

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA  
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR  
DEPARTEMENT D'AERONAUTIQUE



## Mémoire de fin d'études

*Pour l'obtention d'un diplôme  
D'études universitaires appliquées en Aéronautique  
Option : Avionique*

# Thème :

**Etude et Réalisation d'un banc d'essai  
de l'indicateur double pression  
d'avions type B767-300 et B737-800(NG).**

Réalisé par :

• Mr CHOUICHA MOHAMMED

Dirigé par :

• Promoteur : Mr BENOUAED  
• Co-promoteur : Mlle LADJEL

Promotion :

2003-2004



*Je dédie ce modeste travail à :*

*A mes très chers parents a qui je souhaite une longue vie pour leurs grand amour et leur encouragement.*

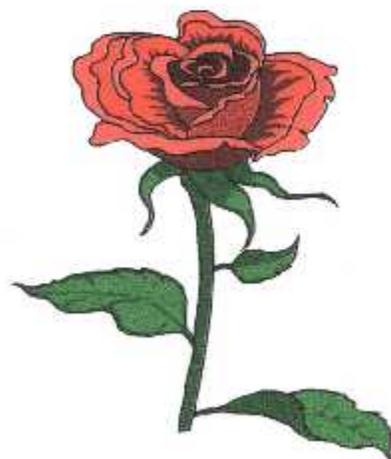
*A mes très chers frères et ma sœur.*

*A mes grands parents que dieu les protègent ainsi que toute la famille « CHOUICHA ».*

*A tout mes amis et ce qu'on aime surtout les amis de la cite 2.*

*A tout mes collègues, ainsi les profs de l'IAB et les techniciens de l'Air Algérie.*

- **Mr CHOUICHA MOHAMMED.**





*Je remercie :*

• *Tout d'abord le promoteur Mr BENOUARED, ainsi que le co-promoteur Mlle LADJEL.*

• *Mr LAFAR SALAH « ALHADJ ».*

• *MR HASNAOUI YAHYA.*

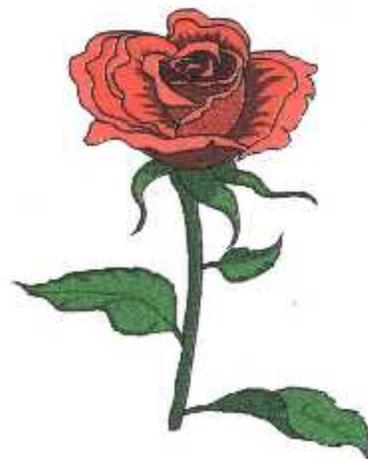
• *Mr BENADJOUR.*

• *Mr SBALHI FOADE.*

• *Mr SAFIA SALAH.*

*« Pour leurs aides et encouragements, ainsi que leurs conseils ».*

• *Tous les professeurs de l'IAB et surtout Mr KOUIDER ELOUAHED B.*



# *RESUME*

# RESUME



L'objet de notre projet porte sur l'étude et la réalisation d'un banc d'essai de l'indicateur double pression de conduite d'avions type B737-800 et B767-300, pour effectuer la maintenance et la réparation de l'indicateur au niveau des ateliers d'Air Algérie, ce banc d'essai a pour but de réduire considérablement le temps de recherche de panne, le contrôle du bon fonctionnement avant tout montage à bord et l'entretien en cas de panne (la réparation), tout en suivant les normes Aéronautique (Manuel du constructeur CMM ATA 36).

# SOMMAIRE

## INTRODUCTION GENERALE.

### CHAPITRE I : La pression et Capteurs de pression.

Introduction.....	01
I-1) Historique de la compagnie Air Algérie .....	01
I-1-1) Présentation de la compagnie Air Algérie .....	01
I-1-2) Evolution .....	01
I-1-3) La direction technique .....	03
I-1-4) Organigramme de la direction technique .....	03
I-1-5) Présentation du B767-300 et B737-800 .....	04
I-1-5-1) Présentation du B767-300.....	04
I-1-5-2) Présentation du B737-800 .....	06
I-2) Généralité sur la pression .....	07
I-2-1) Définition de la pression .....	07
I-2-2) La pression, grandeur physique .....	08
I-2-3) Tableau d'équivalence es divers unités de pression .....	08
I-2-4) Les différentes types de la pression .....	09
I-2-4-1) La pression atmosphérique.....	09
I-2-4-2) La pression relative .....	09
I-2-4-3) La pression absolue .....	09
I-2-4-4) Le vide .....	09
I-2-4-5) Pression pour les fluides .....	09
I-2-5) L'importance de la pression atmosphérique en aéronautique .....	10
I-2-5-1) L'influence sur la structure d'avion.....	10
I-2-5-2) L'influence sur les passagers .....	11
I-2-6) Variation de la pression par rapport à l'altitude .....	11
I-3) Principe de mesure de la pression .....	12
I-4) Prise de pression .....	12
I-5) Généralité sur les capteurs de pression .....	12
I-5-1) Capteur de pression .....	12
I-5-2) Domaine d'emploi .....	13
I-5-3) Grandeurs d'influence .....	13
I-5-4) Durée de vie d'un capteur.....	13
I-5-5) Les différentes types des capteurs de pression .....	13

Conclusion .....	22
<b><u>CHAPITRE II : Etude du transmetteur et l'indicateur double pression de conduite.</u></b>	
Introduction .....	23
Généralité .....	23
II-1) Le capteur de pression de conduite.....	23
-Système SELSYN .....	24
a) Composition et fonctionnement du transmetteur.....	24
b) Composition et fonctionnement du récepteur .....	28
c) Fonctionnement du SELSYN .....	29
d) Caractéristiques de la transmission SELSYN .....	30
II-2) Etude de l'indicateur double pression de conduite .....	31
II-2-1)Description et fonctionnement de l'indicateur .....	31
II-2-2)Description et opération du montage électronique de l'indicateur .....	35
II-2-2-1)Identification des signaux d'entrées et de sorties de l'indicateur .....	35
1) Le signal d'entrée gauche .....	35
2) Le signal de sortie gauche .....	35
3) Le signal d'entrée droite .....	35
4) Le signal de sortie droite .....	35
5) L'alimentation de l'indicateur .....	35
a) Etude de l'Alimentation intérieur de l'indicateur .....	37
a-1) Principe de fonctionnement de l'alimentation .....	37
a-2) Le schéma synoptique .....	37
a-3) Le schéma électrique de l'alimentation .....	37
a-4)Etude théorique .....	38
II-2-2-2) Etude du fonctionnement interne de l'indicateur .....	41
a)Schéma synoptique général du fonctionnement de l'indicateur .....	41
b)Etude détaillée du montage électrique de l'indicateur .....	41
b-1)Le signal gauche .....	41
b-2)Le signal droite .....	46
b-3)L'éclairage de l'indicateur double pression .....	50
Conclusion .....	50

### **CHAPITRE III : Etude et réalisation du banc d'essai.**

Introduction .....	51
III-1) Les Procédures de conception .....	51
III-1-1) Schéma synoptique général du banc d'essai .....	51
III-1-2) Identification des signaux d'entrées et de sorties du banc d'essai .....	52
III-1-3) Etude détaillée du schéma électrique du banc d'essai .....	52
a) Schéma synoptique détaillé du montage électrique du banc d'essai.....	52
a-1) Etude de l'alimentation du banc d'essai .....	54
a-2) Etude du pont de Wheatstone .....	58
a-3) Etude du montage différentielle du banc d'essai .....	59

III-1-4) Réalisation pratique du banc d'essai .....	62
a) Conception du circuit imprimé .....	62
b) Implantation des composants .....	63
III-1-5) Conception de la face avant et de la face arrière du banc d'essai .....	64
III-2) Les Procédures de test de l'indicateur .....	66
III-2-1) Les conditions de test de l'indicateur .....	66
III-2-2) Les équipements nécessaires au test .....	67
III-2-3) Organigramme de test de l'indicateur double pression .....	67
III-2-4) La Méthode de test .....	68
Conclusion .....	71

#### **CHAPITRE IV: La maintenance et la recherche de panne:**

Introduction .....	72
IV ) Maintenance et entretien .....	72
IV-1) Définition .....	72
IV-2) Maintenir .....	72
IV-3) Les objectifs de la maintenance .....	72
IV-4) Les types de maintenance .....	72
IV-4-1) Maintenance corrective .....	72
1) Définition .....	73
2) Organisation de la maintenance corrective .....	73
3) La mise en oeuvre de la maintenance corrective .....	73
IV-4-2) Maintenance préventive .....	74
1) Définition .....	74
2) Maintenance conditionnelle .....	74
3) Maintenance systématique .....	74
4) Organigramme de la maintenance préventive .....	74
IV-5) Les documents de maintenance (MANUELS) .....	74
IV-5-1) Documents de planification de maintenance (MDP) .....	75
IV-5-2) Manuel d'entretien d'avion (Air craft Manual Maintenance) (AMM) .....	75
IV-5-3) Manuel schématique système [(Système Schematic Manual) (SSM)] .....	76
IV-5-4) Manuel de diagramme câblage [(Wiring Diagram Manual) (WDM)] .....	77
IV-5-5) Catalogue partiel illustré [(Illustrated Part Catalog)(IPC)] .....	77
IV-5-6) Manuel de reportage défaut [(Fault Reporting Manual)(FRM)] .....	77
IV-5-7) Manuel de dépannage [(Trouble Shooting Manual)(TSM)] .....	77
IV-5-8) Construit en manuel d'équipement d'essai [(Built In Test Equipment Manual (BITE)] .....	77
IV-5-9) Manuel de réparation structurale [(Structural Repair Manual) (SRM)] .....	77
IV-5-10) Manuel de maintenance des composants [(Component .....	78

Maintenance Manual)(CMM]	
IV-6)Recherche de panne de l'indicateur double pression de conduite et .....78 la maintenance	
A)Les causes probables de la panne et les corrections possibles .....78	
B) Le contrôle de l'indicateur double pression (maintenance préventive .....82 type systématique)	
-Le Contrôle non destructive (le CND) .....82	
C)Réparation de l'indicateur double pression de conduite .....83 (maintenance corrective type curative)	
d) Réparation des cartes électroniques .....84	
Conclusion .....86	
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	
<b>ANNEXE</b>	
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	

## LISTE DES FIGURES



### CHAPITRE I : La pression et Capteurs de pression

Figure(I-1) : Organigramme de la direction technique	03
Figure (I-2) : Les dimensions du B767-300	05
Figure(I-3) : Caractéristiques du B737-800.	06
Figure(I-4-a) : L'avion à une altitude supérieure à 3000m	10
Figure (I-4-b) : Les contraintes au niveau des fibres constitutifs du revêtement de l'avion	11
Figure (I-5) : Structure d'une jauge piézorésistive diffusée	16
Figure (I-6) : Les aspects physique du capteur MPX 2200 AP	16
Figure (I-7) : Caractéristiques de sortie du MPX 2200 AP	17
Figure(I-8) : Schéma Synoptique de l'Autosyn.	17
Figure(I-9) : Schéma du Transmetteur et du Récepteur.	18
Figure(I-10) : Schéma électrique de l'autosyn.	18
Figure(I-11) : Schéma extérieur de l'autosyn.	19
Figure(I-12) : Le symbole d'un autosyn.	19
Figure(I-13) : Principe de fonctionnement du transmetteur.	20
Figure(I-14) : Principe de fonctionnement du récepteur.	20
Figure(I-15) : Coupe d'un autosyn.	21

### CHAPITRE II : Etude du transmetteur et de l'indicateur

Figure(II-1) : Schéma synoptique général de la chaîne de mesure.	23
Figure(II-2) : Schéma de principe du système SELSYN.	24
Figure(II-3) : Composition du Transmetteur.	25
Figure (II-4) : Alimentation des deux transmetteurs et l'indicateur	25
Figure (II-5) : L'emplacement du transmetteur gauche dans l'avion (B767-300 et B737-800NG)	26
Figure (II-6) : L'emplacement du transmetteur droite dans l'avion (B767-300 et B737-800 NG)	27
Figure(II-7) : Composition du Récepteur.	28
Figure (II-8) : L'emplacement de l'indicateur dans le cockpit (B767-300 et B737-800 NG)	29
Figure(II-9-a) : Fonctionnement du SELSYN 'Position repos'.	29
Figure(II-9-b) : Fonctionnement du SELSYN 'Position travaille'.	30
Figure (II-10) : Vu extérieur de l'indicateur a double pression de conduite	31
Figure (II-11) : Le montage de câblage d'interconnexion de l'indicateur.	34
Figure (II-12) : Le schéma électrique intérieur de l'indicateur	36

## Double pression

Figure(II-13) :Schéma synoptique de l'alimentation.	37
Figure(II-14) : Schéma globale du bloc d'entrée de l'alimentation.	38
Figure(II-15) : Tension du Secteur abaissée.	38
Figure(II-16) : Schéma du redressement par pont.	39
Figure(II-17) : L'allure de la tension redressée.	39
Figure(II-18) : Le circuit de filtrage.	40
Figure(II-19) : L'allure de la tension filtrée.	40
Figure(II-20) :Schéma Synoptique du fonctionnement interne de l'indicateur.	41
Figure(II-21) : Schéma électrique de ampli filtre 1.	42
Figure(II-22) : Schéma simplifier de l'ampli filtre 1.	42
Figure(II-23) :Courbe de gain en tension (GV1)de l'ampli filtre 1.	44
Figure(II-24) :Schéma électrique de l'ampli servo 1.	44
Figure(II-25) :Fonctionnement de la partie haute de l'ampli symétrique classe B.	45
Figure(II-26) : Fonctionnement de la partie bas de l'ampli symétrique classe B.	46
Figure(II-27) : Fonctionnement de l'ampli classe B.	46
Figure(II-28) : Schéma électrique de ampli filtre 2.	47
Figure(II-29) : Schéma simplifier de l'ampli filtre 2.	47
Figure(II-30) :Courbe de gain en tension (GV1)de l'ampli filtre 2.	49
Figure(II-31) :Schéma électrique de l'ampli servo 2.	49
Figure(II-32) : Le circuit d'éclairage de l'indicateur double pression.	50

## **CHAPITRE III : Etude et réalisation du banc d'essai**

Figure(III-1) :Schéma synoptique du banc d'essai de l'indicateur double pression de conduite.	51
Figure(III-2) : Schéma synoptique détaillé du montage électrique du banc d'essai.	52
Figure(III-3) :Schéma électrique détaillé du banc d'essai.	53
Figure(III-4) :Schéma synoptique de l'alimentation.	54
Figure (III-5) : Schéma électrique de l'alimentation du banc d'essai.	55
Figure(III-6) :Tension du secteur abaissée.	55
Figure(III-7) : Le Circuit de redressement.	56
Figure(III-8) : L'allure de la tension redressée.	56
Figure(III-9) : Le circuit de filtrage	57
Figure(III-10) : L'allure de la tension filtrée.	57
Figure(III-11) : Le schéma électrique de la régulation.	57
Figure(III-12) : L'allure de la tension réglée.	58

Figure(III-13) :Montage d'un pont de wheatstone.	58
Figure(III-14) : Schéma électrique du signal droite du banc d'essai.	59
Figure(III-15) : Schéma électrique simplifier du signal droite du banc d'essai.	60
Figure(III-16) :Circuit de l'ampli non inverseur.	60
Figure(III-17) : Circuit de l'ampli soustracteur de tension.	61
Figure(III-18) : Réalisation du circuit imprimé.	63
Figure(III-19) : Implantation des composants.	64
Figure(III-20) : La face avant du banc d'essai.	65
Figure(III-21) :La face arrière du banc d'essai.	65
Figure(III-22) : Organigramme de test de l'indicateur double pression.	68
Figure (III.23) : La mesure de la résistance de métallisation du boîtier.	70

#### **CHAPITRE IV :Recherche de panne et maintenance**

Figure(IV-1) : Organigramme de la maintenance	72
Figure(IV-2) : Organisation de la maintenance corrective.	73
Figure(IV-3) : Organigramme de la maintenance préventive.	74
Figure (IV-4) : La carte électronique d'alimentation d'énergie.	84
Figure (IV-5) : La carte électronique d'amplificateur servo.	85

*INTRODUCTION*  
*GENERALE*

# INTRODUCTION GENERALE

Depuis ses origines, l'aéronautique est en évolution permanente. Dans un premier temps, l'aéronautique et la motorisation ont permis d'améliorer les performances de nos avions. De nos jours, ce sont principalement les équipements à base d'électronique et d'informatique qui permettent d'améliorer et d'optimiser le vol. les équipements de bord se sont modernisés en utilisant les techniques nouvelles.

L'aviation générale bénéficie, certes avec un peu de retard par rapport à l'aviation commerciale, de cette révolution technologique.

Beaucoup ont compris qu'en dehors d'avoir la joie de piloter, il y avait aussi comme intérêt d'utiliser l'avion comme un moyen de transport et d'évasion. Les besoins de voyages ont des raisons divers, le besoin de culture ou la curiosité touristique, le goût de l'exploit, le commerce, pour cela il faut assurer la sécurité des passagers et d'avions au niveau le plus haut (navigabilité), il faut faire la maintenance et la recherche de panne (banc d'essai)des équipements de bord.

Quand on parle du bon fonctionnement de tel équipement de bord d'avion, on vise bien la sécurité des passagers et d'avions, donc il fallait absolument bien comprendre le fonctionnement interne pour faire la maintenance et la recherche de panne en vue d'établir un matériel à son potentiel de performance et de disponibilité à un niveau fixé par l'autorité responsable (l'état).

Pour cela nous choisissons la réalisation du banc d'essai de l'indicateur double pression de conduite et pour le bien comprendre nous suivons les étapes suivantes :

Tout d'abord, le première chapitre est consacré à la pression et Capteurs de pression, nous commençons par une présentation de la compagnie d'accueil (Air Algérie), la pression car l'organisme de l'être humain est sensible aux variation de la pression, puis le principe de mesure de la pression, prise de pression, et en fin les capteurs de pression.

En suite, le deuxième chapitre est consacré à l'étude du transmetteur (le capteur) et l'indicateur double pression de conduite c'est-à-dire la chaîne de mesure en se basant sur le fonctionnement interne car c'est un élément très important dans notre projet de fin d'étude.

Dans le troisième chapitre, nous parlons d'étude et réalisation du banc d'essai en commençant par les procédures de conception, les éléments d'entrée et de sortie du banc d'essai, étude du montage électrique, la réalisation du circuit imprimé, après les procédures de test de l'indicateur, les conditions de test et en fin la méthode de test.

Le dernier chapitre est consacré à la recherche de panne et la maintenance, nous avons commencé par la définition de la maintenance en citons leurs types, ensuite les différents manuels de maintenance, puis la recherche de panne de l'indicateur et la maintenance, les causes probables de la panne et les corrections possibles, le contrôle non destructive (CND) 'maintenance préventive', et en fin la réparation de l'indicateur 'maintenance corrective'.

En fin nous terminons notre travail par une conclusion générale.

# ABREVIATION



CI	Circuit intégré
P	Pression
F	Force
p	Masse volumique du fluide
g	L'accélération de la pesanteur
h	La hauteur
Pc	Pression cabine
Pa, Pex	Pression ambiante
XFMR	Transformateur
XSTR	Transistor
VAC	Tension alternative
VDC	Tension continue
BITE	Test incorporé au système
9B, 9C	B767-300, B737-800
9A	A310
S1, S2	Interrépture (switch)
PSI	Unité de mesure de pression en aéronautique
JAR145	Réglementation aéronautique européen (Organisme de maintenance )

# CHAPITRE I

## La pression et Capteurs de pression



**Introduction :**

Dans ce chapitre on va voir l'étude détaillée de la pression et les Capteurs de pression. On commence notre étude par la présentation de la compagnie d'accueil Air Algérie, ces évolutions, la direction technique, puis la description des deux avions B737-800 et B767-300, après la pression et sont importance, le principe de mesure de la pression, prise de pression et en fin les Capteurs de pression.

