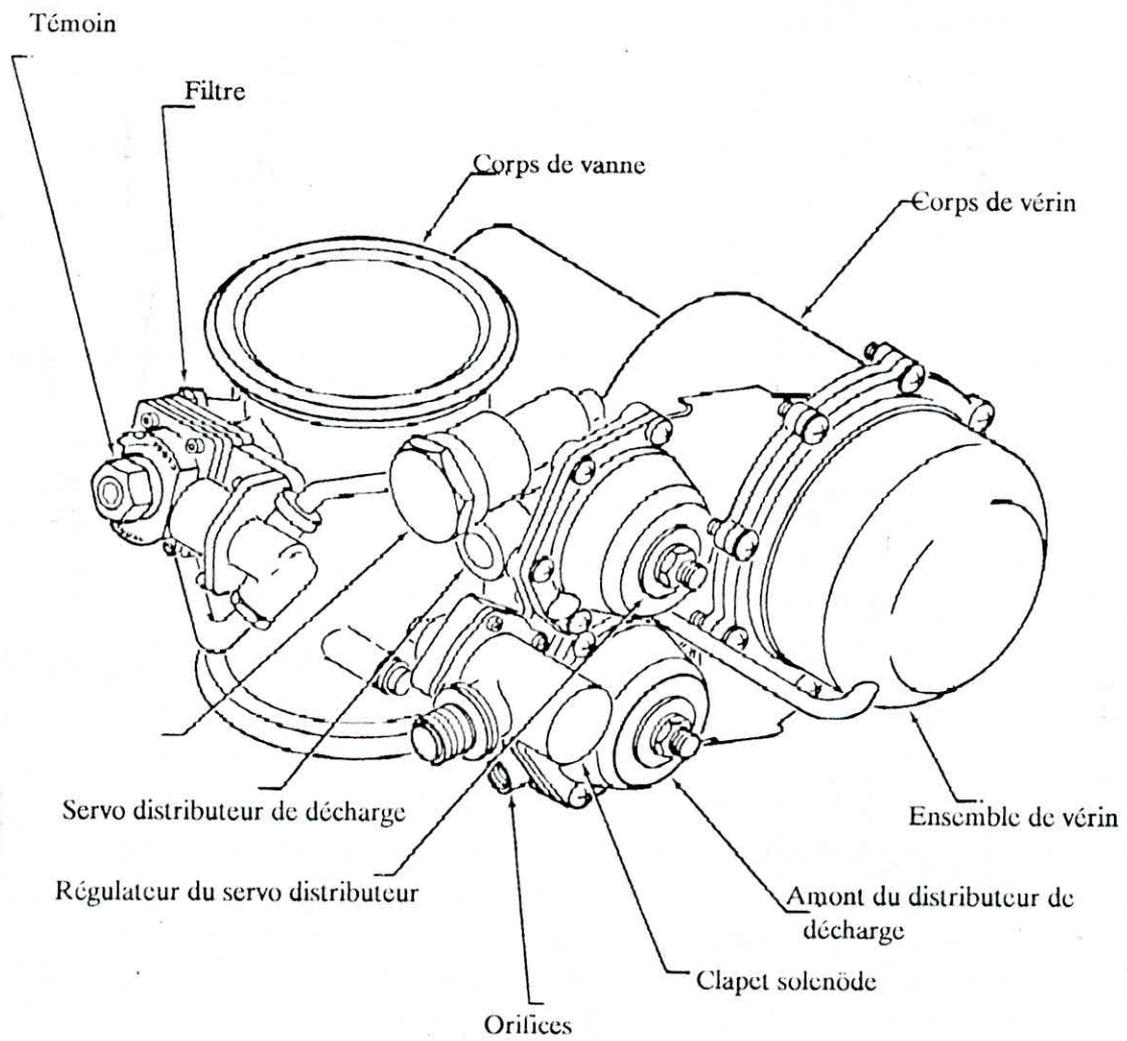


Fig-1: Schéma de la vanne de régulation collecteur chaud

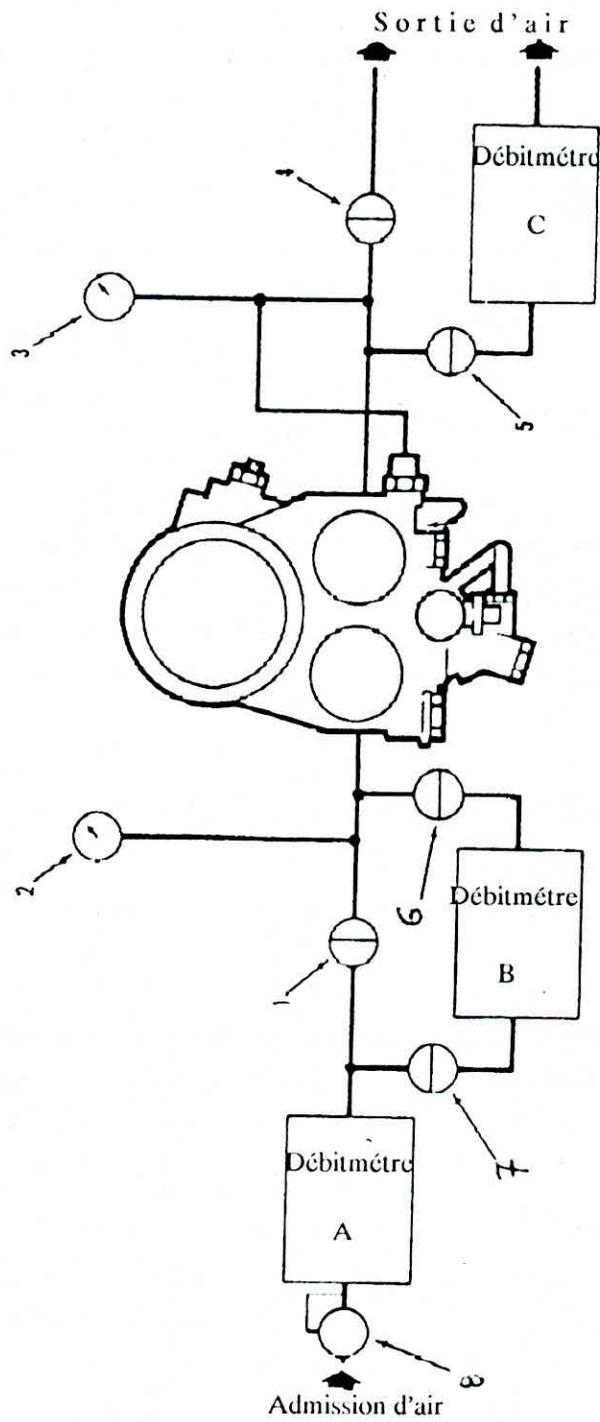


Fig-2: Test Setup

3-2-6 Refrigeration Unit

Cet élément est aussi dit " Groupe de réfrigération "

a- Rôle de l'élément:

Le groupe de réfrigération assure le conditionnement d'air de l'avion .

b- Description

Le groupe de réfrigération est constitué d'un turbo-refroidisseur / ventilateur (air cycle machine), d'un diffuseur de ventilateur (fan diffuseur), d'un diffuseur de refroidissement d'air assemblé à 2 check valves.

Pour la configuration de l'élément, voir Fig-1.

c- Test setup de l'élément:

L'équipement nécessaire est le suivant:

NUMERO	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES
01	Manomètre	0 à 75 psig \pm 0,25%
A	Débitmètre	0 à 10 lb \pm 3%

La schématisation du banc-d'essais est donnée en Fig-2

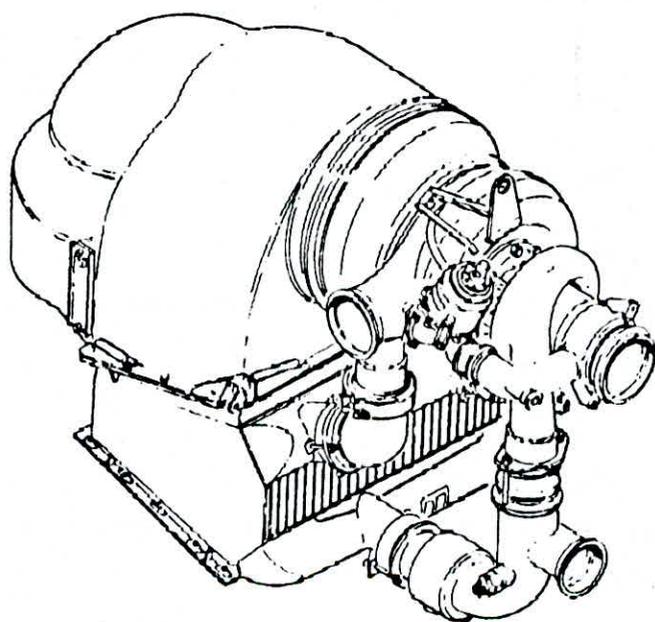


Fig-1: Refrigeration Unit

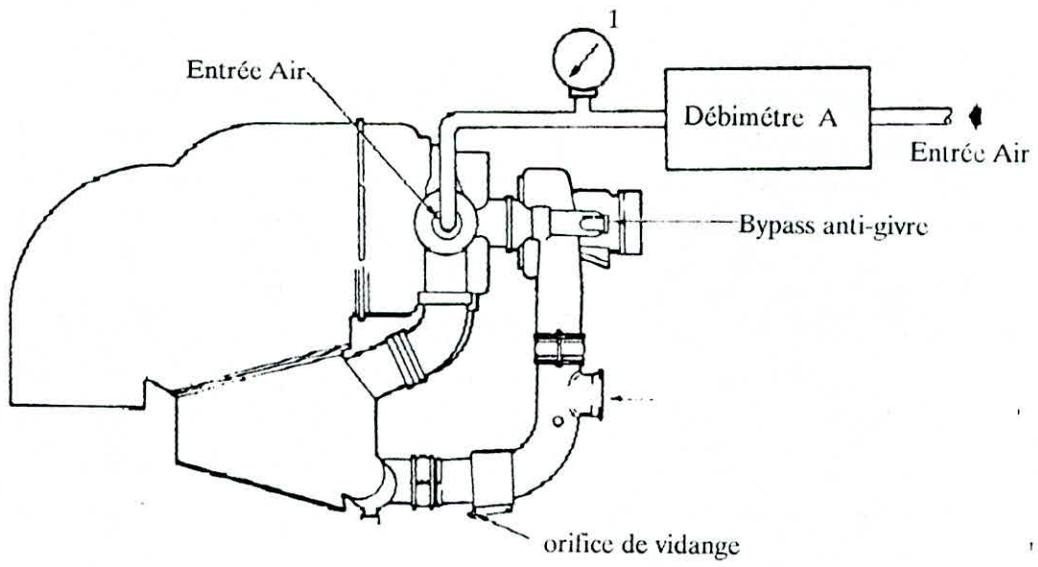


Fig-2: Test Setup

3-3. Section 36 :

3-3-1 Pneumatic Pressure Regulator Valve

Cet élément est aussi dit : " Vanne de prélèvement d'air " .

a- rôle de l'élément :

Cette vanne est conçue pour réguler de l'air soutiré à haute pression dans le système pneumatique de l'aéronef . Il s'agit en fait d'une vanne à la fois de prélèvement d'air et d'arrêt, munie d'un dispositif de contrôle d'inversion de l'écoulement .Elle est déclenchée pneumatiquement et contrôlée électriquement .

Fig-1 : "vue globale de la pneumatic Pressure Regulator valve sans Ecrans Thermiques" donne un aperçu général de l'élément .

b- Test Setup de l'élément :

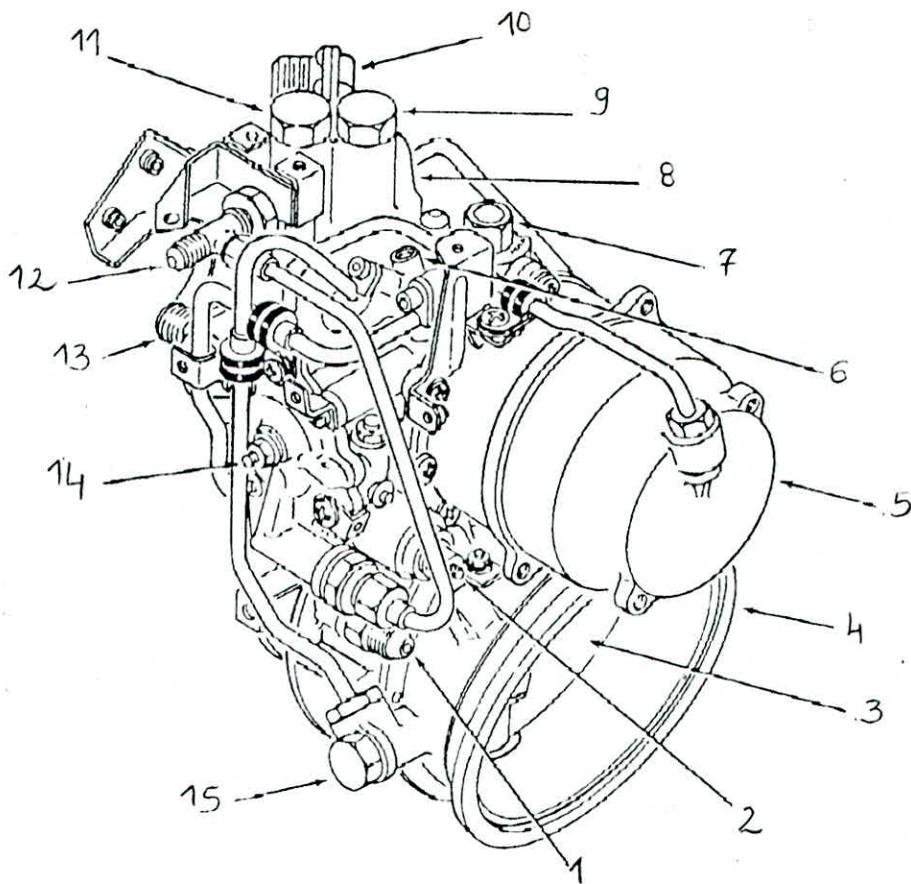
Le banc-d'essais individuel de cet élément nécessite l'équipement suivant :

NUMERO	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES
01	Régulateur	0 à 55 psig
02	Gage	0 à 55 psig
03	Robinet d'arrêt	165 psig
04	Robinet d'arrêt	165 psig
05	Manomètre	0 à 100 in Hg
06	Robinet d'arrêt	165 psig
07	Gage	0 à 165 psig
08	Robinet d'arrêt	165 psig
09	Régulateur	0 à 165 psig
10	Robinet d'arrêt	165 psig
11	Robinet d'arrêt	165 psig
12	Gage	0 à 55 psig
13	Robinet d'arrêt	165 psig
14	Robinet d'arrêt	165 psig
15	Robinet d'arrêt	165 psig
16	Manomètre	0 à 100 psig
17	Robinet d'arrêt	165 psig
18	Robinet d'arrêt	165 psig
19	Gage	0 à 165 psig
A	Débitmètre	0 à 0,4 Lb/mn
B	Débitmètre	0,8 Lb/mn
C	Débitmètre	0 à 430 Lbs/mn

La source d'air doit pouvoir fournir de l'air sec, propre, filtré et comprimé dans une gamme de pressions de [0÷ 165 psig] à un débit de 0 à 430 Lbs/mn et dans une plage de températures de [40÷120°F].

Quant à la source d'énergie, elle doit fournir 26 à 30 volts en courant continu .

La schématisation du banc-d'essais est donnée en Fig- 2 :Test setup.



- (1) Connexion Détectrice de la Pression
- (2) Régulateur de Pression de référence
- (3) Plateau papillon
- (4) Ensemble Corps de Valve
- (5) Vérin
- (6) Ensemble Corps de Vérin
- (7) Manette de surpassement et mécanisme d'indication Visuelle.
- (8) Mécanisme de contrôle d'écoulement inverse
- (9) Prise de test N.
- (10) Switch Sensible
- (11) Prise de test C
- (12) Connexion du transmetteur de Pression.
- (13) Ensemble Vanne Electrique.
- (14) Servorégulateur de référence.
- (15) Ensemble filtre et prise de test B.

Fig-1:
**Vue Globale de la Pneumatic Pressure
 Regulator Valve sans Ecrans Thermiques**

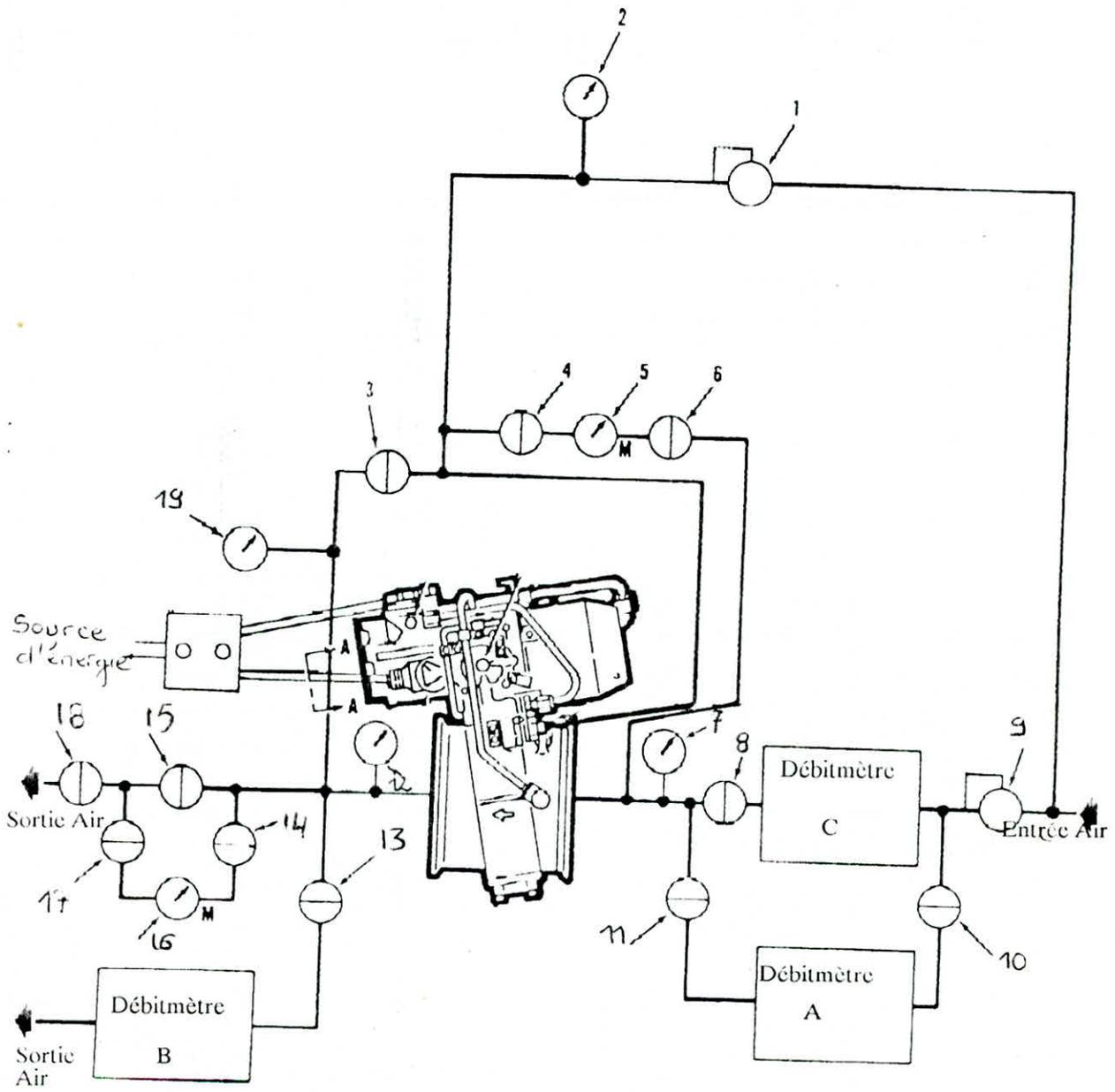


Fig-2: Test Setup

3-3-2 .Bleed Air Precooler

Dit aussi Echangeur Pré-refroidissement .

a- Rôle de l'élément :

Le bleed air precooler sert à refroidir l'air soutiré du moteur dans le système de conditionnement d'air de l'aéronef .
Le document Fig- 1 : "Bleed Air Precooler" est une représentation générale de l'élément.

b-Test Setup:

Le test doit être fait sous une pression de 0 à 100 psig.

L'équipement suivant est nécessaire :

Numéro	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES
01	Régulateur	0 à 100 psig
02	Robinet d'arrêt	étanche
03	Débit-mètre	0 à 1 Lb /mn
04	Gage	0 à 100 psig

La schématisation du banc-d'essais est donnée en Fig-2: Test Setup.

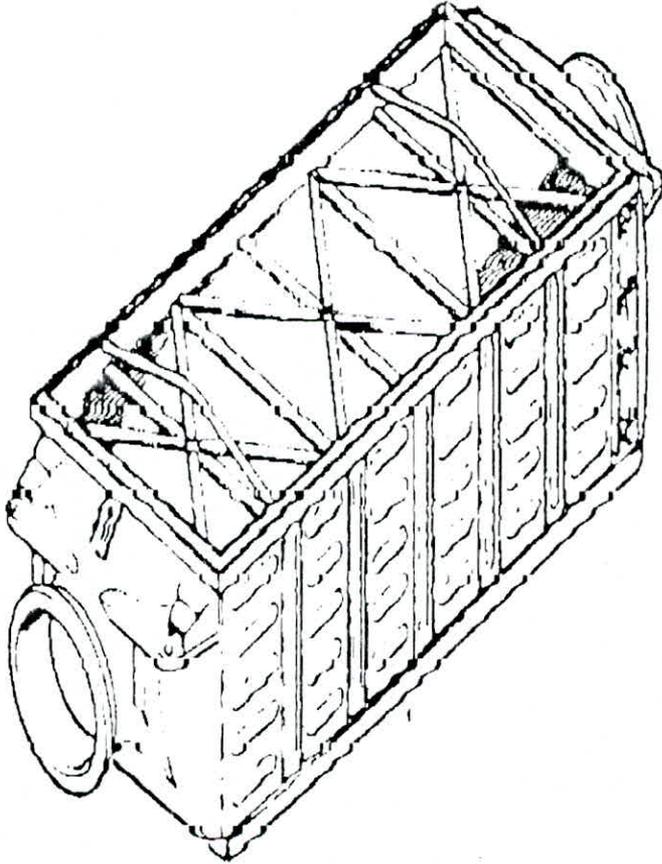


Fig-1: Bleed Air Precooler

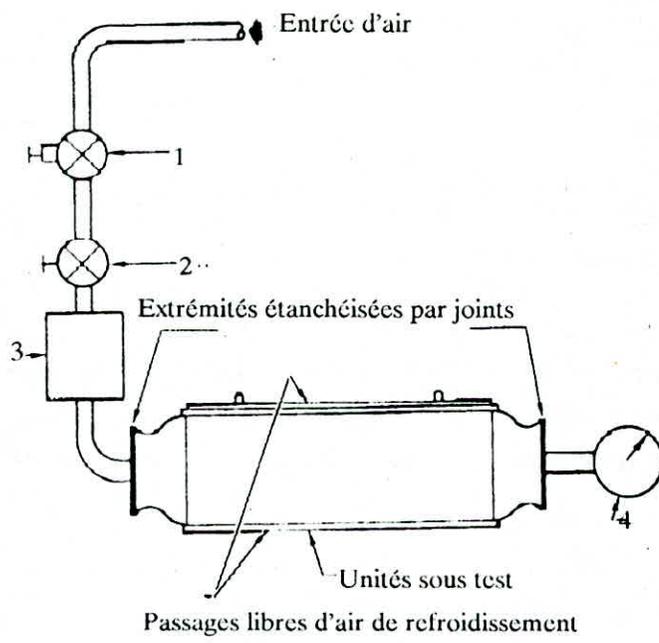


Fig-2: Test Setup

3-3-3 : Mid Stage Check Valve :

ou clapet anti-retour.

a- Rôle de l'élément :

Il assure un écoulement unidirectionnel dans le système pneumatique de l'avion.

sa configuration est donnée par :

Fig -1 : Mid stage check valve Montée.

b- Test setup :

Le banc-d'essais individuel comporte les éléments suivants:

NUMERO	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES
01	Régulateur	0 à 175 psig
02	Robinet d'arrêt	175 psig
03	Gage	0 à 175 psig
04	Robinet d'arrêt	175 psig
05	Robinet d'arrêt	175 psig
06	Robinet d'arrêt	175 psig
A	Débitmètre	0,04 Lb/mn
B	Débitmètre	1 Lb /mn

Quant à la source d'air, ce doit être de l'air propre, sec, filtré et comprimé à une pression de 175 psig et pour des températures allant de 40 à 120°F. Débit approximatif : 1Lb /mn.

Le banc-d'essais est schématisé par :

Fig-2 : Test setup

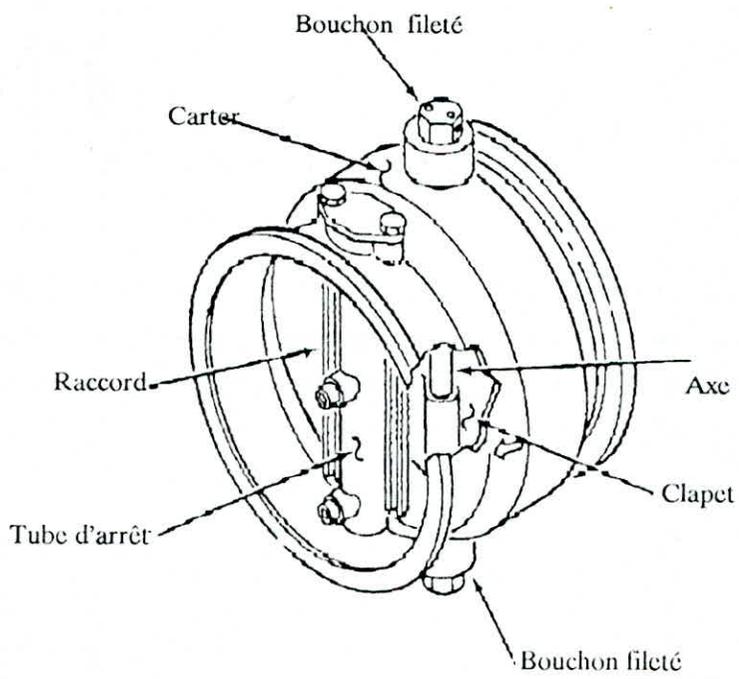


Fig-1: Mid Stage Check Valve montée

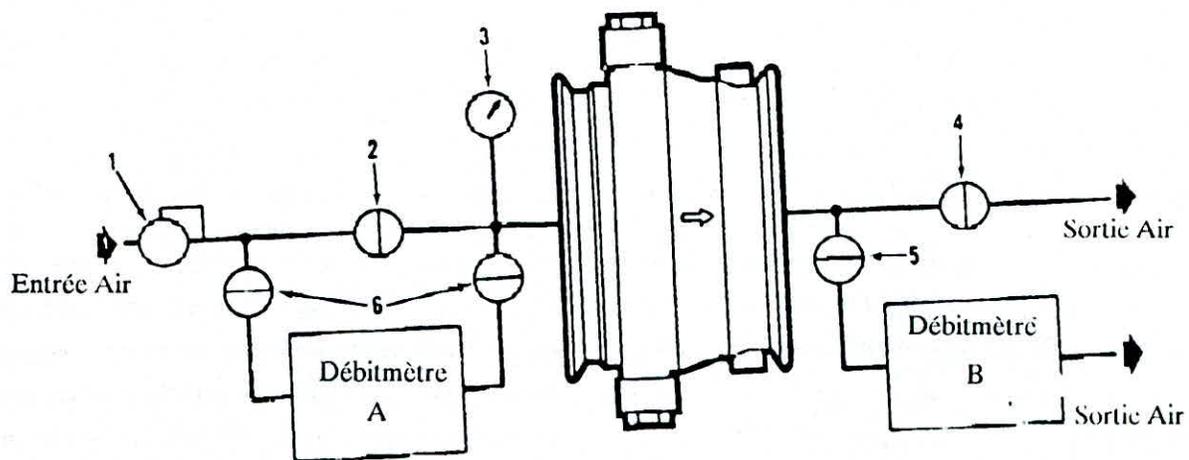


Fig-2: Test Setup

3-3-4 : Low Pressure Bleed Check Valve :

ou vanne de soutirage

a- Rôle de l'élément :

Il assure un écoulement unidirectionnel dans un système pneumatique avion.

Sa configuration est donnée par :

Fig-1 : Low Pressure Bleed Check Valve Montée

(Soutirage 8^{ème} étage Seulement)

b- Test Setup :

L'équipement nécessaire est le suivant:

NUMERO	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES
01	Régulateur	0/ 170 psig
02	Robinet d'arrêt	170 psig
03	Gage	0 à 170 psig
04	Robinet d'arrêt	170 psig
05	Robinet d'arrêt	170 psig
06	Robinet d'arrêt	170 psig
A	Débitmètre	0,04 Lb/mn
B	Débitmètre	1lb/mn

Quant à la source d'air, elle doit fournir un air propre, sec, comprimé, à une température allant de 40°F à 120°F et pour une pression de 0 à 170 psig.

Le banc-d'essais est schématisé par :

Fig-2 : Test Setup.

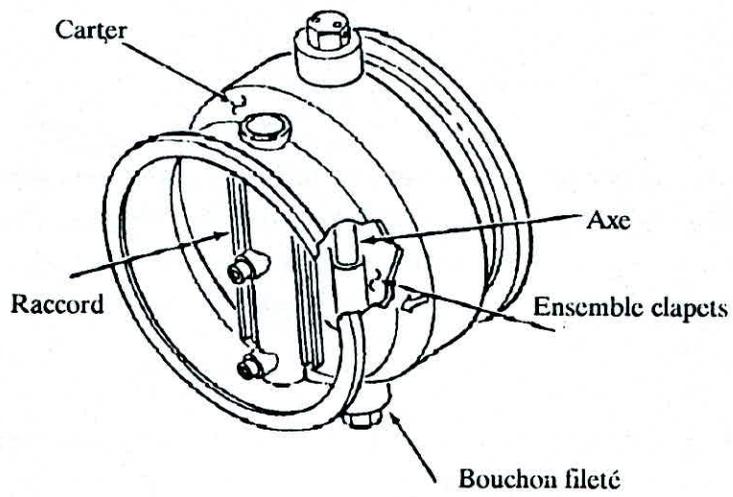


Fig-1: Low Pressure bleed check valve montée(Soutirage 8ème étage seulement)

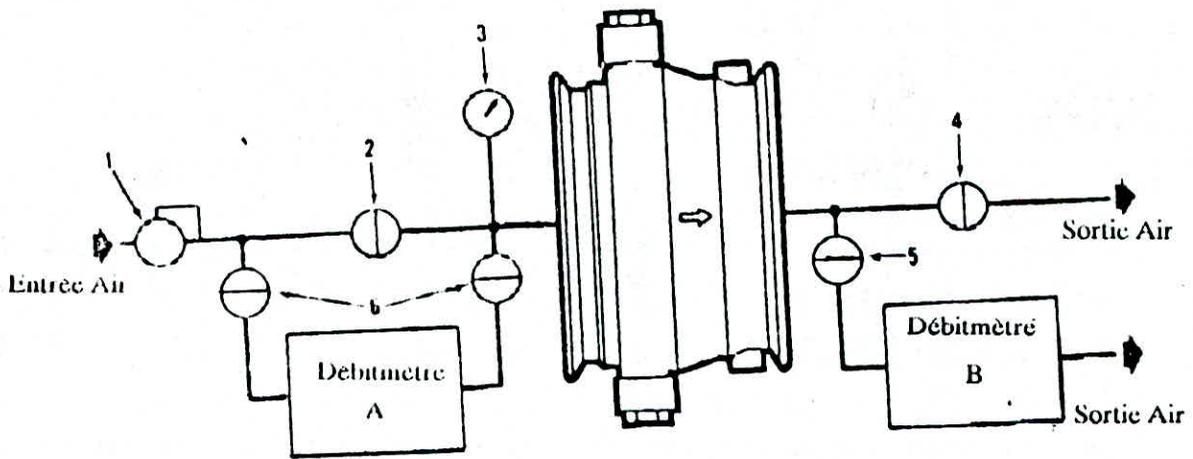


Fig-2: Test Setup

3-3-5 : APU/LP bleed check valve :

a- Rôle de l'élément:

La LP bleed check valve APU est conçue pour assurer un écoulement unidirectionnel dans un système d'alimentation en air d'un avion.

Le document :

Fig- 1 : APU/LP bleed check valve (montée) donne sa configuration.

b- Test setup :

L'équipement nécessaire est le suivant :

NUMERO	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES
01	Régulation	170 psig
02	Robinet d'arrêt	170 psig
03	Gage	170 psig
04	Robinet d'arrêt	170 psig
05	Robinet d'arrêt	170 psig
06	Robinet d'arrêt	170 psig
A	Débitmètre	0,04 Lb/mn
B	Débitmètre	1Lb/mn

Nous utiliserons aussi de l'air comprimé, sec, propre,
plage de températures : 40 à 120°F
plage de pressions : 0 à 170 psig

Le banc-d'essais est schématisé par:

Fig-2 : Test Setup

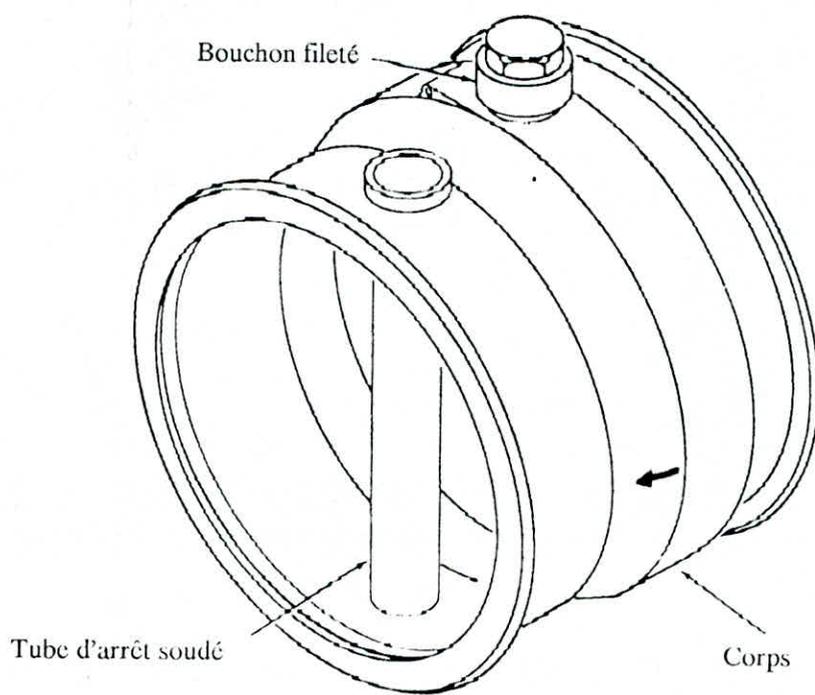


Fig-1: APU/ LP bleed check valve (montée)

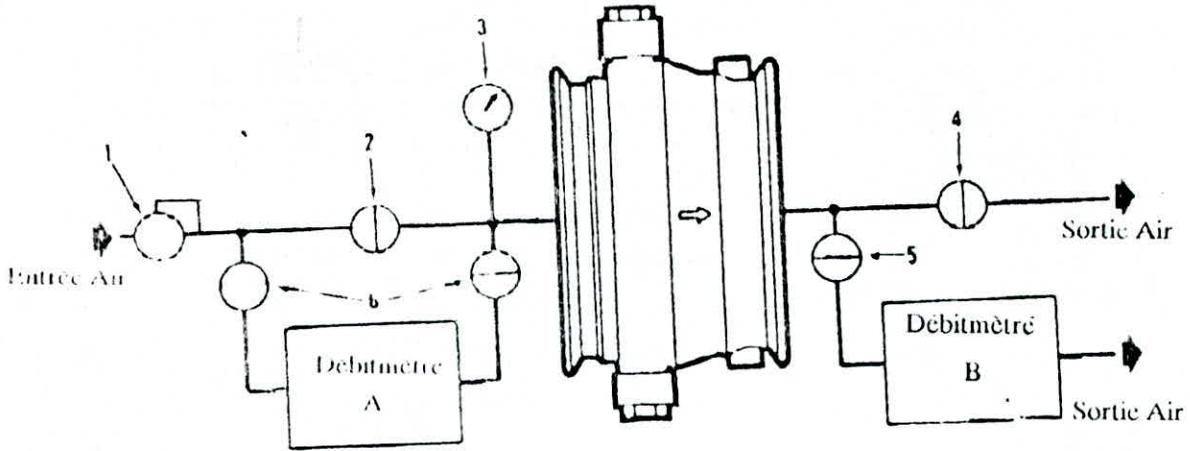


Fig-2: Test Setup

3-3-6 : Two and One Half Inch Diameter Regulator and Shut Off Valve

a- Rôle de l'élément :

Cet élément est conçu pour être monté dans un conduit d'air afin d'en réguler la pression aval. La valve est normalement fermée et s'ouvre quand elle est alimentée par une pression d'air et un signal électrique extérieur.

Sa configuration générale est donnée par :

Fig-1 : 2,5 Inch Diameter Regulator and Shut off Valve

b- Test Setup :

Le banc d'essais individuel de cet élément nécessite l'équipement suivant :

NUMERO	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES
01	Régulateur	0 à 400 psi
02	Robinet d'arrêt	
03	Toggle valve	
04	Manomètre	0 à 60 in Hg
05	Gage	0 à 400 psi
06	Toggle valve	tubulure 1/4 in
07	Etranglement	diamètre 0,037 à 0,039in
08	Toggle valve	
09	Manomètre	0 à 60 in Hg
10	Gage	0 à 100 psi
11	Robinet d'arrêt	
12	Robinet d'arrêt	
13	Robinet d'arrêt	
A	Débitmètre	10 à 110 Lbs/mn
B	Débitmètre	0 à 0,50 Lbs/mn

L'air utilisé doit être propre, sec, filtré et comprimé.

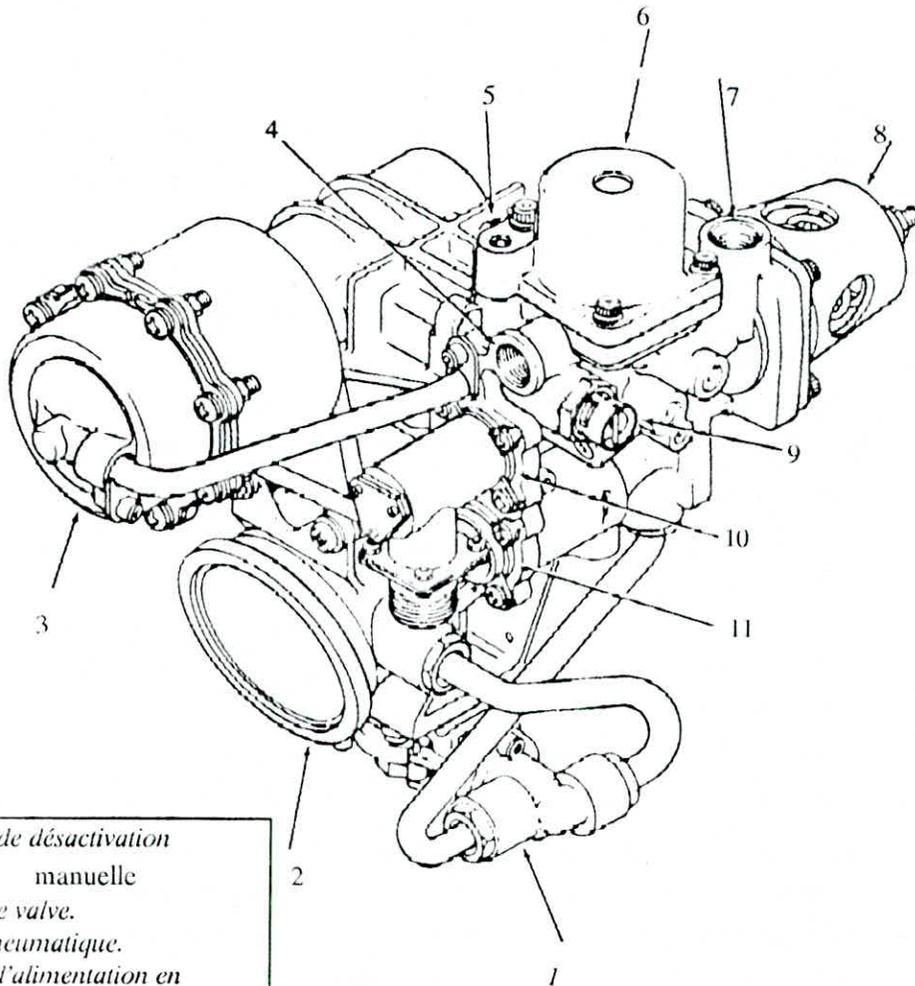
plage des pressions : (0 à 400 psig)

Plage des Températures : (40 à 120°F)

Débit : 110 Lbs / mn

Le banc-d'essais est illustré en :

Fig- 2 : Test Setup



- (1) Vanne de désactivation manuelle
- (2) Corps de valve.
- (3) Vérin pneumatique.
- (4) Orifice d'alimentation en pression.
- (5) Orifice de détection de la pression aval.
- (6) Clapet de décharge.
- (7) Orifice de pression de charge.
- (8) Régulateur de pression de référence.
- (9) Commande du clapet de décharge.
- (10) Ensemble vanne électrique.
- (11) Clapet interrupteur.

Fig-1 : 2.5 inch Dimeter Regulator and Shutoff Valve

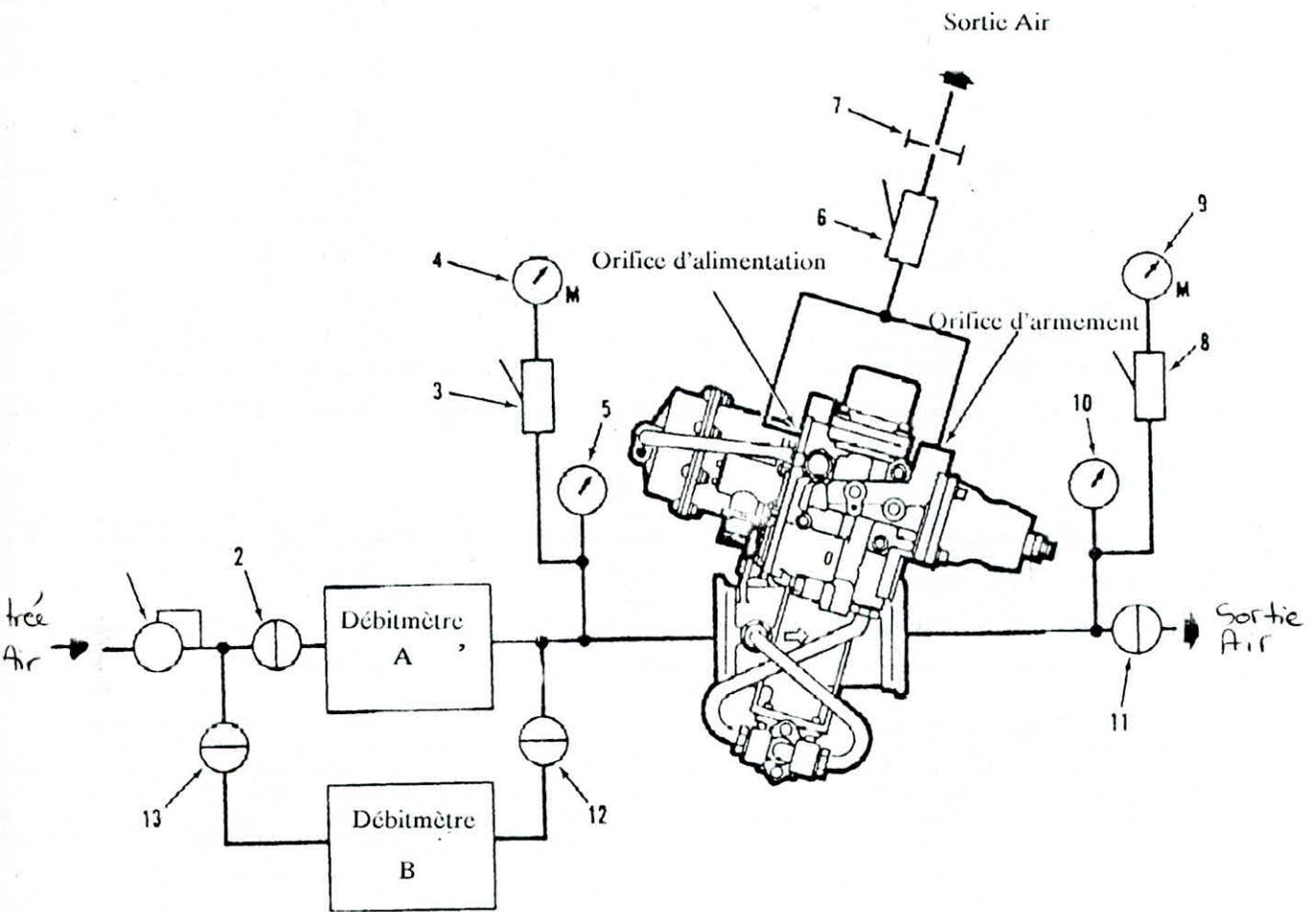


Fig-2: Test Setup

3-3-7 : Fan Air Valve :

ou vanne de limitation de température .

a- Rôle de l'élément :

Cet élément est conçu pour contrôler l'écoulement d'air depuis le fan air ou soufflante jusqu'au bleed air precoolé. Cette valve est installée à l'amont de l'échangeur dans le système pneumatique de l'avion.

Sa configuration générale est donnée par :

Fig-1 : Fan Air Valve

b- Test Setup :

Le banc-d'essais individuel nécessite l'équipement suivant:

NUMERO	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES
01	Régulateur	0 à 200 psig
02	Gage	0 à 200 psig
03	Toggle valve	
04	Manomètre	0 à 60 in Hg
05	Manomètre	0 à 60 in Hg
06	Robinet d'arrêt	
07	Gage	0 à 50 psig
08	Manomètre	0 à 60 in Hg
09	Robinet d'arrêt	
10	Robinet d'arrêt	
11	Robinet d'arrêt	
12	Robinet d'arrêt	
13	Robinet d'arrêt	
14	Manomètre	0 à 60 in Hg
15	Régulateur	0 à 200 psig
A	Débitmètre	14,5 Lbs/mn
B	Débitmètre	17,9 Lbs/mn
C	Débitmètre	
D	Débitmètre	1,8 Lbs/m

L'air doit être propre, sec et comprimé .

Plage des Températures: (80 +/- 40°F)
Plage des Pressions : (0, 200 psig)
Débit : 20 Lbs / mn.

le banc-d'essais est schématisé par :
Fig- 2 : Test Setup

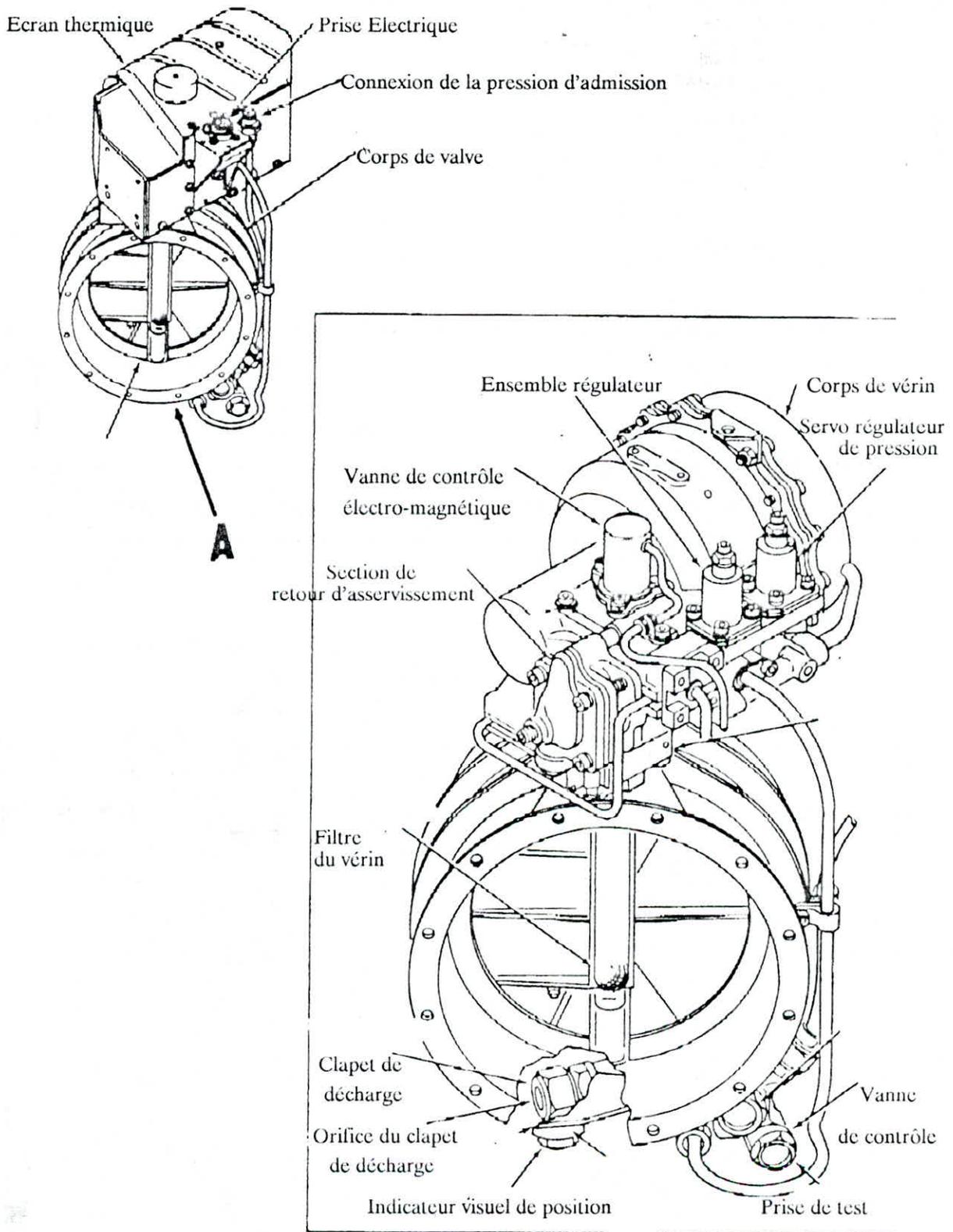


Fig-1: Fan Air Valve

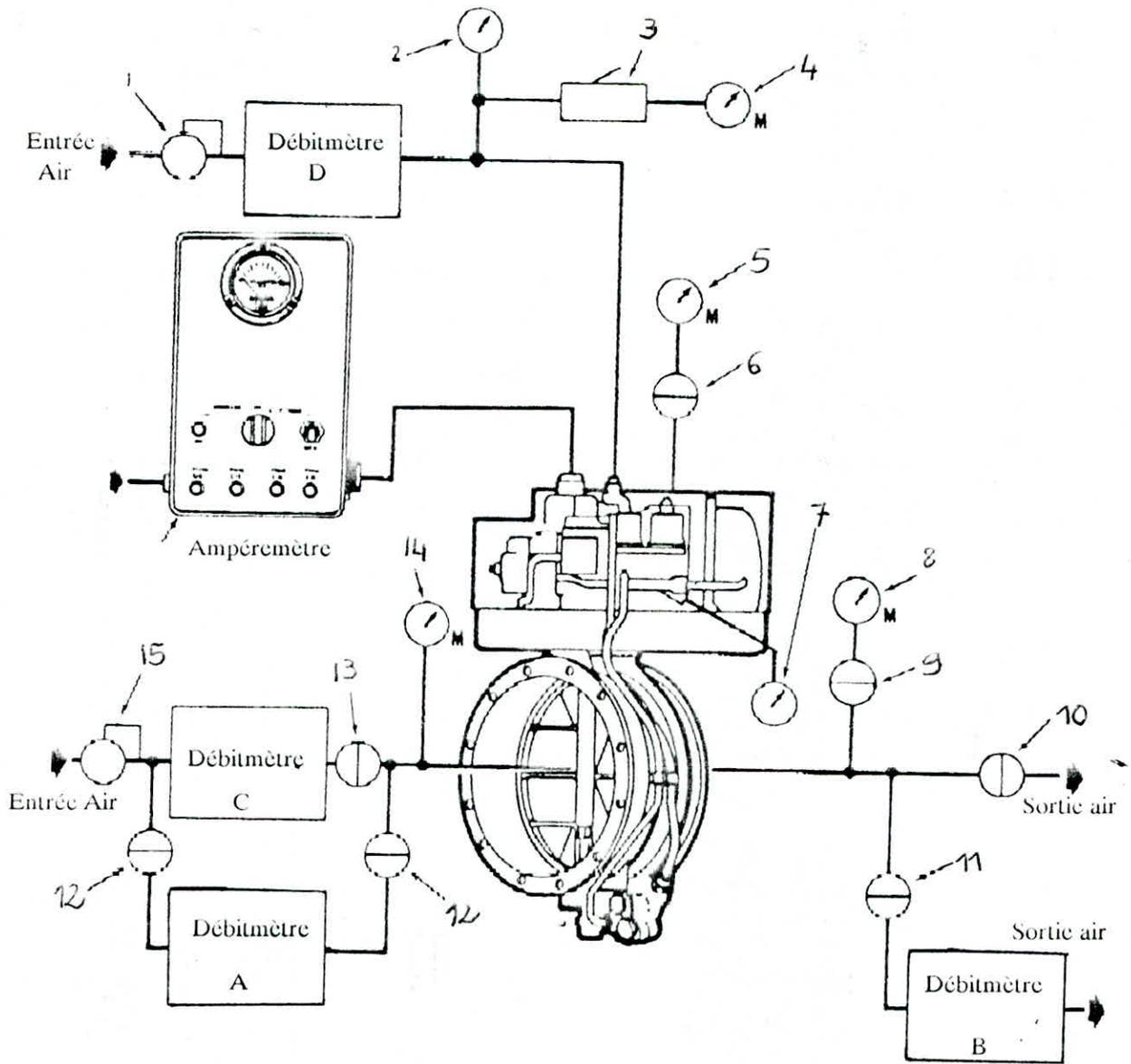


Fig-2: Test Setup

CHAPITRE

QUATRE

ETUDE GENERALE

DES

COMPRESSEURS

4-1- Généralités:

Le compresseur véhicule un fluide compressible et lui communique de l'énergie mécanique afin d'augmenter sa pression.

On distingue deux types de compresseurs :

Les compresseurs volumétriques;
Les turbocompresseurs.

4-1-1- Les compresseurs volumétriques :

Le mouvement des pièces mécaniques isole momentanément une certaine masse de fluide et lui impose des variations de volume . Ce système mécanique fonctionne de façon périodique.

Les variations de volume engendrées par un compresseur volumétrique se reproduisent identiquement d'un cycle à un autre mais la fréquence du fonctionnement peut varier à volonté, pour un même appareil, dans de très larges limites.

4-1-2- Les turbocompresseurs :

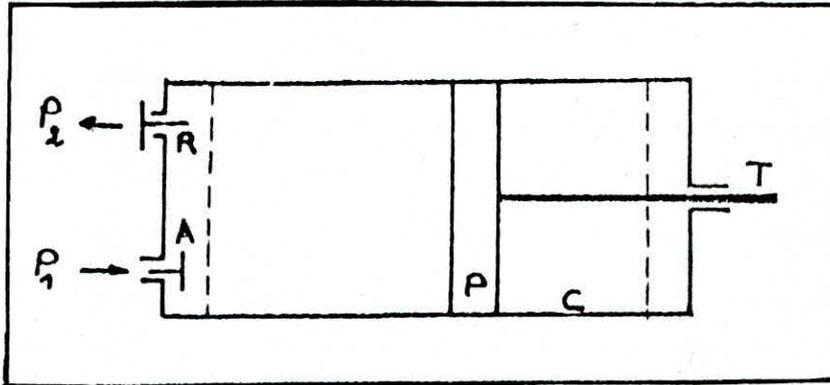
Une turbomachine est une machine dans laquelle un fluide échange de l'énergie avec une ou plusieurs roues, munies d'aubes, tournant autour d'un axe.

De là on peut dire qu'un turbocompresseur est une turbomachine véhiculant un fluide compressible (l'air en général) dont les parties fixes et mobiles sont conçues de manière à imposer au fluide qui les traverse des variations de vitesse et des déviations d'où résultent des variations de pression ; ceci étant essentiellement lié à la vitesse de rotation de la machine.

4-2- Compresseur à piston :

4-2-1- Description et principe de fonctionnement :

Les principaux organes d'un compresseur à piston sont représentés sur la figure ci-après .



P : piston
 C : cylindre
 T : tige
 A : clapet d'admission
 R : clapet de refoulement

Fig-1- Schéma d'un compresseur à piston

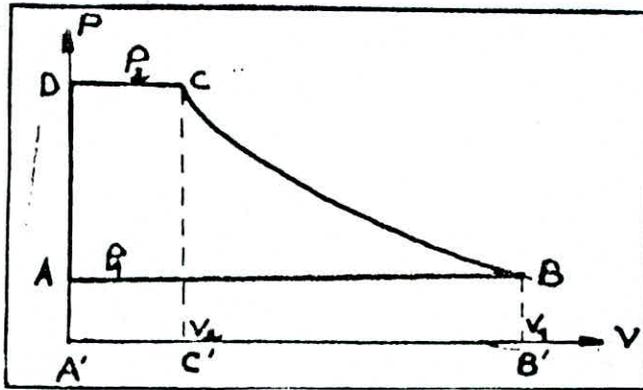
Le piston P se déplace dans un cylindre C ; il est relié par la tige T à un mécanisme (par exemple, à un système bielle et manivelle) qui lui transmet le mouvement du moteur d'entraînement.

Le fond du cylindre comporte des clapets s'ouvrant en sens inverse l'un de l'autre et dont l'un, A, sert à l'aspiration du gaz à comprimer et l'autre, B, à son refoulement.

Le déplacement du piston a lieu entre deux positions extrêmes qui, sur la fig 1, sont représentées en pointillé : les points morts intérieur et extérieur. La distance entre ces deux points morts est la course du piston.

4-2-2-Le travail de compression :

On suppose qu'au point mort intérieur, le piston se trouve en contact avec le fond du cylindre. Dans ces conditions, on trace le diagramme suivant :



C : course du piston
 V1 : volume engendré par le piston au cours de son déplacement.

Fig.2 Diagramme théorique d'un compresseur à piston.

Dès que le piston commence à se déplacer vers la droite, le clapet A s'ouvre sous l'action de la pression extérieure P_1 et le gaz pénètre dans le cylindre. Cette aspiration du gaz a lieu pendant toute la durée de la course du piston ; Lorsque celui-ci atteint son point mort extérieur, le cylindre se trouve rempli de gaz à la pression P_1 .

Dans le diagramme (PV), l'aspiration est représentée par la droite AB. La force agissant sur le piston est donnée par le produit $P_1.S$ où S est la surface du piston.

Dès que le piston quitte le point mort extérieur et commence à se déplacer vers la gauche, la pression dans le cylindre devient supérieure à P_1 . Le clapet A se ferme alors que le clapet B est réglé de manière à ne s'ouvrir que lorsque la pression dans le cylindre atteint une certaine valeur P_2 .

4-2-3 Les différents types de compresseurs :

Il existe plusieurs types de compresseurs à piston ; En général, leur principe de fonctionnement est le même et ils ne diffèrent que par certaines considérations d'ordre technique.

a- Le compresseur à double effet :

Dans le cas du compresseur de la fig . 1 , une seule face du piston travaille, un tel compresseur est à simple effet.

Dans un compresseur à double effet, les deux faces du compresseur sont actives, des clapets d'aspiration et de refoulement sont prévus aux deux extrémités du cylindre (Fig.3).

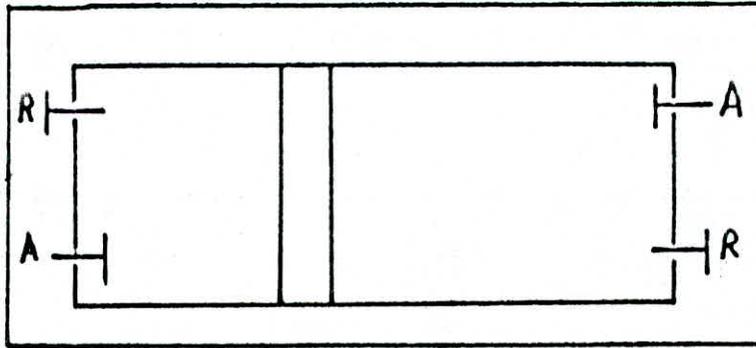


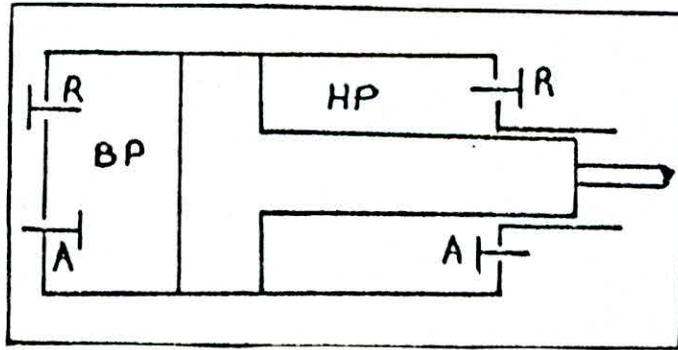
Fig. 3 . Schéma d'un compresseur à double effet.

Les différentes phases du cycle de compression ont donc lieu alternativement à gauche et à droite du piston, ce qui permet d'augmenter le débit aspiré pour les mêmes dimensions du cylindre.

b- compresseurs à plusieurs étages :

Il est possible de réaliser la compression en deux phases basse et haute pression notées BP et HP respectivement, ceci en plaçant les deux chambres d'un compresseur monocylindre en série.

Toutefois comme on a une réduction du volume spécifique du fluide après la première phase de compression, il est nécessaire de prévoir pour la seconde chambre de compression un volume inférieur à celui de la première.