**I-1) Historique de la compagnie Air Algérie :****I-1-1) Présentation de la compagnie Air Algérie :**

La compagnie Air Algérie a été créée en 1947 pour l'exploitation du réseau du lignes aériennes entre l'Algérie et la France . Ce même réseau était desserti par société Air transport dont les lignes s'étendaient jusqu'à l'ex Afrique occidentale française .

**En 1953 :** A la suite de la fusion de ces deux organismes ; la compagnie générale de transport (Air Algérie) entre en activité.

**En 1963 :** Air Algérie devient compagnie nationale sous la tutelle du ministère du transport.

**I-1-2) Evolution :**

**En 1954 :** Air Algérie transports 100 000 passagers avec une flotte composée de quatre (04 avions conventionnels à piston Douglas de 4).

**En 1956 :** L'introduction des lockhund « constellation » porte le nombre à dix (10) et le nombre de passagers transporté est de 230 000.

**En 1957 :** Acquisition de deux (02) autres DC4, ainsi que (02) autres DC4 500 Tonnes de fret.

**En 1959 :** Mise en service de la première caravelle, avions propulsés par du turboréacteurs.

**En 1962 :** A cette date, la flotte se compose de :

- 08 caravelles.
- 10 Douglas.
- 03 Douglas DC3.

**En 1966 :** Nationalisation totale du personnel navigant commercial .

**En 1968 :** Les actions détenues par les sociétés étrangères sont rachetées acquisition de quatre (04) convairs 640 et retrait des DC4 et DC3.

**En 1971 :** Mise en service des premier « super jet » Boeing. La disponibilité du personnel navigant Algérien permettrait la composition des premiers équipages **entièrement algériens**

**En 1972 :** Réalisation au sien des ateliers de maintenance de Dar El Beida de la première grande visite sur un appareil de type caravelle.

**En 1973 :** Achat du deuxième et troisième Boeing 727-200.

**En 1975 :** Toute est renouvelée, Air Algérie sera la première compagnie du tiers monde à se placer dans le rang des plus grandes compagnies mondiales.

**En 1980 :** La flotte s'enrichit d'une nouvelle race d'avion, l'Airbus de type gros porteur pour satisfaire les clients tant au niveau national qu' international.

**En 1984 :** La nationalisation du personnel navigant technique. Quatre vingt huit pour cent de l'effectif du personnel de conduite est composé de nationaux (88%).

Elle dispose actuellement de :

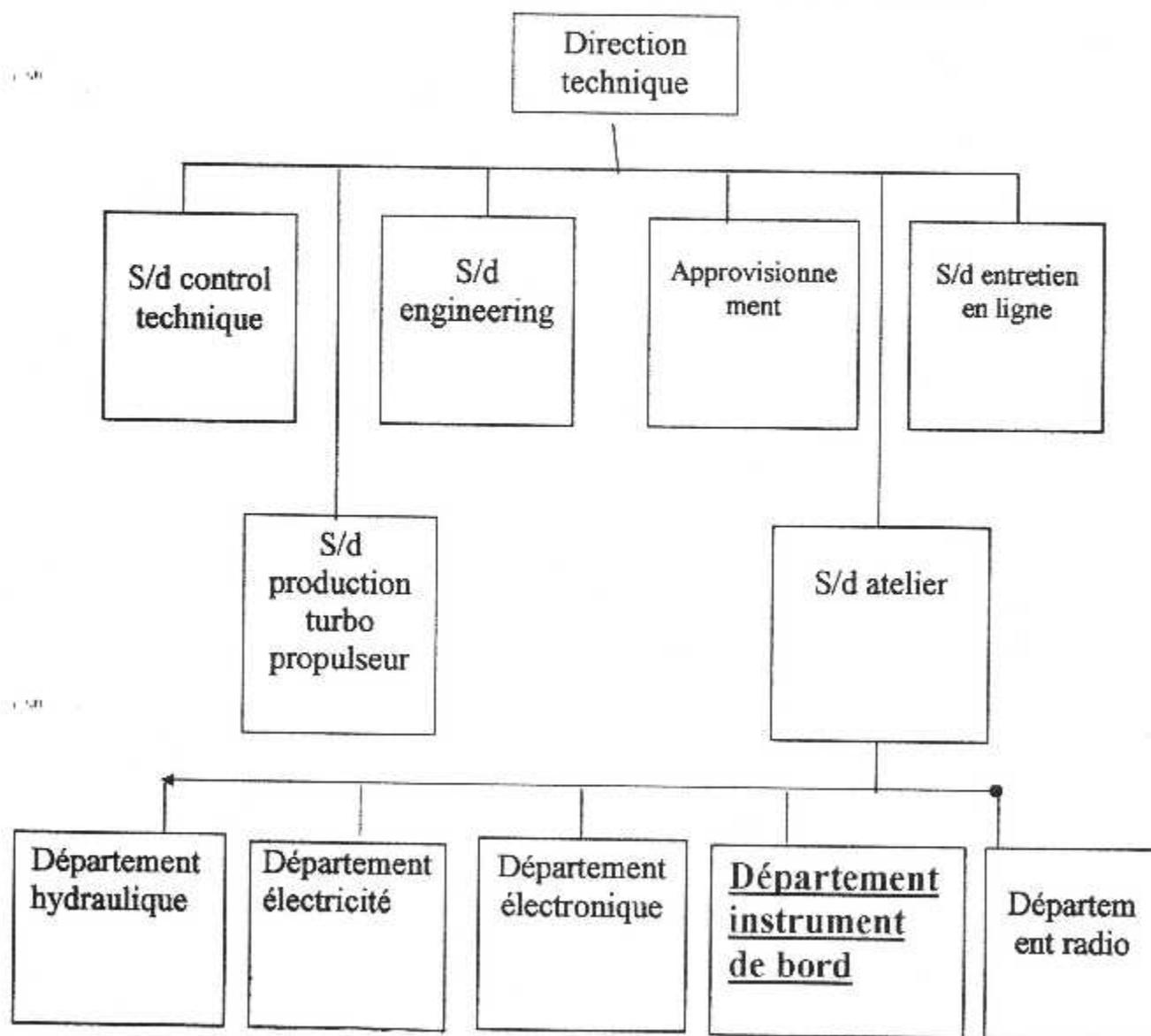
- 02 Airbus 310-200.
- 08 Boeing 727-200.
- 10 Boeing 737-200.
- 03 Boeing 767-300.
- 08 Fokker.
- 07 Boeing 737-800.
- 05 Boeing 737-600.

Pour l'activité cargo, l'entreprise est dotée d'un Boeing 737 d'une capacité de treize tonnes et d'hercule d'une capacité de vingt et un tonnes (21) chacun.

L'évolution de la compagnie c'est fait par l'adjonction d'unités ou d'activités issues de diverses restrictions. Air Algérie est organisé par plusieurs directions et la plus importante c'est la direction technique.

**I-1-3) LA DIRECTION TECHNIQUE :**

Pour faire face à l'impératif de sécurité et pour prolonger la durée de l'exploitation, des appareils de la flotte, une politique de maintenance doit être mise en oeuvre. C'est précisément le rôle de la direction technique au sein d'air Algérie, installée au niveau de l'aéroport HOUARI BOUMEDIENNE situé à l'Est de la capitale à une distance de 20 Km et s'étend sur une surface de 2400ha. La direction technique à son tour est divisée en sous direction qui sont au nombre de neuf, représentées sur un organigramme.

**I-1-4) ORGANIGRAMME DE LA DIRECTION TECHNIQUE :****FIGURE (I-1) : ORGANIGRAMME DE LA DIRECTION TECHNIQUE**

**I-1-5)Présentation du B767-300 et B 737-800 :****I-1-5-1) Présentation du Boeing 767-300 :**

Le Boeing 767-300 est un avion moyen et long courrier , équipé de deux (02) réacteur GENERAL ELECTRIC CF6-80-C2 FADEC situés sous les ailes de part et d'autre du fuselage .

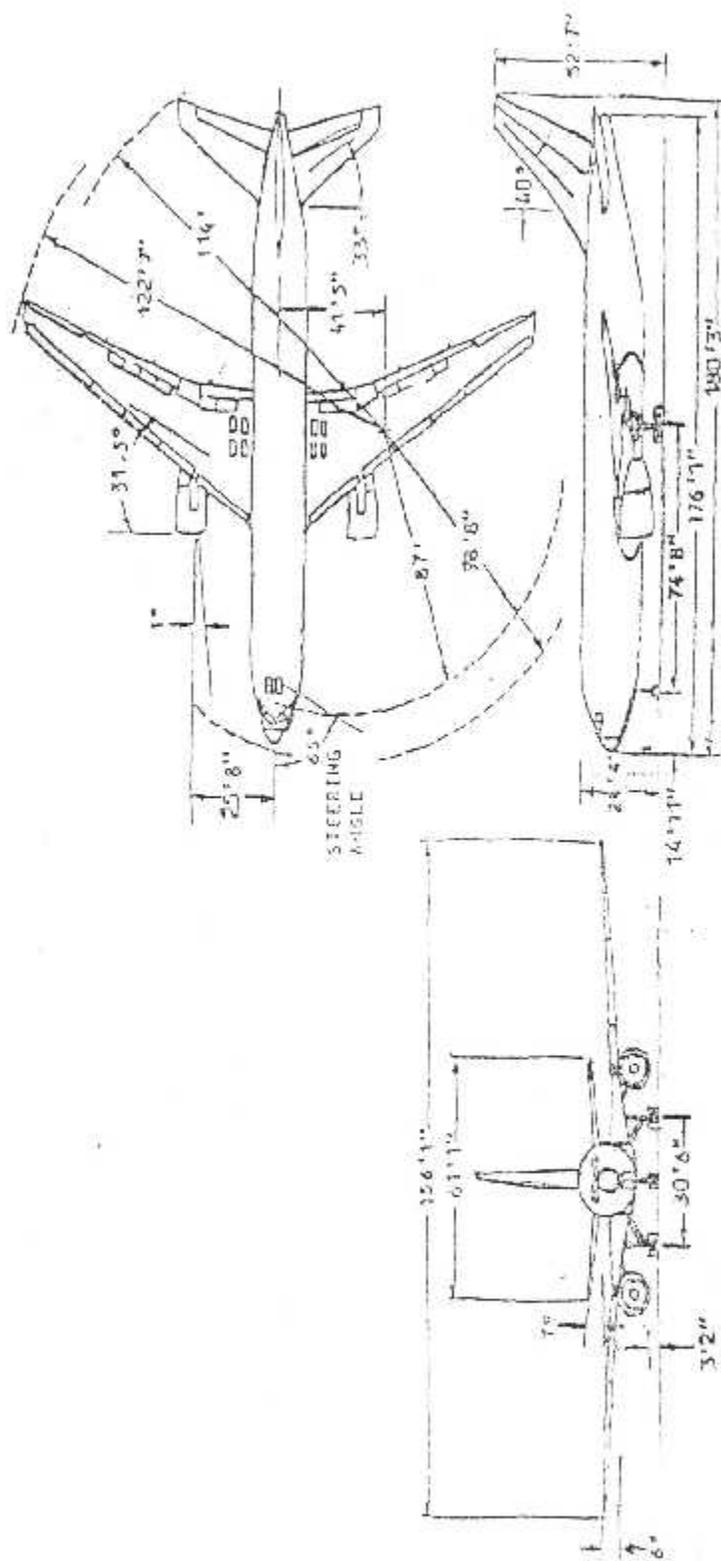
**Caractéristiques :**

Longueur totale	53,67 mètres
Largeur du fuselage	4,72 mètres
Hauteur	15,85 mètres
Voie	9,30 mètres
Altitude maximale de croisière	12 500 mètres
Rayon d'action	12 200 Km
Vitesse de croisière	980 Km /heure

**Tableau (I-1) :Caractéristiques du B767-300****Configuration :**

Première classe	14 sièges
Classe affaire	32 sièges
Classe économique	209 sièges
Nombre total de sièges	265 sièges

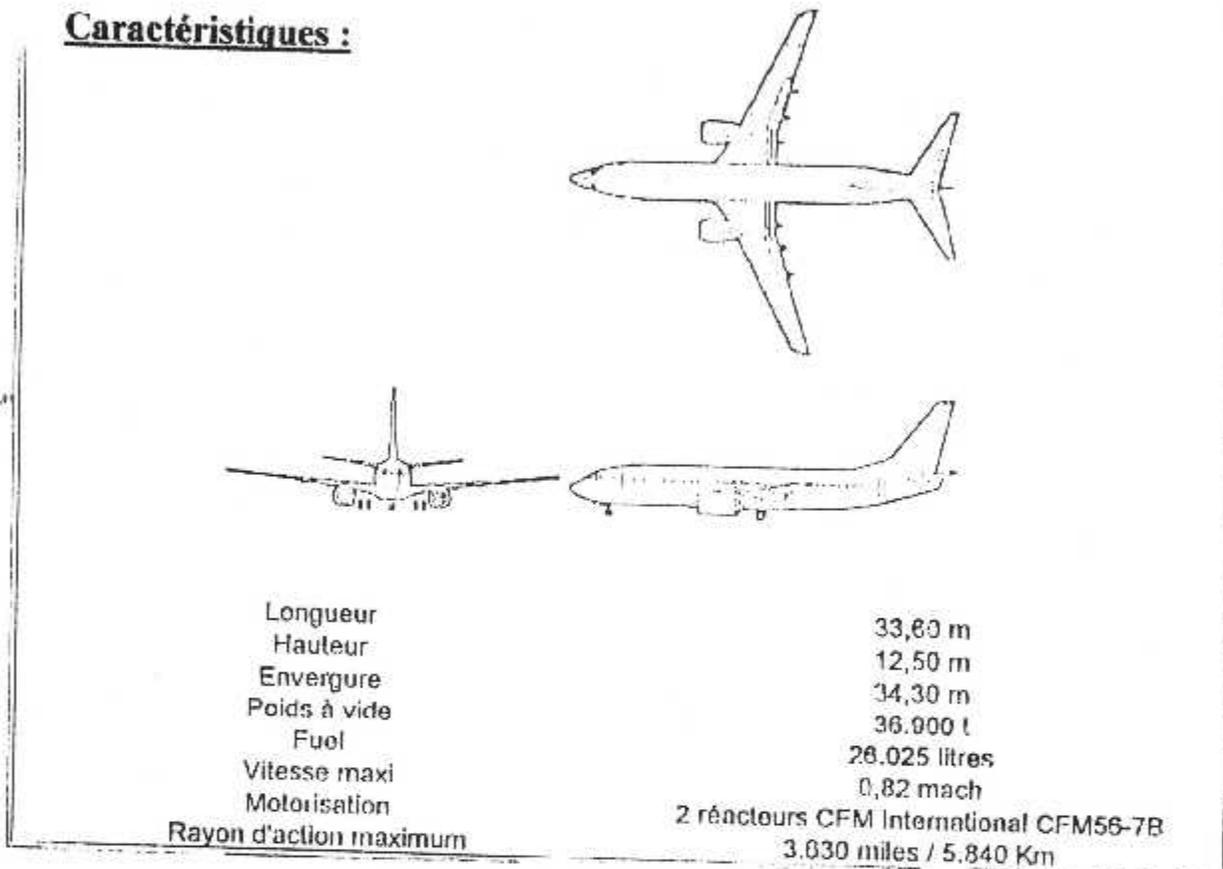
**Tableau (I-2) :Configuration du B767-300**



**Figure (I-2) : Les dimensions du B767-300**

**I-1-5-2) Présentation du Boeing 737-800 :**

Le Boeing 737-800 est un avion moyen courrier, équipé de deux (02) réacteur CFM56-7b27 situés sous les ailes de part et d'autre du fuselage.

**Caractéristiques :**

**Figure(I-3) : Caractéristiques du B737-800.**

**• Equipage :**

- Un pilote (commandant).
- Un copilote (first officier).
- Un ou deux observateurs éventuels.
- Dans la cabine trois (03) assistants.
- Réseau domestique et international.

**Configuration :**

Nombre total de sièges : 163 siège.

## 1-2) Généralité sur la pression :

### 1.2-1) Définition de la pression :

Un corps liquide ou gazeux enfermé dans un récipient, qu'il remplit entièrement, exerce sur toutes les parois de celui-ci une force dite de pression. La pression est une grandeur dérivée du système international. Elle est définie comme le quotient d'une force par une surface.

Ce quotient est indépendant de l'orientation de la surface. La pression s'exerce perpendiculairement à la surface considérée.

La pression, tout comme la température, la vitesse ou le débit, intervient, en tant que variable, dans les phénomènes liés aux fluides liquides ou gazeux, de même les solides exercent ou subissent des pression.

Ces disciplines se rapportent à l'ensemble de nos activités mais si l'on ne considère que les applications industrielles, ou se posent, surtout des problèmes de mesure dont la mesure de la pression, on constate déjà qu'à lui seul le domaine énergétique absorbe une grande partie des capteurs de pression produits.

La pression est un paramètre important qui intervient dans le contrôle et la commande des unités de production automatisées ou piloté par des opérateurs humains.

Sa mesure sert aussi, en robotique, soit directement dans les asservissements, soit indirectement comme un succédané du toucher (peau artificielle par exemple), pour la reconnaissance des formes ou la détermination des forces de pression.

Toute ces activités font appel à des chaînes instrumentales dont les capteurs de pression sont le premier maillon. celui-ci délivre les données relatives aux pressions de l'air comprimé, des gaz, de la vapeur ou autre fluide, déterminant le bon fonctionnement de machine, mécanismes ou systèmes conditionnant le déroulement d'un processus.

Chaque capteur devrait s'adapter aussi parfaitement que possible au problème posé, qu'il s'agisse de la production, du transport ou de la recherche, entraîne certes une grande diversité des capteurs. Cette diversité est due également au fait que la grandeur « pression » recouvre un domaine très étendu allant de l'ultravide aux ultra hautes pressions. Elle peut être exprimé en valeur absolue (par rapport au vide) ou en valeur relative (par rapport à la pression atmosphérique).

**I-2-2) La pression, grandeur physique :**

Un corps liquide ou gazeux enfermé dans un récipient, qu'il remplit entièrement, exerce sur toutes les parois de celui-ci une force dite de pression. Celle-ci dépend de la nature du fluide, du volume qu'il occupe avant et après remplissage c'est à dire des conditions de transfert et, enfin, de la température.

Du point de vue phénoménologique la pression  $p$ , en tant que paramètre macroscopique, se définit à partir de la force  $df$ , exercée normalement à un élément de surface  $ds$  de la paroi, par le fluide contenu dans le récipient  $p$ ,  $df$  et  $ds$  sont liés par la relation

$$P = df / ds \quad (1)$$

Ce quotient est indépendant de l'orientation de la surface élémentaire  $ds$  et ne dépend que de sa position dans le fluide.

Les fluides sont également soumis à la force de pesanteur : c'est pourquoi, dans le cas d'une colonne liquide par exemple contenue dans un tube ouvert, placé verticalement, la pression en un point  $M$ , à la distance  $h$  de la surface libre, est égale à la pression atmosphérique  $p_0$  augmentée du poids de la colonne s'exerçant sur l'unité de surface, soit :

$$P = P_0 + \rho \cdot g \cdot h \quad (2)$$

$\rho$  étant la masse volumique du fluide et  $g$  l'accélération de la pesanteur à l'endroit de la mesure. De même, pour un fluide soumis à une accélération quelconque, il y a lieu de tenir compte de l'influence de la force d'inertie sur la pression.