BP : chambre basse pression
 HP : chambre haute pression

Fig.4. Schéma d'un compresseur à piston différentiel.

Lorsque le compresseur est constitué par plusieurs cylindres placés en série, ceux-ci peuvent avoir des dispositions variées :

- Horizontaux .
- Verticaux .
- En équerre .
- En V ou W .

Le choix entre ces différentes dispositions dépend de l'importance qu'on accorde aux : prix, poids, encombrement ,...

4.3- Les turbocompresseurs :

4.3.1 Principe des turbocompresseurs :

Deux types de turbocompresseurs sont largement utilisés :

Le compresseur axial, comprenant jusqu'à une vingtaine d'étages, utilisé notamment dans l'aéronautique, et le compresseur centrifuge surtout employé dans l'industrie .

Entre l'entrée et la sortie d'un étage de compression, le rapport de pression peut atteindre 1,5 pour les compresseurs axiaux et 6 pour les compresseurs centrifuges, on associe plusieurs étages afin d'obtenir l'augmentation de pression désirée .

4.3.2 Le compresseur centrifuge :

Ce type de compresseur est très employé dans l'industrie et existe en plusieurs dimensions .

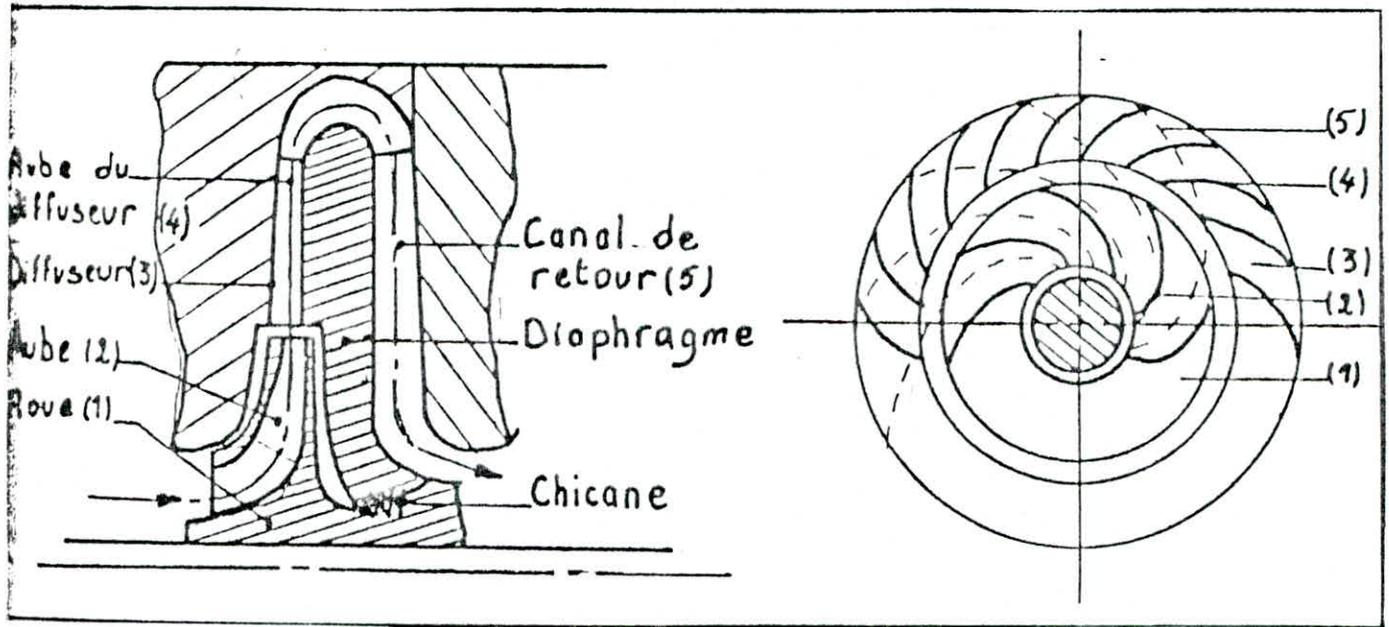


Fig .5. coupes longitudinale et transversale .

4.3.3 Le compresseur axial :

Le compresseur axial est principalement employé en aéronautique à cause de son encombrement diamétral réduit . Son taux de compression n'étant pas élevé, on utilise plusieurs compresseurs placés en série . Dans l'industrie moderne des turbomachines, des compresseurs ayant jusqu'à vingt étages sont réalisés avec des taux de compression globaux atteignant 16 à 53 environ .

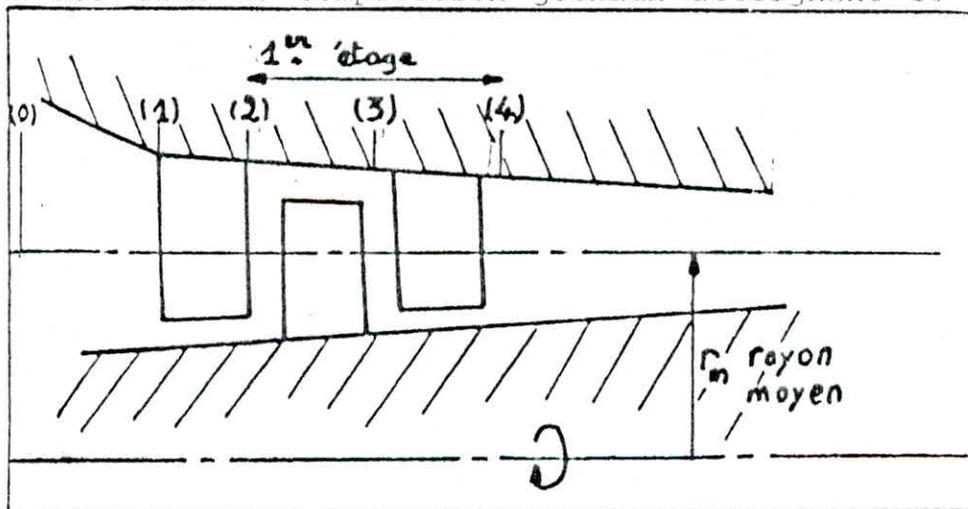


Fig.6. Coupe d'un compresseur axial .

- (0-1) : Canal d'aspiration
- (1-2) : Grille d'entrée
- (2-3) : Roue

4.4- Compresseur à vis :

4.4.1 Principe de fonctionnement :

Le compresseur à vis est un compresseur à deux rotors de dentures hélicoïdales (Fig.8). Le mouvement de rotation du gaz se trouve alors combiné avec un mouvement de translation dans le sens axial.

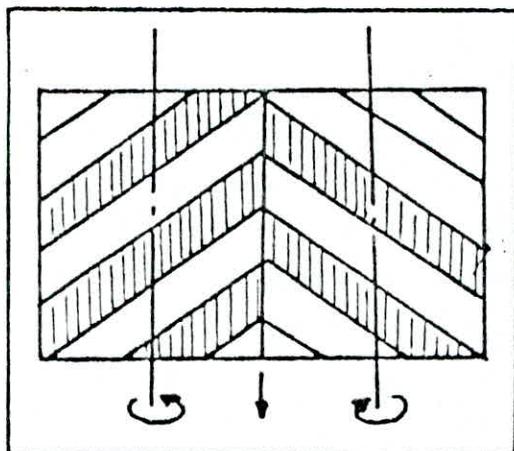


Fig .7 schéma d'un compresseur à vis.

Cette translation conduit à décaler les orifices d'aspiration et de refoulement dans le sens de l'axe de la machine et, en même temps, elle permet d'offrir au gaz un volume décroissant d'une manière continue.

Il en résulte que lorsque le gaz atteint l'orifice de sortie, il a déjà subi la réduction de volume qui correspond à l'accroissement de pression désirée.

4-5- Différences fondamentales de principe entre les compresseurs volumétriques et les turbocompresseurs :

Dans les turbocompresseurs, un flux permanent de fluide pénètre dans la machine pour y subir des évolutions thermodynamiques, en traversant les organes de la machine, avant d'être expulsé de manière continue.

Dans les compresseurs volumétriques par contre, des masses successives et séparées de fluide qui sont admises dans le mécanisme à fonctionnement périodique, sont contraintes à une évolution thermodynamique puis, finalement, refoulées.

Dans ces derniers, la température du fluide peut atteindre des valeurs élevées, alors que dans les turbocompresseurs la température maximale est limitée à cause du contact permanent.

Compte tenu de l'encombrement croissant entraîné par

l'augmentation du débit, les compresseurs volumétriques ont de faibles puissances ; De plus, les frottements intenses dus aux systèmes d'étanchéité empêchent ces machines d'avoir un bon rendement mécanique.

Inversement, les turbocompresseurs ont un pouvoir débitant bien supérieur à celui des meilleures machines volumétriques et donc de plus grandes puissances massiques.

Cependant, les compresseurs volumétriques ont un rapport de volume élevé (allant de 10 à 15 environ) et qui peut être obtenu en une seule phase. Alors qu'un rapport de compression comparable n'est réalisable dans un turbocompresseur que moyennant l'utilisation de plusieurs étages d'un compresseur axial notamment.

4-6- Techniques pour le choix de la machine :

Chaque compresseur donne le meilleur de lui-même dans une gamme de pression ou de débit volumique bien spécifiés. En plus, d'autres facteurs peuvent intervenir : l'encombrement, la maintenance, le coût, le temps...

De ce fait, il est tout d'abord nécessaire de savoir le domaine de travail de la machine : en laboratoire (où la précision est souvent demandée), dans les usines, en altitude (où l'encombrement diamétral doit être minimal)...

Par la suite, un ou plusieurs paramètres sont fixés : par exemple, si on est plus intéressé par le débit volumique, on calculera les autres en fonction de ce dernier.

En résumé :

1- COMPRESSEUR AXIAL :

- Encombrement diamétral réduit.
- Taux de compression de l'ordre de 1,5 pour un étage.
- Débit volumique élevé.
- Plusieurs étages de compression peuvent être mis en série (vingt et plus pour certaines applications).
- Maintenance complexe à cause de la présence des aubes.

2- COMPRESSEUR CENTRIFUGE :

- Encombrement diamétral assez important.
- Taux de compression de l'ordre de 6.
- Faible débit volumique.
- Maintenance complexe.

3- COMPRESSEUR A PISTON :

- Encombrement croissant avec l'augmentation du débit.
- Taux de compression élevé.
- Maintenance assez aisée.

4- COMPRESSEUR A VIS :

- Faibles taux de compresseur.
- Faibles débits volumiques.

4-7 : Choix du compresseur :

Le choix de notre compresseur se fera selon nos besoins en pression, débit, taux de compression, et en tenant compte de la disponibilité de ce produit sur le marché.

chaque type de machine a été conçu pour répondre à des exigences bien définies. Ainsi, tel compresseur sera opérationnel dans certaines conditions, ne l'est plus à d'autres. Il faut donc adapter le compresseur à ses besoins.

si le compresseur axial est capable de transférer de gros débits à des taux de compression assez bas, le compresseur centrifuge monoétagé véhicule un débit limité mais à un taux de compression élevé.

Le compresseur à piston est surtout conçu pour les

trés grands taux de compression et possède un encombrement croissant avec l'augmentation du débit. Quand au compresseur à vis, il est utilisé pour de faibles taux de compression.

Dans notre cas, les données sont les suivantes :

- Pression maximale à obtenir : 400 psi (2,758 MPa)
- Taux de compression : 27
- Domaine de travail : Laboratoire H400

Ces constatations nous amènent d'ores et déjà à faire un premier choix, et à opter de ce fait pour le compresseur à piston de moyenne pression.

D'autre part, sachant que l'industrie (notamment l'E C C M au niveau national) ne propose que des compresseurs à piston, ceci arrête n otre choix à cette catégorie.

Le modèle que nous avons choisi parmi la panoplie de compresseurs proposée par l'E C C M (voir Annexe 7 : Conception du Banc-d'essais standard) a les caractéristiques suivantes :

Modèle	Capacité	Débit	Moteur	Nombre	Tension	Pression	Prix HT	Prix TTC
	cuve	air	electr.	de tours	(V)	travail	(D.A)	(D.A)
K 50	1000 l	1200 l/mn	10 cv	1400RPM	200/380	14 bars (203psi)	117300	130332

CHAPITRE

CINQ

CONCEPTION

DU

BANC - D'ESSAIS

STANDARD

5-1 : Introduction

Nous abordons ici l'avant-dernière partie de notre thème. Suite à l'étude des servitudes pneumatiques et de l'équipement nécessaire à chaque banc-d'essais, et après avoir recensé tous les compresseurs, nous avons pu concevoir un banc-d'essais standard pour l'ensemble de nos éléments, représenté sur le document :

Fig-1 : Banc-d'essais standard.

L'équipement global est résumé dans le document :

Tab-1 : Equipement du Banc-d'essais Standard.

Notre conception comprend en fait deux parties :

- Dimensionnement des Tuyauteries.
- Choix des Accessoires du Banc-d'Essais.

5-2 : Dimensionnement :

Devant tenir compte d'une éventuelle intégration économique, le choix du matériau des tuyauteries s'est porté sur le cuivre rouge en raison de ses propriétés (physiques, mécaniques) et de sa disponibilité sur le marché. (voir Annexe 7 : Conception du banc-d'essais standard.).

De plus, certaines longueurs et certains diamètres des tuyauteries étant imposés par le constructeur (GARRETT), ceci a guidé notre choix des dimensions parmi la gamme proposée par l'E N I T E C.

Nous avons ensuite calculé les pertes de charge pour les estimer et voir si elles étaient acceptables. Pour cela, nous avons progressé selon l'ordre logique de cheminement de l'air dans le circuit : Veines principales (2) puis Veines Secondaires.

Notre calcul des pertes de charge s'est fait selon une méthode rapide. comparée aux méthodes données en Annexe 7 : Conception du Banc-d'essais Standard, elle donne des résultats assez précis et évite des calculs fastidieux.

Cette méthode est traduite par :

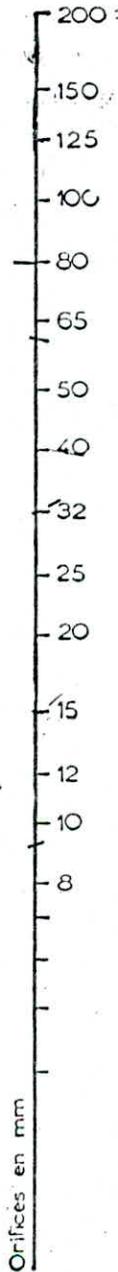
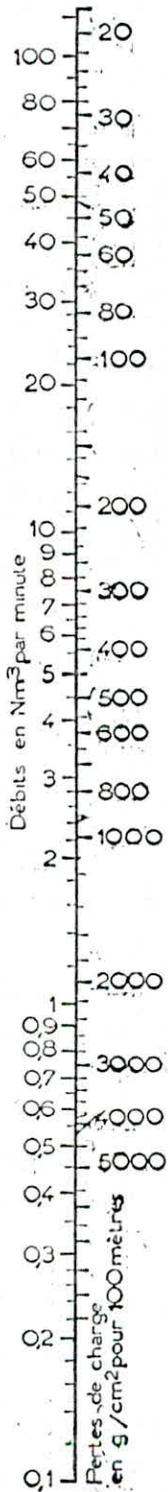
Abaque - 1 : Calcul des Tuyauteries d'air comprimé.

REF	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES
1	Cloche sous laquelle est testé l'élément .	Cloche sous vide
2	Débitmètre	17,9 Lbs/mn = 8,1 Kg/mn
3	Débitmètre	1,8 Lb /mn = 0,8 Kg/mn
4	Débitmètre	430,0 Lbs/mn = 195,0 Kg/mn
5	Débitmètre	100,0 Lbs/mn = 45,4 Kg/mn
6	Débitmètre	200,0 Lbs/mn = 90,8 Kg/mn
7	Débitmètre	14,5 Lbs/mn = 6,6 Kg/mn
8	Débitmètre	1,0 Lb /mn = 0,5 Kg/mn
9	Régulateur de pression	0 à 200 psig ou 0 à 1380,0 Kpa
10	Régulateur de pression	0 à 55 psig ou 0 à 379,5 Kpa
11	Régulateur de pression	0 à 400 psig ou 0 à 2760,0 Kpa
12	Régulateur de pression	0 à 100 psig ou 0 à 690,0 Kpa
13	Toggle valve	
14	Toggle valve	
15	Toggle valve	
16	Toggle valve	
17	Manomètre	0 à 60 in Hg-ou-0 à 1524 mm Hg
18	Manomètre	0 à 100 in Hg-ou-0 à 2540 mm Hg
19	Manomètre	0 à 60 in Hg-ou-0 à 1524 mm Hg
20	Manomètre	0 à 60 in Hg-ou-0 à 1524 mm Hg
21	Manomètre	0 à 60 in Hg-ou-0 à 1524 mm Hg
22	Manomètre	0 à 100 in Hg-ou-0 à 2540 mm Hg
23	Manomètre	0 à 60 in Hg-ou-0 à 1524 mm Hg
24	Manomètre	0 à 100 in Hg-ou-0 à 2540 mm Hg
25	Manomètre	0 à 60 in Hg-ou-0 à 1524 mm Hg
26	Manomètre Différentiel	0 à 60 in HG-ou-0 à 1524 mm Hg
27	Manomètre Différentiel	0 à 120 in H ₂ O-ou-0 à 3050 mm H ₂ O
28	Manomètre	0 à 60 in Hg-ou-0 à 1524 mm Hg
29	Manomètre Différentiel	0 à 120 in H ₂ O-ou-0 à 3050 mm H ₂ O
30	Manomètre	0 à 60 in Hg-ou-0 à 1524 mm Hg
31	Manomètre	0 à 100 in Hg-ou-0 à 2540 mm Hg
32	Manomètre	0 à 60 in Hg-ou-0 à 1524 mm Hg
33	Robinet d'arrêt	15 psig ou 103,5 Kpa
34	Robinet d'arrêt	165 psig ou 1138,5 Kpa
35	Robinet d'arrêt	165 psig ou 1138,5 Kpa
36	Robinet d'arrêt	165 psig ou 1138,5 Kpa
37	Robinet d'arrêt	100 psig ou 690,0 Kpa
38	Robinet d'arrêt	200 psig ou 1380,0 Kpa
39	Robinet d'arrêt	165 psig ou 1138,5 Kpa
40	Robinet d'arrêt	400 psig ou 2760,0 Kpa
41	Robinet d'arrêt	165 psig ou 1138,5 Kpa
42	Robinet d'arrêt	165 psig ou 1138,5 Kpa

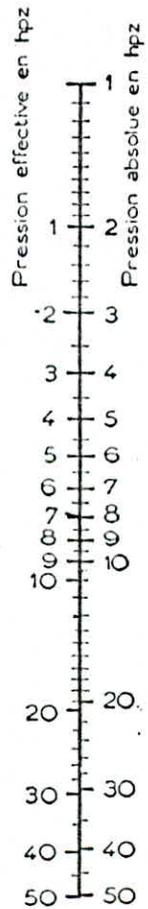
43	Robinet d'arrêt	200 psig ou 1380,0 Kpa
44	Robinet d'arrêt	175 psig ou 1207,5 Kpa
45	Robinet d'arrêt	175 psig ou 1207,5 Kpa
46	Robinet d'arrêt	175 psig ou 1207,5 Kpa
47	Robinet d'arrêt	20 psig ou 138,0 Kpa
48	Robinet d'arrêt	100 psig ou 690,0 Kpa
49	Robinet d'arrêt	100 psig ou 690,0 Kpa
50	Robinet d'arrêt	100 psig ou 690,0 Kpa
51	Robinet d'arrêt	100 psig ou 690,0 Kpa
52	Robinet d'arrêt	100 psig ou 690,0 kpa
53	Gage	165 psig ou 1138,5 Kpa
54	Gage	175 psig ou 1207,5 Kpa
55	Gage	400 psig ou 2760,0 Kpa
56	Gage	15 psig ou 103,5 Kpa
57	Gage	100 psig ou 690,0 Kpa
58	Gage	100 psig ou 690,0 Kpa
59	Gage	200 psig ou 1380,0 kpa
60	Gage	50 psig ou 345,0 kpa
61	Gage	100 psig ou 690,0 kpa
62	Gage	165 psig ou 1138,5 kpa
63	Gage	100 psig ou 690,0 kpa
64	Gage	100 psig ou 690,0 kpa
65	Gage	55 psig ou 379,5 kpa
66	passage calibré	Diamètre 0,037 à 0,039 in (0,94 à 0,99 mm)
67	Passage calibré	Diamètre 0,0292 in (0,742 mm)
68	Pompe	

Tab - 1 : Equipement du banc-d'essais Standard

Abaque 1: Calcul des tuyauteries d'air comprimé



axe de référence



Elle donne la perte de charge (Kg/cm^2) pour 100 m de tuyauterie à partir :

- du diamètre intérieur (mm)
- de la pression (bar)
- du débit corrigé ($\text{N m}^3 / \text{mn}$)

Une simple "Règle de Trois" nous donnera la perte de charge pour une longueur donnée de tuyauterie.

Par souci de clarté, nous détaillerons le premier calcul, et ne mentionnerons que les résultats obtenus pour le reste des tronçons.

5-2-1 : Dimensionnement de la Veine Principale de l'entrée n° un.

- a- Tronçon (a) (b) (c) (d) (e) (voir Fig-2 : Banc-d'essais standard, Découpage en tronçons)

* Données :

- . Longueur développée de la tuyauterie : 4ft = 1,219 m
- . Diamètre intérieur : 16 mm
- . Température : 49° C
- . Débit max : 430 Lbs/mn = 195,000 Kg/mn
- . Pression max : 175 psig = 11,986 bars = 12,222 Kg/cm^2

Notons tout de suite que la pression lue sur le gage est une pression relative, et qu'il faut lui ajouter 1 bar (environ). Le passage des "bars" aux " Kg/cm^2 " se fait en multipliant les premiers par : 1,0197.

* Premier calcul :

La formule (2) (Annexe 7 : conception du banc-d'essais standard) donne le poids spécifique de l'air sec :

$$\bar{w} = \frac{10000}{29,272} * \frac{P}{273+t} \quad [\text{Kg/m}^3] \quad (2)$$

où P : Pression absolue (Kg/cm²) = 12,463 Kg/cm²

t : température (°c) = 49°c

alors :

$$\bar{w} = 14,049 \text{ Kg/m}^3$$

*** Second calcul :**

Le débit en [N. m³/mn] est obtenu à partir du débit en [Kg / mn] en divisant ce dernier par le poids spécifique \bar{w} [Kg / m³].

$$\text{Ainsi , } Q = \frac{195}{14,049} = 13,880 \text{ N m}^3 / \text{mn}$$

A noter cependant qu'il faut corriger ce débit car l'Abaque -1 : calcul des tuyauteries d'air comprimé est établi pour l'air à 15° C.

Cette correction se fait en multipliant le débit obtenu par le facteur :

$$\frac{273 + t}{273 + 15} \quad [\text{formule (1), Annexe 7}]$$

De ce fait :

$$\text{Débit corrigé } q = 13,880 * \frac{273 + 49}{273 + 15}$$

$$q = 15,518 \text{ Nm}^3 / \text{mn}$$

*** Troisième calcul :**

Ce tronçon de tuyauterie comporte un robinet d'arrêt dont la longueur droite équivalente, donnée par le document:

Abaque -2 : Equivalence des pertes de charge en longueur droite de tuyauterie vaut :

$$L = 0,180 \text{ m}$$

REMARQUE

Consulter : "Annexe 7 : conception du banc-d'essais standard" pour le mode de détermination de cette longueur . Cet abaque est aussi valable pour les autres "accidents" de parcours: coudes...

En ajoutant cette longueur à la longueur développée de la tuyauterie, on obtient la longueur droite fictive qui nous permet de déterminer la perte de charge globale.

Longueur droite fictive :

$$L = 1,219 + 0,180 \approx 1,400 \text{ m}$$

* Détermination de la perte de charge :

La lecture de l'abaque -1 : calcul des tuyauteries d'air comprimé donne :

$$\text{pour } 100 \text{ m} : \Delta p = 20 \text{ Kg/cm}^2.$$

$$\text{pour } 1,40 \text{ m} : \Delta p = 0,280 \text{ kg/cm}^2 = 0,274 \text{ bar} .$$

* Conclusion :

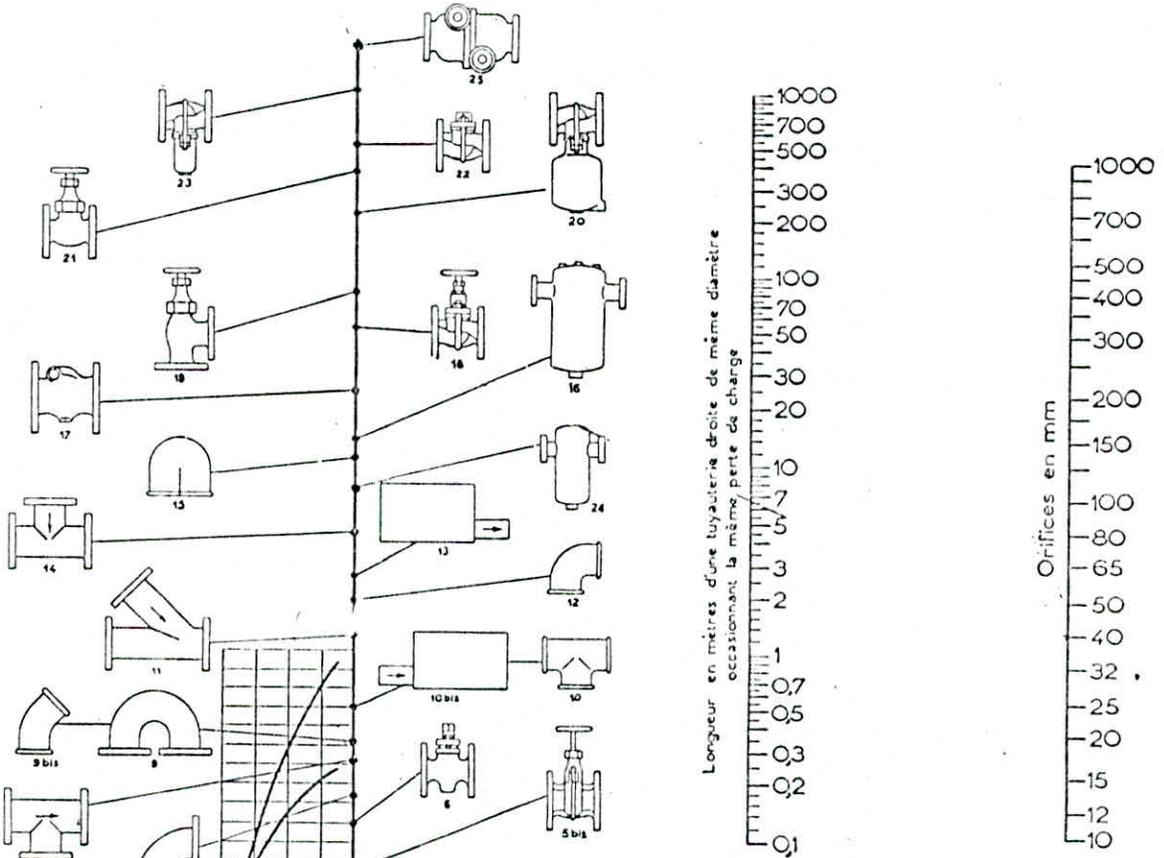
Cette tuyauterie, alimentée sous une pression relative de 11,986 bars, enregistre une perte de charge de 0,274 bar, soit 2,28 % .

b- Tronçon (b) 3 (D) 4 (C) [voir Fig-2]

* Données :

- . longueur développée de la Tuyauterie :
3 ft \approx 0,914 m
- . Diamètre intérieur : 16 mm
- . Température : 49°C

Abaque 2 : Equivalences des pertes de charge en longueurs droites de tuyauteries



Nomenclature			
1	Rétrécissement avec angle à 20°	14	Té avec entrée latérale à 90° à brides
2	Élargissement avec angle à 20°	15	Coude fermé à 180° taraudé
3	Rétrécissement brusque	16	Déshuileur assécheur
4	Élargissement brusque	17	Clapet de non-retour à clapet articulé
5	Coude à 45° à brides	18	Robinet à soupape SERGOSTOP
5bis	Vanne à passage direct	19	Robinet à soupape d'écoulement
6	Robinet à boisseau	20	Séparateur filtre
7	Coude à 90° à brides	21	Robinet à soupape normal
8	Té à 90° à brides	22	Clapet de non-retour à clapet guidé
9	Coude à 180° à brides	23	Filtre à tamis
9bis	Coude à 45° taraudé	24	Séparateur d'eau déshuileur EVACO
10	Té à 90° taraudé	25	Clapet automatique d'arrêt de vapeur
10bis	Entrée de réservoir		
11	Té avec entrée latérale à 45° à brides		
12	Coude à 90° taraudé		
13	Sortie de réservoir		
* ou raccords à souder, Vallourec, en acier.			

- . Débit max : 14,5 Lbs/mn = 6,576 Kg/mn.
- . Pression max (relative) : 175 psig = 11,986 bars
= 12,222Kg/cm²

*** Calculs préliminaires :**

- . Poids spécifique de l'air sec :
 $\bar{w} = 14,049 \text{ Kg/m}^3$
- . Débit corrigé :
 $q = 0,468 \text{ N.m}^3/\text{mn}$
- . Ce tronçon comporte 2 robinets d'arrêt (à boisseau) et 2 coudes à 90°. Ainsi :
Longueur droite équivalente aux robinets d'arrêt :
 $l_1 = 2 * 0,180 = 0,360 \text{ m}$
Longueur droite équivalente aux coudes :
 $l_2 = 2 * 0,210 = 0,420 \text{ m}$

Alors :

Longueur droite fictive :

$$L = 1,694 + 0,420 + 0,360 = 1,694 \text{ m}$$

*** Estimation de la perte de charge :**

Selon l'abaque - 1 :

Pour 100 m : $\Delta p \approx 218 \text{ g/cm}^2$

Pour 1,694 m : $\Delta p \approx 3,692 \cdot 10^{-3} \text{ Kg/cm}^2 = 3,620 \cdot 10^{-3} \text{ bar}$

*** Conclusion :**

Cette tuyauterie, alimentée sous une pression relative de 11,986 bars, enregistre une perte de charge de 0,004 bar, soit 0,03 %.

C- Tronçon (f) (g) (h) : [voir Fig- 2]

*** Données :**

- . Longueur développée de la tuyauterie : 3 ft \approx 0,914 m
- . Diamètre intérieur : 16 mm
- . Température : 49°C
- . Débit max : 430 lbs/mn = 195,000 Kg/mn
- . pression max : 200 psig \approx 13,698 bars = 13,968Kg/cm²

*** Calculs préliminaires :**

. Poids spécifique de l'air sec :

$$\bar{w} = 15,901 \text{ Kg/m}^3$$

. débit corrigé :

$$q = 13,710 \text{ N m}^3/\text{mn}$$

. Ce tronçon comporte 2 robinets d'arrêt à boisseau.

longueur droite équivalente :

$$l = 2 \cdot 0,180 \text{ m} = 0,360 \text{ m}$$

Longueur droite fictive :

$$L = 0,360 + 0,914 = 1,274 \text{ m}$$

*** Estimation de la perte de charge :**

Selon l'abaque - 1 :

$$\text{Pour } 100 \text{ m} : \Delta P \approx 20 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Pour } 1,274 \text{ m} : \Delta P \approx 0,255 \text{ Kg/cm}^2 \approx 0,250 \text{ bar}$$

*** Conclusion :**

Cette tuyauterie, alimentée sous une pression relative de 13,698 bars, enregistre une perte de charge de 0,250 bar, soit 1,82 % .

d- Tronçon (2) 16-17-18- (m) : [voir Fig- 2]

*** Données :**

- . Longueur développée de la tuyauterie : 2 ft \approx 0,609 m
- . Diamètre intérieur : 16 mm
- . Température : 49°C
- . Débit max : 430 Lbs / mn = 195,000 kg / mn
- . Pression max : 165 psig = 11,300 bars = 11,524 Kg/ cm²

*** calculs préliminaires :**

. Poids spécifique de l'air sec :

$$\bar{w} = 13,307 \text{ kg/m}^3$$

. débit corrigé :

$$q = 16,384 \text{ N.m}^3/\text{mn}$$

. ce tronçon comporte 2 robinets d'arrêt à boisseau et 2 coudes à 90° :

Longueur droite équivalente aux robinets;

$$l_1 = 2 * 0,180 = 0,360 \text{ m}$$

Longueur droit équivalent aux coudes;

$$l_2 = 2 * 0,210 = 0,420 \text{ m}$$

Alors ;

Longueur droite fictive;

$$L = 0,360 + 0,420 + 0,609 = 1,389 \text{ m}$$

*** Estimation de la perte de charge :**

selon l'abaque -1 :

$$\text{Pour } 100 \text{ m} : \Delta P \approx 20 \text{ Kg / cm}^2$$

$$\text{Pour } 1,389 \text{ m} : \Delta P \approx 0,278 \text{ Kg / cm}^2 \approx 0,272 \text{ bar}$$

*** Conclusion :**

Cette tuyauterie, alimentée sous une pression relative de 11,300 bars, enregistre une perte de charge de 0,272 bar soit 2,41 %.

e- Tronçon (g)-13-(i) : [voir Fig -2]

*** Données :**

- . Longueur développée de la tuyauterie : 3 ft \approx 0,968 m
- . Diamètre intérieur : 16 mm
- . Température : 49°C
- . Débit max : 17,9 Lbs / mn = 8,118 Kg/ mn
- . Pression max : 200 psig = 13,698 bars = 13,968 Kg/cm²

*** Calculs préliminaires :**

. Poids spécifique de l'air sec :

$$\bar{w} = 15,901 \text{ Kg/m}^3$$

. Débit corrigé :

$$q = 0,571 \text{ N.m}^3/\text{mn}$$

. Ce tronçon comporte un robinet d'arrêt à boisseau et un coude à 90° :

Longueur droite équivalente au robinet :

$$l_1 = 0,180 \text{ m}$$

Longueur droite équivalente au coude :

$$l_2 = 0,210 \text{ m}$$

Alors :

Longueur droite fictive :

$$L = 1,304 \text{ m}$$

*** Estimation de la perte de charge :**

Selon l'abaque -1 :

Pour 100 m : $\Delta P \approx 180 \text{ g/cm}^2$

Pour 1,304 m : $\Delta P \approx 2,347 \text{ g/cm}^2 \approx 0,002 \text{ bar}$

*** conclusion :**

Cette tuyauterie, alimentée sous une pression de 13,698 bars enregistre une perte de charge de 0,002 bar, soit 0,01 % .

5-2-2 : Dimensionnement des veines secondaires de l'entrée n° un :

a- Tronçon (e) (j) (k) (g) [voir Fig-2]

*** Données :**

- . Longueur développée de la tuyauterie : 2 ft \approx 0,609 m
- . Diamètre intérieur : 10 mm
- . Température : 49°C
- . débit max : 430 Lbs/mn = 195,000 Kg/mn
- . Pression max: 165 psig \approx 11,300 bars \approx 11,524 Kg/cm²

*** Calculs préliminaires :**

- . Poids spécifique de l'air sec :

$$\bar{w} = 13,307 \text{ Kg/m}^3$$

- . Débit corrigé :

$$q = 16,384 \text{ N.m}^3/\text{mn}$$

- . ce tronçon comporte un robinet d'arrêt à boisseau et trois coudes à 90°:

Longueur droite équivalente au robinet :

$$l_1 = 0,120 \text{ m}$$

Longueur droite équivalente aux coudes :

$$l_2 = 3 * 0,140 = 0,420 \text{ m.}$$

Alors :

Longueur droite fictive :

$$L = 1,149 \text{ m}$$

*** Estimation de la perte de charge**

Selon l'abaque -1 :

pour 100 m : $\Delta p \approx 20 \text{ kg/cm}^2$

pour 1,149 m : $\Delta p \approx 0,230 \text{ Kg/cm}^2 \approx 0,225 \text{ bar}$

*** conclusion :**

Cette tuyauterie, alimentée sous une pression relative de 11,300 bars, enregistre une perte de charge de 0,225 bar, soit 2,00 %.

b- Tronçon (d) (j) (a) : [voir Fig- 2]

*** Données :**

- . Longueur développée de la tuyauterie : 10ft $\approx 3,048 \text{ m}$
- . Diamètre intérieur : 6 mm
- . Température : 49°C
- . Débit max : 430 Lbs /mn = 195,000 Kg/mn
- . Pression max : 165 psig $\approx 11,300 \text{ bars} \approx 11,524 \text{ Kg/cm}^2$

*** Calculs préliminaires :**

. Poids spécifique de l'air sec :

$$\bar{w} = 13,307 \text{ Kg/m}^3$$

. Débit corrigé :

$$q = 16,384 \text{ N.m}^3/\text{mn}$$

. Ce tronçon comporte 2 robinets et 4 coudes à 90° :
Longueur droite équivalente aux robinets :

$$l_1 = 2 * 0,110 = 0,220 \text{ m}$$

Longueur droite équivalente aux coudes :

$$l_2 = 4 * 0,120 = 0,480 \text{ m}$$

Longueur droite fictive :

$$L = 3,748 \text{ m}$$

*** Estimation de la perte de charge :**

Selon l'abaque -1 :

pour 100 m : $\Delta p \approx 20 \text{ Kg/cm}^2$
Pour 3,748 m : $\Delta p \approx 0,749 \text{ Kg/cm}^2 \approx 0,734 \text{ bar}$

*** Conclusion :**

Cette tuyauterie, alimentée sous une pression de 11,300 bars, enregistre une perte de charge de 0,734 bar soit 6,50 %.

c- Tronçon (n) (o) (p) : [voir Fig -2]

*** Données :**

- . Longueur développée de la tuyauterie : 6 ft $\approx 1,829 \text{ m}$
- . Diamètre intérieur : 6mm
- . Température : 49°C
- . Débit max : 20 Lbs/mn $\approx 9,070 \text{ Kg/mn}$
- . Pression max : 200 psig = 13,698 bars = 13,968 Kg/cm²

*** Calculs préliminaires :**

- . Poids spécifique de l'air sec :
 $\bar{w} = 15,901 \text{ Kg/m}^3$
- . Débit corrigé :
 $q = 0,637 \text{ N.m}^3/\text{mn}$
- . Ce tronçon comporte 1 coude à 90° dont la longueur droite équivalente est :
 $l = 0,100 \text{ m}$
Longueur droite fictive :
 $L = 1,929 \text{ m}$

*** Estimation de la perte de charge :**

Selon l'abaque -1 :

- pour 100 m : $\Delta p \approx 15 \text{ Kg/cm}^2$
- pour 1,929 m : $\Delta p \approx 0,289 \text{ Kg/cm}^2 \approx 0,283 \text{ bar}$

*** Conclusion :**

Cette tuyauterie, alimentée sous une pression relative de 13,698 bars, enregistre une perte de charge de 0,283 bar, soit 2,06 %.

- . Longueur développée de la tuyauterie : 1 ft ~ 0,305m
- . Diamètre intérieur : 8 mm
- . Température : 49°C
- . Débit max : 110 Lbs/mn ~ 49,900 kg/mn
- . Pression max : 100 psig ~ 6,850 bars ~ 6,984 Kg/cm²

*** Calculs préliminaires :**

- . poids spécifique de l'air sec :

$$\bar{w} = 8,491 \text{ Kg/m}^3$$

- . Débit corrigé :

$$q = 6,571 \text{ N.m}^3/\text{mn}$$

- . Ce tronçon comporte 2 coudes à 90° dont la longueur droite équivalente est :

$$l = 2 \cdot 0,120 = 0,240 \text{ m}$$

Alors:

Longueur droite fictive :

$$L = 0,545 \text{ m}$$

*** Estimation de la perte de charge :**

Selon l'abaque -1 :

pour 100 m : $\Delta p \approx 20 \text{ Kg/cm}^2$

POUr 0,545 m : $\Delta p \approx 0,109 \text{ Kg/cm}^2 \approx 0,107 \text{ bar}$

*** Conclusion :**

Cette tuyauterie, alimentée sous une pression relative de 6,850 bars, enregistre une perte de charge de 0,107 bar, soit 1,56 %.

e - Tronçon (q) (r) (s) : [voir Fig - 2]

*** Données :**

- . Longueur développée de la tuyauterie : 3 ft ~ 0,914 m
- . Diamètre intérieur : 16 mm
- . Température : 49°C
- . Débit max : 200 Lbs/mn ~ 90,703 Kg/mn
- . Pression max : 100 psig ~ 6,850 bars ~ 6,984 Kg/cm²

*** Calculs préliminaires :**

- . poids spécifique de l'air sec :

- $\bar{w} = 8,327 \text{ Kg/m}^3$
- . Débit corrigé :
 $q = 12,178 \text{ N.m}^3/\text{mn}$
- . Ce tronçon comporte 1 robinet dont la longueur droite équivalente est :
 $l = 0,180 \text{ m}$

Alors :

Longueur droite fictive :

$$L = 1,094 \text{ m}$$

*** Estimation de la perte de charge :**

Selon l'abaque -1 :

pour 100 m : $\Delta p \approx 20 \text{ Kg/cm}^2$

Pour 1,094 m : $\Delta p \approx 0,219 \text{ Kg/cm}^2 \approx 0,214 \text{ bar}$

*** Conclusion :**

Cette tuyauterie, alimentée sous une pression relative de 6,850 bars, enregistre une perte de charge de 0,214 bar, soit 3,12 %.

f- Tronçon (r) (t) : [voir Fig-2]

*** Données :**

- . Longueur développée de la tuyauterie : 1 ft $\approx 0,305 \text{ m}$
- . Diamètre intérieur : 16 mm
- . Température : 49 °C
- . Débit max : 200 Lbs/mn $\approx 90,703 \text{ Kg/mn}$
- . Pression max : 100 psig $\approx 6,850 \text{ bars} \approx 6,984 \text{ Kg/cm}^2$

*** Calculs préliminaires :**

. poids spécifique de l'air sec :

$$\bar{w} = 8,327 \text{ Kg/m}^3$$

. Débit corrigé :

$$q = 12,178 \text{ N.m}^3/\text{mn}$$

. Ce tronçon comporte 1 robinet d'arrêt à boisseau et 1 coude à 90° :

Longueur droite équivalente au robinet :

$$l_1 = 0,180 \text{ m}$$

Longueur droite équivalente au coude :

$$l_2 = 0,210 \text{ m}$$

Longueur droite fictive :

$$L = 0,695 \text{ m}$$

*** Estimation de la perte de charge :**

Selon l'abaque - 1 :

$$\text{pour } 100 \text{ m} : \Delta p \sim 20 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{pour } 0,695 \text{ m} : \Delta p \sim 0,137 \text{ Kg/cm}^2 \sim 0,134 \text{ bar}$$

*** Conclusion :**

Cette tuyauterie, alimentée sous une pression relative de 6,850 bars, enregistre une perte de charge de 0,134 bar, soit 1,96 %.

5-2-3 : Dimensionnement de la veine principale de l'entrée n° deux

a- Tronçon (a') (b') (c') [voir Fig -2.]

*** Données :**

- . Longueur développée de la tuyauterie : 10 ft \sim 3,048 m
- . Diamètre intérieur : 16 mm
- . Température : 49°C
- . Débit max : 1 Lb/mn = 0,453 Kg/mn
- . Pression max : 125 psig = 8,562 bars \sim 8,730 Kg/cm²

*** Calculs préliminaires :**

. poids spécifique de l'air sec :

$$\bar{w} = 10,145 \text{ Kg/m}^3$$

. Débit corrigé :

$$q = 0,050 \text{ N.m}^3/\text{mn}$$

. Ce tronçon comporte un robinet d'arrêt à boisseau et deux coudes à 90° :

Longueur droite équivalente au robinets :

$$l_1 = 0,180 \text{ m}$$

Longueur droite équivalente aux coudes :

$$l_2 = 2 * 0,210 = 0,420 \text{ m}$$

Alors :

Longueur droite équivalente au robinets :

$$l_1 = 0,180 \text{ m}$$

Longueur droite équivalente aux coudes :

$$l_2 = 2 \cdot 0,210 = 0,420 \text{ m}$$

Alors :

Longueur droite fictive :

$$L = 3,648 \text{ m}$$

*** Estimation de la perte de charge :**

selon l'abaque - 1 :

pour 100 m : $\Delta p \approx 230 \text{ g/cm}^2$

pour 3,648 m : $\Delta p \approx 8,390 \cdot 10^{-3} \text{ Kg/cm}^2 \approx 0,008 \text{ bar}$

*** Conclusion :**

Cette tuyauterie, alimentée sous une pression relative de 8,562 bars, enregistre une perte de charge de 0,008 bar, soit 0,09 %.

5-2-4 : Dimensionnement des veines secondaires de l'entrée n° deux

a - Tronçon (d')(e')(f') : [voir Fig- 2]

*** Données :**

- . Longueur développée de la tuyauterie : 3 ft $\approx 0,914 \text{ m}$
- . Diamètre intérieur : 16 mm
- . Température : 49°C
- . Débit max : 1 Lb/mn $\approx 0,453 \text{ Kg/mn}$
- . Pression max : 100 psig $\approx 6,850 \text{ bars} \approx 6,984 \text{ Kg/cm}^2$

*** Calculs préliminaires :**

. poids spécifique de l'air sec :

$$\bar{w} = 8,327 \text{ Kg/m}^3$$

. Débit corrigé :

$$q = 0,061 \text{ N.m}^3/\text{mn}$$

. ce tronçon comporte un robinet d'arrêt à boisseau dont la longueur droite équivalente vaut :

$$l = 0,180 \text{ m}$$

Alors :

Longueur droite fictive :

$$L = 1,094 \text{ m}$$

*** Estimation de la perte de charge :**

Selon l'abaque - 1 :

pour 100 m: $\Delta p \approx 290 \text{ g/cm}^2$

pour 1,094 m: $\Delta p \approx 3,173 \text{ g/cm}^2 \approx 0,003 \text{ bar}$.

*** Conclusion :**

Cette tuyauterie, alimentée sous une pression de 6,850 bars, enregistre une perte de charge de 0,003 bar, soit 0,45 %.

b- Tronçon (e') (g') : [voir Fig- 2]

*** Données :**

- . Longueur développée de la tuyauterie : 2 ft \approx 0,609 m
- . Diamètre intérieur : 16 mm
- . Température : 49°C
- . Débit max : 1 Lb/mn = 0,453 Kg/mn
- . Pression max : 15 psig \approx 1,027 bar \approx 1,047 Kg/cm²

*** Calculs préliminaires :**

. poids spécifique de l'air sec :

$$\bar{w} = 2,172 \text{ Kg/m}^3$$

. Débit corrigé :

$$q = 0,235 \text{ N.m}^3/\text{mn}$$

. Ce tronçon comporte un robinet d'arrêt à boisseau dont la longueur droite équivalente vaut :

$$l = 0,180 \text{ m}$$

Alors :

Longueur droite fictive :

$$L = 0,789 \text{ m}$$

*** Estimation de la perte de charge :**

selon l'abaque - 1 :

pour 100 m: $\Delta p \approx 1,1 \text{ Kg/cm}^2$

Pour 0,789 m: $\Delta p \approx 8,679 \cdot 10^{-3} \text{ Kg/cm}^2 \approx 0,008 \text{ bar}$

*** Conclusion :**

Cette tuyauterie, alimentée sous une pression relative de 1,027 bar, enregistre une perte de charge de 0,008 bar, soit 0,78 %.

5-2-5 : Tableau Récapitulatif - Conclusion :

Nous récapitulons ci-dessous les résultats obtenus :

	Tronçon	Pression nominale(bar)	Perte de charge(bar)	Perte de charge(%)
Veine Principale de l'Entrée n° Un	(a)(b)(c)(d)(e)	11,986	0,274	2,28
	(b)3(D)4C	11,986	0,004	0,03
	(f) (g) (h)	13,698	0,250	1,82
	(l)16-17-18-(m)	11,300	0,272	2,41
	(g)-13-(i)	13,698	0,002	0,01
Veines Secondaires de l'Entrée n° Un	(e)(j)(k)(g)	11,300	0,225	2,00
	(d)(j)(a)	11,300	0,734	6,50
	(n)(o)(p)	13,698	0,283	2,06
	Toggle Valves	6,850	0,107	1,56
	(q)(r)(s)	6,850	0,214	3,12
	(r)(l)	6,850	0,134	1,96

	Tronçon	Pression nominale(bar)	Perte de charge(bar)	Perte de charge(%)
Veine Principale de l'Entrée n° Deux	(a')(b')(c')	8,562	0,008	0,09
Veines Secondaires de l'Entrée n° Deux	(d')(e')(f')	6,850	0,003	0,45
	(e')(g')	1,027	0,008	0,78

Nous constatons qu'en terme de pourcentage, les pertes de charge n'ont pas excédé le seuil des 15 %, seuil au delà duquel elles ne sont plus acceptables (spécification du constructeur Garrett). De ce fait, ce dimensionnement répond aux besoins des tests à effectuer.

5-3 : Choix des Accessoires du Banc-d'essais :

Sans compter les manomètres, régulateurs, gage et autres robinets d'arrêt, notre installation doit comprendre la source d'air, en l'occurrence le compresseur, et un sécheur (déshumidificateur) car l'air délivré doit être sec.

5-3-1 : Le compresseur :

Ce dernier peut être fourni par l'Entreprise de

Chaudronnerie Industrielle et de Construction Métallique (E C C M).
Faisant un compromis entre nos besoins et les disponibilités du
marché, notre choix s'est porté sur le compresseur à piston K50 .
[voir chapitre quatre, choix du compresseur].

5-3-2 : Le sécheur :

Comme nous l'avons déjà mentionné, l'air délivré doit être sec pour les besoins des tests.

Cette condition peut être réalisée par un sécheur qui, par ailleurs, a les avantages suivants :

- Dispense de purger les réseaux d'air comprimé avant la mise en route,
- Evite une destruction des produits par résidus d'eau (revêtements intérieurs des tuyauteries),
- Réduit les frais d'investissement de l'installation d'air comprimé par suppression des récupérateurs d'eau et d'un grand nombre de soupapes de purge.
- Augmente la longévité de l'installation car évite la rouille et les fuites.

Le sécheur ne fait encore l'objet ni d'une production nationale, ni d'une sous-traitance . Il doit être alors importé.

La compagnie "KAESER COMPRESSEURS" (France) pourrait éventuellement en fournir.

De la gamme qu'elle nous a proposées [voir Annexe 7 : conception du Banc-d'Essais Standard] et selon nos besoins en débit, pression de service max et en raccord air, notre choix s'est porté sur le modèle T 60 :

- Débit : 1283 l/mn
- Pression de service max : 15 bars
- Raccord air : 1/2 inch.

CHAPITRE
SIX

ELABORATION
DU
CAHIER
DE
CHARGES

L'élaboration de ce cahier de charges a nécessité que l'on prenne contact avec l'E N I T E C pour le devis de l'installation, et avec l'E C C M pour la fourniture du compresseur.

6-1 : Devis de l'installation : (E N I T E C)

a- Devis des tuyauteries :

Les prix que nous donnons ci-dessous constituent en fait le montant de la fourniture et de la pose :

DESIGNATION	Prix DA/M.linaire	Longueur nécessaire (m)	Prix (DA)
-Tuyauterie ϕ 6/8	305	4,877	1485
-Tuyauterie ϕ 8/10	325	0,305	100
-Tuyauterie ϕ 10/12	412	0,609	251
-Tuyauterie ϕ 16/18	437	10,36	4528
Montant total			6364

b- Devis des Robinets à boisseau

DESIGNATION	Prix DA/unitaire	Nombre Requis	Prix (DA)
-Robinet à boisseau DN 6	300	2	600
-Robinet à boisseau DN 12	390	1	390
-Robinet à boisseau DN 15	425	17	7225
Montant total			8215

DN:Diamètre Nominal

c- Devis de l'équipement importé :

Les prix que nous donnons ci-dessous comprennent les frais de dédouanement et la taxe compensatoire. Ils ont été calculés sur la base de :

1 FF = 3,23 DA

DESIGNATION	Prix DA/Unitaire	Nombre Requis	Prix (DA)
-JAUGES & Manomètre **	1695	29	49155
- Débitmètre	12100	7	84700
- Régulateur	15000	4	60000
Montant Total			193855

** (pour la gamme de pression demandée)

d- Devis total :

L'installation complète revient donc à

208434 DA

Il faut ajouter à cela 2000 DA pour les essais de vérification.

6-2 : Fourniture des accessoires : (Compresseur, Sécheur)

Le compresseur que nous avons choisi vaut, toutes taxes comprises : 130 332 DA

Quant au sécheur, frais de douanes, taxes compensatoires, frais de fourniture et de pose compris, il vaudrait : 115 500 DA.

Le montant total serait donc de :

245 832 DA

6-3 : Prix de Revient du banc-d'essais :

Livré et installé, ce banc-d'essais reviendrait alors à :

456 66DA.

Une question se pose alors : en combien de temps ce banc-d'essais sera-t-il amorti ?

Notons tout d'abord que, pour les éléments suivants:

- Flow Control Valve
- Shutoff valve
- Pressure regulator
- Refrigeration unit (Turbine)

La fréquence de passage au banc est estimée à une fois par an en moyenne.

De plus, chaque passage nécessite les frais de main d'oeuvre et de test suivants (Labor and Test):

- Flow Control Valve : 2773 DM
- Shutoff Valve : 1520 DM
- Pressure Regulator : 933 DM
- Refrigeration unit (Turbine) : 2447 DM

Ceci s'éleverait donc à un montant global annuel de 7673 DM, c'est à dire 73112 DA, sachant que 1DM = 2,95 FF et 1 FF = 3,23 DA

L'amortissement se fera par conséquent en 6 ans.

N'ayant pu recevoir à temps la réponse de la filiale de G A R R E T T en Allemagne : Garrett-RAUNHEIM (chez qui se fait le passage au banc) quant au montant de l'équipement de test livré et monté, nous avons contacté une entreprise française, F O G, établie à Auxerre et spécialisée dans le pneumatique. Le compresseur qui aurait pu nous intéresser a les caractéristiques suivantes :

Débit : 50 m³/h
 Pression : 10 - 12 bars
 Moteur : 13 CV
 Prix : 54 356 FF

Avec l'installation et le sécheur sus-cités, ce banc reviendrait alors à : 501 504 DA et serait amorti en 7 ans.

6-4 : Conclusion :

Si ce banc-d'essais semble de prime abord onéreux (4562 66 DA), il peut en tout cas être assez vite amorti (6 ans).

Notons aussi que même si les 2 durées d'amortissement sus-citées sont très proches, nous pensons qu'acquérir un compresseur algérien reviendrait quand même moins cher, d'autant plus que la pièce de rechange est disponible et que la maintenance se fait sur place. Ceci sans oublier la garantie apportée par le constructeur, en l'occurrence l'E C C M.

CHAPITRE
SEPT

CONCLUSION

Nous apportons ici la touche finale à notre conception du banc-d'essais.

Tout au long de ce travail, nous avons défini le système pneumatique et toutes les notions nécessaires à familiariser le lecteur avec l'aéronef et les dénominations aéronautiques.

Puis, nous avons répertorié les servitudes sur fichier et nous les avons étudiées à partir des manuels de maintenance. L'équipement nécessaire à chaque banc a ainsi pu être estimé. Nous avons alors choisi les servitudes dont les bancs se ressemblaient le plus pour optimiser l'équipement et nous en avons déduit un banc standard que nous avons dimensionné et équipé en accessoires (compresseur, sécheur).

Notre travail ne s'est point arrêté là car il fallait encore savoir si ce projet était rentable pour AIR ALGERIE. Nous devons aussi penser à une intégration économique. Ces deux données nous ont amenées à contacter maintes entreprises nationales et privées à Alger (ENITEC , ENAOQ, NAFTAL, PMH), Oran (ECCM, Hydropompes), Tizi-Ouzou (ENIEM) et étrangères (GARRETT RAUNHEIM , FOG , KAESER COMPRESSEUR).

A partir des gammes fabriquées par ces industriels, nous avons établi un cahier de charges dans lequel il s'avérait que ce banc, estimé à 456266 DA, pouvait être amorti en 6 ans.

Qu'avons-nous apporté à AIR ALGERIE , direz-vous ?

A notre sens, ceci a économisé à la compagnie les frais d'un bureau d'études pour un projet que peuvent facilement prendre en charge des étudiants.

La compagnie n'a plus qu'à réaliser ce projet et peut même proposer, dans le cadre d'une coopération universités-entreprises, la conception de bancs pour tests électro-pneumatiques et hydrauliques.

De ce fait, elle réduit ses envois pour maintenance à l'étranger et qui sait, peut-être même n'aura-t-elle plus besoin de le faire un jour.

En tout cas, même si nous avons très difficilement démarré dans un domaine inconnu de nous jusqu'alors et où il fallait débroussailler le chemin, nous sommes enfin arrivées à bon port.

Nous n'avons pas la prétention de dire que ce travail ne nécessitera jamais de modifications, mais nous avons été des pionnières.

De ce fait, toutes les suggestions seront les bienvenues.

ANNEXE UN

TECHNOLOGIE

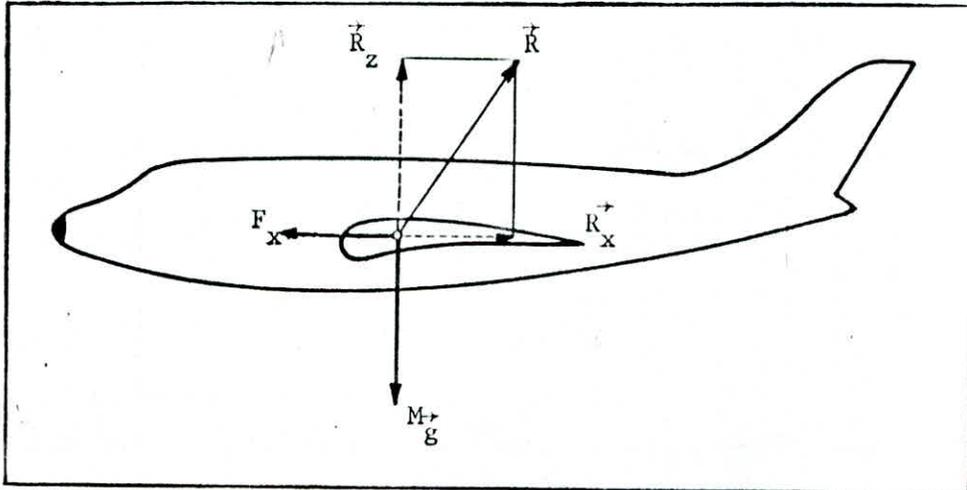
DES

TURBODREACTEURS

1 - Généralités :

1-1 - Rôle du propulseur :

Considérons le cas d'un avion en vol stabilisé rectiligne.



En considérant toutes les forces, l'avion est en équilibre si le moteur fournit une force F_x opposée à la composante horizontale R_x de la résultante aérodynamique R , R_x est la traînée, R_z la portance.

On distingue deux grandes catégories de propulseurs qui sont :

a- Les moteurs à propulsion directe :

Ce sont des propulseurs délivrant directement une force. Sont rassemblés dans cette catégorie tous les turboréacteurs.

b- Les moteurs à propulsion indirecte :

La production de la force de propulsion est réalisée par un organe intermédiaire : l'hélice, le moteur fournissant une puissance. Sont rassemblés dans cette catégorie, les turbopropulseurs et les moteurs à piston.

1-2 - Différents types de turboréacteurs :

Les turboréacteurs sont séparés en deux grandes classes :

- les turboréacteurs simple flux,
- les turboréacteurs double flux,

Enumérons ces différents types de turboréacteurs :

a- Turboréacteur simple flux, sec, monocorps:

Un seul flux le traverse d'amont en aval, il est "sec" donc n'est pas équipé de la post-combustion (P.C), monocorps car son compresseur est unique.

b- Turboréacteur, simple flux, double corps sec:

L'ensemble turbine HP, compresseur HP constitue l'attelage haute pression, et l'ensemble turbine BP compresseur BP forme l'attelage basse pression.

Les deux attelages ont leurs arbres de liaison concentriques et tournent à des vitesses de rotation différentes.

c- Turboréacteur, simple flux, monocorps avec PC:

Cette conception utilisée surtout sur les moteurs militaires permet d'obtenir des poussées élevées au détriment du potentiel des mobiles tournants.

d- Turboréacteur double flux, double corps sec (voir fig 1):

Il est soit à soufflante avant, soit à soufflante arrière.

Le turboréacteur équipant les avions Airbus, c'est à dire le CF6 50 du constructeur GENERAL ELECTRIC est à soufflante avant.

Ce moteur est traversé par deux flux, un flux chaud ou interne et un flux froid ou externe.

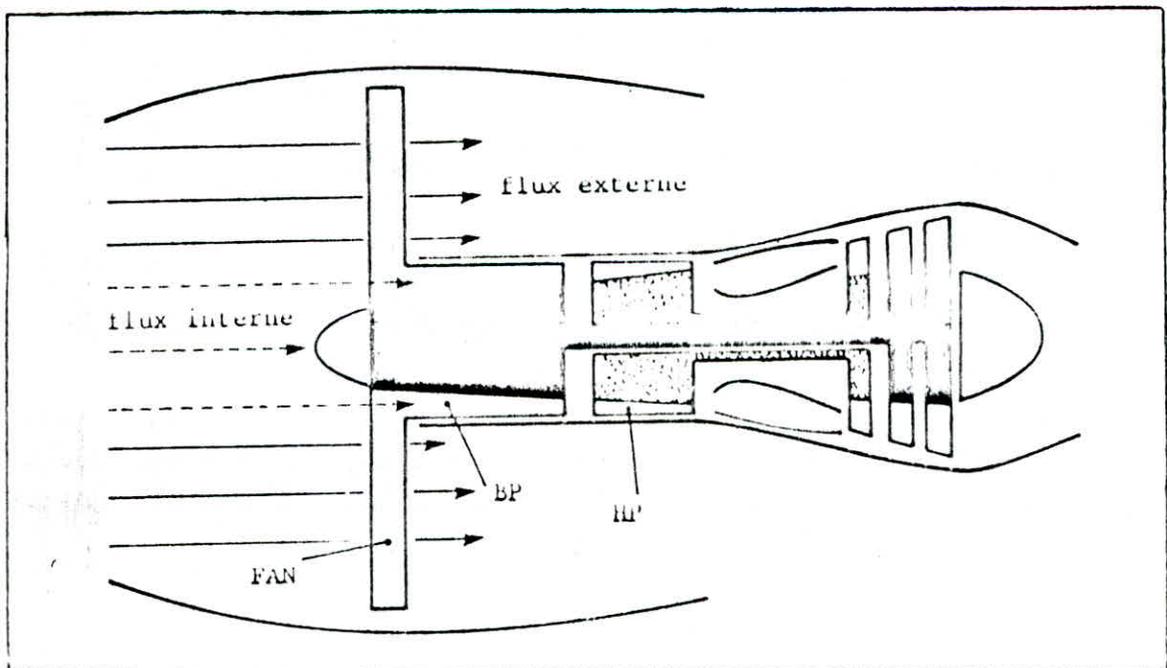


Fig-1: Turboréacteur double flux, double corps sec.