**I-2-3) Tableau d'équivalence des divers unités de pression :**

La relation  $p = df/ds$  définit, à la fois, la pression et l'unité de pression en tant qu'unité dérivée. Cette unité, le pascal (Pa), correspond dans le Système International (S.I.) à une pression uniforme exerçant sur une surface de un mètre carré, une force totale de un newton. La pression d'un pascal étant relativement faible on utilise de préférence pour la mesure des pressions dans l'industrie son multiple le bar valant  $10^5$  pascals.

La pression atmosphérique normale correspond à une hauteur de colonne de mercure de 760 mm à  $0^\circ\text{C}$  et sous l'accélération normal de la pesanteur  $g = 9,8066 \text{ m/s}^2$ , elle est égale à 101325 pa, est exprimé souvent en millibar, un millibars étant égale à 100 pascals le tableau ci dessous montre l'équivalence entre les divers unités.

Unités de la pression	Pascal	Bar	atmosphère	Psi	m Bar
1 Pascal	1	$10^{-5}$	$0,9869 \cdot 10^{-5}$	$0,1451 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}$
1 Bar	$10^5$	1	0,9869	14,51	1000
1atmosphère	101325	1,013	1	14,70	1013
1 Psi	6890	$6,89 \cdot 10^{-2}$	0,0068	1	68,947
1 mbar	100	$1 \cdot 10^{-3}$	$0,986 \cdot 10^{-3}$	0,01451	1

**Tableau (I-3): L'équivalence des divers unités de la pression**

**I-2-4) Les différentes types de la pression :**

**I-2-4-1) La pression atmosphérique :**

La pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer, à 15 °C, est de 1013 mbar. Elle peut varier, de  $\pm 25$  mbar, avec la pluie ou le beau temps. Elle est aussi en fonction de l'altitude (hydrostatique).

**I-2-4-2) La pression relative :**

C'est la différence de pression par rapport à la pression atmosphérique. C'est la plus souvent utilisée, car la plupart des capteurs, soumis à la pression atmosphérique, mesurent en relatif. Pour mesurer en absolu, il leur faut un vide poussé dans une chambre dite de référence. Exemple : La pression de gonflage d'un pneu de voiture.

**I-2-4-3) La pression absolue :**

C'est la pression réelle, dont on tient compte dans les calculs des gaz. Elle est comptée à partir de zéro.

Remarque : on peut rajouter 1 bar à la pression relative pour avoir une approximation de la pression absolue.

**I-2-4-4) Le vide :**

Le vide est une pression inférieure à la pression atmosphérique. Le vide parfait correspond théoriquement à une pression absolue nulle. Il ne peut être atteint, ni dépassé. Quand on s'en approche, on parle alors de vide poussé.

**I-2-4-5) Pression pour les fluides (liquide et gaz) :**

Les fluides sont également soumis à la force de pesanteur. C'est pourquoi par exemple, dans le cas d'une colonne liquide, contenue dans un tube ouvert, placé

verticalement, la pression en un point M, à la distance h de la surface libre, est égale à la pression atmosphérique  $P_0$  augmentée du poids de la colonne s'exerçant sur l'unité de surface. De même, pour un fluide soumis à une accélération quelconque, il y a lieu de tenir compte de l'influence de la force d'inertie sur la pression.

### I-2-5) L'importance de la pression atmosphérique en Aéronautique :

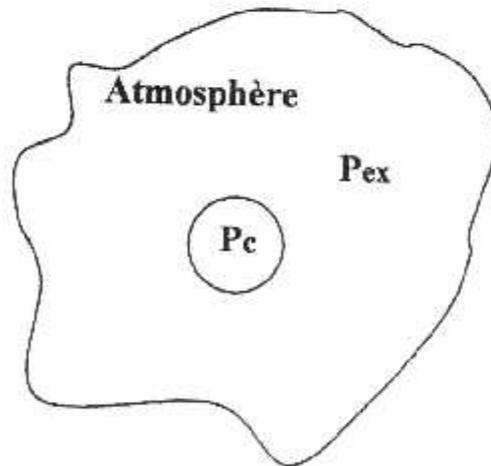
Elle se distingue dans ces divers influences

#### I-2-5-1) L'influence sur la structure d'avion :

L'avion à une altitude Z supérieur à 3000m est comme un ballon gonflé parce que la pression cabine qui notée  $P_c$  est supérieur à la pression extérieur qui est la pression ambiante exercée par l'atmosphère sur avion et qui est notée  $P_a$  (ou  $P_{ex}$ ) voir la figure(I-4-a). L'explication de ce phénomène est que l'avion à une altitude Z (supérieur à 3000m) l'intérieur de la cabine est maintenue à une pression correspondante à une altitude de l'ordre de 2500 à 3000m. On appelle ce phénomène le principe de pressurisation d'un avion, cette pressurisation gonfle la cabine par rapport à la pression ambiante  $P_a$  et produit des contraintes au niveau des fibres constitutifs du revêtement de l'avion. Une tranche du revêtement est soumise à deux contraintes :

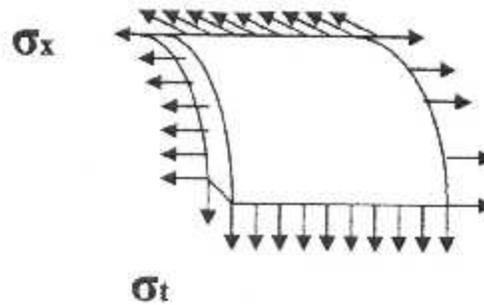
La contrainte longitudinale qui est notée  $\sigma_x$ .

La contrainte tangentielle qui est notée  $\sigma_t$  voir la figure(I-4-b)



$$\Delta P = P_c - P_{ex}$$

Figure(I-4-a) : L'avion à une altitude supérieure à 3000m



**Figure (I-4-b) : Les contraintes au niveau des fibres constitutives du revêtement de l'avion**

**I-2-5-2) L'influence sur les passagers :**

L'organisme humain est sensible aux variations de la pression  $p$ , si la pression cabine  $P_c$  diminue au-dessous de 1013 mb en une minute tout se passe comme si la cabine est montée de 0 à 500 Ft soit une vitesse verticale cabine de :

$V_{zc} = 500 \text{ Ft/min}$  avec  $1 \text{ Foot} = 30,68 \text{ cm}$

Montée confort 500 Ft/min acceptable perceptible à 1000 Ft/min.

Décente confort = 300 Ft/min perceptible à 500 Ft/min.

**I-2-6) Variation de la pression par rapport à l'altitude :**

Un corps solide à une altitude  $Z_1$  par rapport au sol, subit une pression sur lui, dont sa valeur dépend du poids de l'air appliqué sur ses parois.

L'expérience des études météorologiques montre que le déplacement d'un corps vers le haut en un point  $Z_2 > Z_1$  provoque une diminution de cette pression.

Le tableau ci-dessous montre que pour des valeurs croissantes d'altitude on a des valeurs décroissantes de pression.

Altitude (Pied)	Pression (mb)
50	1001,4
1773	950
3243	900
4781	850
6394	800
8091	750
10000	696,8
13801	600
15962	550

**Tableau (I-4) : Variation de la pression par rapport à l'altitude**

**I-3) Principe de mesure de la pression :**

Pour un fluide immobile, la mesure de la pression se ramène à la mesure de la force  $F$  s'exerçant sur la surface  $S$  d'une paroi de séparation de deux milieux dont l'un contient le fluide, objet de la mesure. On peut considérer trois cas :

a) La mesure à travers une prise de pression, dite à la paroi est constituée habituellement par un orifice de section droite circulaire percé dans la paroi tel que la prise est reliée à un instrument de mesure.

b) La mesure directe de la déformation de la paroi soumise à l'action de la pression.

c) La mesure au moyen d'un capteur de pression convertissant le signal d'entrée (grandeur mécanique) qui la pression en un signal de sortie électrique contenant l'information relative à la valeur de la pression et sa variation dans le temps.

**I-4) Prise de pression :**

Etant donnée la possibilité d'utiliser comme instrument de mesure un capteur doit être placé aussi près que possible de la paroi, l'erreur de mesure dite erreur de réaction due à la présence de l'instrument de mesure faible, à condition que le volume de la prise (canal) et éventuellement, du capteur soit négligeable par rapport au volume total du fluide en pression ou en dépression.

**I-5) Généralité sur les capteurs de pression :****I-5-1) Capteur de pression :**

Le corps d'épreuve d'un capteur de pression est le plus souvent un élément dynamométrique dont un paramètre, géométrique par exemple, peut varier sous l'action d'une force  $F = P.S$  (3).

Dans le cas d'un tube de la pression  $P$  (N/m) appliquée provoque, à la fois, un allongement axial et une dilatation radiale .

En convertissant ces allongements grandeurs mécaniques intermédiaires en un signal électrique, un tel tube, équipé avec les moyens de traduction électrique constitue l'entité capteur.

**I-5-2) Domaine d'emploi :**

Un capteur de pression est d'abord caractérisé par son domaine d'emploi, et la fiabilité qui correspond à ce domaine. La pression, elle peut être en fonction du temps : quasi stationnaire dans le cas d'une pression statique ou lentement variable elle peut, dans le cas d'une pression dynamique, subir des variations plus ou moins rapides. Pour pouvoir suivre les évolutions, le capteur doit avoir :

- Une fréquence propre élevée, correspondons à une grande rapidité de réponse.
- Une finesse suffisante qui évite l'intégration des fluctuations sur la surface du corps d'épreuve.

• Démodulation du signal de sortie le cas d'une onde de pression de durée  $\Delta t$  et de vitesse  $v$  se déplaçant devant une membrane dont le diamètre  $D$  est supérieure au produit de la vitesse et la durée  $D > v \cdot \Delta t$ .

• Une autre donnée essentielle est la valeur que peut prendre la pression : C'est elle qui impose l'étendue de mesure (0-10 bar, 0-500 bar, -ou-500 mb...) étendue pour laquelle les indications sont comptables avec la précision souhaitée. Cette précision peut se trouver limitée par des erreurs de linéarité ou par l'hystérésis (retard de l'effet sur la cause dans le comportement des corps soumis à une action physique).

**I-5-3) Grandeurs d'influences :**

Les grandeurs d'influences (vibrations, accélération, chocs, température, humidité, ...etc.) peuvent altérer les qualités mécaniques du capteur ou induire les erreurs entraînant une incertitude accrue sur la valeur mesurée de la pression.

**I-5-4) Durée de vie d'un capteur :**

Un capteur doit conserver dans le temps ses caractéristiques métrologiques. Sa durée de vie peut se définir, outre les impératifs que peut impliquer son stockage, par le nombre de cycles, correspondant son étendue de mesure, pouvant être appliqués sans altération de la précision (résistance à la fatigue). Ce nombre décroît au moins d'un facteur de dix avec la surcharge du capteur. En fixant la probabilité à 0,9 on peut avancer une valeur moyenne de 10 000 cycles pour un capteur surchargé et de  $10^6$  cycles pour un capteur soumis à des variations de pression de dépassant pas son domaine nominal, en pratique, on peut trouver des durées de vie de l'ordre de 100000 cycles pour des membranes au silicium mais aussi de  $10^9$  cycles pour certains capteurs à tubes ou spéciaux.

**I-5-5) Les différentes Types des Capteurs de pression :**

**Tableau (I-5) : Les différents types des Capteurs et transmetteurs de pression**

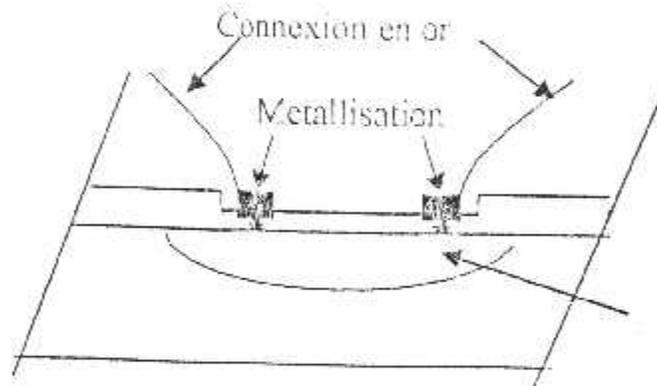


Modèle	Description	Image
<u>PM1000</u>	Fiche-Sur L'Affichage Local	
<u>PX01-I</u>	raccordements courants très élevés de NPT de capteur de rendement d'exactitude, 7/16-20 ou 1/4	
<u>PX01-IHEAD</u>	transmetteur de pression très haut d'exactitude avec le carter d'amplificateur protégé par allègement	
<u>PX02-BAR</u>	Baromètre Électronique D'Exactitude Élevée	
<u>PX02-I</u>	raccordements courants élevés de NPT de capteur de rendement d'exactitude, 7/16-20 ou 1/4	
<u>PX02-SERIES</u>	haut transmetteur de pression d'exactitude avec le carter d'amplificateur protégé par allègement	

<p><u>PX103-I</u></p>	<p>L'Emetteur Rincez De Diaphragme, Pièces Mouillées D'Acier inoxydable, Montant Des Garnitures Disponibles</p>	
<p><u>PX12F-I</u></p>	<p>haut transmetteur de pression de Reliability dans le boîtier scellé</p>	
<p><u>PX157</u></p>	<p>émetteur de différence de pression de Wet/Wet, acier inoxydable et construction de laiton</p>	
<p><u>PX177</u></p>	<p>transmetteur de pression, câble ou connecteur compact DIN pour l'absolu et les pressions scellées</p>	
<p><u>PX182</u></p>	<p>capteur de pression résistant de corrosion économique avec le rendement courant</p>	
<p><u>PX205 and PX215</u></p>	<p>la couche mince 4-20 mA a produit le transmetteur de pression pour la jauge et la pression absolue</p>	
<p><u>PX2088</u></p>	<p>Transmetteur De pression Futé Industriel, Fiabilité À long terme</p>	
<p><u>PX22-I</u></p>	<p>capteurs sanitaires d'aile horizontale, 2" modèle de Tri-Clover, haute température, rendement de 4-20 mA</p>	
<p><u>PX238</u></p>	<p>exactitude élevée, bas capteur de pression absolue avec 4 à 20 mA ou 0 à 5 sorties de volts continu</p>	

### 1) Les Capteurs de pression les plus utilisés (célèbres) :

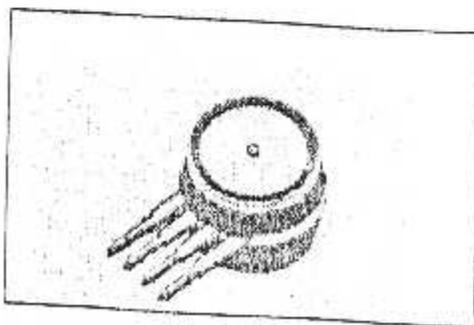
**1-1) Jauges à piézorésistances diffusées :** le signal obtenu avec les jauges à couches minces ne dépasse guère une vingtaine de millivolts dans l'étendue de mesure nominal d'un capteur. Il peut être décuplé avec des jauges à piézorésistances diffusées dans un substrat de silicium, ce dernier étant utilisé directement pour la constitution du corps d'épreuve ; membrane ou barreau dynamométrique, par exemple, le silicium a été choisi en raison de la parfaite élasticité de ces monocristaux assurant une hystérésis négligeable, et aussi, à cause de ses propriétés semi-conductrice et piézorésistances permettant la réalisation, par diffusion, d'un ensemble de jauges pouvant former un pont. Le substrat cristallin assurant la conversion de la pression appliquée en contraintes interne et du types N. Les impuretés du type P sont diffusées dans les zones dont l'orientation par rapport aux axes cristallins assure une bonne sensibilité par la combinaison des contraintes développées par la déformation du substrat.



**Figure (I-5) : Structure d'une jauge piézorésistive diffusée**

### 1-2) Le MPX 2200 AP :

Le capteur est de marque MOTOROLA et de référence MPX 2200 AP. Son aspect physique est représenté en figure (I-6).



NOTE: Pin 1 is the notched pin.

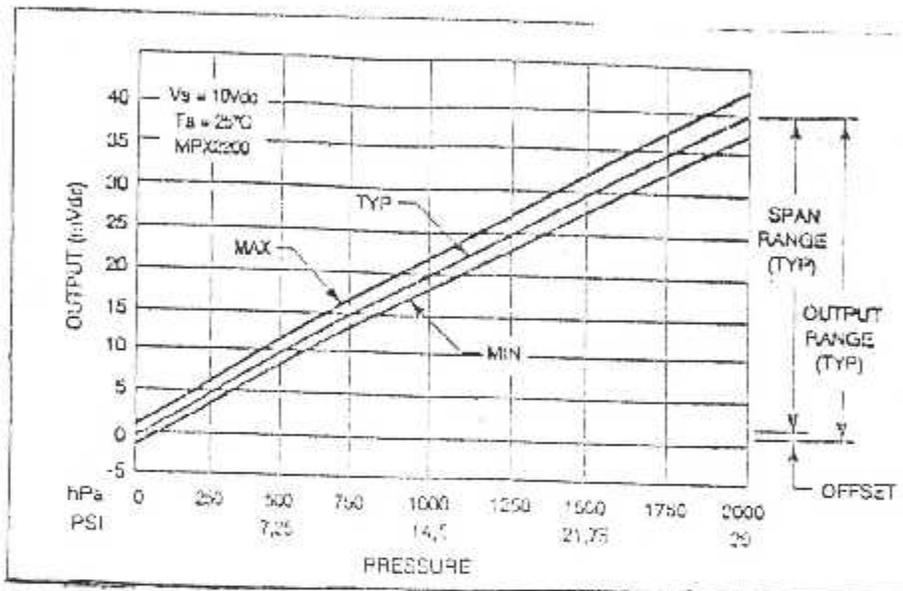
PIN NUMBER			
1	Gnd	3	$V_g$
2	$+V_{out}$	4	$-V_{out}$

**Figure (I-6) : Les aspects physiques du capteur MPX2200AP.**

Ce capteur mesure le poids de l'air appliqué sur un élément piézo-résistif inséré dans un pont de mesure.

La tension de sortie du capteur est directement proportionnelle à la tension qui lui est appliquée, elle est très faible puisqu'elle est de 0,2 mV par KPa, soit 0,02mv par millibar (ou hPa).

Le graphique de figure (I-7) montre l'excellente linéarité de la tension de sortie du MPX2200AP en fonction de la pression (atmosphérique) et à une température de 25°C.



**Figure(I-7) : Caractéristiques de sortie du MPX 2200 AP.**

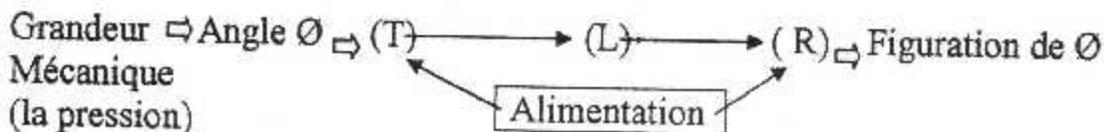
**2) Les Capteurs de pression utilisés en Aéronautique :**

Les Capteurs de pression utilisés sont a système électrique, différent suivant la nature de l'alimentation électrique : désormais alternative et autrefois continue.

**2-1) Les Capteurs a alimentation alternatif :** Nous étudions le plus célèbre Capteur 'Autosyn'.

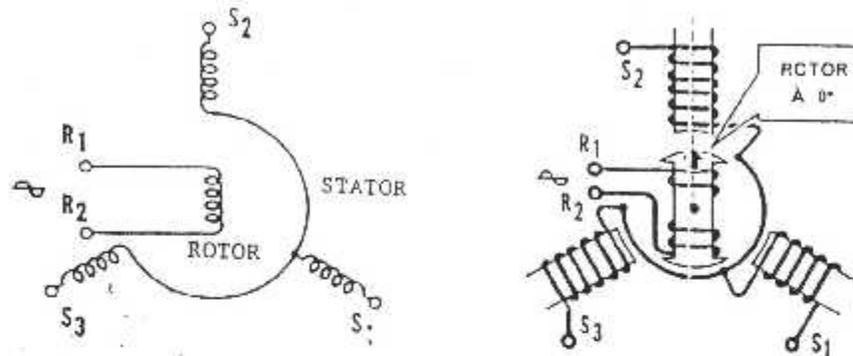
**Autosyn :**

**Définition :** Le transmetteur (T) et le récepteur (R) sont identiques et sont appelés 'autosyn ou synchro transmetteur', avec une liaison tri filaire (L).