Le fan ou soufflante est situé à l'avant et fait partie intégrante du compresseur BP et est entraîné par les turbines basse pression.

Ce type de réacteur est appelé aussi turbofan ou bypan, il développe une poussée de l'ordre de 23 tonnes forces (225 600 N) au régime de décollage en conditions standards.

e- Turboréacteur double flux avec post-combustion :

exemples : le M 53 équipant le MIRAGE 2000 ou l'ADOUR équipant les avions JAGUAR.

1-3 - Fonctionnement d'un turboréacteur :

Soit un turboréacteur à double flux.

L'air est admis par l'entrée d'air, dont le rôle est de canaliser les filets d'air afin que ceux ci se présentent à l'entrée du compresseur dans les meilleures conditions possibles et cela dans le plus grand domaine de vol possible.

L'air se partage en deux flux, un débit interne ou flux chaud et un débit externe ou flux froid.

. Le débit chaud est comprimé dans les compresseurs de façon isentropique. Cet air pénètre ensuite dans la chambre de combustion où il est mélangé finement avec le kérosène de façon continue. L'allumage n'a lieu que pour le démarrage ; la combustion s'auto-entretient.

Les gaz chauds ayant acquis une énergie importante, en cèdent une partie en traversant la turbine. L'énergie cédée par le fluide à la turbine sert à entraîner le compresseur et les accessoires. D'autres turbines placées derrière la turbine entraînant le compresseur prélèvent de l'énergie pour entraîner une soufflante ou fan, ayant pour but de fournir de l'énergie au flux externe (voir fig 1).

. Le débit externe reçoit de l'énergie par le fan et est accéléré dans une tuyère formée par le carénage du flux externe. La vitesse de sortie du fan est supérieure à la vitesse d'entrée tout en étant inférieure à celle des gaz chauds.

Ce type de moteur développe donc une poussée résultant de la mise en vitesse du flux chaud et de la mise en vitesse du flux froid.

2- L'entrée d'air :

L'entrée d'air se présente sous la forme d'un conduit, son rôle est de raccorder le plus avantageusement (champ de vitesse le plus homogène possible) les filets d'air avec l'entrée du compresseur et cela dans tout le domaine de vol.

Elle permet de ralentir le fluide afin que celui-ci se présente avec une direction et une vitesse cohérente au compresseur. Sa forme (convergent-divergent ou divergent) dépend du domaine de mach d'évolution de l'aéronef. Une entrée d'air est caractérisée par son efficacité, cette dernière variant en fonction du mach d'évolution.

Rappelons enfin qu'étant calculée pour la croisière, le fonctionnement de l'entrée d'air au point fixe et à régime moteur élevé est perturbé et nécessite la présence d'air additionnel.

3- Le compresseur :

3-1- But du compresseur :

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

3-2- Description :

Le compresseur est constitué d'une partie mobile appelée ROTOR et d'une partie fixe, le STATOR. Le rôle du ROTOR est de fournir de l'énergie cinétique au fluide, le stator transformant cette énergie en énergie de pression

Il existe différents type de compresseurs :

- le compresseur centrifuge,
- le compresseur axial simple corps,
- le compresseur axial double corps.

a- Compresseur centrifuge :

Il est composé d'un rotor ou "rouet" et d'un stator ou "diffuseur". Le rotor chasse l'air dans son diffuseur sous l'effet de la force centrifuge ; sa vitesse de rotation est très élevée, de l'ordre de 20 000 à 40 000 tr/mn suivant son diamètre.

L'air aura donc acquis à la sortie du rotor de l'énergie cinétique.

b- Compresseur axial simple corps :

Il est constitué de :

- un rotor formé par un empilage de disques à la périphérie desquels sont fixées des ailettes; deux disques consécutifs sont séparés par une virole,

- un stator formant le carter du compresseur et à l'intérieur duquel sont implantés des anneaux recevant des ailettes,

- chaque disque du rotor équipé de ses aubes forme une grille d'aubes rotor,

- chaque anneau du stator avec ses ailettes consiste une grille d'aubes stator.

c- Compresseur axial double corps (voir fig-2):

L'ensemble est composé de deux compresseurs monocorps montés en série, chacun étant entraîné par son ou ses étages de turbine. Le rotor constitué des derniers étages de l'ensemble est appelé compresseur HP, celui situé en amont est appelé compresseur BP.

Cette disposition permet d'obtenir deux vitesses de rotation différentes surtout dans les bas régimes.

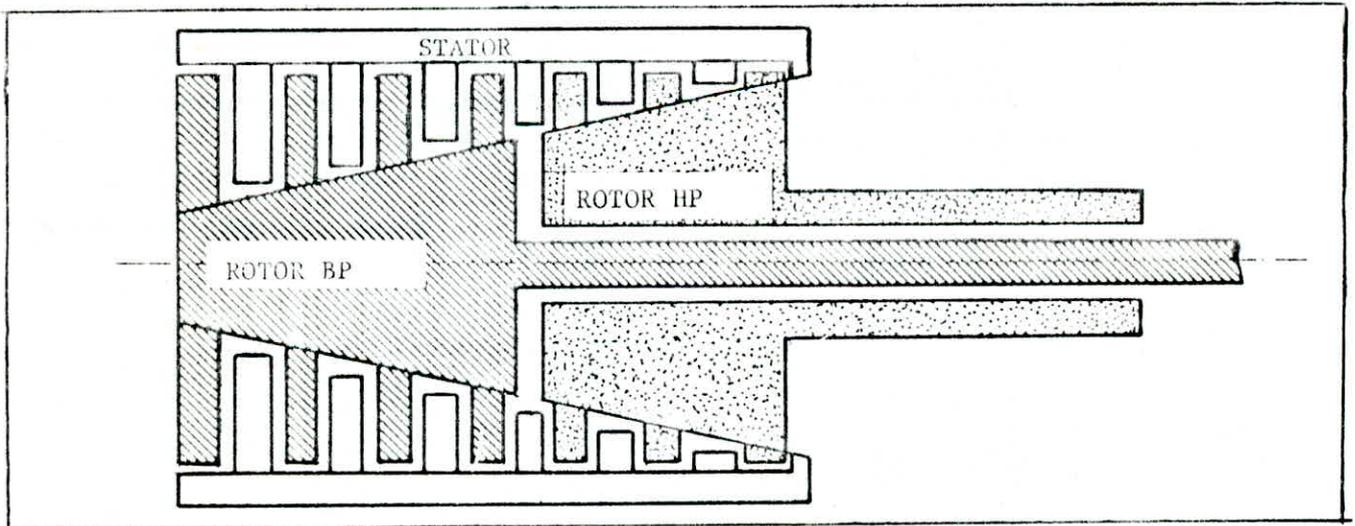


Fig-2 : Compresseur axial double corps.

Bien que de conception et d'usinage plus délicats (donc plus onéreux) le compresseur double corps présente de nombreux avantages liés à sa conception .

En effet, pour un même apport de carburant, le mobile HP tournera à une vitesse de rotation plus élevée que le même compresseur mais simple corps, car il présente moins d'inertie.

De ce fait, le bourrage sur les derniers étages est beaucoup plus faible, le compresseur double corps sera donc moins sensible au pompage aux bas régimes.

Le mobile BP tourne avec une vitesse beaucoup plus faible que le corps HP et cela d'autant que l'apport de carburant est faible, ce qui permet d'avoir des régimes de ralenti plus faibles et donc des consommations de carburant plus faibles.

De plus, l'ensemble mobile double corps présentant moins d'inertie permettra des accélérations et décélérations plus rapides.

Nous retiendrons donc comme avantages du double corps comparé au simple corps:

- moins sensible au pompage aux bas régimes,
- rendement de compression aux faibles régimes amélioré,
- facilités de démarrage (seul le HP est entraîné),
- accélération et décélération plus rapides.

d - Comparaison du compresseur axial et centrifuge :

* Centrifuge

Avantages: - moins fragile aux chocs ;
- meilleure accélération (moins d'inertie)
- usinage plus facile donc moins onéreux.

Inconvénients: - Rendement de compression médiocre en altitude ,

- Taux de compression limité à 4 par étage et raccordement de la veine gazeuse entre deux étages centrifuges s'effectuant avec beaucoup de pertes,
- Maître couple important.

* Axial :

Avantages : - rendement de compression supérieur au centrifuge, lui donnant de meilleurs performances en altitude.

- Débit par rapport à la surface frontale d'environ le double d'un centrifuge (poussée proportionnelle en débit masse d'air)
- Taux de compression par étage limité à 1,5 environ, mais la multiplication du nombre d'étage ne pose aucun problème de raccordement de la veine gazeuse.

Inconvénients: - Fragile au chocs
 - Usinage délicat donc onéreux

3-3- LE POMPAGE

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

En effet, si on réduit de façon trop importante le débit compresseur ceci va faire chuter de façon trop importante la vitesse absolue des filets d'air, ce qui va entraîner un décrochage aérodynamique sur aubages rotor pouvant se traduire par l'inversion de l'écoulement (variation brutale de P_e (pression de sortie du compresseur)).

C'est ce phénomène que l'on appelle pompage du compresseur.

a- Symptômes du pompage

Bien que pour chaque moteur, l'apparition du phénomène soit liée à la conception particulière du compresseur et de la manche à air, en général celui-ci s'accompagne de plusieurs détonations très sourdes, suivies d'une augmentation de la température turbine.

b- Causes et remèdes du pompage

causes	Remèdes
Faibles régimes	Aubages de prérotation Stator variable vannes de décharge
Reprise ou obstruction Thermique	Limiteur d'accélération Tuyère à section variable (moteur à PC)
Condition de vol Température Viscosité entrée d'air	Modification des conditions de vol (altitude, assiette, dérapage)

4 - Chambres de combustion:

4-1 - But:

Elles doivent pouvoir assurer le mélange Kérosène et oxygène (contenu dans l'air) et permettre la transformation la plus complète de l'énergie chimique du mélange en énergie calorifique (moins d'imbrûlés possible donc moins polluant) et cela dans toute la gamme de vol.

4- 2- Description:

Elles se composent de façon générale de:

- un carter de raccordement à la veine d'air du compresseur (ce carter est souvent appelé carter intermédiaire) dans lequel se trouvent les éléments apportant le Kérosène, appelés injecteurs.

- un ou plusieurs tubes à flammes dans le ou lesquels séjournera la flamme,

- une enveloppe externe et une enveloppe interne dans laquelle passe l'arbre compresseur turbine,

- un carter de raccordement au premier étage de turbine.

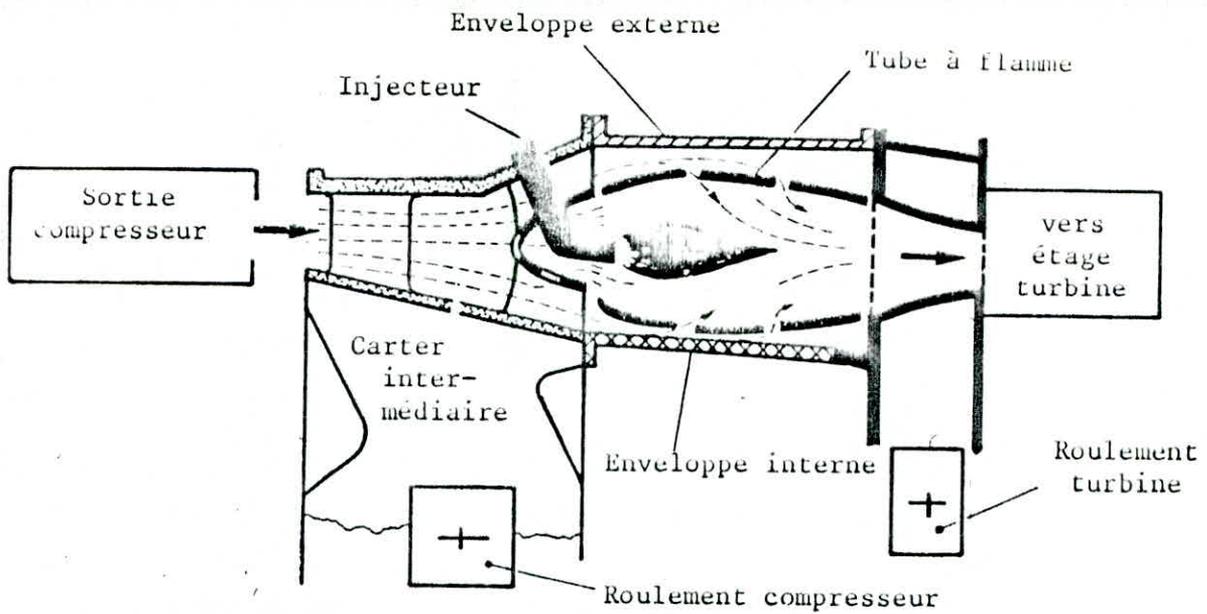


Fig-3: Configuration d'une chambre de Combustion

Suivant la forme de la chambre de combustion, on distingue trois types de chambres qui sont :

- chambres individuelles (séparées)
- chambre annulaire
- chambre tubo-annulaire (mixte)

a- Chambres individuelles

Les chambres individuelles sont réparties autour de l'axe longitudinal du réacteur.

Elles sont reliées entre elles par une rampe d'inter-communication qui permet la propagation de la flamme au démarrage, car seules deux chambres sont équipées d'allumeurs. Ces allumeurs sont généralement en position (4 heures, 8 heures)

Nous retiendrons de ce type de chambre, afin de la caractériser, que chaque tube à flamme possède sa propre enveloppe.

b- Chambre annulaire

Ce type de chambre ne comporte qu'une enveloppe externe et une enveloppe interne. Ces deux enveloppes se présentent sous la forme de cylindres concentriques ayant leur axes confondus avec celui du réacteur.

Le tube à flamme se présente également sous la forme de deux tôles "pseudo" cylindriques, concentriques et sont centrées à l'avant par l'intermédiaire de porte-injecteurs appelés brûleurs.

la flamme est accrochée aux injecteurs et aux brûleurs. Ceux étant relativement proches, donnent à la flamme la forme d'un anneau de feu.

Ce type de chambre possède un meilleur rendement que le précédent et utilise au mieux le volume disponible pour la combustion, mais sa mise au point est très délicate.

c- Chambre tubo-annulaire (voir fig - 4):

Ce type de chambre résulte d'un compromis effectué entre les deux types précédents. En effet, les tubes à flamme étant de petites dimensions, la mise au point s'en trouve facilitée et les deux enveloppes étant communes à tous les tubes à flamme, le refroidissement est bien meilleur.

Celle-ci est constituée par des tubes à flamme réunis entre eux par des tubes d'intercommunications enfermés dans deux enveloppes concentriques externe et interne.

Ce type de chambre se distingue de la chambre individuelle car tous les tubes à flamme ont une enveloppe externe et interne commune.

Il est à noter que c'est ce type de chambre qui équipe le moteur CF6 (AIRBUS, BOEING 767).

4-3- Description du fonctionnement:

L'air sortant du compresseur pénètre dans la chambre de combustion (enceinte ouverte) où est injecté du combustible liquide finement pulvérisé sous pression. Lorsque le régime moteur est maintenu constant, le taux de compression ne varie pas, l'alimentation en air de la chambre de combustion se fait donc sous pression constante.

Le mélange air / Carburant s'effectue au niveau de l'injecteur ; Ce mélange est enflammé pour le démarrage, la combustion doit ensuite s'auto-entretenir. La combustion est d'une importance primordiale si l'on songe qu'elle doit s'effectuer d'une façon parfaite dans un délai très court (débit important) et que l'échange de température transmis à la masse d'air doit être le plus uniforme possible. Pour satisfaire ces conditions impératives, la combustion s'effectue en deux phases essentielles.

Première phase :

Afin d'obtenir une combustion complète, le combustible est mélangé à l'air dans un dosage théorique de 1/15. L'air

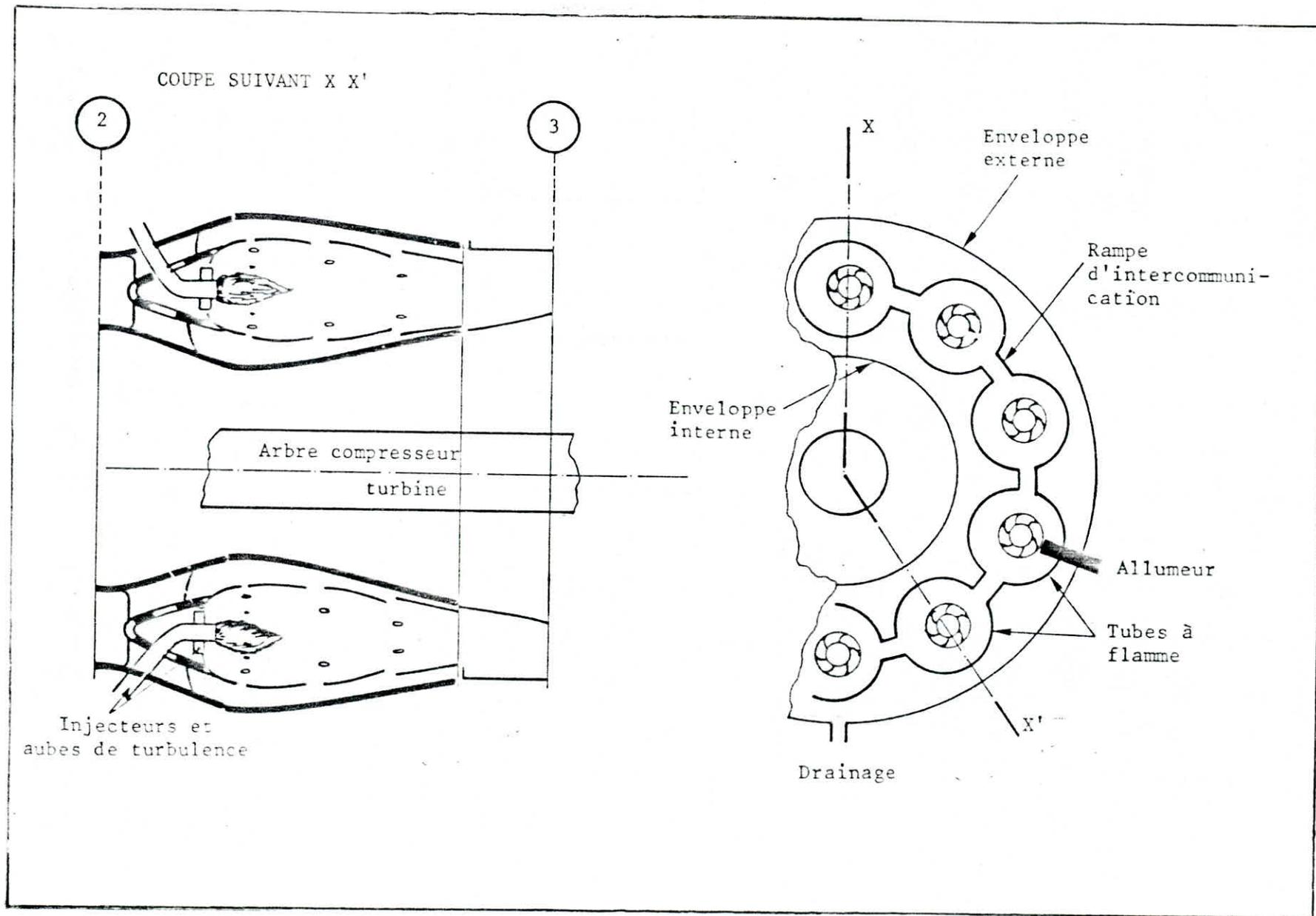


Fig-4: Chambre Tubo-Annulaire (ou mixte).

alimentant en oxygène la combustion est appelé **air primaire** et traverse les aubages de turbulence. Avec un tel dosage, la température s'élève aux environs de 1800° à 2000° à l'extrémité de la flamme. Les gaz environnant la flamme ne peuvent être utilisés à cette température par la turbine car les matériaux constituant la chambre de combustion ne résisteraient pas longtemps. On est donc amené à refroidir les gaz et les matériaux, c'est le but de la seconde phase.

Deuxième phase :

Cette diminution de température est obtenue en diluant les gaz chauds par un flux d'air frais. Cet air froid appelé **air secondaire** ou **air de refroidissement**, après avoir léché les parois internes et externes du tube à flamme qu'il refroidit, se mélange aux gaz chauds et ramène ainsi leur température aux environs de 1300 à 1400°C. Un profil convergent continuant la veine d'air permet encore d'abaisser cette température avant l'entrée de l'étage turbine. Actuellement, sur moteur moderne, la température avant turbine avoisine les 1200°C.

Cet air de refroidissement crée une paroi fluide entre le tube à flamme et la flamme, empêchant celle-ci de toucher aux tôles. Des perçages correctement orientés et de formes particulières génèrent des turbulences ayant pour but de plaquer la flamme au niveau de l'injecteur évitant ainsi qu'elle décroche.

5 - La turbine:

5-1- But:

La roue de turbine a pour rôle d'entraîner le mobile auquel elle est attelée ; (roue haute pression pour compresseur haute pression, roue basse pression pour compresseur basse pression.) Elle doit en outre fournir la puissance nécessaire à l'entraînement des accessoires (régulateur, pompes, alternateurs,..)

5-2- Description:

En général, les turbines rencontrées sur turboréacteur sont du type "axial", l'écoulement est parallèle à l'axe du moteur.

Un étage de turbine axiale est composé de :
Une grille d'aubes stator suivie d'une grille d'aubes rotor.

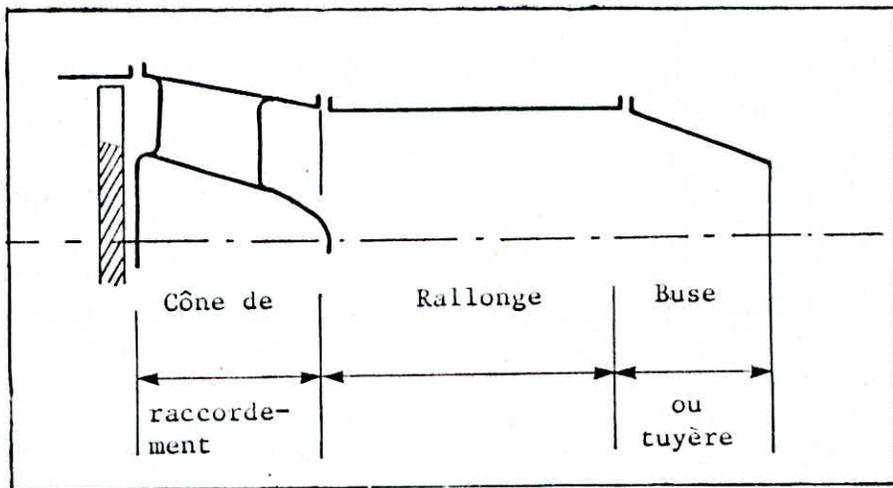
le stator de l'étage turbine est aussi appelé distributeur de turbine. Son rôle est de transformer une partie de l'énergie de pression délivrée par la chambre de combustion en énergie cinétique. Le rotor transformant cette énergie cinétique en énergie mécanique sous la forme d'un couple moteur afin d'entraîner le compresseur et les accessoires.

6- Le canal d'éjection :

6- 1 - But :

Le canal d'éjection a pour rôle principal d'achever la transformation d'énergie de pression en énergie cinétique. C'est dans le canal d'éjection qu'a lieu la détente utile à la propulsion.

6 - 2 - Description :



Le canal d'éjection se compose :

- d'un cône de raccordement dont le rôle est d'éviter la formation des remous ; d'une rallonge souvent calorifugée et insonorisée qui reçoit les sondes de température et de pression totales (E.P.R).

- d'une base à section fixe ou variable. C'est dans la rallonge que les reverses sont installées.

ANNEXE DEUX :

LE REACTEUR CF6-80

DESCRIPTION

ET

PARTICULARITES

1- Généralités :

La génération des CF6-80 de GENERAL ELECTRIC est un sérieux concurrent pour les réacteurs de PRATT et WHITNEY depuis bientôt 10 ans .

Les CF6-80 ont été conçus dans un souci de réduire l'envergure du moteur (donc réduire la traînée du capot moteur), de réduire son poids, d'augmenter son rendement, d'améliorer sa résistance mécanique et de réduire les coûts de maintenance .

Le CF6-80 présente plusieurs variantes :A, A1, A2, A3, C/C 1, C 2 . Nos Boeing 767 sont équipés de CF6-80 C 2 alors que nos Airbus sont munis de CF6-80 A3 .

Ce qui différencie tous ces modèles peut être la puissance décrite en terme de poussée . Par exemple, le C/C 1 développe une plus grande poussée par rapport au CF6-80 A, nécessitant pour cela un plus grand diamètre de fan et des étages supplémentaires au niveau des turbine et compresseur basse pression . La différence peut résider aussi dans la localisation des accessoires de la gearbox (boîte de vitesse) .

En tout cas , ce sont les besoins de la compagnie de navigation qui déterminent quel modèle de CF6-80 est utilisé .

2 - Repérage du Moteur :

Depuis son entrée dans le réacteur jusqu'à son échappement, l'air traverse diverses stations.

Ce trajet est schématisé par :

Fig - 1 : Les Stations du Réacteur .

Les stations sont alors :

- 0 - Milieu Ambiant .
- 1 A - Milieu de la jonction Entrée - Moteur .
- 1 - Entrée débouchant sur le moyeu de la soufflante .
- 11 - Extrémité de la soufflante (Fan)
- 12 - Extrémité du Fan où a lieu la dilution acoustique .
- 13 - Refoulement Fan .
- 14 - Conduit de dérivation avant la vanne de prélèvement booster .
- 15 - Conduit de dérivation, où écoulement dans la vanne suscitée .
- 16 - Jonction plane .
- 17 - Ecoulement dérivé à l'entrée du diffuseur .
- 18 - Dérivation " col de la tuyère " .

- 19 - Ecoulement dérivé à la sortie du diffuseur .
- 2 - Entrée de booster .
- 23 - Sortie du booster .
- 24 - vanne de prélèvement du booster .
- 25 - Entrée compresseur .
- 3 - sortie compresseur .
- 4 - Diffuseur d'entrée du premier étage de la turbine HP .
- 41 - Entrée du rotor de la turbine HP (haute Pression) .
- 42 - Sortie de la turbine HP .
- 49 - Entrée de la turbine basse pression .
- 5 - Sortie de la turbine basse pression .
- 55 - Jonction plane Turbine BP - Bâti arrière .
- 7 - Ecoulement principal à l'entrée du distributeur .
- 8 - Ecoulement principal à la sortie du distributeur .

3 - Types d'écoulement d'air dans un réacteur :

Le mouvement de l'air à travers le réacteur se subdivise généralement en trois écoulements : Primaire, Secondaire, et Parasite . (voir Fig-2 : Les Ecoulements d'air dans un réacteur) .

Tout cet air pénètre par le capot d'entrée . Il peut exister aussi un écoulement d'air additionnel pour le refroidissement et la ventilation des différents compartiments du moteur : il provient alors de l'entrée ou de quelques déflecteurs-capot en aval de l'entrée .

a - Air Primaire :

C'est cet air passant dans le réacteur par les ailettes fan, traversant le compresseur basse pression, le compresseur haute pression, la chambre de combustion , la turbine HP, la turbine BP et s'échappant vers le milieu ambiant par la tuyère d'échappement .

L'air primaire constitue le cinquième (1/5) de l'air total traversant le réacteur .

b - air Secondaire :

Il pénètre par le fan et retourne à l'ambiant par le diffuseur fan . Une partie de cet air refoulé peut avoir traversé le compresseur BP et les vannes de prélèvement à ouverture modulée pour rejoindre l'écoulement du fan .

L'air secondaire constitue approximativement les 4/5 de l'écoulement total .

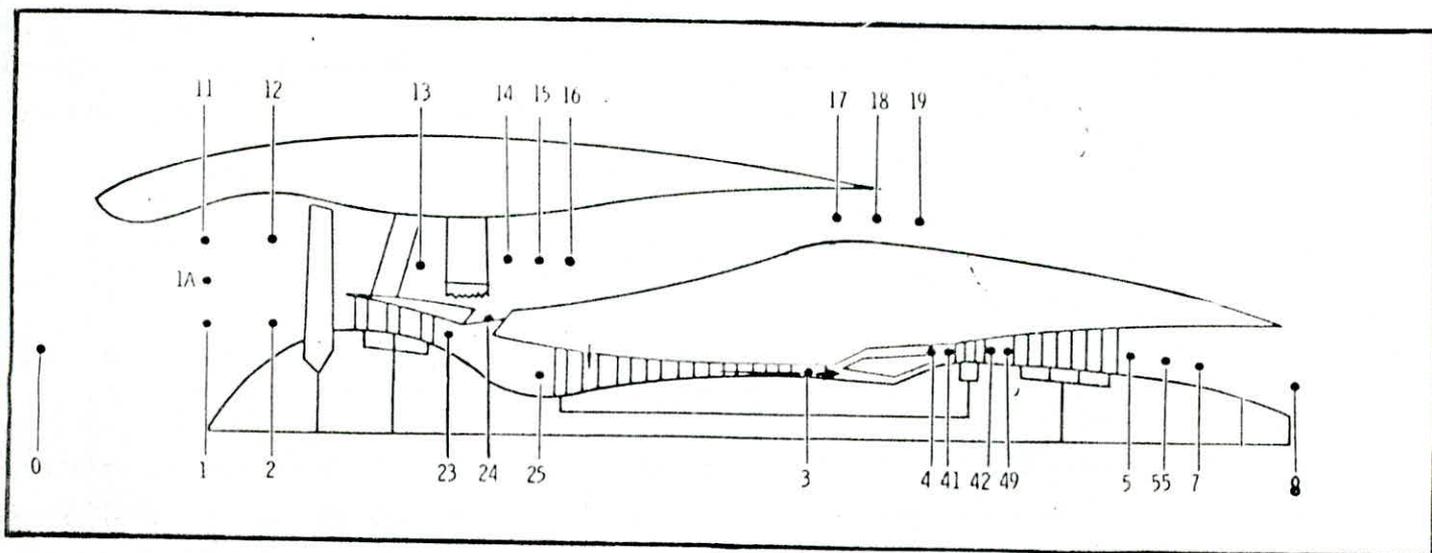


Fig-1: Les stations du réacteur.

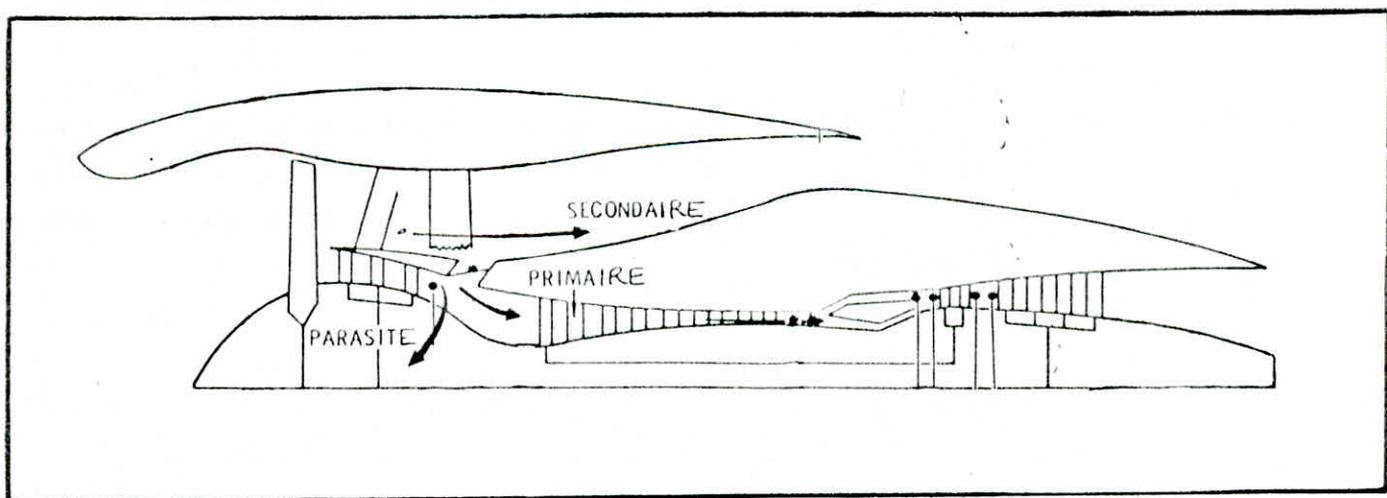


Fig-2: Les écoulements d'air dans un réacteur.

c - Ecoulement parasite :

Il est dérivé de l'écoulement principal pour assurer la pressurisation du carter, le refroidissement du rotor, des ailettes et des accessoires .
Pour diriger ce flux, des orifices calibrés, des passages et autres cannaux sont conçus dans le moteur .

4 - Conception MODulaire :

Le moteur a été conçu de façon à ce que bon nombre de sous-ensembles puissent être démontés, changés et remontés sans pour cela affecter le moteur entier . Ceci est dénommé " conception Modulaire " .

Le terme " engine Maintenance Unit " (EMU) est utilisé pour identifier un groupe d'un ou plusieurs modules comme un ensemble, mais séparé du moteur .

Les principaux modules du moteur sont :

- Rotor Fan ,
- Stator Fan ,
- Générateur HP ,
- Bâti arrière du compresseur ,
- Turbine HP ,
- Turbine BP ,
- Accessoires d'entraînement .

Ces modules peuvent être schématisés comme suit :

Fig -3- Conception Modulaire .

5 - Le C F 6 - 80 Fondamental :

La description qui suit progressera généralement à travers le moteur de la même façon que l'air le traverse.
L'air parcourra successivement le Fan, le compresseur HP, la chambre du combustion, la turbine HP, et la turbine BP entraînant le fan.

a- Section Fan :

Elle comprend cinq (5) parties :

. Ensemble Rotor Fan : Il comprend le fan ou ventilateur monoétagé amenant l'air à travers le diffuseur Fan, ainsi que

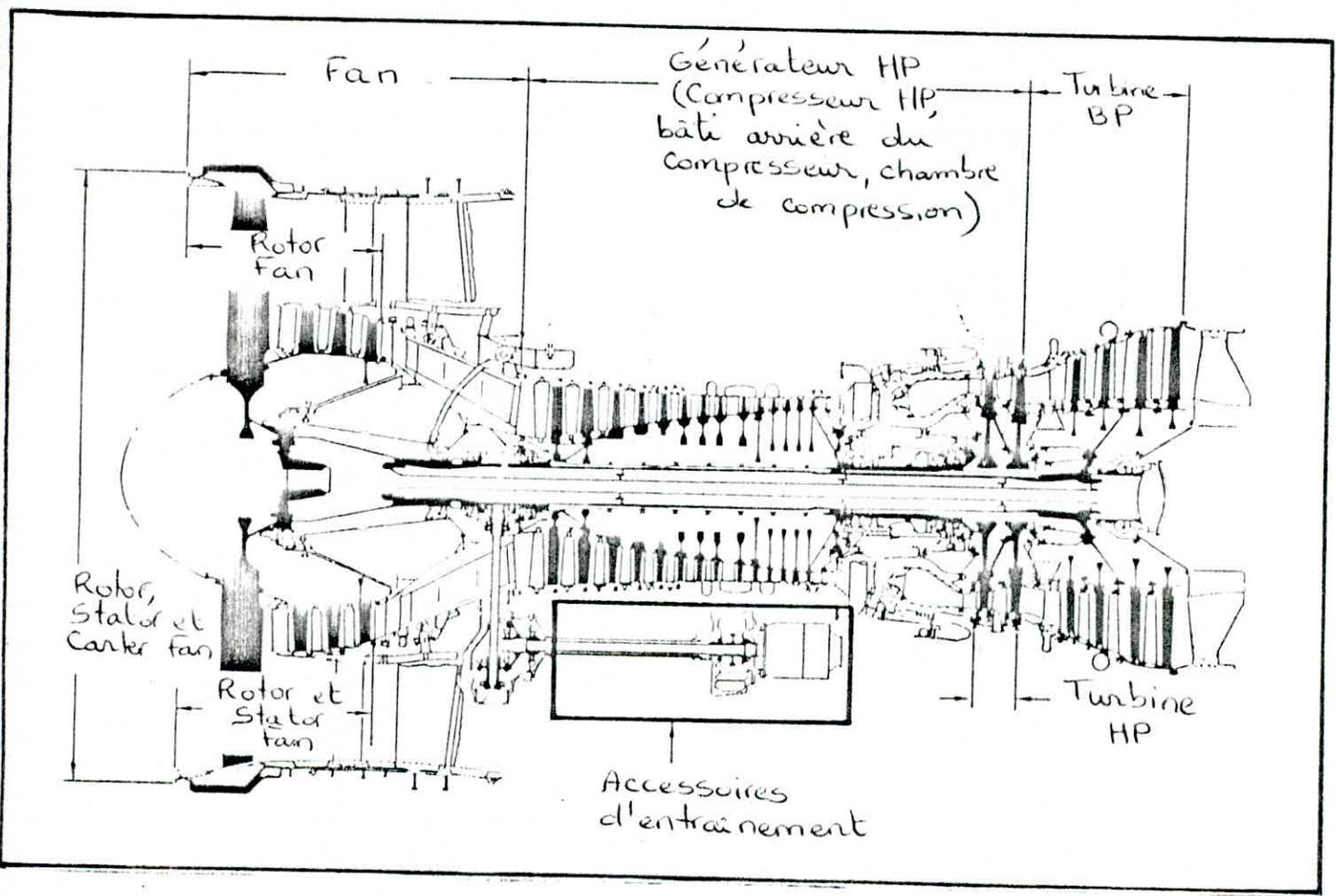


Fig-3: Conception Modulaire.

le compresseur BP à quatre (4) étages qui suralimente l'entrée du générateur de gaz.

. Ensemble Stator Fan/Carter : conçu en deux (2) parties, sert comme support aux aubages directeurs.

. Montage Fan Frame ; Il fournit une structure de support au rotor fan et à l'extrémité avant du générateur de gaz par le biais d'un roulement à billes et de 2 roulements à rouleaux. Le frame est en acier.

. Montage Stator compresseur BP : Entoure le rotor du compresseur BP. Les ailettes sont en Titanium.

. Arbre du Fan : c'est un arbre d'entraînement creux transmettant le couple développé par la turbine BP vers le rotor fan. Le montage est assuré de part et d'autre par des cannelures et des écrous d'accouplement.

b- Section Compresseur :

Il s'agit d'un compresseur axial de 14 étages fournissant l'air nécessaire à la combustion.

c- Section chambre de combustion :

C'est là qu'a lieu la combustion d'un mélange savamment dosé d'air et de Kérosène.

Le dégagement contrôlé d'énergie produite par la combustion est dirigé à travers les distributeurs de turbine et utilisé pour entraîner les rotors afin de maintenir une rotation à un nombre de tours donné.

Notons qu'on dispose de 30 injecteurs et que 2 bougies disposées en positions 3 et 4 heures servent à l'allumage.

d- Section Turbine HP :

C'est là que les gaz éjectés sont convertis en une force de rotation entraînant le compresseur HP et certains accessoires. Cette section comprend en fait 2 étages servant à guider les gaz chauds, et 2 étages turbine à proprement parler.

e - Section Turbine BP :

Elle comprend 4 étages. Elles entraînent le fan et le compresseur BP.

f- Entraînement des Accessoires :

Il se fait par l'intermédiaire d'un "boite de vitesse accessoires" ou accessory gearbox.
C'est la jonction entre l'arbre principal et les divers accessoires.

ANNEXE TROIS

GROUPE
DE PUISSANCE

AUXILLIAIRE
(APU)

1 - Système de puissance Auxilliaire :

a - Généralités :

Le système de puissance auxilliaire fournit de l'énergie électrique ou pneumatique à l'aéronof au sol ou en vol.

Au sol, l'APU permet à l'avion de "se passer" ou d'être indépendant des équipements ou du matériel de support au sol (ground support equipment) en l'alimentant en air pour les démarrages du moteur principal, ou pour le conditionnement d'air ; et en énergie électrique.

En vol, ce système alimente les groupes auxilliaires de secours (électriques, pneumatiques).

Il faut noter que l'APU doit subvenir en priorité aux besoins en énergie électrique ; et si besoin est, les charges pneumatiques sont automatiquement réduites pour ne point dépasser les capacités de l'APU.

L'énergie pneumatique n'est plus disponible au delà de 17500 pieds d'altitude (5334 m). C'est l'énergie électrique qui subvient alors aux besoins de l'avion.

b- Composants du Système de puissance Auxilliaire :

Les principaux éléments de ce système sont :

. Le moteur-turbine ou APU, situé à la section de queue de l'appareil , dénommé : Garrett GTCP 331-200. [voir fig-1 : Conception Générale de l'APU]

. Un organe de commande électrique dit aussi Auxiliary power Control Unit (APCU), ou Electronic Control Unit (ECU), situé en soute, au sein de l'équipement central arrière.

. Une batterie APU et un chargeur de batterie associé pour le démarrage y sont aussi situés.

. Un ensemble transformateur-redresseur ou transformer Rectifier Unit (TRU) est aussi disponible pour le démarrage de l'APU.

c- Unité de Puissance Auxilliaire:

Le moteur Garrett se compose de 3 sections principales:

[voir fig-2 : Section Droite du Moteur APU]

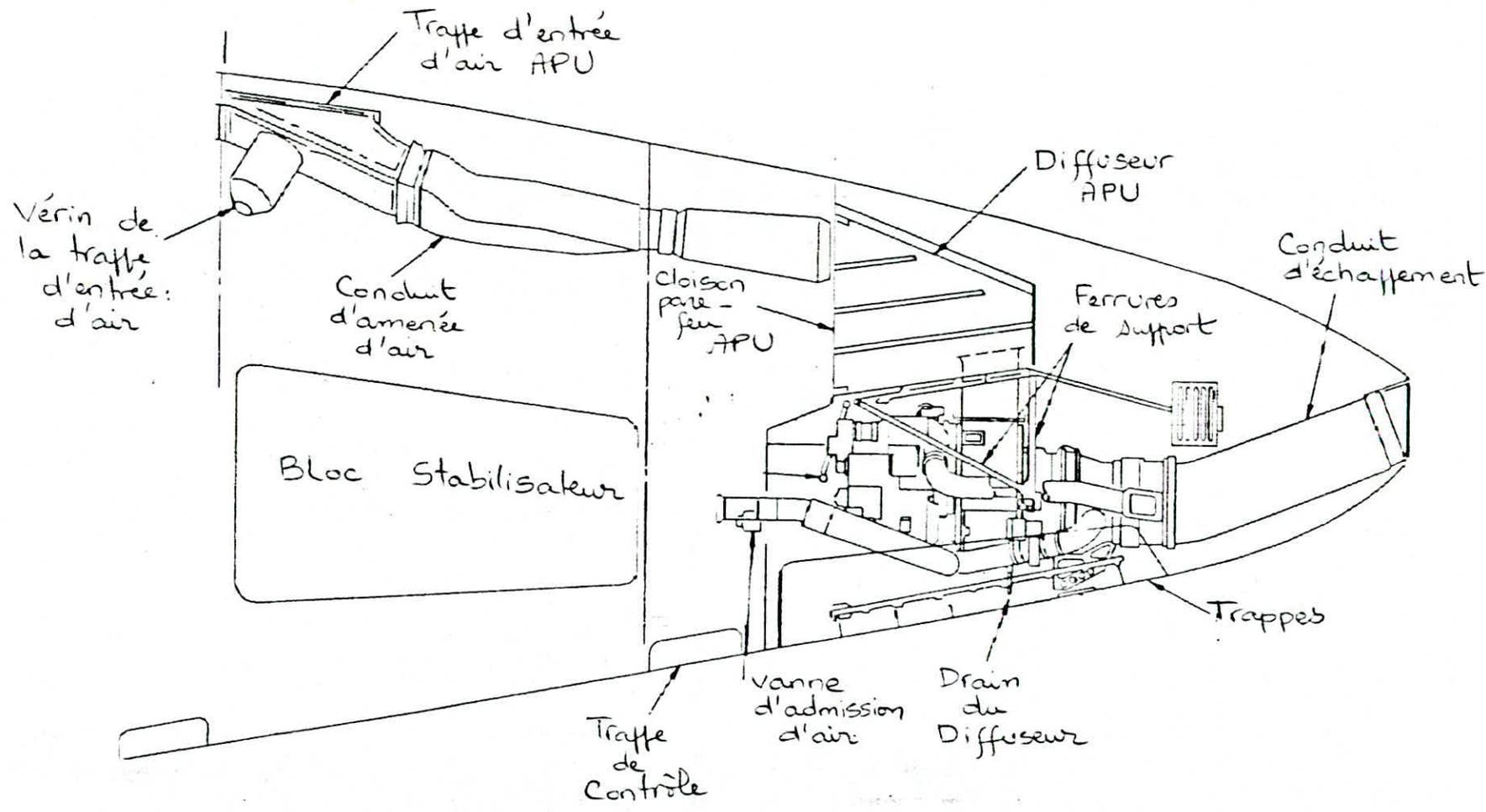


Fig-1: Conception Générale de l'APU.

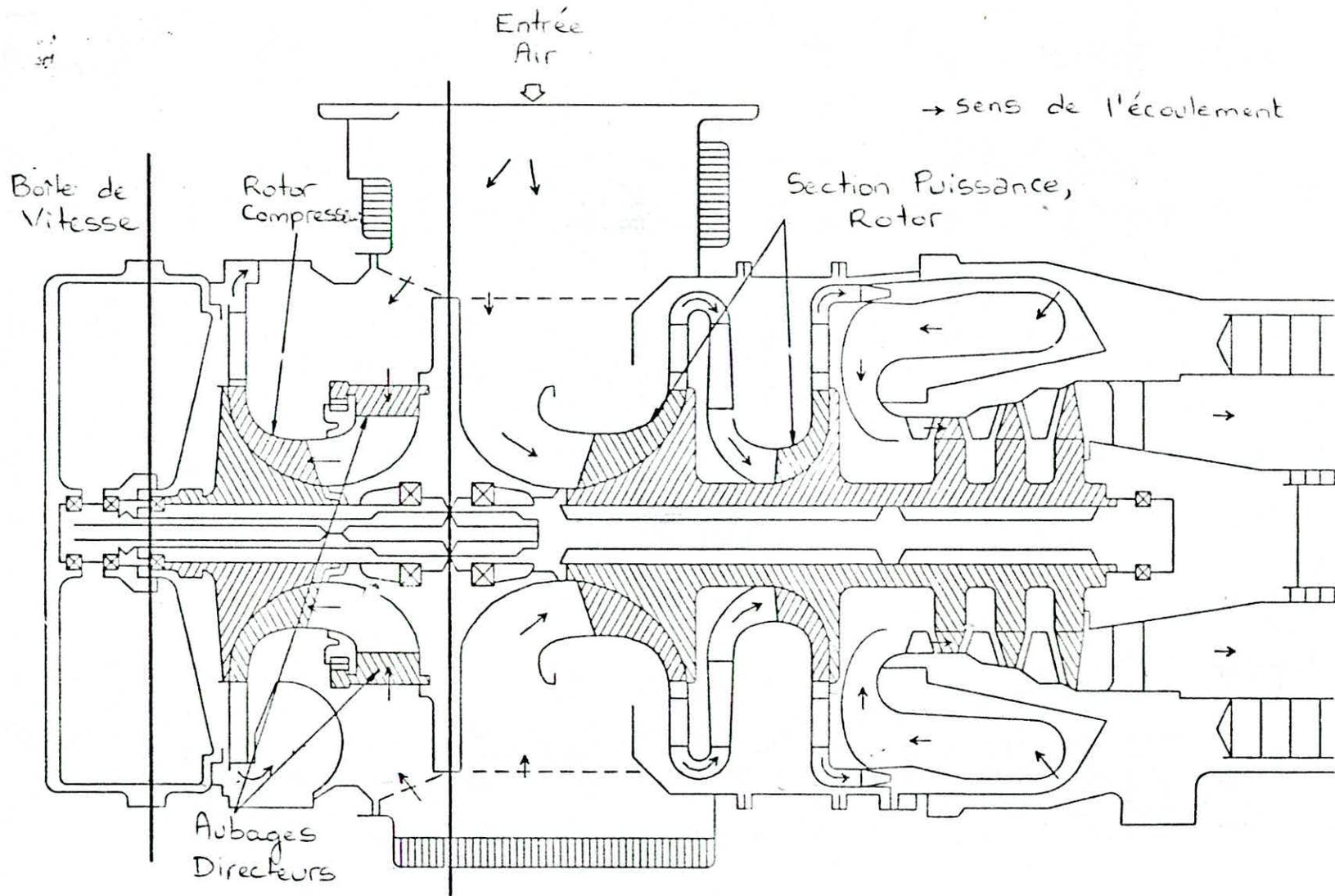


Fig-2: Section droite du moteur APU.

. La section puissance [voir Fig-3 : coupe de la section puissance] est une turbine à gaz générant de l'énergie pour entraîner le compresseur et la boîte de vitesse.

. Le compresseur [voir Fig-4 : coupe du compresseur] suscité est un compresseur centrifuge monoétagé. Il fournit de l'énergie pneumatique à l'avion. Il est indépendant de la section puissance.

. La section Gearbox entraîne le générateur de puissance électrique refroidi à l'huile et d'autres accessoires de l'APU. [voir Fig-5 : Gearbox et Accessoires Entraînés] .

d- Auxiliary Power Control Unit :

L'APCU "dirige" toutes les phases de fonctionnement de l'APU.

Par l'emploi de "moteurs-couples", l'APCU régule la vitesse de l'APU, sa température tuyère, et son débit pneumatique.

L'APCU contrôle toutes les sections de l'APU et les équipements de remplacement en escale (L.R.U ou line replaceable unit). Il déclenche l'arrêt de l'APU pour un quelconque des 16 incidents, défaillances ou excès, et stocke 24 LRUs défectueux dans sa mémoire.

2 - Systèmes et Composants de l'APU:

a- Systemes :

Les principaux systèmes de l'APU sont :

- l'entrée d'air,
- le système de lubrification,
- le système carburant,
- le système d'allumage-démarrage,
- le système de ventilation,
- le contrôle,
- le système d'indication.

b- L'entrée d'Air :

L'air ambiant extérieur pénètre dans l'APU à travers une trappe située sur le côté droit supérieur du fuselage,   côté du stabilisateur vertical.

Un vérin électrique actionne l'ouverture de la trappe pour permettre l'entrée de l'air dans le diffuseur.

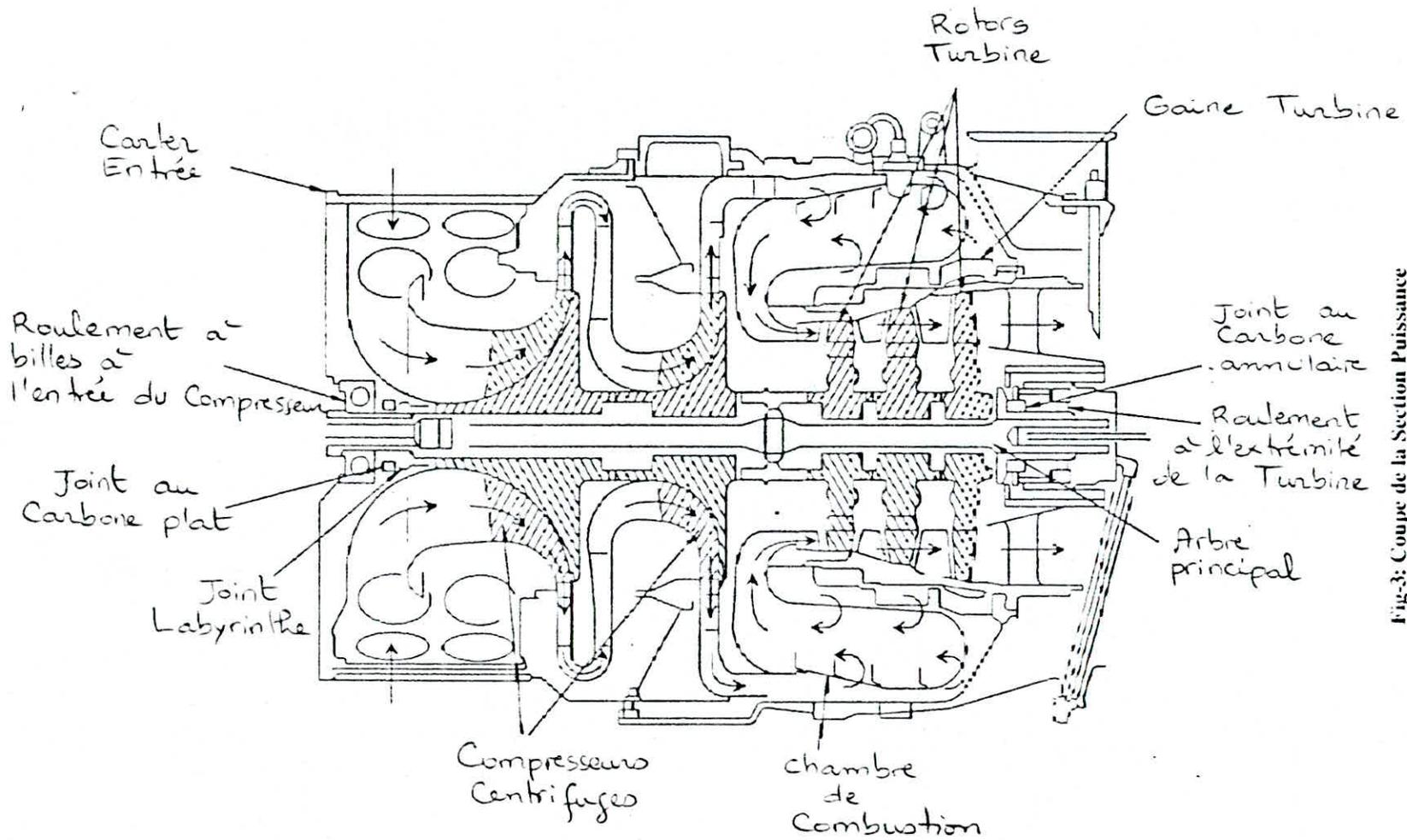


Fig-3: Coupe de la Section Puissance

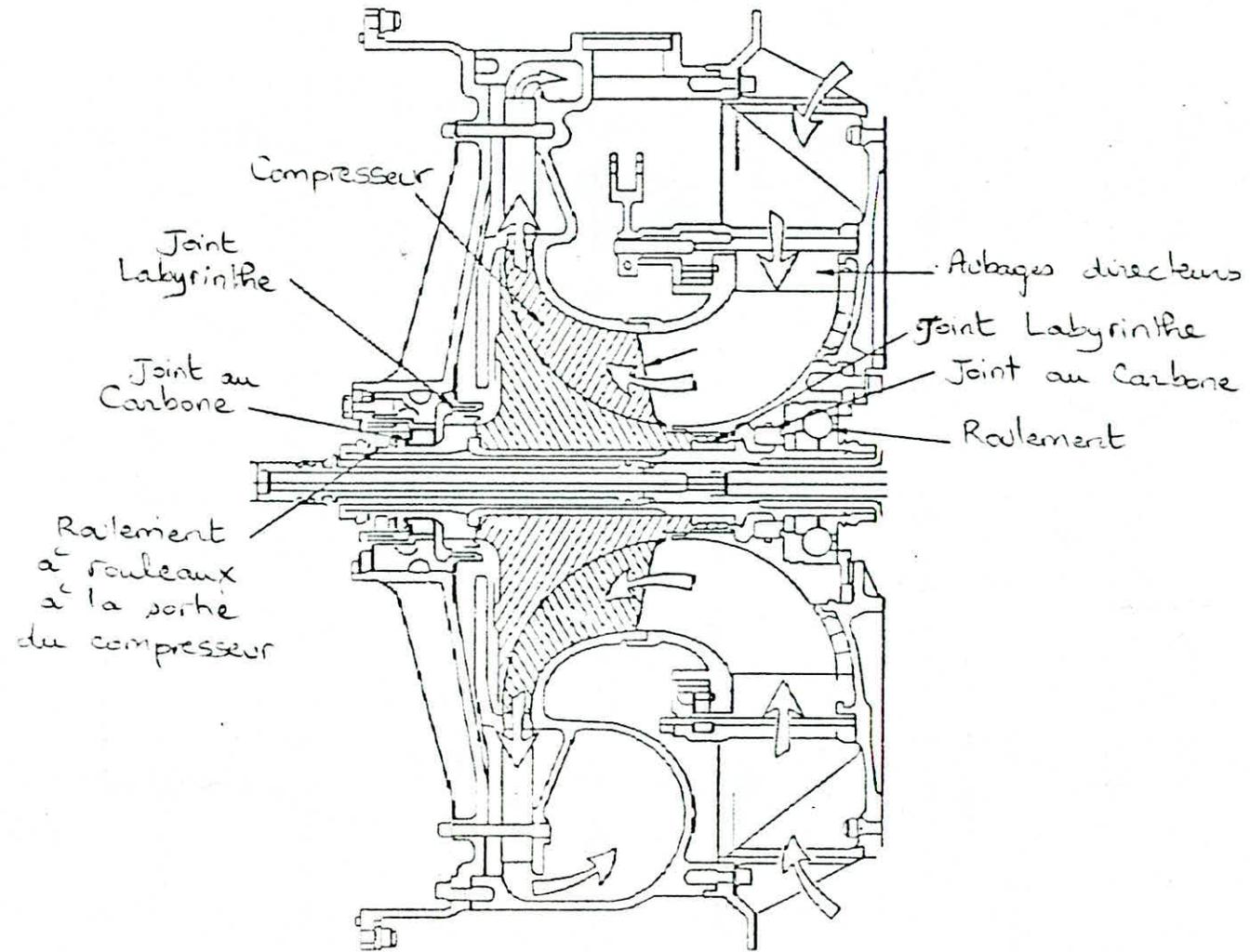
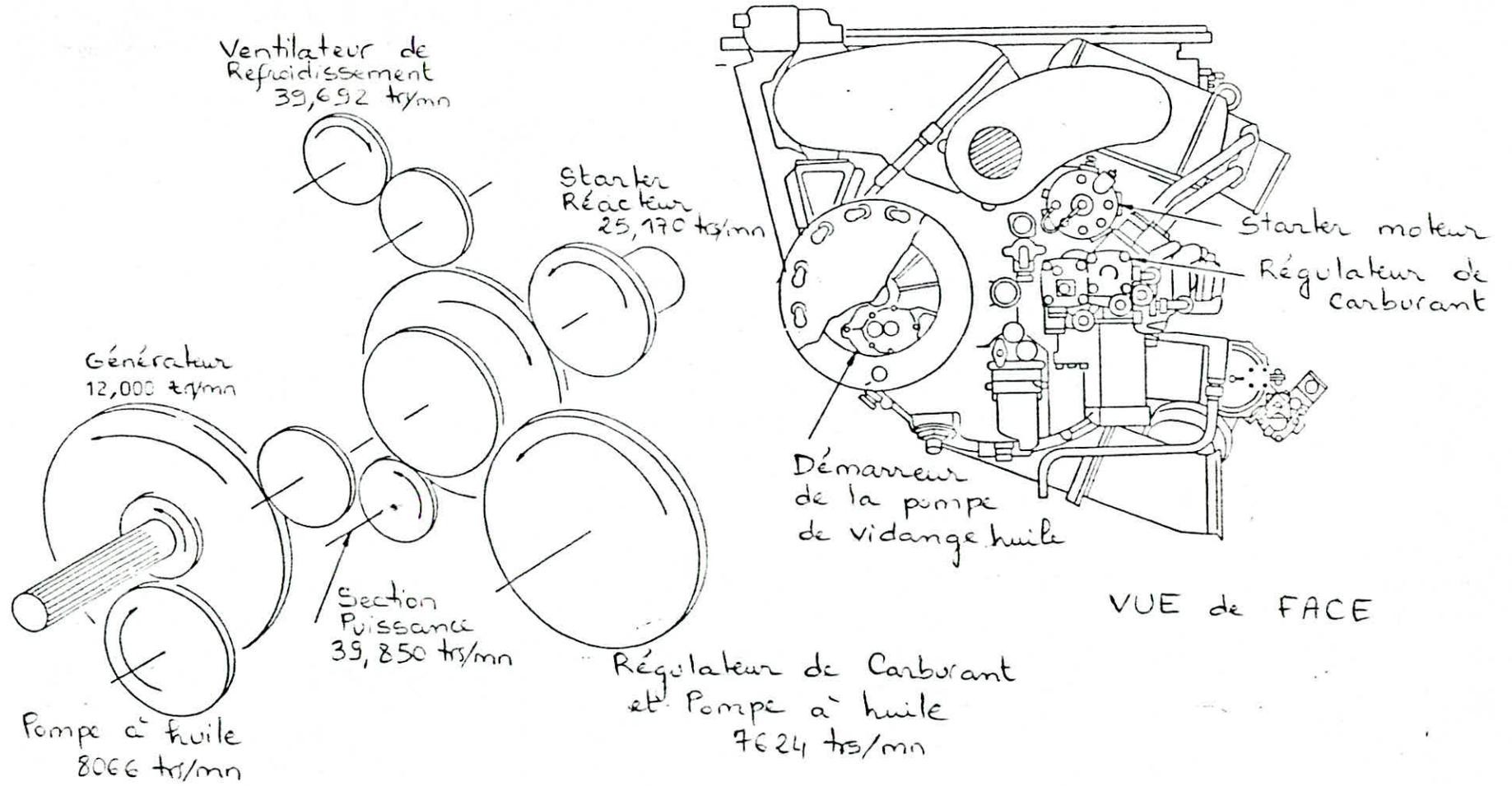


Fig-4: Coupe du Compresseur



ENGRENEMENT des ACCESSOIRES
ENTRAINES

Fig- 5: Gearbox et Accessoires entraînés .