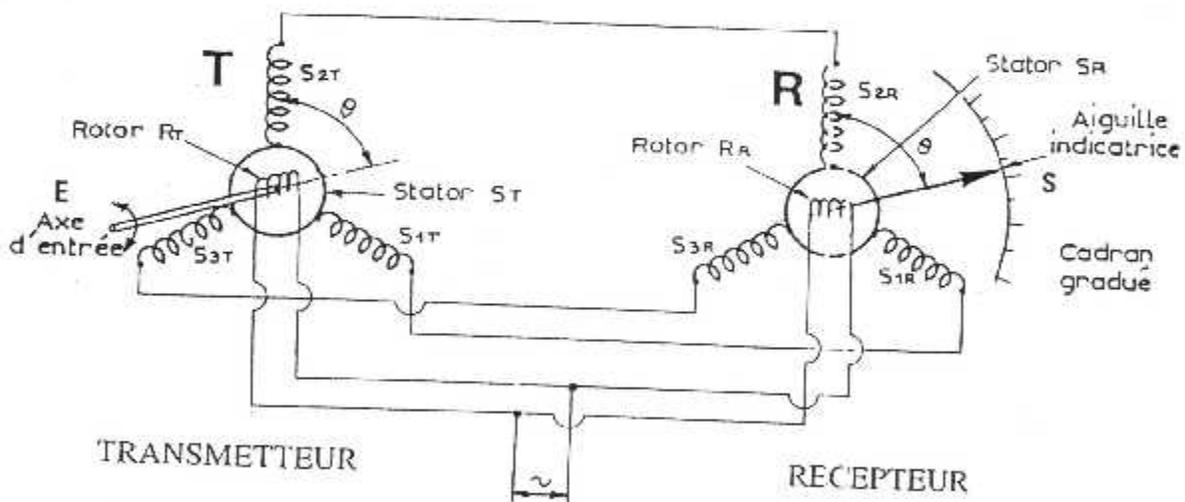
**Figure(I-8) : Schéma Synoptique de l'Autosyn.**

- un rotor R constitué d'un enroulement alimenté en tension Alternative.
- Un stator S constitué de trois (03) enroulements identiques S1, S2, S3, disposés en étoile à 120°.



**Figure(I-9) : Schéma du Transmetteur et du Récepteur.**

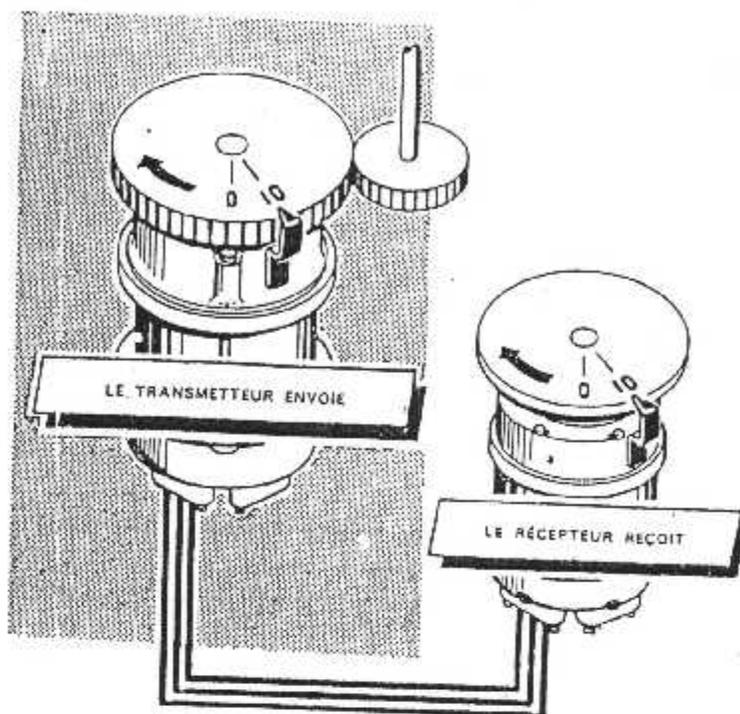
R 'calé au zéro électrique' lorsque l'axe de son enroulement est confondu avec celui de S2, cette position sert de référence de mesure angulaire  $\theta$ .



**Figure(I-10) : Schéma électrique de l'autosyn.**

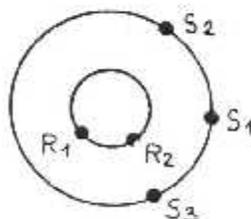
Le transmetteur (T) et le récepteur (R) sont identique voir figure(I-10) mais il faut noter :

- pour (T) : que  $\theta$  est l'angle du rotor RT/S2T, RT étant solidaire de l'axe à mesurer en position angulaire ;
- pour (R) : que le rotor RR entraîne par exemple une aiguille indicatrice dont la position angulaire constitue la figuration de  $\theta$  ;
- que les stator ST et SR sont reliés par 3 conducteurs constituant (L) ;
- que RT et RR sont alimentés simultanément par une tension alternative.
- Que le rotor de (R) est généralement muni d'un dispositif amortissant les oscillations de l'aiguille indicatrice.



**Figure(I-11) : Schéma extérieur de l'autosyn.**

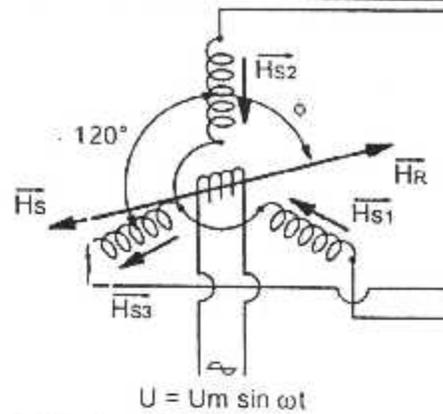
Le symbole d'un autosyn est constitué par deux (02) cercles concentriques munis de ponts figurant les raccordements des enroulements voir la figure (I-12).



**Figure(I-12) : Le symbole d'un autosyn.**

**Principe de fonctionnement de l'autosyn :**

1°) Supposons d'abord l'absence de RR dans (R) et considérons (T) :  
 RT est le siège d'un champ électromagnétique alternatif  $\vec{H}_R$  induisant dans les enroulements  $S_1T, S_2T, S_3T$ , des tensions alternatives de pulsation égales à  $w$ .  
 Ces tensions engendrent des champs alternatifs  $H_{s1}, H_{s2}$  et  $H_{s3}$  dont la résultante, d'après la loi de Lenz, est un champ  $H_S$  opposé à  $H_R$ , ayant donc une orientation angulaire  $\pi - \theta / S_2T$  voir la figure(I-13).



**Figure(I-13) : Principe de fonctionnement du transmetteur.**

2°) Adjoignons maintenant RR dans (R) :

Du fait des liaisons filaires entre ST et SR,  $\vec{H'S}$  se trouve 'recopié' dans SR mais Avec un décalage angulaire de  $\pi \Rightarrow \vec{H'S}$ . RR est le siège d'un champ électromagnétique alternatif  $\vec{H'R}$  identique à  $\vec{H'R}$  en module (puisque alimenté par la même tension  $U \sim$ ) mais dont l'orientation angulaire  $\phi'/S2R$  est a priori quelconque.

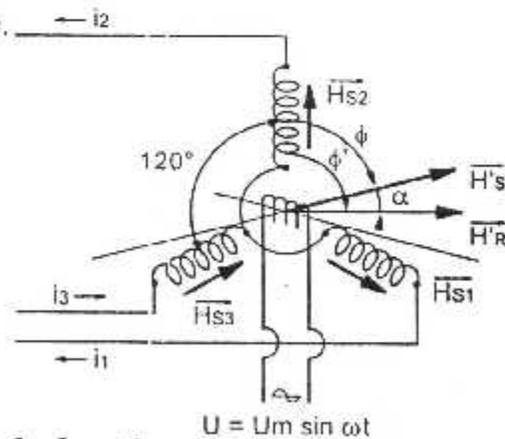
Si  $\vec{H'S}$  et  $\vec{H'R}$  ont des orientations angulaires  $\phi$  et  $\phi'$  faisant un angle  $\alpha$ , un couple électromagnétique C se manifeste d'après la loi de Laplace pour 'amener'  $\vec{H'R}$  donc RR suivant  $\vec{H'S}$ .

$$C = k.H'S.H'R.\sin\alpha$$

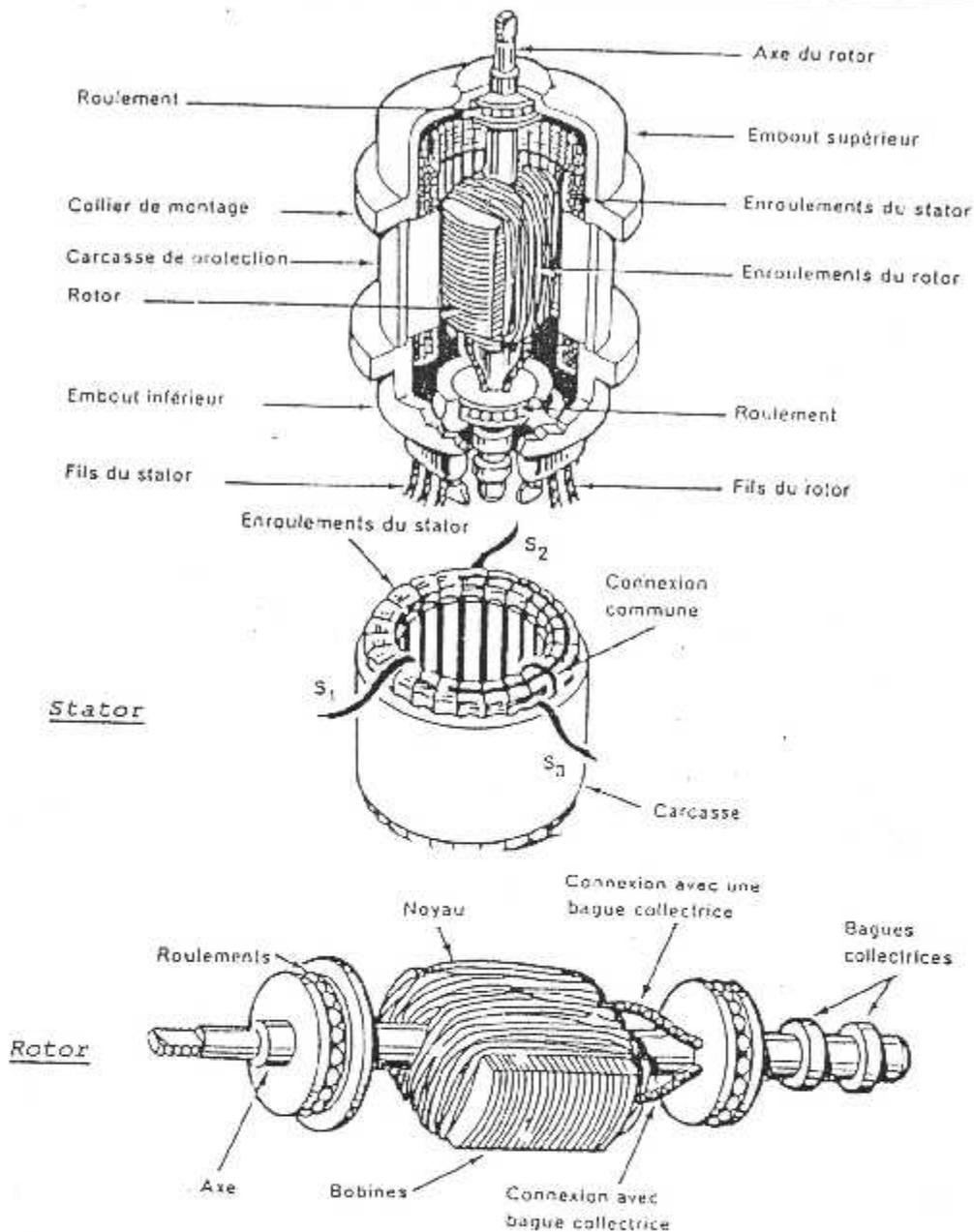
$\Rightarrow$  L'angle  $\phi$  est 'recopié' au niveau de (R)

L'effet d C tendant à aligner  $\vec{H'R}$  sur  $\vec{H'S} \Rightarrow 0$  quand  $\alpha \Rightarrow 0$  ou  $\pi$  donc il existe 2 positions d'équilibre pour RR mais seule la valeur  $\alpha = 0$  correspond à une position stable  $\Rightarrow$  l'angle  $\phi$  est reproduit en vraie grandeur au niveau de (R) par une aiguille indicatrice mais avec un inconvénient majeur, la faiblesse du couple C disponible donc une influence notable des frottements sur la valeur angulaire indiquée  $\Rightarrow$  précision notoirement médiocre.

- $\pm 1^\circ$  'autour du zéro'
- $\pm 1\%$  du débattement angulaire.



**Figure(I-14) :Principe de fonctionnement du récepteur.**



**Figure(I-15) : Coupe d'un autosyn.**

**Caractéristiques :**

- Tensions d'alimentation : 28V/400Hz ou 115V/400Hz (réseau de bord).
- Consommation d'énergie très faible.
- Simplicité de la réalisation, y compris avec des récepteurs multiples raccordés en parallèle.
- Faiblesse du couple disponible  $\Rightarrow$  influence notable des frottements au niveau du rotor du récepteur (erreur de zéro).
- Rotor du récepteur généralement muni d'un dispositif amortisseur des oscillations de l'aiguille indicatrice si le paramètre mesuré est très évolutif.

**2-2) Les Capteurs a alimentation continue :** Ces Capteurs en voie de disparition en raison des inconvénients inhérents à l'emploi du courant continu. Ces capteurs sont 'SELSYN' et 'DESYN'. Nous allons l'étudier dans le deuxième chapitre.

**Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons vu l'importance de la pression atmosphérique en Aéronautique dans ces divers influences sur la sécurité de l'avion de même que les passagers (l'organisme humain sensible au variation de la pression). Nous avons bien expliqué le principe de la mesure de la pression et celui des capteurs de pression, donc nous allons attaquer l'étude du fonctionnement interne du transmetteur et de l'indicateur double pression.

# CHAPITRE II

## Etude du transmetteur et de l'indicateur



**Introduction :**

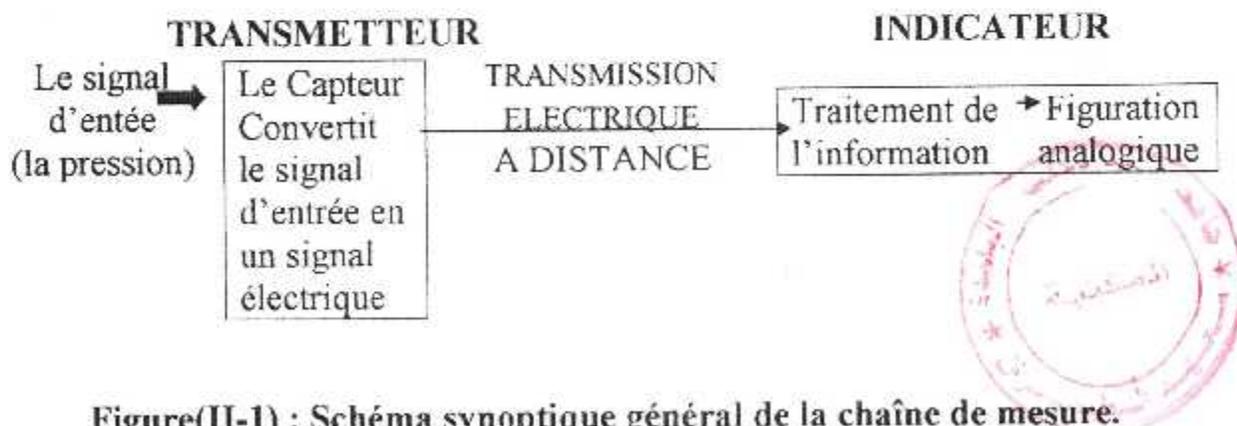
Dans ce chapitre nous allons parler d'une manière approfondie du fonctionnement interne du transmetteur et de l'indicateur double pression de conduite car c'est un élément très important dans la chaîne de mesure de notre projet de fin d'étude, qui permettra une indication permanente de la pression de conduite, elle a une grande influence sur la sécurité de l'avion. On commence notre étude par une description détaillée du fonctionnement interne du transmetteur puis de l'indicateur, l'alimentation de l'indicateur, un schéma synoptique général de fonctionnement, après en va détaillé l'étude de chaque étage.

**Généralité :**

Vues les dimensions importantes des deux avions **B767-300** et **B737-800** (NG) et la distance entre le Capteur (transmetteur) et l'indicateur double pression de conduite, il a été nécessaire de prévoir la transmission de l'information à distance pour permettre l'acheminement de la valeur instantanée de la pression de manière à la visualiser voir la figure(II-1).

Le principe général consiste à avoir :

- Un transmetteur (T) placé dans le conditionnement d'air près de l'organe à contrôler (la pression de conduite) intégrant le Capteur sensible à l'effet direct ou à la variation de la pression.
- Un récepteur (R) placé sur le tableau de bord restituant la valeur de la pression.
- Des conducteurs électriques de liaison(L.) et une alimentation électrique.



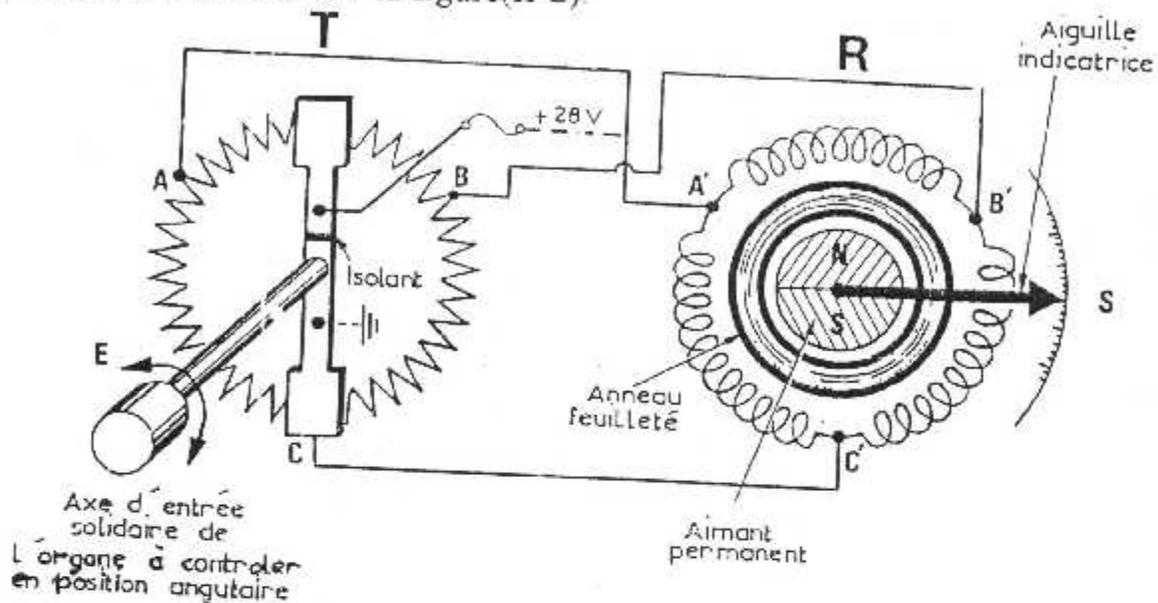
**Figure(II-1) : Schéma synoptique général de la chaîne de mesure.**

**II-1) Le Capteur de pression de conduit (DUCT PRESSURE TRANSMITTER) :**

Le Transmetteur employé pour capter de la pression d'air des deux réacteurs gauche et droite est alimenté en courant continu 28VDC, il est de type selsyn.