Cet air sert à la ventilation (refroidissement), à l'alimentation pneumatique et à la combustion.

c- Système de lubrification :

. L'APU dispose d'un circuit de graissage pour refroidir et lubrifier les roulements, la boîte de vitesse et la génératrice de l'APU.

. Cette dernière dispose d'un filtre à huile indépendant et non bypass. Si la génératrice tombe en panne, ce filtre protège le reste de l'APU d'un éventuel dommage.

Quand ce filtre s'obstrue, le manocontact différentiel signale à l'ECU de stopper l'APU.

. Un thermostat relève la température dans la cavité de récupération de la génératrice et la transmet à une vanne électrique si l'huile est froide et le démarreur moteur déclenché. Cette vanne s'ouvre alors pour permettre à la pompe de pression d'huile d'extraire l'air de la gearbox. Ceci décharge la pompe à huile froide, permettant un démarrage plus facile aux basses températures.

Une autre sonde détecte les hautes températures et les transmet à l'ECU qui arrêtera l'APU en cas de surchauffe.

. Une vanne régulatrice de pression contrôle la source de pressurisation de la gearbox.

Aux basses altitudes, la gearbox est mise à l'air ambiant.

Aux hautes altitudes, l'air à haute pression sert à pressuriser la pompe à huile. Une soupape de fermeture contrôle l'entrée d'air HP au delà de 18000 pieds.

d- Système carburant :

Il reçoit du fuel pressurisé des réservoirs de l'avion, accroît sa pression, le régule et le distribue pour la combustion.

Le Fuel Control Unit (FCU) ou Régulateur de carburant, en régulant et en pressurant le fuel pour la combustion, maintient la vitesse de l'APU et sa température tuyère (EGT : Exhaust Gas Temperature) dans une certaine plage. Il est électriquement contrôlé par l'ECU.

Un diviseur de débit et une vanne électrique séparent l'écoulement de fuel en 2 parties : primaire et secondaire. La vanne électrique évite un excès de fuel dans la chambre de combustion lors du démarrage.

Des collecteurs et distributeurs de fuel assurent la diffusion des débits primaire et secondaire dans la chambre de combustion.

e- Système d'Allumage :

L'APU est lancée par un moteur électrique de 28 volts courant continu. Ce dernier est commandé par la batterie APU.

Une unité d'allumage envoie un haut voltage à la bougie qui amorce la combustion.

Cet allumage est contrôlé par l'ECU entre 7 et 95 % RPM (revolutions per minute ou tours par minute).

f - Systeme de Ventilation :

. L'air provenant du système d'admission d'air sert au refroidissement du logement APU, à assister la combustion et comme source de puissance pneumatique.

La vanne limitatrice de température arrête l'alimentation en air en cas d'incendie dans l'APU.

Un ventilateur de refroidissement assez rapide diffuse l'air refroidissant les compartiments de l'APU et fournit de l'air frais au radiateur d'huile.

. Des aubages directeurs s'ouvrent ou se ferment selon les besoins pneumatiques de l'avion et régulent la quantité d'air pénétrant dans le compresseur de l'APU.

. Un clapet de sécurité, monté entre le conduit d'échappement et le compresseur de l'APU, empêche le pompage dans celui-ci : ouvert par l'ECU, ce clapet introduit de l'air pressurisé dans le conduit. L'ouverture de ce clapet est proportionnelle à la pression dynamique, et elle est modulée par l'ECU. (en fait, une pression totale est à respecter. Sa pression statique est relevée par une sonde et la différence est calculée par l'ECU qui règle l'ouverture du clapet de sécurité).

g- Système de Contrôle :

L'ECU contrôle et dirige toutes les fonctions de l'APU. Il est actionné dès que l'APU RPM dépasse les 7 %. Des sondes de température et de pression envoient des signaux à l'ECU, correspondant aux conditions d'entrée d'air. Ces informations sont alors utilisées par l'ECU pour réguler le débit fuel.

ANNEXE QUATRE

CLASSIFICATION ET DEFINITION A.T.A. DES ENSEMBLES DE RATTACHEMENT

1 - Introduction

Ayant eu à choisir des servitudes pneumatiques ça et là dans l'avion, nous avons jugé utile de joindre ce chapitre à notre étude afin de mieux situer le rôle et la fonction de nos servitudes. En ce qui concerne le pneumatique, nous avons consulté 2 ensembles de rattachement dont les particularités ont été définies et codées par ATA (Air Transport Association of America) et sont :

2 - Ensemble de Rattachement "21" :

Section	Titre	Définition
	Conditionnement d'air	Équipement et composants assurant la pressurisation, le réchauffage, le refroidissement, la régulation de l'humidité, le filtrage et l'assainissement de l'air utilisé pour ventiler les zones pressurisées du fuselage. Comprend le compresseur de cabine, les dispositifs de refroidissement des équipements, le réchauffeur, le circuit carburant du réchauffeur, la turbine de détente, les vannes, manches à air, canalisations, etc...
10	Compression	partie du système et de ses commandes qui fournit l'air comprimé à la cabine. Comprend par exemple les dispositifs de commande et de signalisation des compresseurs, le câblage, etc... Ne comprend pas les dispositifs de commande et de signalisation du circuit de pressurisation cabine.
20	Distribution	partie du système servant à l'admission et à la distribution de l'air. Comprend les circuits de refroidissement des bâtis d'équipements, les ventilateurs, canalisations, prises d'air, clapets antiretour. Ne comprend pas les vannes régulatrices de pression et de température.
30	Régulation de la pression	partie du système servant à la régulation de la pression à l'intérieur du fuselage. On y rencontre les vannes de régulation, de décharge, indicateurs, commutateurs, amplificateurs.

40	Réchauffage	partie du système et de ses commandes qui fournit l'air réchauffé à la cabine. Comprend les réchauffeurs circuit carburant et commandes, circuit d'allumage et de signalisation liés au fonctionnement des réchauffeurs. Ne comprend pas les systèmes de régulation et de signalisation de la température.
50	Refroidissement	partie du système et de ses commandes qui fournit l'air frais à la cabine. Comprend le groupe de réfrigération, les circuits de signalisation liés au fonctionnement du radiateur. Ne comprend pas les systèmes de régulation et de signalisation de la température
60	Régulation de la température	partie du système servant à la régulation de la température de l'air à l'intérieur de la cabine. Comprend les vannes de régulation, sondes de température, commutateurs indicateurs, amplificateurs.
70	Régulation de l'humidité et de la contamination de l'air	partie du système servant à réguler l'humidité de l'air, et la concentration d'ozone ; à filtrer les déchets radioactifs de l'air conditionné et à assainir l'air à l'aide de désodorisants, insecticides.

3- Ensemble de Rattachement "36" :

	Air comprimé	Equipements et composants (conduites et vannes) distribuant, à partir d'une source d'alimentation, un important volume d'air comprimé aux points de raccordements à d'autres circuits tels que conditionnement d'air, pressurisation, dégivrage...
10	Distribution	partie du système servant à distribuer l'air sous haute ou basse pression aux circuits d'utilisation. Comprend les conduites, vannes, vérins, échangeurs thermiques, commandes ... Ne comprend pas les vannes d'alimentation des circuits d'utilisation.

20

Signalisation

partie du système servant à indiquer la température et la pression du système d'air comprimé. Comprend les circuits d'alarme de température et de pression.

ANNEXE CINQ

SERVITUDES
PNEUMATIQUES
EQUIPANT
LES AIRBUS ET
BOEING 767
ALGERIENS

1 - Section 21 :

- 1- Valve flow control
- 2- Valve non return
- 3- Valve check
- 4- Actuator - ram
- 5- Valve turbine by pass
- 6- Package refrigeration unit
- 7- Control - APU/Pack temperature
- 8- Valve check
- 9- Valve isolation
- 10- Valve trim air pressure regulator
- 11- separateur d'eau
- 12- Heat exchanger
- 13- Air cycle machine
- 14- Three and one-half inch diameter check valve

2 - Section 36 :

- 1- Sensor Temperature control
- 2- Sensor pneumatic temperature indicator
- 3- Valve pneumatic système isolation
- 4- Sensor pressure , high stage
- 5- Sensor regulator pressure
- 6- Controller pneumatic système
- 7- Valve Fan air
- 8- Valve pneumatic pressure regulator
- 9- Valve HP, bleed control
- 10- Valve pneumatique système overpressure
- 11- Valve LP, bleed check
- 12- Precooler bleed air
- 13- Sensor temperature, high stage
- 14- Valve check, APU
- 15- Pneumatic indicator supply pressure
- 16- Controller assy-overheat
- 17- Indicator temperature, pneumatic

ANNEXE SIX

DÉROULEMENTS DES DIFFÉRENTS TESTS

1 - Section 21

1 - 1 * Three and one-half inch diameter check Valve :

Note : Toutes les vannes de fermeture sont en position fermée et le régulateur de pression est ajusté de façon à indiquer la pression zéro à chaque début de test.

a- Vérification de l'étanchéité :

(a) Installer la check valve dans le test setup suivant la direction normale de l'écoulement d'air.

(b) ouvrir la vanne (2) et ajuster le régulateur de pression d'air.

(1) puis appliquer une pression d'admission de $45 + 2$ psig comme indiqué sur la jauge de pression (3).

(c) ouvrir doucement la vanne (6) et fermer la vanne (2).
Noter ce qui est indiqué sur débitmètre A.
La fuite ne doit pas dépasser ou excéder 0.01 pound / mn

b - Vérification de l'étanchéité dans le sens inverse :

(a) installer la check valve dans le test setup suivant la direction opposée à l'écoulement normal d'air

(b) ouvrir les vannes (2), (4) et ajuster les régulateurs de pression d'air pour appliquer une pression d'admission de $45 + 2$ psig comme indiqué sur la jauge de pression (3)

(c) ouvrir doucement la vanne (5) et fermer la vanne (4).
La fuite ne doit pas dépasser 0.15 pound /mn

1-2 * Water Separator:

a- Vérification de l'étanchéité interne:

(a) Enlever le couvercle avec toutes les parties qui lui sont attachées et enlever par la suite le clapet de dérivation du couvercle.

(b) Installer la fausse bypass valve sur le couvercle .

(c) Enlever le support du coalescer du séparateur d'eau

(d) Fabriquer un faux support du coalescer et le placer sur le couvercle.

(e) Installer le couvercle avec la vanne fictive sur le séparateur d'eau.

(f) Connecter la source d'air ou de Nitrogène qui est à une pression régulée et à une température ambiante à l'orifice d'admission.

(g) Appliquer doucement une pression de 61 (+2 , -0) psig pendant une mn.

(k) Fermer la source d'air de Nitrogène

(i) Ouvrir le pressure vent pour évacuer l'air ou le Nitrogène et vérifier si la section de la coquille n'a pas été déformée de façon permanente.

b - Vérification de l'étanchéité externe :

(a) connecter la source d'air ou de Nitrogène à l'orifice d'admission.

(b) Appliquer doucement une pression d'air ou de Nitrogène de 20 (+ 0,6 , -0) psig pendant 1mn, puis fermer la shutoff valve.

(c) Observer l'affaiblissement de la pression pendant la 1^{ère} mn; il ne doit pas dépasser 6,1 psi.

(d) ouvrir le pressure vent pour faire chuter la pression et enlever le séparateur d'eau du test setup .

(e) examiner visuellement le séparateur d'eau et vérifier s'il n'ya pas de déformation permanente.

1-3 Heat exchanger :

a- Vérification de l'étanchéité externe:

(a) connecter la source d'air ou de Nitrogène qui est à une pression régulée et à une température ambiante.

(b) immerger complètement l'échangeur de chaleur dans le bac d'eau.

(c) Appliquer une pression d'air ou de Nitrogène de 72 à 74 psig .

(d) Examiner la surface externe de l'échangeur de chaleur et remarquer s'il ya fuite et ceci par dégagement de bulles d'air.

b- Vérification de l'étanchéité interne:

NOTE : La procédure de ce test est la même que celle du bleed air external leakage test , excepté que l'échangeur de chaleur dans ce test peut être soit immergé soit enlevé du bac d'eau suivant la commodité du test.

(a) Appliquer une pression d'air ou de Nitrogène de 72 à 74 psig.

(b) Fermer la vanne d'arrivée d'air ou de Nitrogène pour isoler les bleed air passagers et la jauge de la source

(c) Mesurer la baisse de pression, elle ne doit pas dépasser 14 psi en 1 mn.

(d) Enlever le heat exchanger du test setup.

1-4 FLOW CONTROL VALVE :

Le banc d'essai est représenté sur la fig-02

Note :

Il est à préciser que tous les tests se font avec les shutoff valves fermées, la pression de l'air nulle et la source électrique coupée .

La température de l'air d'admission doit être de 40 à 120 F (4 à 49°C).

Rate control test : test du système d'asservissement différentiel : pas indispensable .

a- Test de fuite interne :

1. Ouvrir les shutoff valves (3) et (15) ensuite ajuster à l'aide du régulateur (1) pour avoir une pression de 53 à 55 psig lue sur la jauge (2) .

2. Exciter et désexciter le solénoïde plusieurs fois pour ouvrir et fermer le papillon (butterfly plate).

3. Ouvrir la shutoff valve (16) et fermer la (15) puis ajuster à l'aide du régulateur (1) une pression de 53 à 55 psig (366 à 379 Kpa).

4. Mesurer la fuite grâce au débitmètre. Le débit ne doit pas dépasser 1.05 pour (0,48 Kg) par minute avec le solénoïde excité .

b- Test de fuite externe :

1. Ouvrir la shutoff valve (3) et ajuster le régulateur (1) pour avoir des pressions de 52 à 54 psig (359 à 372 KPA) lûes sur la jauge (2).

2. ouvrir les shutoff valves (5,6) et fermer la shutoff valves (3). Le débit de fuite ne doit pas dépasser 0,26 pounds (117,94) gr/min.

1-5 Trim air pressure regulating valve :

a- Test de fuite externe :

a. Exciter le solénoïde avec 26+- 2 volts dc, ouvrir les valves (1,4) (Fig -02) et utiliser le régulateur (8) pour appliquer une pression d'admission de 35 +- 1 psig comme mesuré sur le manomètre (2) ; ensuite ajuster la valve (4) pour obtenir le débit de 56,3 +- 1.0 pounds par minute comme mesuré

sur le débitmètre A.

b. désexciter le solénoïde pour fermer le plate assembly.

c. ouvrir la valve (5) et fermer la valve (4).

d. Observer et mesurer la fuite comme mesurée sur le débitmètre C. Le débit ne doit pas dépasser 0.1 à 0.3 pound par minute.

e. ouvrir la valve (4) , fermer la valve (5) ensuite ouvrir et fermer dix fois en excitant et désexcitant le solénoïde.

ouvrir la valve (5), fermer la valve (4) et révéifier la fuite qui ne devrait pas dépasser un débit de 0,1 à 0,3 pound par minute.

b- Vérification du temps d'ouverture et de fermeture :

a. ouvrir les valves (1) et (4) [voir fig- 02] et appliquer une pression d'admission de 35 ± 1 psig avec une cadence d'écoulement de 56.3 ± 1.0 pounds par minute mesurée sur le débitmètre total .

b. Désexciter et exciter le solenoïde avec 26 ± 2 volts dc pour fermer et ouvrir le plateau (plate assy).

c. Observer et mesurer le temps mis par le plate assy pour se déplacer de la position ouverte à la position fermée. Le temps de fermeture c'est le moment où l'on désexecite à 1.0 inch Hg gage la downstream pressure ; le temps ne doit pas dépasser 3.0 secondes maximum.

d. Observer et mesurer le temps requis au plate assy pour se déplacer de la position fermée à la position fermée. Le temps d'ouverture est le moment de l'excitation à 6.0 inch Hg gage downstream pressure ; le temps ne doit pas dépasser 3.0 secondes maximum.

c- Test de fuite interne :

a- Exciter le solénoïde avec 26 ± 2 volts, ouvrir les valves (1) et (4) [voir fig-2] et utiliser le régulateur (9) en augmentant graduellement la pression d'admission jusqu'à obtenir 35.0 ± 1.0 psig sur le manomètre (2).

b- ouvrir les valves (7) et (8) et fermer lentement la valve (1). Le débit de fuite mesuré au niveau du débitmètre [de la dowstream pressure relief valve] ne doit pas dépasser 0,25 pound par minute.

1-6 Refrigeration unit :

a- Test de fuite :

a. Mettre le refrigeration unit package sous pression à travers le débitmètre A et obtenir une température stable de 72.5 ± 1.5 psig et à une pression ambiante. Le débit de fuite total ne doit pas dépasser 1.0 pound par minute.

Remarque :

Si le débit de fuite de l'air cycle machine n'est pas connu, le débit de fuite total ne doit pas dépasser 5.0 pounds par minute.

fermer la face du heat exchanger et installer un débitmètre à travers le capuchon.
Fermer la sortie d'air du plenum assy.
Mettre sous pression le passage d'air frais à travers le débitmètre et obtenir une stabilité de pression de 3 ± 0.25 psig à une température ambiante. Le débit total de fuite d'air frais ne dépassera pas 2.0 pounds par minute.

2- Section 36 :

a- Pneumatic Pressure Regulator Valve :

* Calibrage de la régulation de la pression aval :

- ouvrir les valves (3), (8), (14), (15), (17). Régler le régulateur (9) et moduler l'ouverture de la valve (18) jusqu'à obtenir un débit de 150 ± 5 Lbs/mn à travers le débitmètre C, et à une pression de 100 ± 1 psig indiquée sur le gage (7).

- Moduler l'ouverture de la valve (15) jusqu'à obtenir une chute de pression de $1,0 \pm 0,1$ in Hg lue sur le manomètre (16).

La pression aval régulée et indiquée sur le gage (12) doit être de $46,50 \pm 0,25$ psig. Hors de cette plage, penser par exemple à ajouter ou à changer les rondelles.

- Conserver par la suite la position des valves (15) et (17).

* Détection des fuites par le Débitmètre B :

- Mettre sous tension la vanne électrique avec du 28 ± 2 vdc puis fermer le plateau papillon.

- Régler le régulateur (9) à une pression de 84 à 86 psig indiquée par le gage (7).

- Ouvrir la valve (13) et fermer la valve (18). le débit mesuré ne doit pas excéder 0,75 Lb/mn.

- Désexciter la vanne électrique pour ouvrir la vanne papillon, fermer la vanne (13) et ouvrir la vanne (18). Conserver la position de la vanne (15).

- Recommencer ces étapes après un verrouillage manuel du papillon.

* Vérifications pour un écoulement inverse :

- Vérifier que la tuyauterie d'admission vers la valve (6) est toujours branchée et qu'un raccord est connecté à la valve (3) et au gage (2). Vérifier que (3) est fermée.

- Régler (9) à une pression de $38,0 \pm 0,5$ psig (indiquée par gage (7)).

- Ouvrir les valves (4) et (6). Régler le régulateur (1) de façon à accroître progressivement la pression. Il faut enregistrer une différence de pression de $0,275 \pm 0,025$ in Hg (indiquée par le manomètre (5)) entre les valves (4) et (6).

- En fin de test, maintenir les éléments (3) (8) (15) (18) et (9) dans leur position.

*** Détection des fuites par le débitmètre A :**

- Régler (9) tel que (7) indique 85 ± 1 psig
- Ouvrir les robinets (10) et (11). Fermer le robinet (8). La fuite ne doit pas être supérieure à $0,45$ Lb/mn. Le robinet (15) doit avoir conservé la position imposée par le premier test.

*** Détermination de la pression minimale d'ouverture de l'élément :**

- Agir sur le régulateur (9) et le robinet (18) tel que le débitmètre C affiche 200 ± 5 Lbs/mn, et le gage (12) indique 30 ± 1 psig

- Agir sur (9) jusqu'à ce que (7) indique 30 ± 1 psig.

- Exciter la vanne électrique pour fermer l'élément

- Agir sur (9) jusqu'à ce que (7) indique 15 psig.
Noter l'indication du manomètre (5).

- Débrancher la vanne électrique : l'élément s'ouvre
Le manomètre (5) ne doit pas indiquer plus de $2,0$ in Hg. A l'équilibre, (7) ne doit pas indiquer plus de $12,7$ psig.

- b- Mid Stage Check Valve ;
- LP bleed check valve ;
- APU/LP bleed check valve :

On part du fait que les robinets sont supposés fermés, la pression de l'air est nulle (pression relative) et qu'il n'y a pas d'alimentation électrique.

*** Détection des fuites par le débit-mètre A :**

- ouvrir le robinet (2) et régler le régulateur (1) de façon à avoir une pression d'entrée de 156 à 162 psig indiquée par le gage (3).

- ouvrir les robinets (6) et fermer doucement (2). Le débit-mètre A ne doit pas indiquer plus de 0,04 Lb/mn.

*** Détection des fuites par le débitmètre B :**

- Inverser la position de l'élément testé dans le banc-d'essais .

- Ouvrir les robinets (2) et (4) et régler le régulateur (1) de tel façon que le gage (3) indique une pression d'entrée de 156 à 162 psig.

- Ouvrir le robinet (5). Fermer doucement (4). Le débit - mètre B ne doit pas indiquer plus de 1 Lb/mn.

c- Two and One half inch diameter Regulator and Shutoff Valve

*** Détermination de la pression d'ouverture minimum:**

- Relier les orifices d'alimentation et d'armement.

- Joindre l'orifice de détection de la pression aval à l'élément testé et au robinet (11) par le biais d'un conduit d'air.

- Ouvrir les robinets (2) et (11). Exciter la vanne électrique avec du 23 +/- 29 vdc. Régler le régulateur (1) de façon à ce que le gage (5) indique 12,23 à 12,33 psig. Régler le robinet (11) de façon à ce que le débitmètre A indique 29,4 à 30,0 Lbs/mn

- Conserver la position du robinet (11). Agir sur (1) jusqu'à annuler la pression d'entrée.

- Ouvrir les toggle valves (8) et (3). Agir doucement sur (1) de façon à obtenir une pression d'entrée de 24,9 à 25,1 in Hg indiquée par le manomètre (4) . [indication à ne pas dépasser]

- Noter si la différence de pression entre les manomètres (4) et (9) ne dépasse pas 1,1 in Hg.

*** Détection des fuites par le débitmètre B :**

- Ouvrir les robinets (2) et (11). Ouvrir la toggle valve (6). Régler le régulateur (1) de façon à ce que le gage (5) indique une pression d'entrée de 52 à 58 psig.

- Ouvrir les robinets (12) et (3) et fermer (2). Le débitmètre B ne doit pas indiquer plus de 0,25 Lb/mn.

*** Regulation de la pression :**

- Ouvrir les robinets (2) et (11). Ouvrir la toggle valve (6). Exciter la vanne électrique avec du 23 à 29 vdc.

- Agir sur le régulateur (1) de façon à ce que le gage (5) indique une pression d'entrée de 90 à 110 psig. Agir sur (11) de façon que le débitmètre A affiche 75 à 85 Lbs/mn.

- Noter l'indication du gage (10). La pression aval doit être de environ 50 psig.

- Répéter les opérations pour différentes valeurs des pressions d'entrée et débit afin d'obtenir les valeurs des pressions aval correspondantes.

d- Fan Air Valve :

*** Calibrage de la pression de référence du régulateur :**

- Exciter la vanne de contrôle électromagnétique avec 100 +/- 2 milliampères.

- Régler le régulateur (1) de façon que le gage (2) indique une pression d'alimentation de 25 psig.

- Observant le gage (7), accroître doucement la pression jusqu'à 160 psig. La pression réglée devra appartenir à la plage 25 +/- 3 psig.

- Noter la pression indiquée par (7) quand la pression d'alimentation est de 85 +/- 5 psig.

*** Calibrage de la pression du servorégulateur :**

- Exciter la vanne de contrôle électromagnétique avec 100 ± 2 milliampères. Pression d'alimentation : 85 ± 5 psig.

- Ouvrir le robinet (6) et agir sur le régulateur (1) de façon à accroître la pression d'alimentation de 13 psig à 160 psig indiqués par le gage (2).

Noter la pression régulée indiquée par le manomètre (5). Elle devra appartenir à la plage [18 , 23] in Hg gage.

*** Détection des fuites dans le circuit :**

- La vanne de contrôle électromagnétique doit être totalement désexcitée. Agir sur (1) de façon que (2) affiche une pression d'alimentation de 85 ± 5 psig. Le débitmètre D ne doit pas indiquer plus de 0,62 Lb/mn.

- Exciter la vanne sus-citée avec 120 mA. Le débitmètre D ne doit pas indiquer plus de 0,62 Lb/mn.

*** Détection des fuites par le débitmètre A :**

- Ouvrir le robinet (13). Agir sur le régulateur (15) de façon que le manomètre (14) indique une pression d'entrée de $22,0 \pm 0,5$ in Hg gage.

- Ouvrir les robinets (12) et fermer le (13). Le débitmètre A ne devra pas indiquer moins de 11,0 Lbs/mn, et pas plus de 14,5 Lbs/mn.

*** Détection des fuites par le débitmètre B :**

- Ouvrir la toggle valve (3). Agir sur le régulateur (1) de façon que le manomètre (4) indique une pression d'alimentation de $25,0 \pm 0,5$ in Hg gage.

- Ouvrir les robinets (10) et (13). Agir sur le régulateur (15) de façon que le manomètre (14) indique une pression d'entrée de $25,0 \pm 0,5$ in Hg gage.

- Appliquer 105 mA à la vanne de contrôle électromagnétique.

- Ouvrir le robinet (9) et lire l'indication du manomètre (8). Elle ne devra pas excéder 3 in Hg gage.

- Dans ce cas, ouvrir le robinet (11) et fermer le robinet (10). Le débitmètre B ne devra pas indiquer moins de 10,7 Lbs/mn ni plus de 17,9 Lbs/mn.

ANNEXE SEPT

CONCEPTION
DU
BANC-D'ESSAIS
STANDARD

1 - Méthodes Générales d'Estimation des Pertes de Charge Dans les Tuyauteries :

1-1 : Pertes de charge dans les tuyauteries droites :

Dans les tuyauteries, la perte de charge augmente d'amont en aval du fait de l'énergie dissipée sous forme de frottement. En fait, la perte de charge est une fonction complexe de différents facteurs : débit, vitesse et viscosité du fluide d'une part, diamètre et rugosité de la paroi intérieure de la tuyauterie d'autre part.

- En régime laminaire, les écoulements obéissent à la loi de POISEUILLE : la perte de charge est proportionnelle au débit et à la viscosité ; elle est inversement proportionnelle à la quatrième puissance du diamètre et indépendante de la rugosité du tube.

- En régime turbulent, la rugosité du tube prend, au contraire, une importance capitale, tandis que la viscosité a d'autant moins d'influence que la rugosité est plus élevée et que le nombre de Reynolds est grand. A cet effet, rappelons que le nombre de Reynolds a pour expression :

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \cdot 1000$$

formule dans laquelle :

V : vitesse (m/s)
D : diamètre intérieur (mm)
 ν : viscosité cinématique (centistokes)

si $Re < 2300$: Ecoulement laminaire.
si $Re > 4000$: Ecoulement turbulent.

L'écoulement est transitionnel dans la zone intermédiaire

Les pertes de charge dans les tuyauteries peuvent être calculées par diverses formules empiriques (souvent traduites en abaques) valables chacune seulement dans leur domaine particulier, souvent étroit et mal délimité.

Nous citerons deux méthodes :

- l'une est une traduction en abaque de la formule de COLEBROOK, admise comme la plus exacte des formules générales

applicables à tous les fluides. Elles nécessitent cependant des calculs souvent longs et fastidieux.

- l'autre utilise le document : Abaque- 3 : calcul des tuyauteries d'air comprimé. Son emploi est simple et permet de résoudre un grand nombre de problèmes courants avec le maximum de rapidité et une approximation souvent suffisante.

Avant d'explicitier ces 2 méthodes, nous aborderons d'abord les notions de "pertes de charge accidentelles" et "perte de charge globale, longueur droite fictive" qui reviennent dans ces 2 méthodes.

a - Pertes de charge Accidentelles :

Les tuyauteries ne comportent pas que des longueurs droites, mais aussi des "accidents" tels que robinets, coudes, restrictions, etc... qui occasionnent des pertes de charge supplémentaires généralement non négligeables.

Celles-ci peuvent quelquefois être calculées avec précision (coudes, tés, réduction de section...) mais au prix de calculs complexes qui ne sont nécessaires que dans certains cas particuliers (pipe-line, feeder...).

En pratique courante, on assimile chaque "accident" à une certaine longueur de tuyauterie droite, et on admet que cette équivalence est valable pour toutes conditions de vitesse, viscosité, rugosité.

Le tableau des équivalences des principaux "accidents" est donné en Abaque -1 : Equivalences des pertes de charge en longueurs droites de tuyauteries.

Pour utiliser cet abaque, il faut joindre la graduation correspondant à l'orifice (diamètre intérieur) dont on dispose, à celle de l'accident concerné. Lire alors sur la verticale correspondante la longueur droite équivalente.

b- Perte de charge globale - longueur droite fictive :

Quand une tuyauterie comporte des accidents, on commence donc par déterminer la longueur droite équivalente à chacun d'eux. En faisant le total et en ajoutant celui-ci à la longueur développée de la tuyauterie, on obtient sa longueur droite fictive.

c - Méthode de l'abaque traduisant la formule de COLEBROOK :

La perte de charge ΔP cherchée est donnée par la formule :

$$\Delta p = J. \frac{L. \bar{w}}{10000} \quad [1]$$

dans laquelle :

Δp : perte de charge cherchée [Kg/cm²]
L : longueur droite fictive de la tuyauterie [m]
 \bar{w} : poids spécifique du fluide dans les conditions de température et de pression de l'écoulement [kg/m³].

J : Coefficient donné par l'abaque - 2

Le poids spécifique est donné par la formule :

$$\bar{w} = 10000 \cdot \frac{p}{29,272} \cdot \frac{1}{273+t} \quad [2]$$

où :

t : Température [°C]

p : Pression absolue [kg/cm²]

$[\bar{w}]$: [kg/m³]

D'autre part, pour utiliser le document Abaque -2 : pertes de charge dans les tuyauteries, il faut connaître au préalable le diamètre intérieur de la tuyauterie, la nature et l'état de sa face interne, ainsi que la vitesse et le nombre de Reynolds Re caractérisant l'écoulement.

La procédure est la suivante : repérer :

- le diamètre intérieur D [mm] sur celle des quatre lignes supérieures qui correspond au matériau et à l'état de la tuyauterie, et sur l'échelle inférieure ;

- le nombre de Reynolds Re sur l'échelle supérieure de droite
- la vitesse v [m/s] sur l'échelle inférieure de droite.

Suivre le cheminement indiqué par les traits mixtes. Lire le coefficient J sur l'échelle inférieure de gauche.

d- Méthode de l'abaque : "calcul des tuyauteries d'air comprimé"

Il s'agit d'une méthode peut-être moins précise que la précédente, mais plus rapide.