**Système SELSYN :**

Il se compose d'un transmetteur placé dans le conditionnement d'air près de la conduite de pression à contrôler (la pression des deux réacteurs), d'un récepteur situé au tableau de bord, de conducteurs de liaison et d'une alimentation 28VDC voir la figure(II-2).



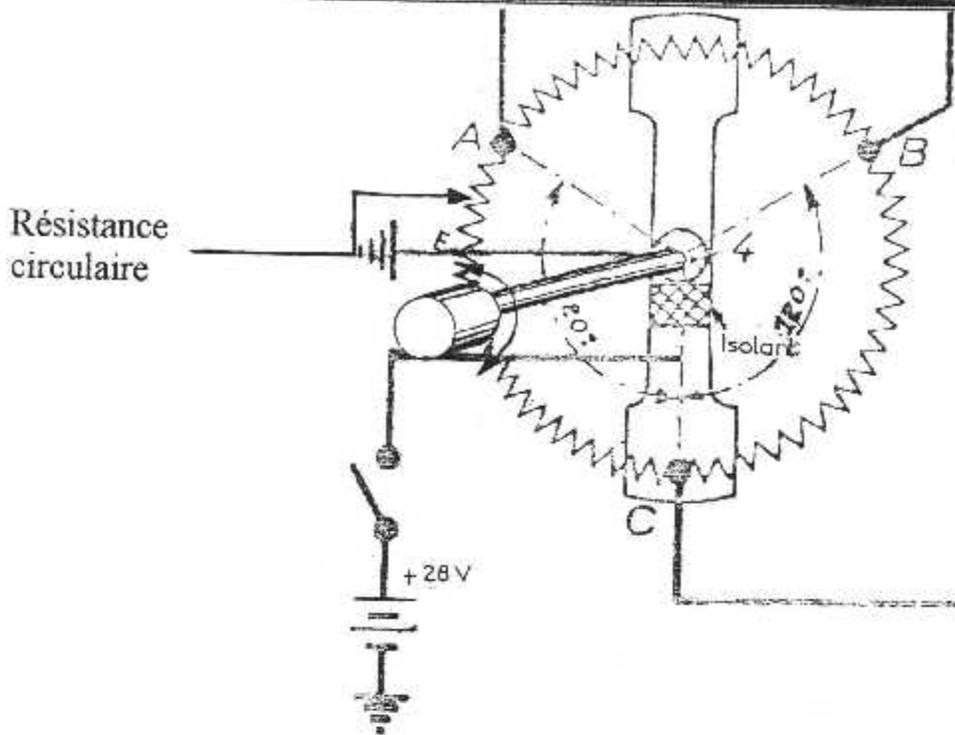
**Figure(II-2) : Schéma de principe du système SELSYN.**

**a) Composition et Fonctionnement du Transmetteur :**

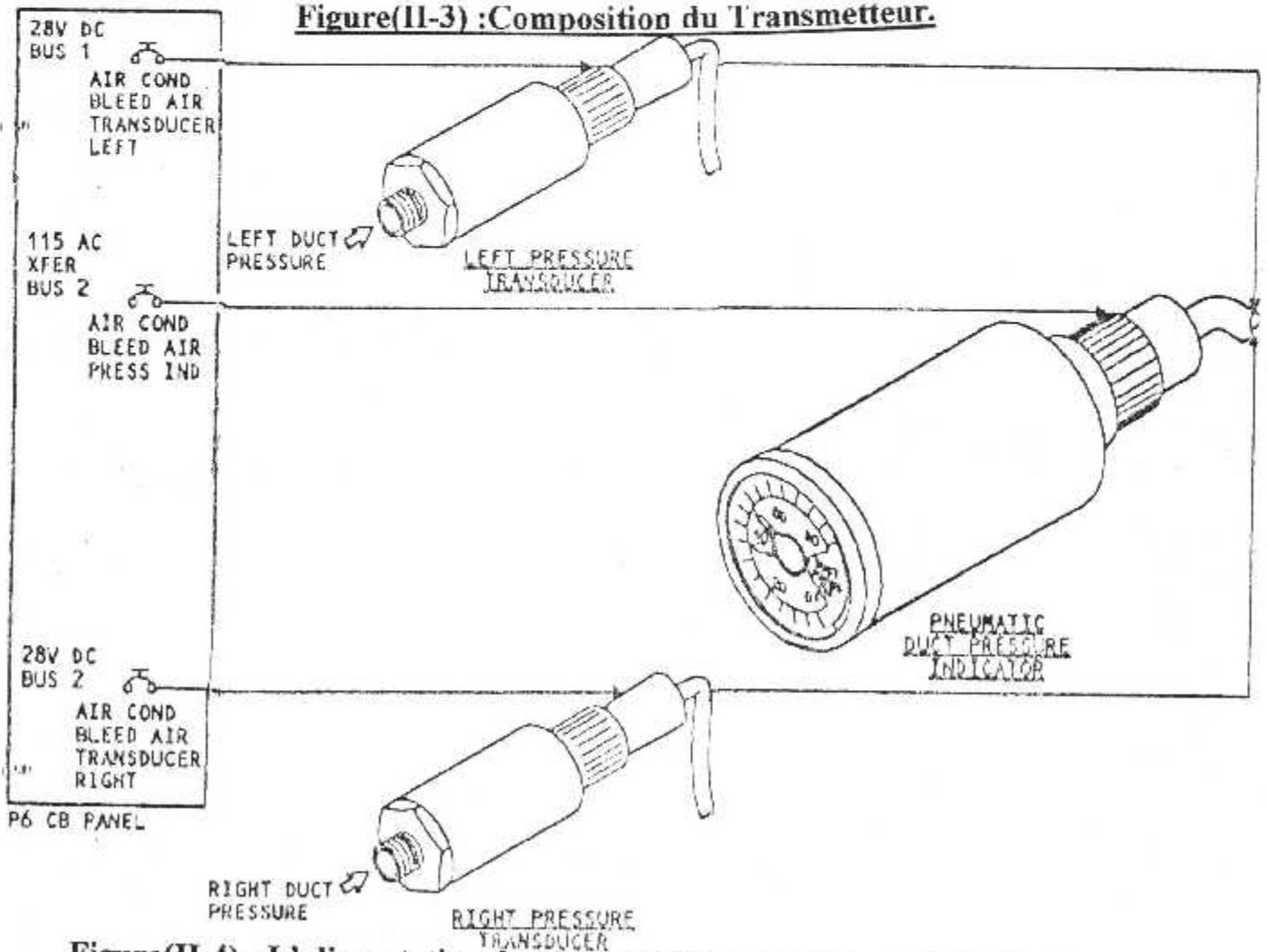
Il est constitué par une résistance circulaire (rhéostat) doté de trois (03) plots (prises) A, B et C disposés à  $120^\circ$  et un curseur diamétral entraîné en rotation par l'axe à contrôler en position angulaire. Ce curseur frotte sur la résistance par deux (02) contacts électriquement isolés (l'un à +28 V et l'autre à la masse) voir la figure(II-3).

Les deux Capteurs de pression de conduite utilisent une alimentation continue 28VDC voir la figure(II-4), et reçoivent une pression pneumatique pour fournir un signal électrique à l'indicateur double pression de conduite.

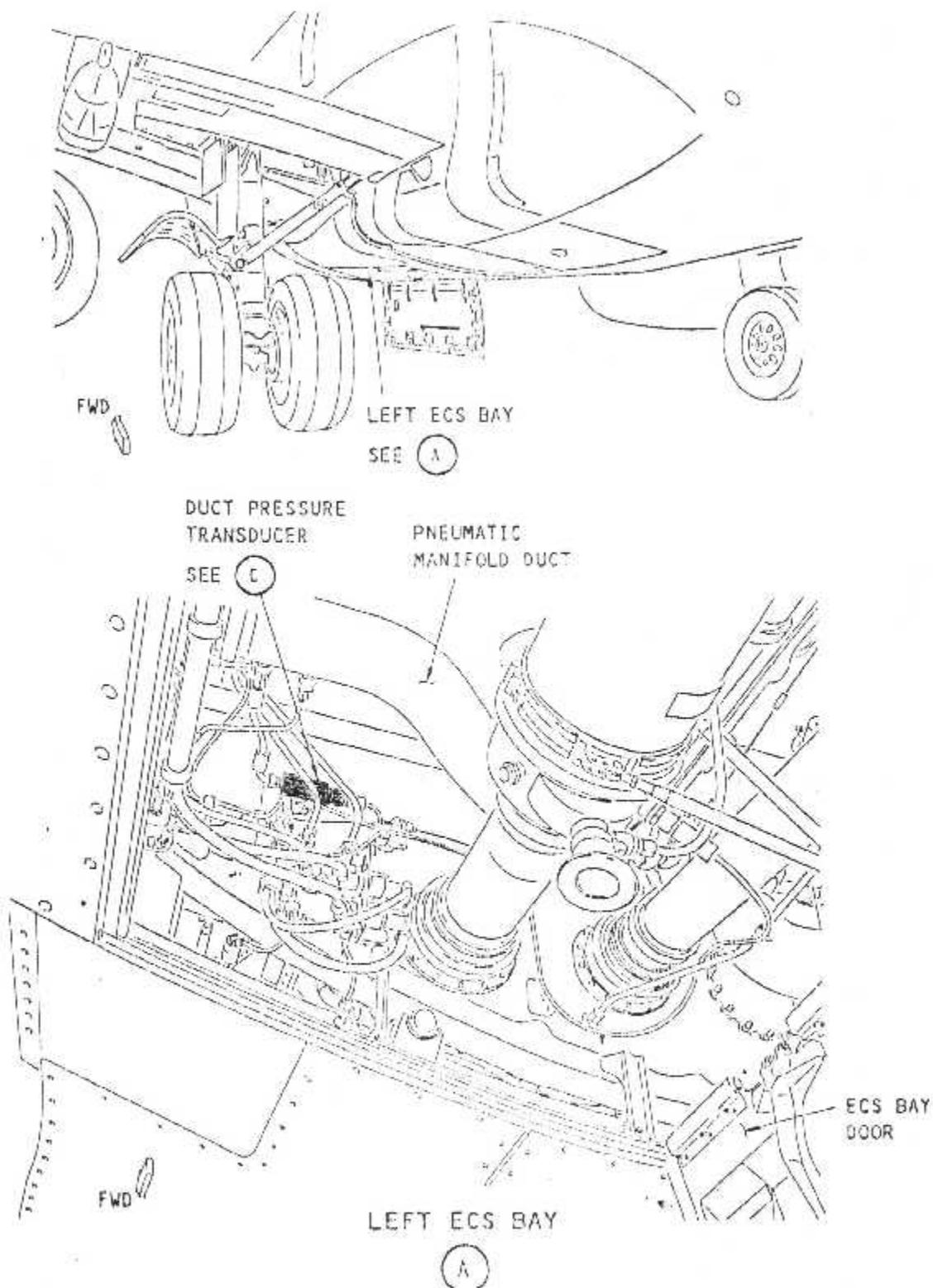
Il y a deux capteurs de pression de conduite installés sur l'avion. Un du côté avant du conditionnement d'air gauche et l'autre du côté avant du conditionnement d'air d'équipement droite de climatisation voir les figures (II-5) et (II-6). Le capteur convertit des données de pression de conduite en signaux électriques qui sont envoyés à l'indicateur double pression de conduite qui est installé dans le panneau supérieur du cockpit P5-10 voir la figure(II-8).



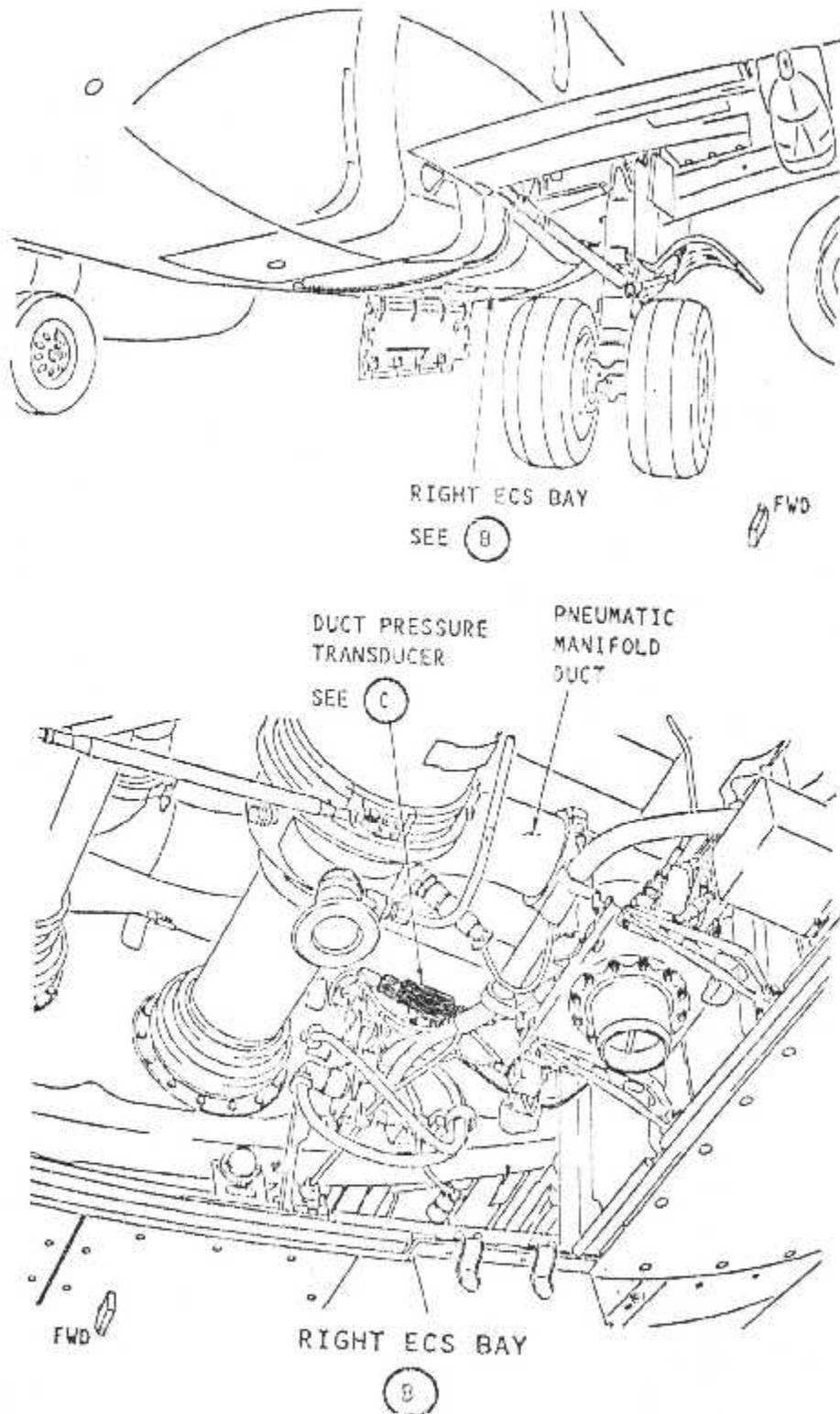
**Figure(II-3) :Composition du Transmetteur.**



**Figure(II-4) : L'alimentation des deux (02) Transmetteurs et l'indicateur double pression de conduite.**



**Figure(II-5) : L'emplacement du transmetteur gauche dans l'avion (B767-300 et B737 NG).**



**Figure(II-6) : L'emplacement du transmetteur droite dans l'avion (B767-300 et B737 NG).**

### b) Composition et Fonctionnement du Récepteur :

Il comporte un stator constitué de trois (03) enroulements (bobines coupées en série et placées à  $120^\circ$  l'une d l'autre) disposés sur un anneau feuilleté.

Les trois points de jonction  $A'$ ,  $B'$ ,  $C'$  de ceux-ci constituent les sommets d'un triangle, et sont reliés respectivement par trois (03) fils aux points A, B et C du transmetteur (T) pour constituer la liaison (L), du centre au tore (anneau) est monté un aimant circulaire qui supporte l'aiguille ou la maquette indicatrice. Le rotor se déplace dans une cage d'amortissement en cuivre.

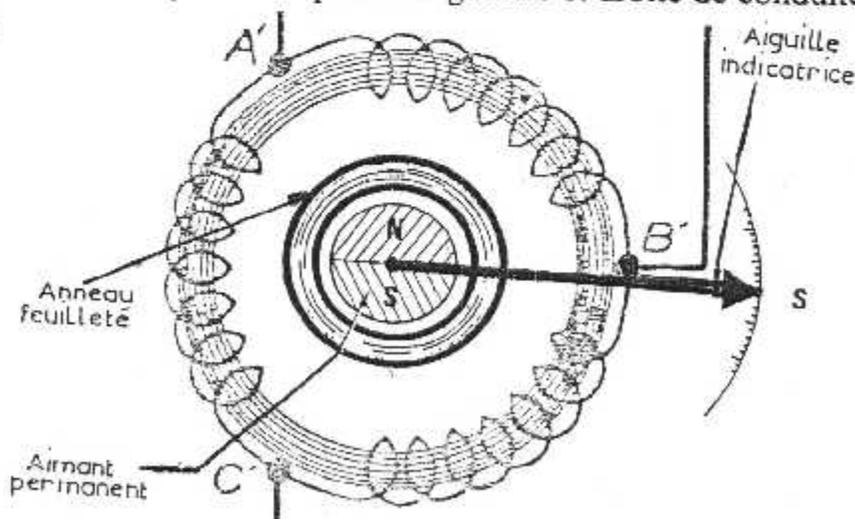
Un petit barreau aimanté placé sur le boîtier de l'instrument rappelle l'aimant c'est-à-dire le rotor de l'indicateur, dans une position fixe en cas de non alimentation du système voir la figure(II-7).

Les potentiels des plots  $A'$ ,  $B'$  et  $C'$ , égaux à ceux des jonctions A, B et C dépendent de la position angulaire du curseur dans (T).

Les courants circulant dans les enroulements de (R), créent un champ résultant  $\vec{H}$  suivant lequel s'aligne l'aimant permanent du rotor.

La position angulaire S de  $\vec{H}$  dans (R) ne dépend que de la position angulaire E du curseur sur la résistance circulaire de (R).

L'indicateur (le récepteur) double pression de conduite est installé sur le panneau supérieur de commande de la ventilation P5-10 du Copilote dans le cockpit. L'indicateur double pression de conduite reçoit deux signaux d'entrée fournie par les deux Capteurs de pression gauche et droite de conduite voir la figure(II-8).



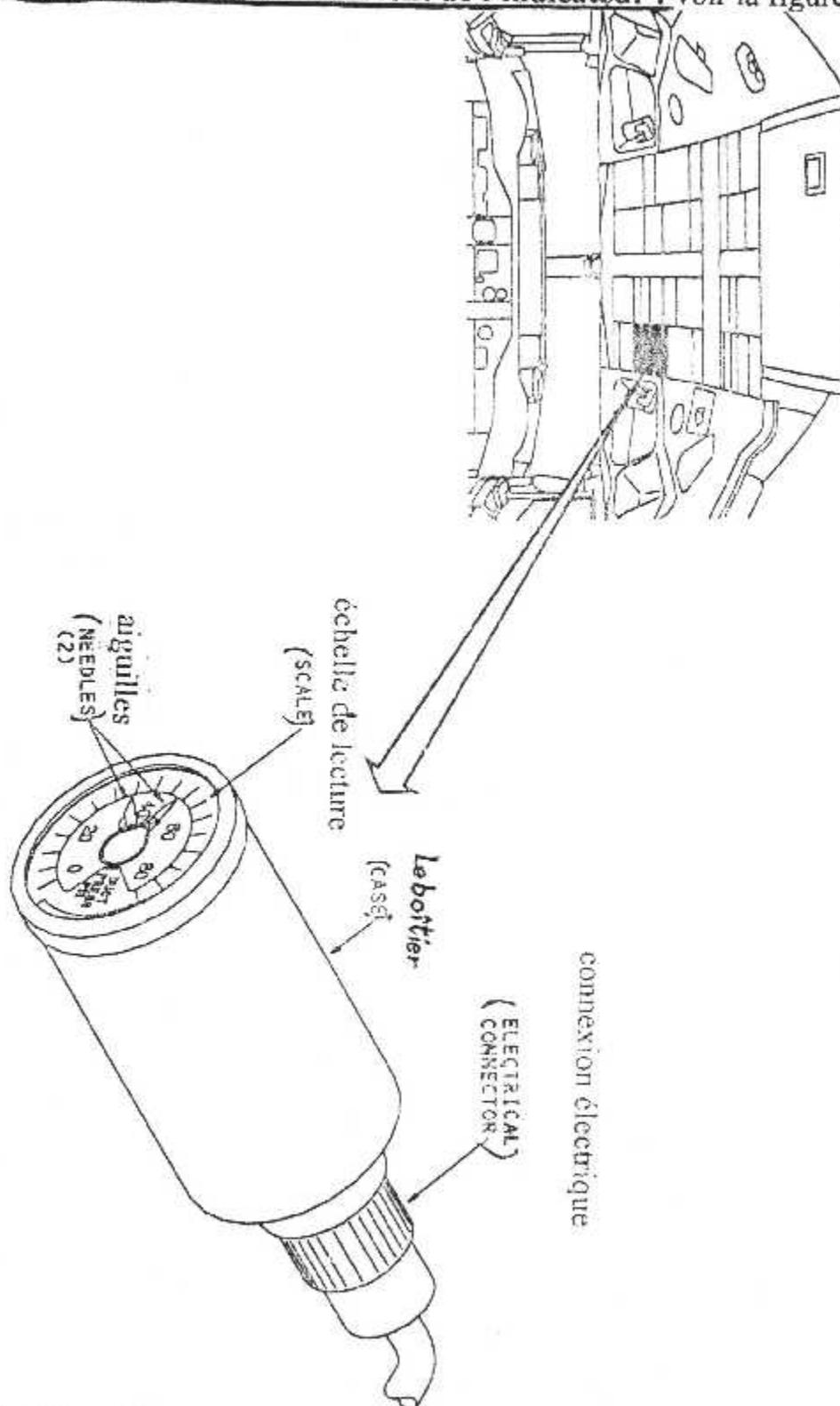
**Figure(II-7) : Composition du Récepteur.**





**II-2) Etude de l'indicateur double pression de conduite :**

**II-2-1) Description et fonctionnement de l'indicateur : voir la figure(II-10).**



**Figure (II-10) : Vu extérieur de l'indicateur double pression de conduite du B767-300 et B737-800 (NG).**

- Le boîtier, le verre et le couver glass sont de une manière permanente joints comme montage complet voir la figure(II-10). La plaque du circuit d'éclairage est monté avant les deux moteurs. Ces deux moteurs du mouvement duel des deux aiguilles de l'indicateur sont montés sur l'arrière de la plaque de support du mouvement duelle. Deux cartes électroniques fixées aux poteaux qui contiennent l'une deux amplificateurs servo et l'autre un approvisionnement d'alimentation continue Commun. Des rapports électriques avec le circuit d'éclairage, les deux moteurs et les deux cartes sont établis à l'aide des connecteurs multibroches miniatures. L'ensemble du circuit interne complète est logée dans le boîtier scellé par des bagues. Le tremplin de lampe facilite la dépose et le remplacement des lampes sans la nécessité d'œuvrer le boîtier. Pour le remplacement des lampes, la plaque d'accès aux lampes est enlevée pour accéder au tremplin de lampe.

- L'indicateur est conçu pour accepter deux signaux entrées avec une tension continue qui varie de 0,4 à 5,2 volts correspondant linéairement à 0-80 PSI ( livres par pouce carré ).

- L'indicateur est alimenter par une tension alternative 115VAC, 400Hz fourni par le réseau de bord.

- Le circuit électronique de l'indicateur double pression de conduite contient une alimentation d'énergie continue, deux amplificateurs servo et une référence de tension de précision. Chaque ampli servo se compose d'un ampli opérationnel et des transistors amplificateurs de moteur. Les amplificateurs servo fournissent exactement la position et la rétroaction (le retour d'asservissement) aux moteurs qui fournissent la vitesse de rotation des deux aiguilles de position. Le retour d'asservissement de position est obtenue à partir d'un potentiomètre en plastique conducteur monté complètement dans le carter du moteur. La rétroaction de vitesse est réalisée en retournant une partie de la tension appliquée au moteur voir la figure (II-11).

**Les caractéristiques de l'indicateur double pression de conduite :** voir le tableau(II-1).

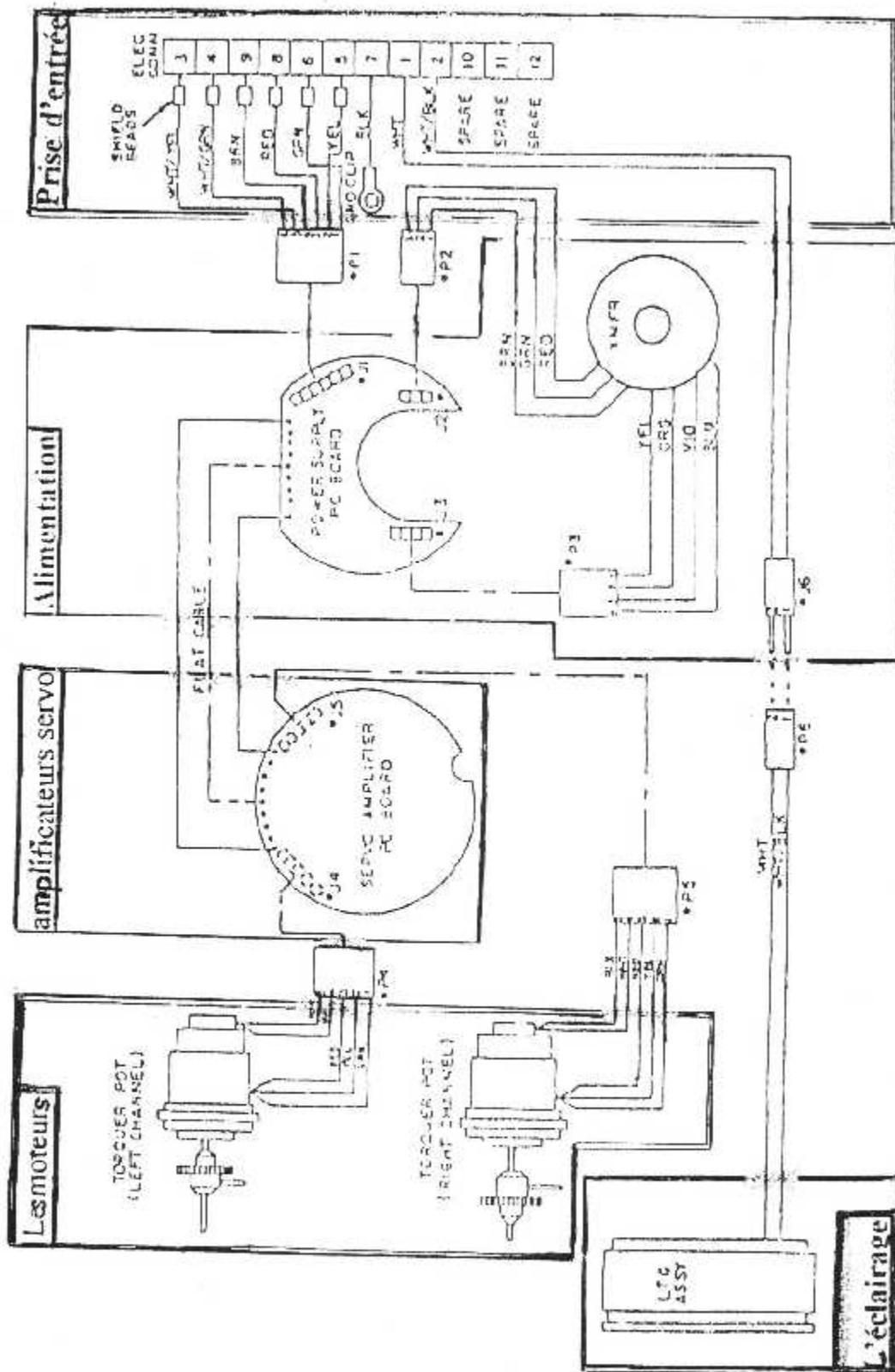


Figure (II-11) : Le montage de câblage d'interconnexion de l'indicateur.

## II-2-2) Description et opération du montage électronique de l'indicateur :

### II-2-2-1) Identification des signaux d'entrées et de sorties de l'indicateur :

Voir la figure (II-12).

**1) Le signal d'entrée (gauche) :** C'est un signal qui sort du transmetteur gauche de l'indicateur du B767-300 et B737-800 NG, c'est un signal qui varie de 0,2 à 5,2 volt obtenu par le transmetteur qui convertit la valeur de la pression en un signal électrique, il est connecter à la pin N°3 et indiquer par l'aiguille 'gauche'.

**2) Le signal de sortie (gauche) :** C'est un signal qui sort de l'indicateur, ce signal c'est le retour 'la masse', c'est un signal qui sort de la pin N°4 est reliev au transmetteur gauche.

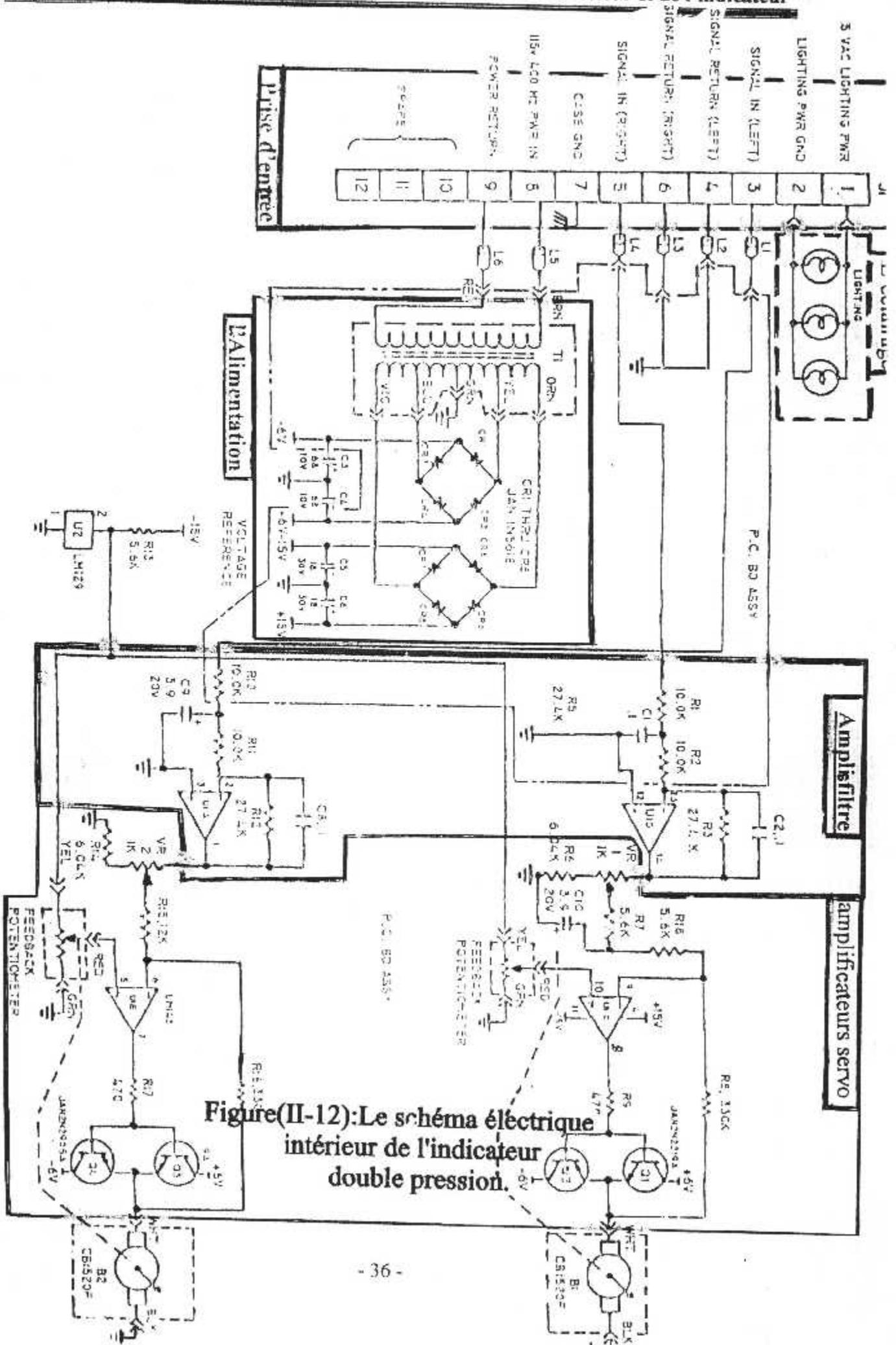
**3) Le signal d'entrée (droite) :** C'est un signal qui sort du transmetteur droite l'indicateur du B767-300 et B737-800 NG, c'est un signal qui varie de 0,2 à 5,2 volt obtenu par le transmetteur qui convertit la valeur de la pression en un signal électrique, il est connecter à la pin N°5 et indiquer par l'aiguille 'droite'.

**4) Le signal de sortie (droite) :** C'est un signal qui sort de l'indicateur, ce signal c'est le retour 'la masse', c'est un signal qui sort de la pin N°6 est reliev au transmetteur droite.

### 5) L'Alimentation de l'indicateur :

Les systèmes électroniques sont souvent alimentés par des sources de tension continues et alternatives. Pour l'alimentation de l'indicateur double pression nous avons :

- Une tension alternative du secteur pour l'alimentation de l'indicateur, qui est estimée à 115 VAC avec une fréquence de 400 Hz.
- Une autre pour l'alimentation alternative des lampes, qui est estimée à + 5 VAC.
- Une tension continue stable  $\pm 6$  VDC pour l'alimentation des transistors et  $\pm 15$  VDC pour l'alimentation des amplificateurs opérationnels. Cette alimentation elle est à l'intérieur de l'indicateur pour éviter l'encombrement des fils à l'extérieur de l'indicateur et de même pour facilite la maintenance.



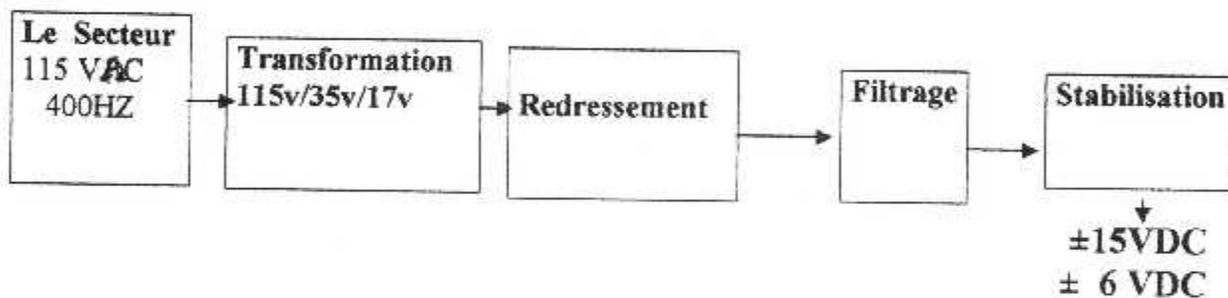
Figure(II-12):Le schéma électrique intérieur de l'indicateur double pression.

**a) Etude de l'Alimentation intérieure de l'indicateur :****a-1) Principe de fonctionnement de l'alimentation :**

L'alimentation utilise un transformateur abaisseur de tension du secteur (115V $\overline{AC}$ ), les deux tensions du secondaire doivent être redressés par deux ponts redresseurs suivant le mode double alternance ensuite elles sont filtré et régulées, pour obtenir à la sortie deux tensions continues stables l'une à  $\pm 6\text{VDC}$  pour l'alimentation des transistors amplificateurs des deux moteurs et l'autre à  $\pm 15\text{VDC}$  pour l'alimentation des amplificateurs opérationnels.

**a-2) Le schéma synoptique :**

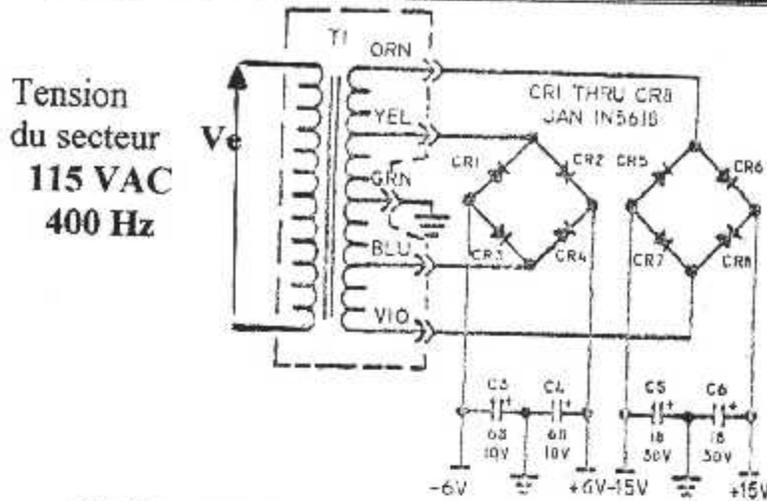
Comme toute alimentation traditionnelle, les étages élémentaires formant alimentation intérieure des composantes de l'indicateur sont présentés par le schéma synoptique de la figure (II-13).



**Figure(II-13) :Schéma synoptique de l'alimentation.**

**a-3)Le schéma électrique de l'alimentation :**

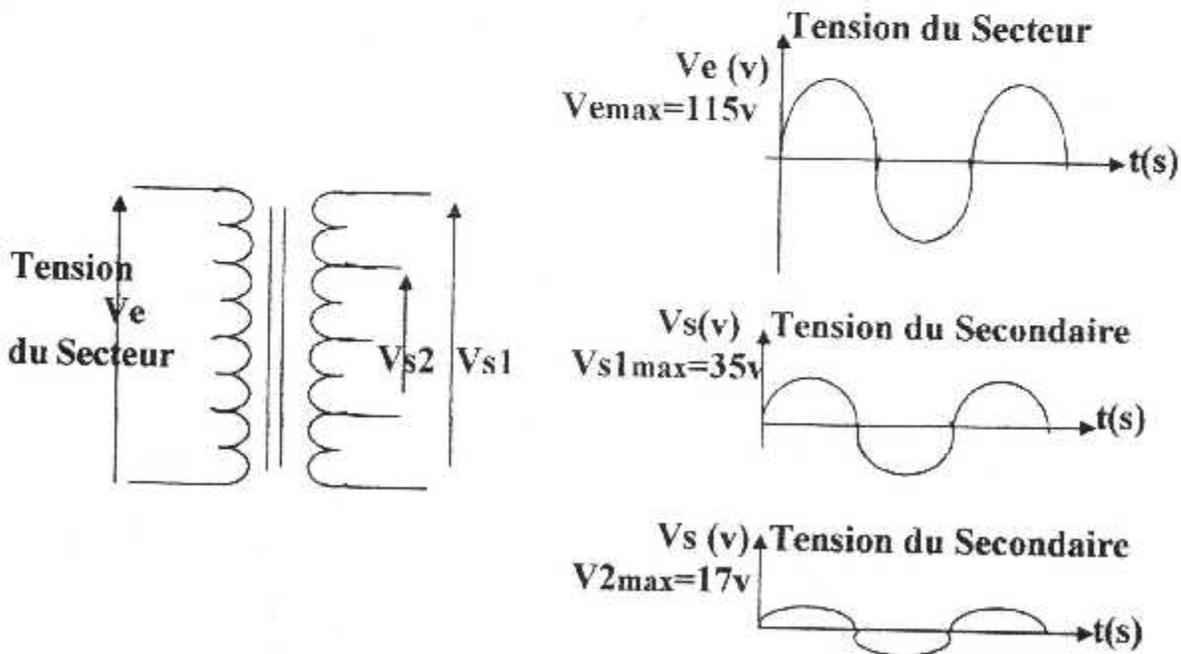
La figure (II-14) représente le schéma électrique de l'alimentation de l'indicateur à étudier, une étude théorique de chaque partie est nécessaire pour connaître avec plus de précision chaque bloc.