Les données nécessaires sont le diamètre de la tuyauterie [mm], la pression [hpz ou hauteur piézométrique] et le débit [$N\ m^3/mn$].

Il faut procéder de la façon suivante :

Joindre la graduation correspondant au débit à celle de l'orifice. Prolonger cette droite jusqu'à l'axe de référence dont l'intersection donne un point. Joindre ce point à la graduation correspondant à la pression. Prolonger cette droite jusqu'à couper l'axe "pertes de charge en g/cm³ pour cent mètres". Lire cette valeur.

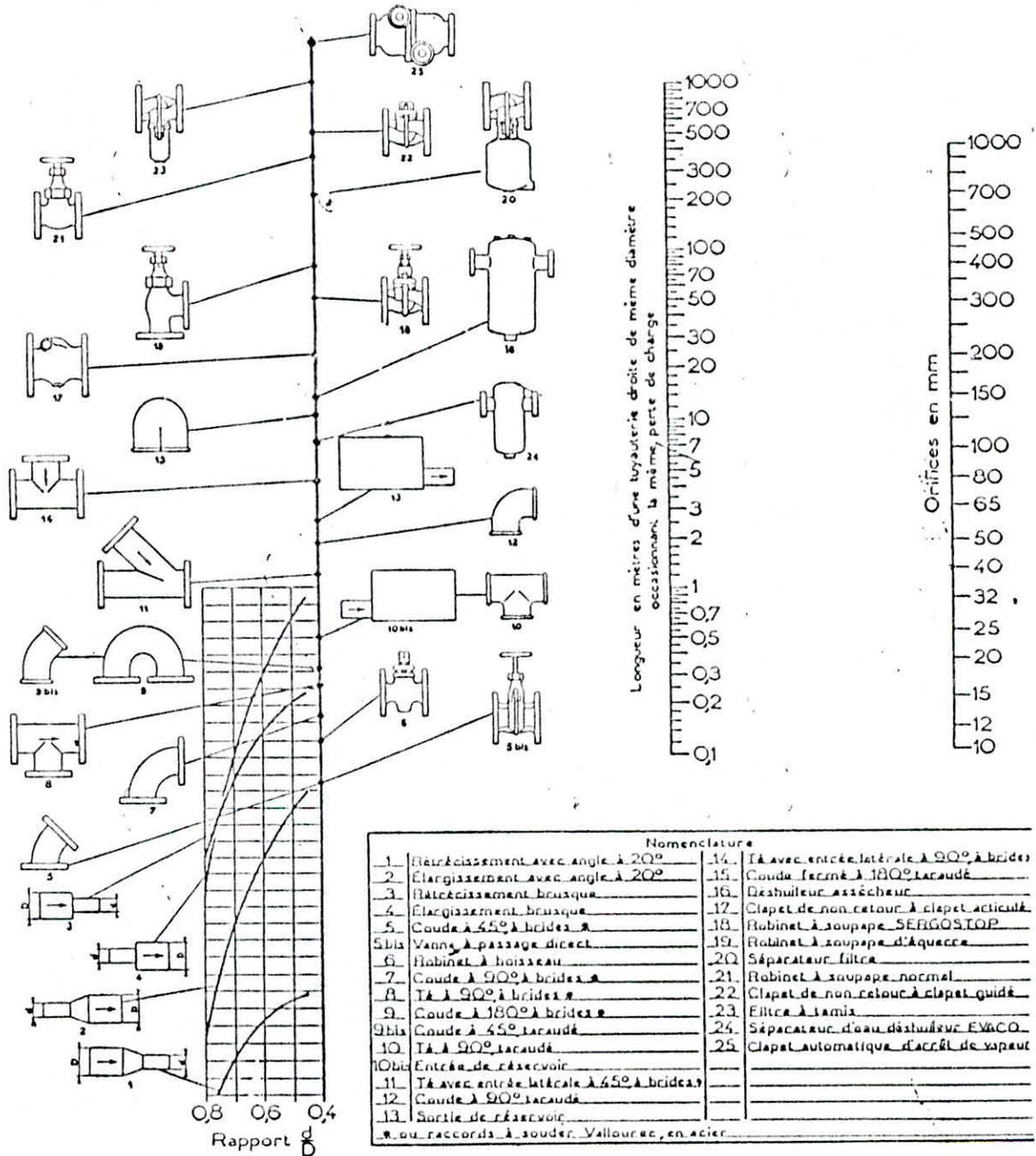
Il est à remarquer que cet abaque est établi pour l'air à 15°C. Si l'on a affaire à l'air chaud à une température de t °C, il suffit de remplacer les débits réels [$N.m^3/mn$] par les débits corrigés, obtenus en multipliant ces débits réels par l'expression:

$$\frac{273 + t}{273 + t}$$

Enfin, le symbole [$N.m^3/mn$] représente la quantité d'air occupant un volume de $1m^3$ dans les conditions normales de température et de pression. Pour obtenir un débit en [$N.m^3/mn$] à partir d'un débit en [kg/mn], il faut diviser ce dernier par le poids spécifique :

$$\bar{w} \quad [kg/m^3]$$

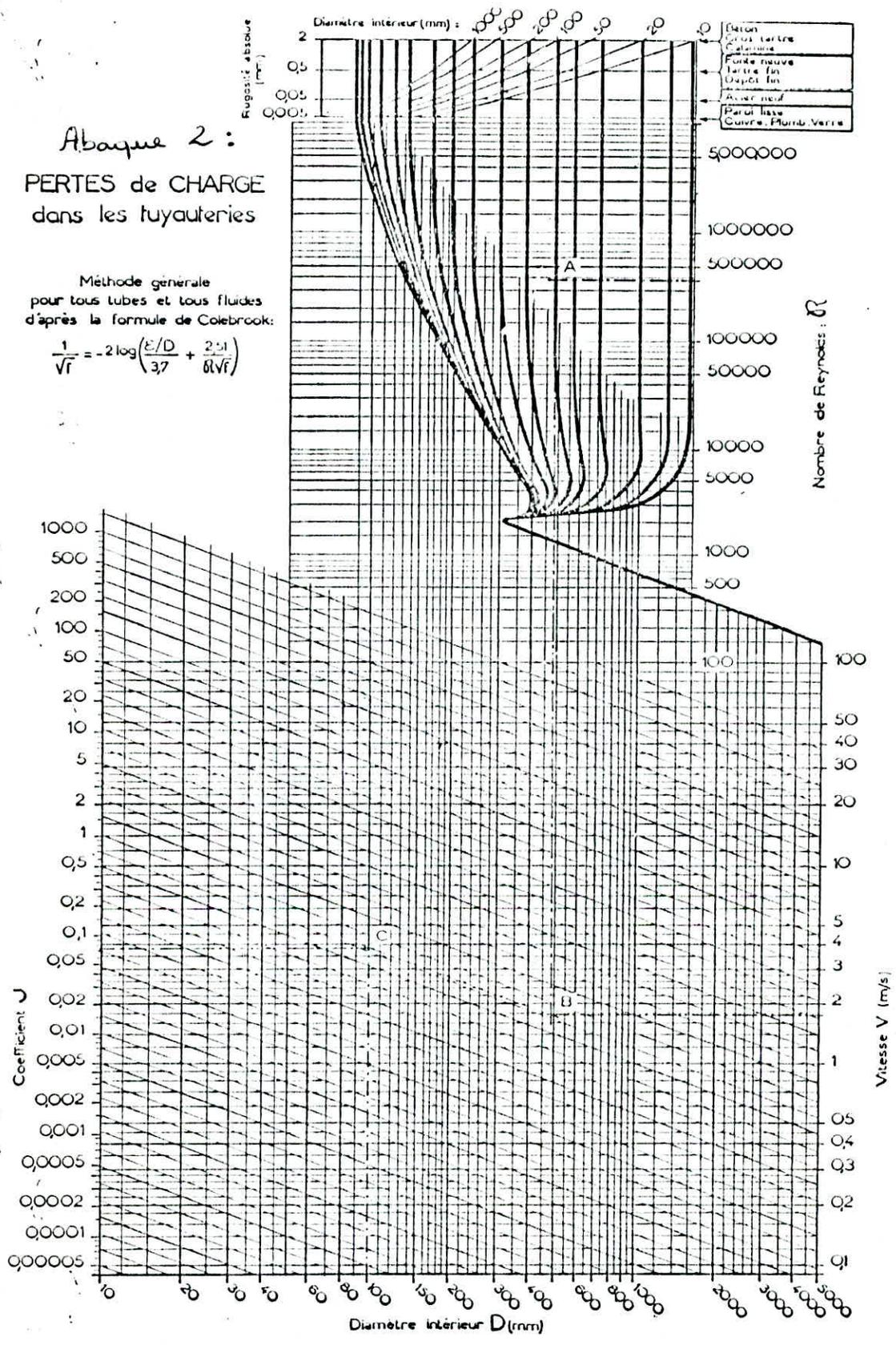
Abaque 1 : Equivalences des pertes de charge en longueurs droites de tuyauteries



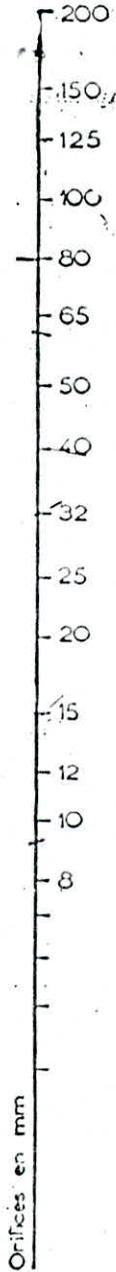
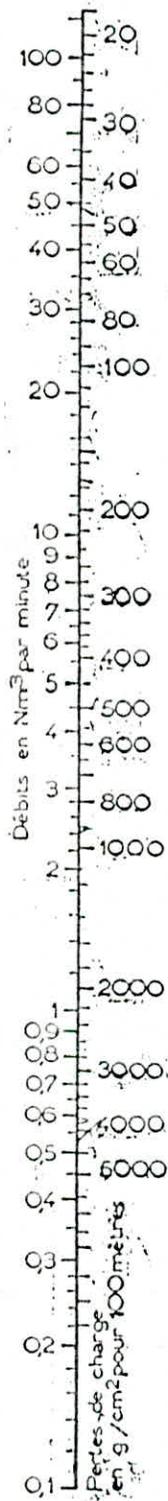
Abaque 2 :
PERTES de CHARGE
 dans les tuyauteries

Méthode générale
 pour tous tubes et tous fluides
 d'après la formule de Colebrook:

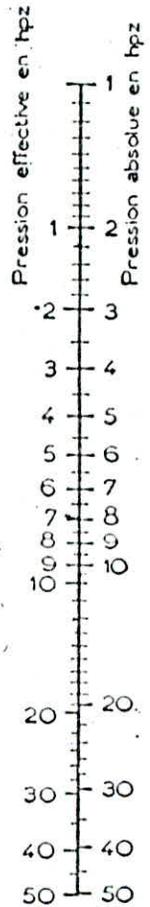
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$$



Abaque 3 : Calcul des tuyauteries d'air comprimé



axe de référence



3 - Caractéristiques Techniques de la Gamme des Compresseurs ECCM.

Modèle	Capacité cuve	Débit air	Moteur electr.	Nombre de tours	Tension (V)	Pression travail	Prix HT (D.A)	Prix TTC (D.A)
160/10	10 l	250 l/mn	1,5 CV	2800 RPM	220V Monophasé	8 bars 116 psi		
160/ 25	25 l	"	1,5 CV	"	"	"	14375	15972
160/ 50	50 l	"	1,5 CV	"	"	"	16675	18528
K 12 C	100 l	250 l/mn	3,5 CV	2800 RPM	220/380 Triphasé	8 bars 116psi	21275	23639
K 17 C	200 l	400 l/mn	4 CV	2800 RPM	220/380 Triphasé	8 bars 116 psi	28175	31305
K 17 C	300 l	"	"	"	"	"	33350	37055
K 25	550 l	578 l/mn	5,5 CV	"	"	10 bars 145 psi	44850	49833
K 30	550 l	850 l/mn	7,5 CV	1400 RPM	"	12 bars 174 psi		
K 25 tandem	550 l	1100 l/mn	5,5+5,5 CV	2800 RPM	"	14 bars 203 psi		
K 30 tandem	1000 l	1740 l/ mn	7,5+7,5 CV	1400 RPM	230/380	14 bars 203 psi	157550	175054
K 50	1000 l	1200 l/mn	10 CV	1400 RPM	230/380	14 bars 203 psi	117300	130332
K 50. tandem	1000 l	2150 l/ mn	10+10 CV	1400 RPM	"	"	241500	268331

4 - Caractéristiques techniques de la Gamme des sècheurs (KAESER Compresseur)

Type	Point de rosée (à 2 bar)			Press. max. service bar	Effic. él. (absorbée) kW	Raccord éluc.	Raccord air	Press. de service bars	Dimensions en mm			Poids en kg
	Point de rosée								hauteur	largeur	profondeur	
	+2° C	+6° C	+10° C									
T 24	22	26,5	31	15	0,19	courant alternatif 220 V, 50 Hz	3/8"	luyau flexible Ø 11 mm	356	410	381	26
T 33	33	39,5	46	15	0,32		3/8"		356	410	381	31
T 60	55	66	77	15	0,43		1/2"		406	560	406	43
T 90	80	96	112	15	0,43		3/4"		406	560	406	45
T 135	120	144	168	15	0,69		1"	manchon Ø 10 mm	565	819	495	96
T 255	220	264	308	15	0,87		1"		565	819	495	107
T 300	270	324	378	15	0,87		1 1/2"		565	819	495	127
T 430	380	456	532	15	1,0		2"	1/4"	930	1019	918	220
T 515	450	540	630	15	1,45		courant triphasé 380 V, 50 Hz	2"	1/4"	930	1019	918
T 610	520	624	728	15	1,45	2"		1/4"	930	1019	918	245
T 720	620	744	868	15	1,45	2"		1/4"	930	1019	918	250
T 930	800	960	1120	15	1,85	DN 80		1/4"	1055	1095	921	410
T 1220	1100	1320	1540	16	3,0	DN 80		1/4"	1465	915	915	565
T 1500	1400	1680	1960	16	3,0	DN 100		1/4"	1842	1230	1230	860
T 1980	1700	2040	2380	16	3,55	DN 100		1/4"	1842	1230	1230	1000
T 2200	2200	2640	3080	16	3,55	DN 100		1/4"	1842	1230	1230	1050
T 2850	2600	3120	3640	16	4,15	DN 100		1/4"	1842	1230	1230	1100
TL 3300	3100 ²⁾			16	8,2	DN 150		1/4"	2000	2850	1100	1800
TL 3800	3800 ²⁾			16	9,6	DN 150		1/4"	2000	2850	1100	1900
TL 4500	4300 ²⁾			16	9,6	DN 150		1/4"	2000	2900	1200	2100
TL 5900	5500 ²⁾			16	11,8	DN 150		1/4"	2000	2900	1300	2300
TL 7300	6700 ²⁾			16	13,2	DN 150		1/4"	2000	3100	1400	2500

LEXIQUE

A

- **Actuator relief valve** : vérin du clapet de décharge.
- **Actuator servo pressure** : Pression du servomoteur.
- **Aft pressure bulkhead**: cloison étanche arrière.
- **Air conditioning** : Système de conditionnement d'air.
- **Air Driven hydraulic pump (ADP)** : Pompe hydraulique d'entraînement d'air.
- **Air supply distribution** : Système de distribution d'air.
- **Air supply indication** : Système d'indication.
- **Air supply PRSOV** : Régulateur de pression et soupape d'arrêt pour l'admission d'air.
- **Auxiliary Power Unit (APU)** : Groupe de puissance auxiliaire.
- **APU air supply** : Alimentation air APU.
- **APU firewall** : Cloison pare-feu APU.
- **APU/LP check valve** : Clapet de retenue basse pression.
- **Arming pressure port** : Prise de pression forcée.

B

- **Bite: built-in-test unit or built-in-test equipment**: Equipement d'essai intégré.
- **Bleed air control card** : Fiche de contrôle du piquage d'air.
- **Bleed air precooler**: Echangeur prérefroidisseur.
- **Bleed source control**: Contrôle de source de piquage.

C

- **Cargo heating** : Système de chauffage.
- **Center distribution ducting** : Conduit de distribution principal.
- **Center isolation valve** : Clapet d'isolement.
- **Check valve** : Clapet de retenue.
- **Cooling fins** : Ailettes de refroidissement.
- **Cowl drag** : Trainée du capot moteur.

D

- **Disk** : Disque
- **Downstream pressure sensing port** : Prise de pression oval.

E

- Eighth (8th) stage bleed : 8^{ème} étage de piquage.
- Eighth stage check valve : clapet de retenue du 8^{ème} étage.
- Electrical connection : connexion électrique.
- Engine air supply : alimentation en air du réacteur.
- Engine air supply overheat switch : interrupteur de l'admission de l'entrée d'air dans le moteur en cas de surchauffe.
- Engine air supply overpressure switch : interrupteur de l'admission de l'entrée d'air dans le moteur en cas de surpression.
- Engine manifold area : Section de la tubulure du moteur.
- Engine manifold ducting : conduit collecteur du moteur
- Engine manifold pressure control : contrôle de la pression du collecteur moteur.
- Engine nose cowl anti-ice : système anti-givre de la pointe du capot moteur.
- Engine starter : Démarreur moteur .
- Engine strut : caisson réacteur.

F

- Fan air inlet : entrée d' air de la soufflante.
- Fan air modulating valve : vanne modulatrice de l'admission d' air dans la soufflante.
- Fan air outlet : sortie d'air de la soufflante.
- Fan air sensor : Détecteur d'air.
- Fan air temperature sensor : sonde de température.
- Fan air valve : vanne de limitation (régulation) de température.
- Filter : filtre.
- Flight compartment : cockpit.
- Flow : écoulement
- Fourteenth (14th) stage HP port : prise haute pression du 14^{ème} étage.
- From 8th stage bleed air source : de la source de piquage du 8^{ème} étage
- Forward (FWD) : vers l'avant

G

- Gage : jauge
- Ground air supply : alimentation en air au sol.
- Ground cart : groupe de parc.

H

- Hex for manual operation (valve shaft extension) : Ecrou pour opération manuelle.
- Hydraulic reservoir pressurization : réservoir de mise en pression hydraulique.
- High pressure shut off valve (HPSOV) : soupape d' arrêt haute pression.
- HPSOV controller : Organe de commande de la HPSOV.

I

- In-line check valve : clapet de surpression aligné.
- Inner shell : coquille intérieure.
- Intermediate pressure check valve : clapet de retenue moyenne pression.
- Intermediate pressure 8th stage bleed ports : orifices de soutirage 8^{ème} étage moyenne pression.

K

- Keel beam : axe balisé d'une poutre principale.

L

- Left air conditioning pack : groupe de conditionnement d' air gauche.
- Left access door : porte d'accès gauche.
- Locking crank : bras de verrouillage.
- Locking pin : broche de verrouillage.
- LP bleed check valve : clapet de surpression avec soutirage basse pression.

M

- Main equipment center : centre d'équipement principal.
- Main filter : filtre principal.
- Main wheel wells : soute du train principal.
- Manual deactivation valve : vanne de mise hors service manuelle.
- Mid stage check valve : clapet de retenue étage intermédiaire.
- Monitoring : Surveillance.

O

- Outer shell : coquille extérieure
- Overheat and overpressure protection : protection contre la surchauffe et la surpression.

P

- PC:servo pressure: servo-pression
- PHH: 14th stage bleed high pressure: soutirage haute pression
- PHL: 14th stage bleed low pressure : soutirage basse pression
- PH-PC: highpressure-servo-pression:haute pression-servo-pression
- Pneumatic actuator : vérin pneumatique.
- Pneumatic pressure regulator valve : vanne pneumatique de régulation de pression.
- Position switches : position des interrupteurs.
- Precooler : Prérefroidisseur.
- Pressure switch : manostat.
- Pressure regulating valve(PRV): vanne de régulation de pression
- Pressure regulator and shutoff valve(PRSOV): vanne d'arrêt et de régulation de pression.
- PRV controller:organe de commande de la PRV.

R

- Rain repellent nozzles : distributeurs chasse-pluie.
- Reference pressure regulator: régulateur de la pression de référence.
- Restrictor: passage calibré
- Reverse flow control: contrôle du flux inverse.

S

- Safety relief valve : clapet de décharge de sécurité.
- Sensors : sondes.
- Signal pressure port : signal de la prise de pression.
- Solenoid valve assembly : ensemble vanne solénoïde.
- SO solenoid : isoler le solénoïde.
- SOV (shut off valve) : robinet d'arrêt.
- Supply pressure port : prise de la pression d'admission.
- Support strut : bras profilé.
- Switch valve : vanne interrupteur.

T

- Temperature control : contrôle de la température.
- Temperature sensor : sonde de température.
- Temperature sensor probe : sonde de détection de température.
- Temperature switch : thermostat .
- Test set up : banc - d'essais .
- Thrust reverse : Inverseur de poussée .
- Thrust reverse valve : vanne d'inversion de poussée .
- Toggle valve: clapet de freinage ou de laminage
- To air supply distribution : vers la distribution de l'air admis .
- To cowl thermal anti - ice : vers la fixation thermique de l'anti - givrage .
- To wing thermal anti - ice : vers l'anti - givre thermique des ailes .
- Total air temperature probe : sonde de détection de la température totale de l'air .
- Tube : tube .
- Tube guide : tube de guidage .

V

- Valve actuator : actionneur de la vanne.
- Valve body : corps de vérin.
- Valve inlet : entrée vanne.
- Valve outlet : sortie vanne.
- Valve plate : plateau de la vanne.

W

- **Water tank pressurization** : réservoir de pressurisation d'eau.
- **Wing anti-ice** : système anti-givre des ailes.

BIBLIOGRAPHIE

[1]- BOEING; " Maintenance Training, Mechanical and Electrical Systems - Pneumatics " ;

Print date Feb . 1990 .

[2]- GARRETT; " Component Maintenance Manual CMM A310, ATA 21, ATA 36 " ;

[3]- AIR ALGERIE - DIRECTION TECHNIQUE ; " classification des Chapitres ATA (AMERICAN TRANSPORT ASSOCIATION)" ; ALGER (1978) .

[4]- LEHMANN et LEPOURRY; " Technologie des turboréacteurs " ; Ecole Nationale de l'Aviation Civile (ENAC)- Le département Transport Aérien ; TOULOUSE (première édition 1981) .

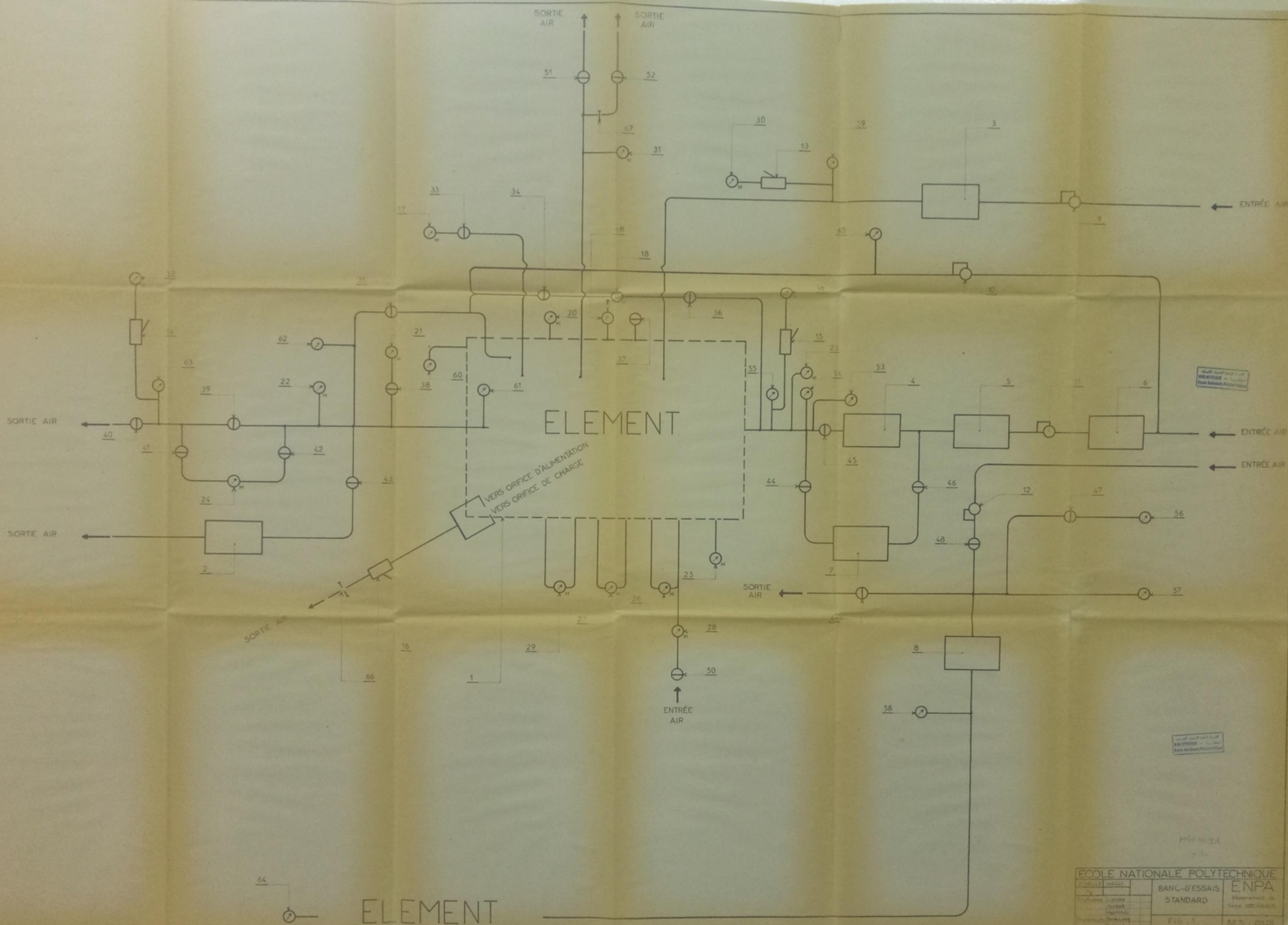
[5]- GENERAL ELECTRIC GEK 504 85; " CF6 80 Engine, Student Notebook " ; Ed 6 - IM (june 1 , 1983) .

[6]- THE BOEING COMPANY TBC 767-300? VK 131- VK 133; "Auxiliary Power Unit " ; Print date Jul 19, 1990 .

[7]- SEGUIN SERGOT ; " SERSEG Catalogue Formulaire n° 73 " ; Première édition (1973) .

[8]- AEROSPATIALE, SOCIETE NATIONALE INDUSTRIELLE; "Dictionnaire des Techniques Aéronautiques et Spatiales Français-Allemand-Anglais " ; GAUTHIER - VILLARS (1980) .

[9]-A.KADI;"Bases de choix des unités de compression et de pompage : Application à la soufflerie à choc"; P.F.E promotion 1989.

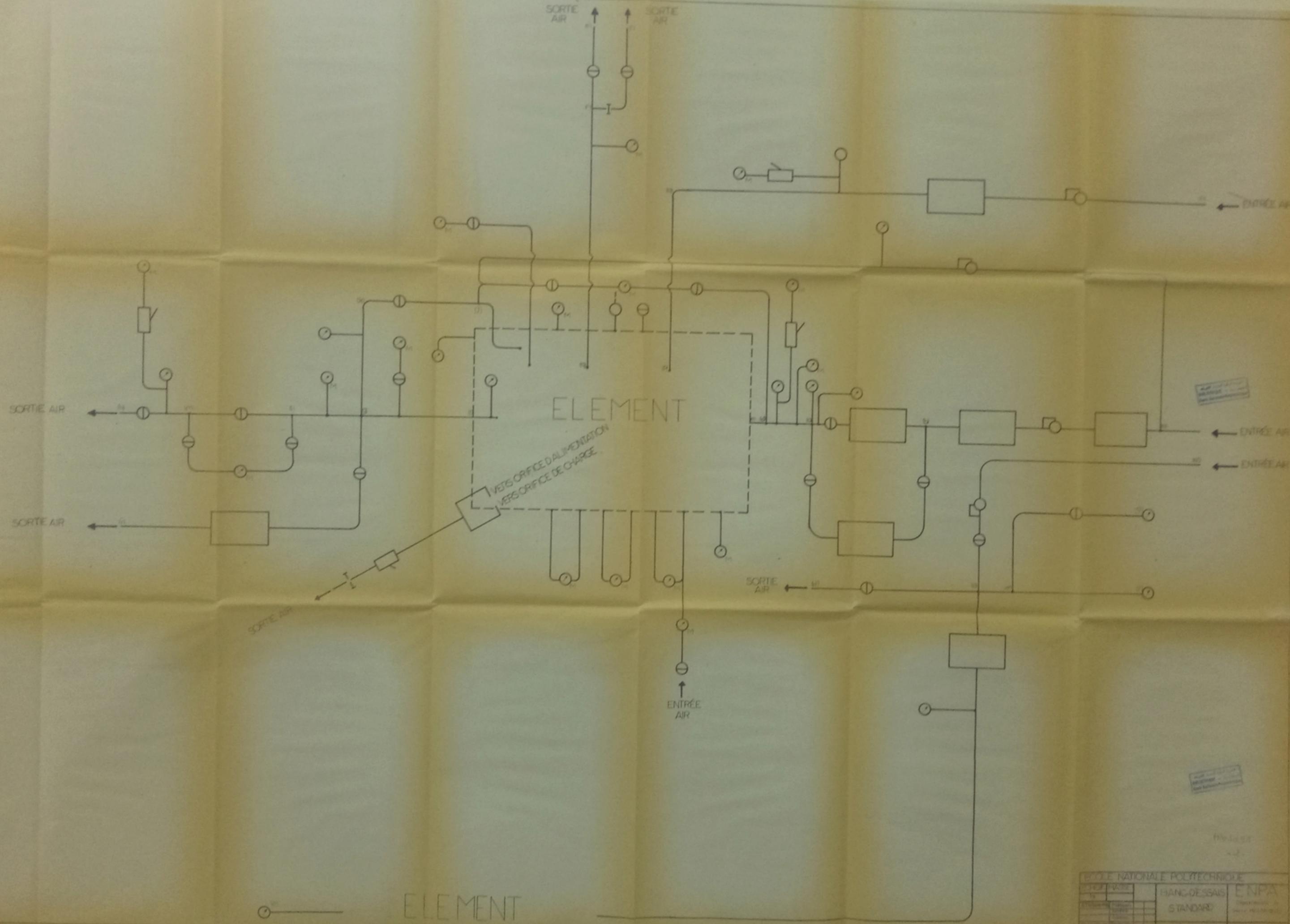


شركة هندسة ميكانيكية
 MECHANICAL ENGINEERING
 شركة كاديك الهندسية

شركة هندسة ميكانيكية
 MECHANICAL ENGINEERING
 شركة كاديك الهندسية

PRO 10 3A

ELEMENT



ELEMENT

ELEMENT

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE		
PROFESSEUR	DIANE DESSAIS	ENPA
ASSISTANT	STANDARD	
ÉLÈVE		