**Figure(II-14) : Schéma global du bloc d'entrée de l'alimentation.**

**a-4) Etude théorique :** le schéma de la figure(II-14) représente le montage complète de l'Alimentation, l'entrée (115 VAC, 400 HZ) du secteur après transformation, redressement, filtrage, stabilisation, on obtient à la sortie une tension stabilisée  $\pm 15$  VDC pour l'Alimentation des amplis opérationnels (UIA, UIB, UIC, UID ) et  $\pm 6$  VDC pour l'Alimentation des transistors (q1, q2, q3, q4) voir la figure(II-12).

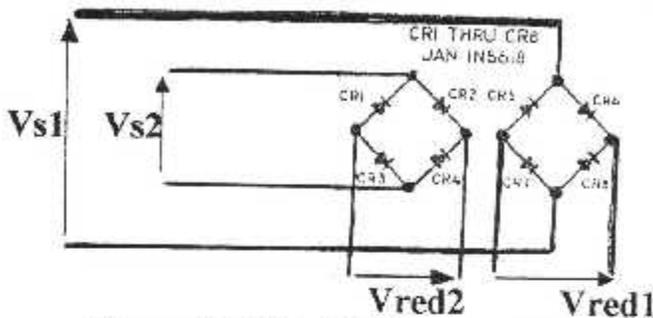
• **Transformation :** elle se fait a l'aide d'un transformateur qui abaisse la tension alternative (115 VAC, 400 Hz) du secteur qui alimente le bobinage primaire (entrée) et le véhiculer vers l'autre enroulement secondaire, en obtient deux tensions de sortie l'une  $V_{s1}=35v$  et l'autre  $V_{s2}=17v$ , l'allure des deux tensions au secondaire du transformateur est donnée par la figure(II-15).



**Figure(II-15) : Tension du Secteur abaissée.**

• **Le redressement :**

Il s'agit d'obtenir une tension continue à partir d'une tension alternativement positive ou négative. le pont de diodes ramène les alternances négatives dans la zone positive, d'où le nom redressement voir figure(II-16).



**Figure(II-16) : Schéma du redressement par pont.**

Les deux ponts redresseurs sont constituer chacun de quatre diodes, ces deux ponts sont alimentés par deux tensions sinusoidal alternatives (~) de valeurs instantanées :

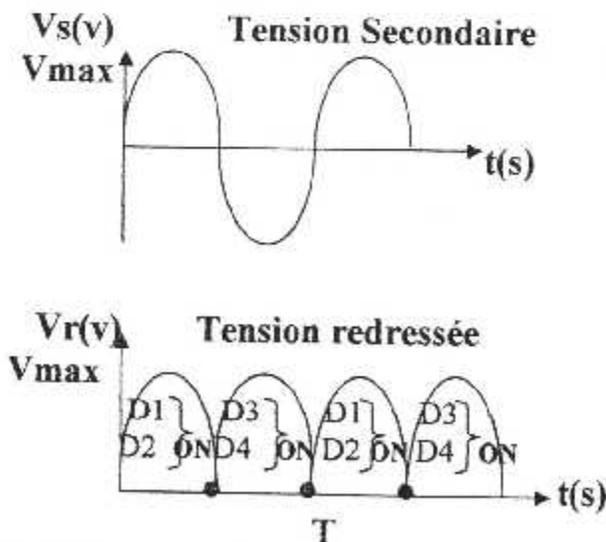
$$Vs1 = V_m \sin(\omega t) \text{ et } Vs2 = V_m \sin(\omega t).$$

Si on pose  $\omega t = \theta$ , donc  $V(t) = V_m \sin \theta$ .

Les deux ponts ont le même fonctionnement nous étudions un seul pont.

$$1^\circ / 0 \leq \theta < \pi \Rightarrow \begin{cases} D1(CR1) \text{ et } D2(CR2) : \text{on} \\ D3(CR3) \text{ et } D4(CR4) : \text{off} \end{cases}$$

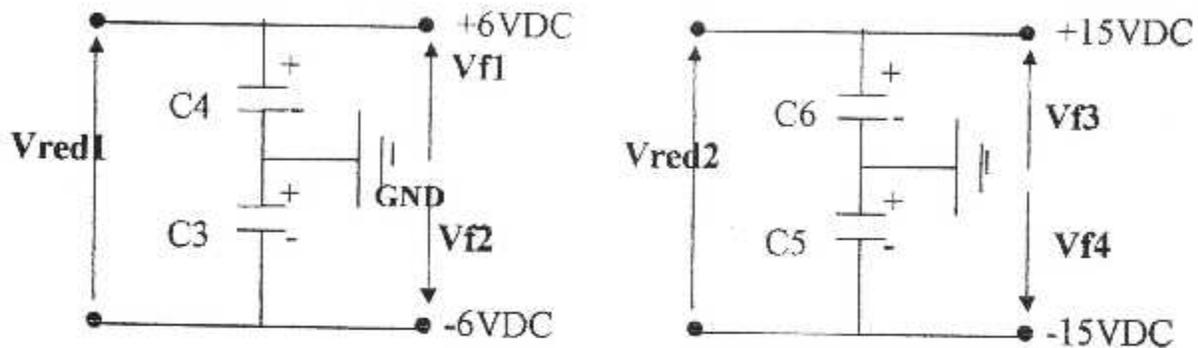
$$2^\circ / \pi < \theta \leq 2\pi \Rightarrow \begin{cases} D1 \text{ et } D2 : \text{off} \\ D3 \text{ et } D4 : \text{on} \end{cases}$$



**Figure(II-17) : L'allure de la tension redressée.**

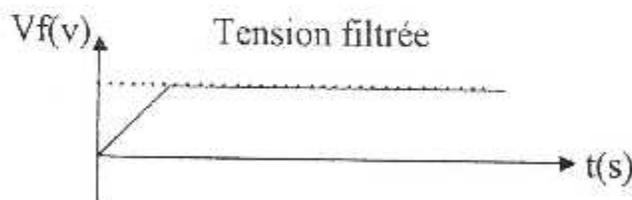
• **Le filtrage :**

Le filtrage est l'opération la plus utilisée pour limiter les ondulations présentées dans la tension redressée. Il transforme la tension redressée en véritable tension continue. Il se fait à l'aide des condensateurs (C3, C4, C5, C6) qui jouent le rôle d'amortisseurs, de réserve d'énergie voir figure(II-18).



**Figure(II-18) : Le circuit de filtrage.**

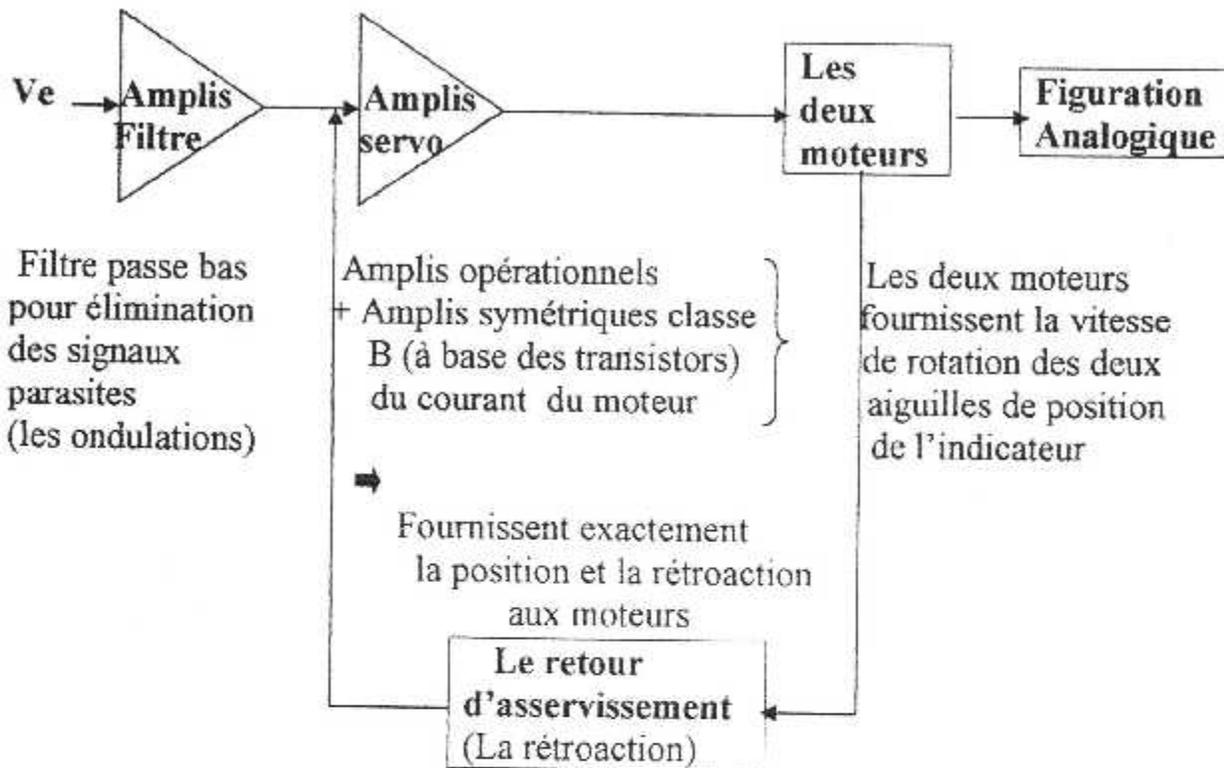
Lorsque les diodes D3 et D4 sont conductrice, C3 et C4 se chargeront jusqu'à  $V_{max}$  puis se déchargeront très rapidement, puis elles se chargeront lorsque D1 et D2 seront passante jusqu'à  $V_{max}$  et ainsi de suite avec un taux d'ondulation relativement faible et la même chose pour les condensateurs C5, C6. A la sortie du circuit de filtrage on obtient le signal de la figure(II-19).



**Figure(II-19) : L'allure de la tension filtrée.**

• **La stabilisation :**

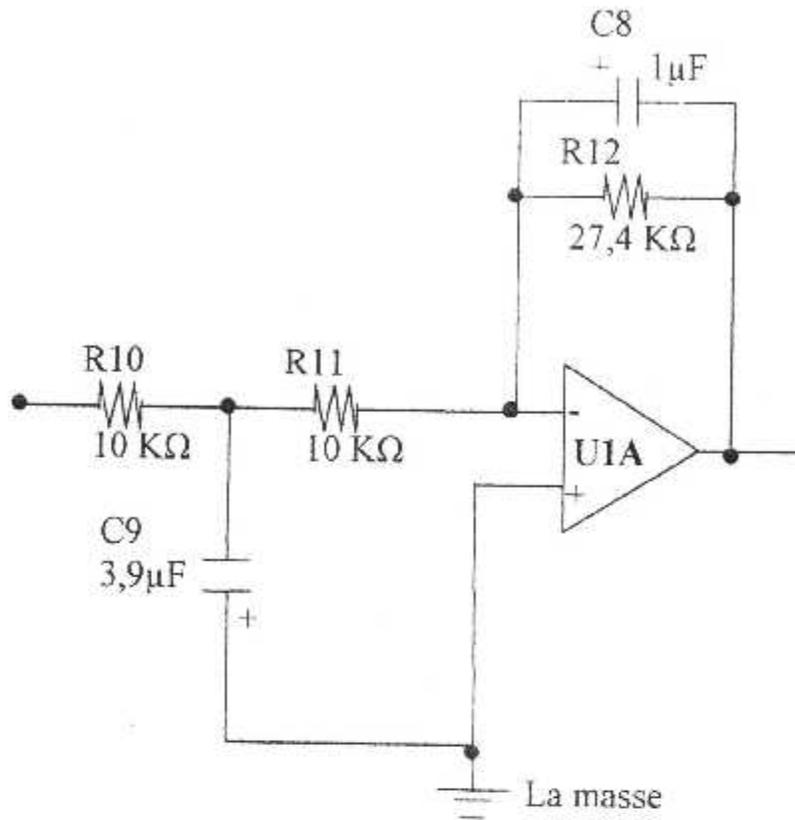
C'est une opération qui fait maintenir la tension de sortie de sortie stable est sans bruit. Dans notre montage la tension est stabilisée au borne des condensateurs (C2, C4, C5, C6).

**II-2-2-2) Etude du fonctionnement interne de l'indicateur:****a) Schéma synoptique général du fonctionnement de l'indicateur :**

Le retour d'asservissement de position est obtenu à partir d'un potentiomètre en plastique conducteur monté complètement dans le carter du moteur

**Figure(II-20) : Schéma Synoptique du fonctionnement interne de l'indicateur.**

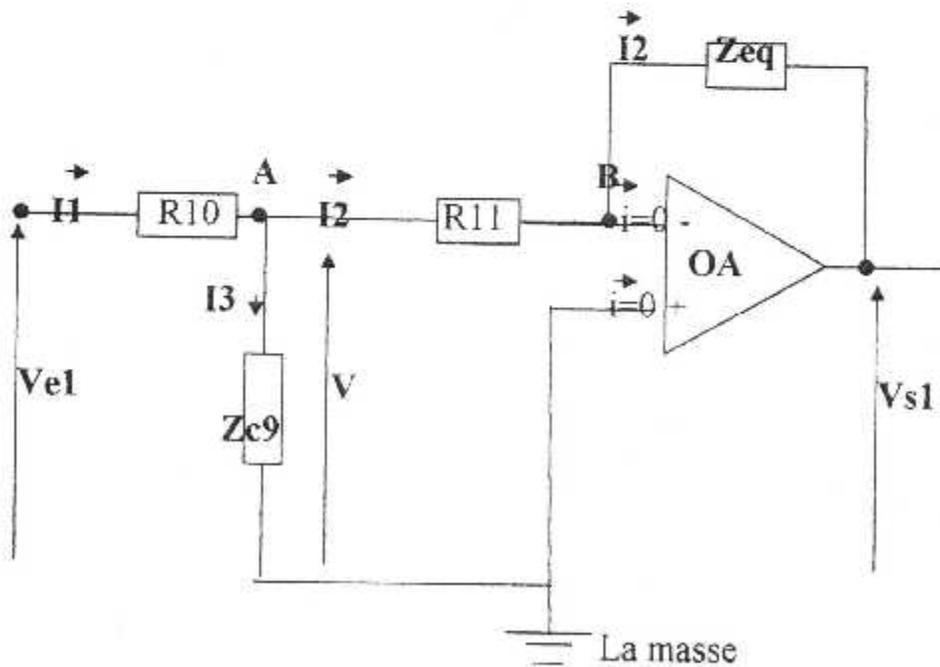
**b) Etude détaillée du montage électrique de l'indicateur :****b-1) Le signal gauche :****b-1-1) Filtre à amplificateur opérationnel :** voir la figure(II-21).



**Figure(II-21) : Schéma électrique de ampli filtre 1.**

• **Détermination de la fonction de transfert du filtre :**

En simplifiant le schéma de la figure(II-21) il devient :



**Figure(II-22) : Schéma simplifier de l'ampli filtre 1.**

$$Z_{eq} = R_{12} // (1/j.C_8.\omega) = R_{12}/(1+j.R_{12}.C_8.\omega)$$

Utilisons la méthode des nœuds.

**-Nœud A :** Nous avons

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (1).$$

$$I_1 = (V_{e1} - V)/R_{10}, I_2 = (V - V_{s1})/(R_{11} + Z_{eq}), I_3 = V/Z_{c9}$$

$$\text{donc : } (V_{e1} - V)/R_{10} = (V - V_{s1})/(R_{11} + Z_{eq}) + V/Z_{c9}$$

D'où :

$$V_{e1}/R_{10} = V(1/R_{10} + 1/(R_{11} + Z_{eq}) + 1/Z_{c9}) - V_{s1}(1/R_{11} + Z_{eq}) \quad (2).$$

**-Nœud B :**

On a d'après les propriétés de l'amplificateur opérationnel :

$$\begin{cases} V_{s1} = -Z_{eq} \cdot I_2 \\ V = R_{11} \cdot I_2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow V_{s1}/V = -Z_{eq}/R_{11}$$

$$\text{D'où } \boxed{V = -R_{11} \cdot V_{s1}/Z_{eq}} \quad (3).$$

Remplaçons l'équation (3) dans l'équation (2), et après simplification

On trouve :

$$V_{e1} = -V_{s1} \cdot [R_{11} + R_{10} - R_{10} \cdot R_{11} \cdot R_{12} \cdot C_8 \cdot C_9 \cdot \omega^2 + j(R_{10} \cdot R_{11} \cdot C_9 + R_{12}(R_{11} + R_{10})C_8)\omega] / R_{12}.$$

Par conséquent le gain est :

$$\boxed{GV_1 = V_{s1}/V_{e1} = -R_{12} / [R_{11} + R_{10} - R_{10} \cdot R_{11} \cdot R_{12} \cdot C_8 \cdot C_9 \cdot \omega^2 + j(R_{10} \cdot R_{11} \cdot C_9 + R_{12}(R_{11} + R_{10})C_8)\omega]}.$$

• **Nature du filtre :** On a

$$|GV_1| = R_{12} / \sqrt{[R_{11} + R_{10} -$$

$$R_{10} \cdot R_{11} \cdot R_{12} \cdot C_8 \cdot C_9 \cdot \omega^2 + (R_{10} \cdot R_{11} \cdot C_9 + R_{12}(R_{11} + R_{10})C_8 \cdot \omega)^2]}$$

D'où :

$$\begin{cases} \bullet \lim_{\omega \rightarrow 0} |GV_1| = R_{12}/(R_{11} + R_{10}) = 1,37 \\ \bullet \lim_{\omega \rightarrow +\infty} |GV_1| = 0 \end{cases}$$

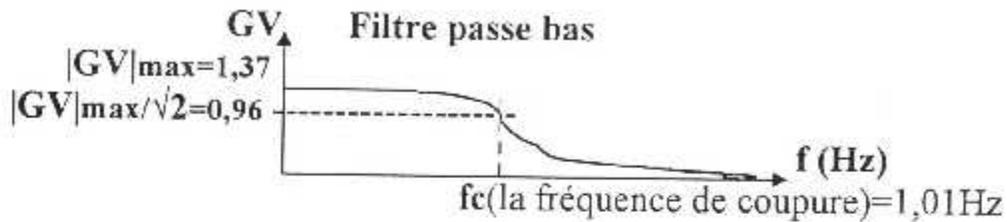
donc le filtre est un **Passé bas**

• **La fréquence de coupure :**

La fréquence de coupure correspond au gain en tension efficace, on peut la déterminer graphiquement par la projection voir la figure(II-23). Sachant que

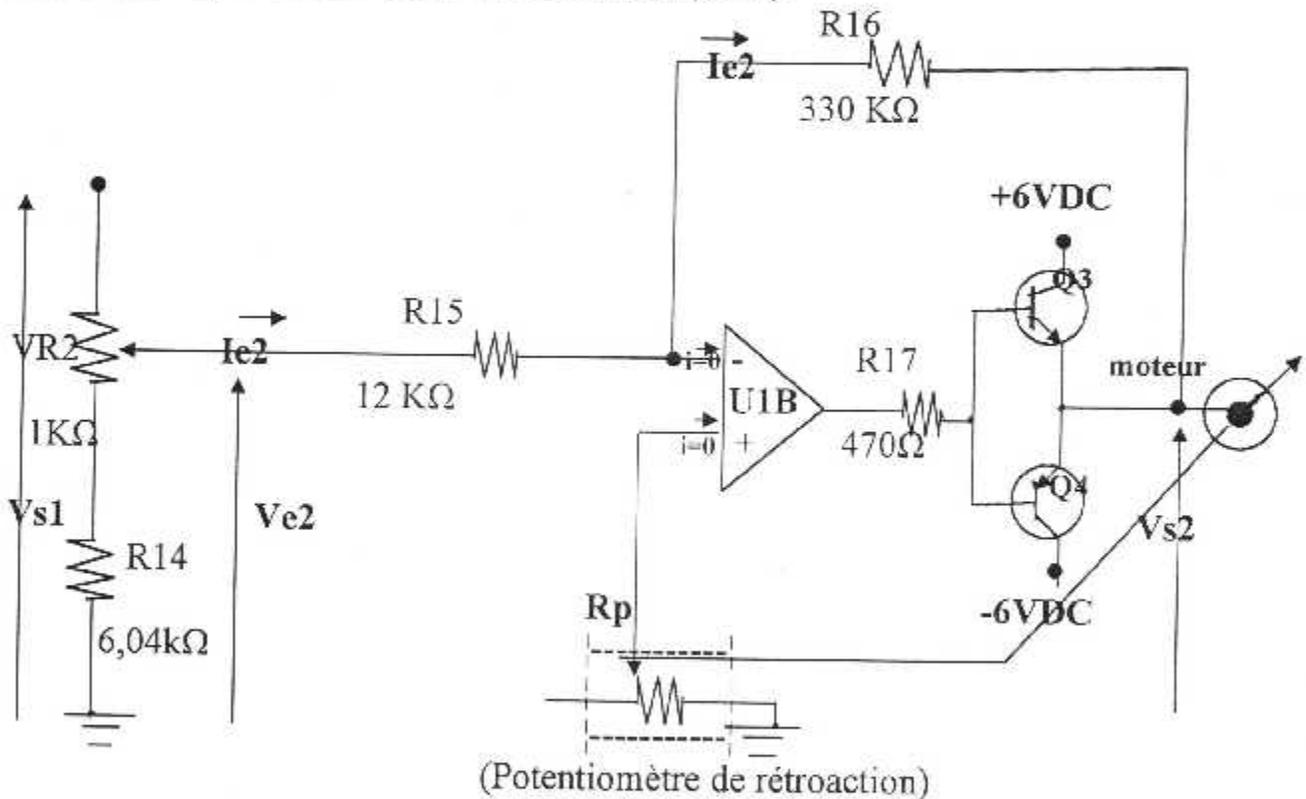
la fréquence de coupure  $f_c = \omega_c/2\pi$  on peut aussi la déterminer à l'aide de la relation suivante :

$$|GV|_{\max}/\sqrt{2} = R_{12} / ((R_{11} + R_{10})\sqrt{2}) = R_{12} / \sqrt{[(R_{11} + R_{10} - R_{10} \cdot R_{11} \cdot R_{12} \cdot C_8 \cdot C_9 \cdot \omega_c^2)^2 + ((R_{10} \cdot R_{11} \cdot C_9 + R_{12}(R_{11} + R_{10})C_8 \cdot \omega_c)^2]}$$



**Figure(II-23) : Courbe de gain en tension (GV1) de l'ampli filtre 1.**

**b-1-2) L'amplificateur servo :** voir la figure(II-24).



**Figure(II-24) : Schéma électrique de l'ampli servo 1.**

- Quand la résistance variable à zéro ( $VR_2=0$ ) on a :
- Si le potentiomètre de rétroaction à zéro ( $R_p=0$ ) on a :

$$\begin{cases} Ve_2 = R_{15} \cdot I_{e2} \\ Vs_2 = -R_{16} \cdot I_{e2} \end{cases} \quad \begin{matrix} (1). \\ (2). \end{matrix}$$

En faisant le rapport de  $Vs_2/Ve_2$

D'où le gain est :

$$GV_2 = V_{s2}/V_{e2} = -R_{16}/R_{15} = -27,5$$

Donc notre ampli est un **inverseur**.

Le moteur agit sur le potentiomètre de rétroaction (le retour d'asservissement de position) qui est guidé par un circuit intégré LM129, donc on aura un gain différent du précédent et la tension de sortie change, l'ampli symétrique classe B amplifier le courant du moteur qui va s'arrêter, pour lire sur l'indicateur la valeur de pression (en PSI), quand on aura un nouveau signal d'entrée ( $V_{e2}$ ) l'ampli symétrique classe B amplifier le courant du moteur qui va fournir la vitesse de rotation de l'aiguille de lecture de la pression gauche, on peut lire sur l'indicateur une autre valeur de la pression qui vient du réacteur gauche.

### • Etude de l'ampli symétrique(push-pull) classe B :

C'est un circuit qui comporte deux transistors complémentaires l'un NPN et l'autre PNP, il présente des avantages tels que :

• La puissance dissipée max est simplifiée à 1/5 de la puissance  $P_{0max}$

$$P_d = 1/5 P_{0max}$$

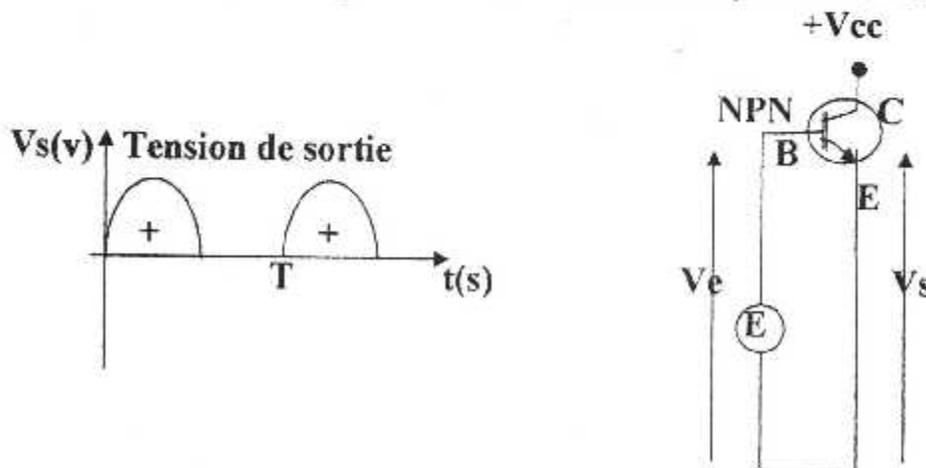
• Le courant collecteur  $I_c$  en statique (sans signal) est égal à 1/100 du courant de saturation  $I_c = I_{sat}/100$ .

Ces caractéristiques importantes sont utilisées lorsque l'on veut une grande puissance à la sortie ou utiliser une alimentation continue. Dans le circuit électrique de l'indicateur double pression il agit sur le moteur en amplifiant le signal électrique.

### • Principe de fonctionnement de l'ampli symétrique classe B :

#### Fonctionnement de la partie haute :

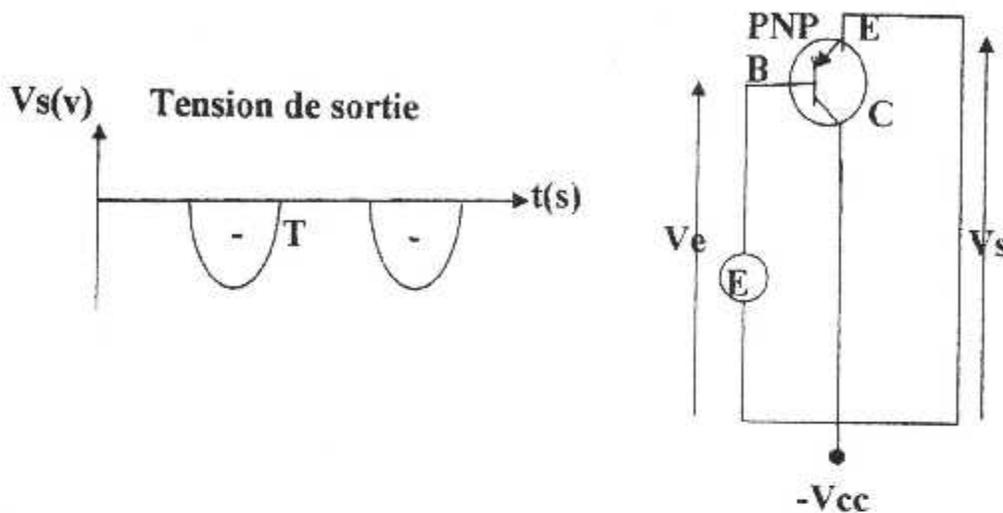
Pendant l'alternance positive la jonction émetteur du transistor NPN passe le courant, on aura une amplification de l'alternance positive voir la figure(II-25).



**Figure(II-25) : Fonctionnement de la partie haute de l'ampli symétrique classe B.**

**Fonctionnement de la partie bas :**

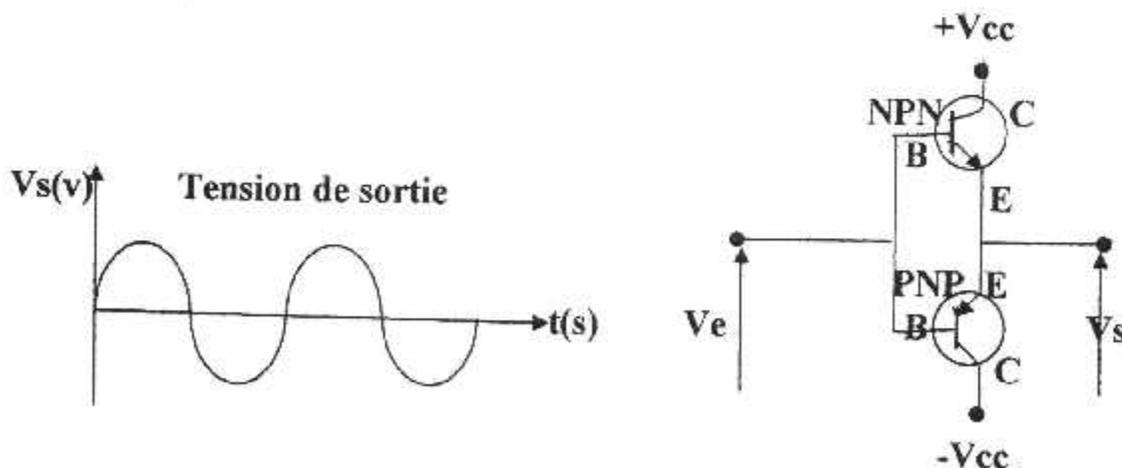
Pendant l'alternance négatif la jonction émetteur du transistor PNP est polarisée en inverse est aucun courant ne passe alors on obtient l'amplification de l'alternance négatif (l'inverse de la partie haute) voir la figure(II-26).



**Figure(II-26) : Fonctionnement de la partie bas de l'ampli symétrique classe B.**

**Fonctionnement du montage de l'ampli classe B :**

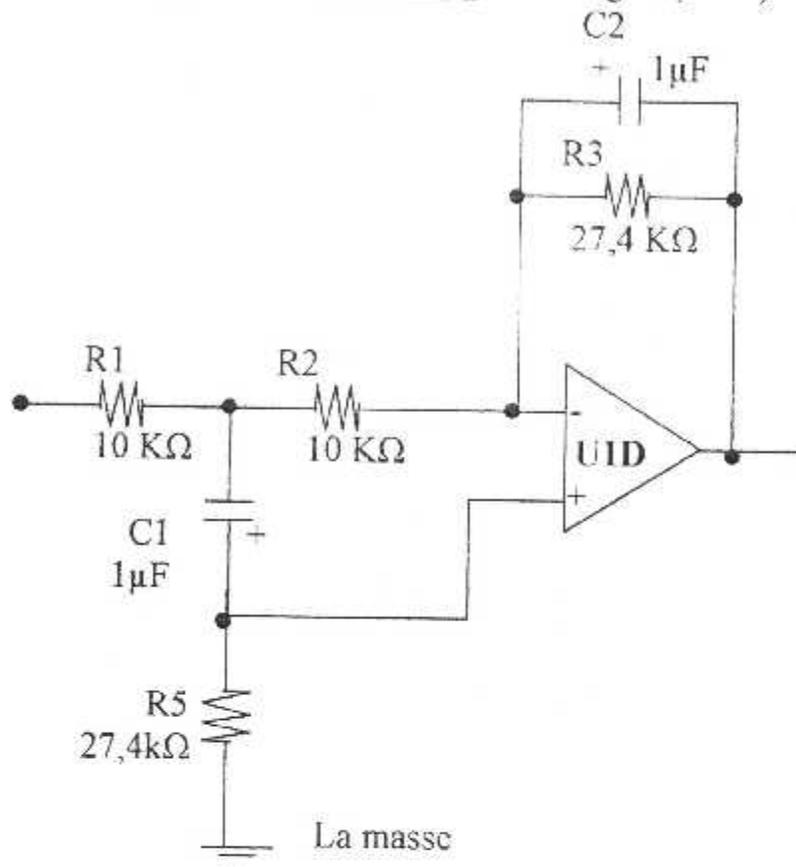
Pour avoir un amplificateur classe B on relie deux transistors l'un NPN en haut il amplifie l'alternance positif et l'autre PNP en bas il amplifie l'alternance négatif alors on obtient à la sortie une onde complète voir la figure(II-27).



**Figure(II-27) : Fonctionnement de l'ampli classe B.**

**b-2) Le signal droite :**

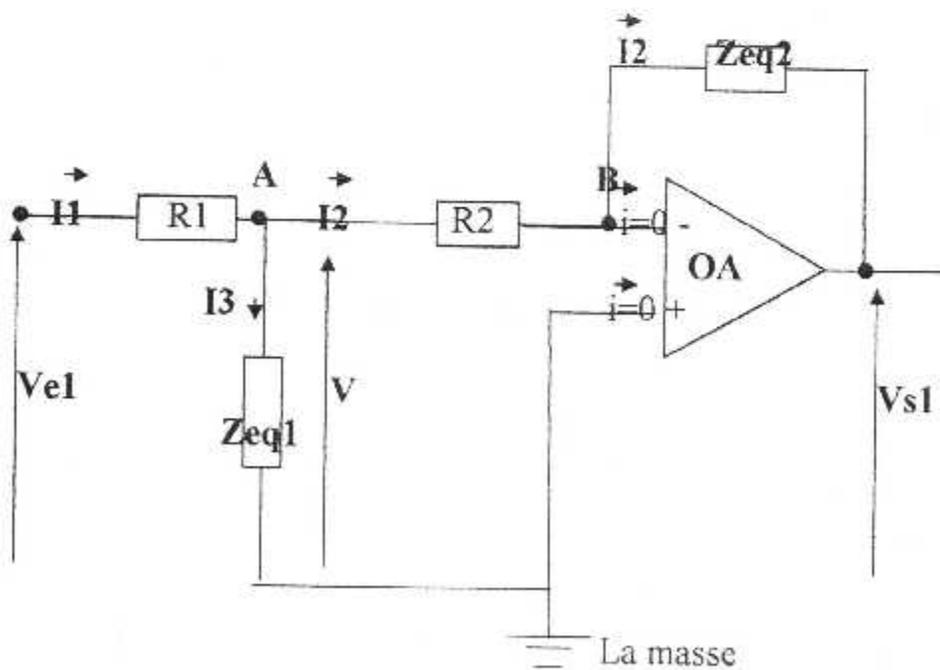
**b-2-1) Filtre à amplificateur opérationnel : voir la figure(II-28).**



**Figure(II-28) : Schéma électrique de ampli filtre 2.**

• **Détermination de la fonction de transfert du filtre :**

En simplifiant le schéma de la figure(II-28) il devient :



**Figure(II-29) : Schéma simplifier de l'ampli filtre 2.**

$$Z_{eq1} = R5 + (1/j.C1.\omega) = (1+j.R5.C1.\omega)/(j.C1.\omega)$$

$$Z_{eq2} = R3 // (1/j.C2.\omega) = R3 / (1+j.R3.C2.\omega)$$

Utilisons la méthode des nœuds.

**-Nœud A :**

Nous avons :

$$I1 = I2 + I3 \tag{1.}$$

$$I1 = (Ve1 - V)/R1, I2 = (V - Vs1)/(Z_{eq2} + R2), I3 = V/Z_{eq1}$$

$$\text{donc : } (Ve1 - V)/R1 = (V - Vs1)/(Z_{eq2} + R2) + V/Z_{eq1}$$

D'où :

$$Ve1/R1 = V(1/R1 + 1/(Z_{eq2} + R2) + 1/Z_{eq1}) - Vs1/(Z_{eq2} + R2) \tag{2.}$$

**-Nœud B :**

On a d'après les propriétés de l'amplificateur opérationnel :

$$\begin{cases} Vs1 = -Z_{eq2}.I3 \\ V = R2.I3 \end{cases}$$

$$\Rightarrow Vs1/V = -Z_{eq2}/R2$$

$$\text{D'où } V = -R2.Vs1/Z_{eq2} \tag{3.}$$

Remplaçons l'équation (3) dans l'équation (2), et après simplification

On trouve :

$$Ve1 = (1+j.R3.C2.\omega)[(R2(1+j.R5.C1.\omega) + j.R3.C1.\omega)(R2+R3+j.R2.R3.C2.\omega) + R2(1+j.R3.C2.\omega)(1+j.R5.C1.\omega) + R1.R3(1+j.R5.C1.\omega)].(-Vs1)/[R3(1+j.R5.C1.\omega)(R2+R3+j.R2.R3.C2.\omega)]$$

Par conséquent le gain est :

$$GV = Vs1/Ve1 = \frac{R3(1+j.R5.C1.\omega).(R2+R3+j.R2.R3.C2.\omega)}{(R2+R3+j.R2.R3.C2.\omega)+R2(1+j.R3.C2.\omega).(1+j.R5.C1.\omega)+R1.R3(1+j.R5.C1.\omega)}$$

**• Nature du filtre :**

$$\begin{cases} \bullet \lim_{\omega \rightarrow 0} |GV| = R3(R2+R3)/(R2(R2+R3)+R2+R1.R3) = 2,73 \\ \bullet \lim_{\omega \rightarrow +\infty} |GV| = 0 \end{cases}$$

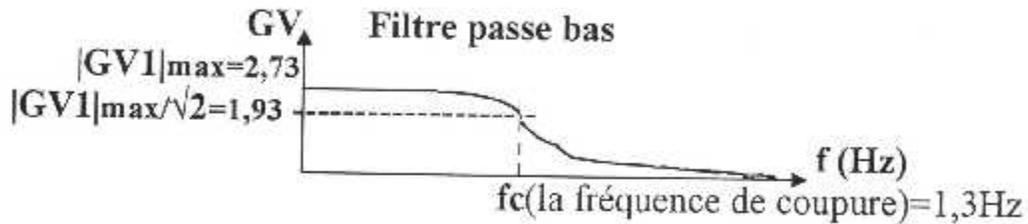
Donc le filtre est un **Passe bas**.



• **La fréquence de coupure :**

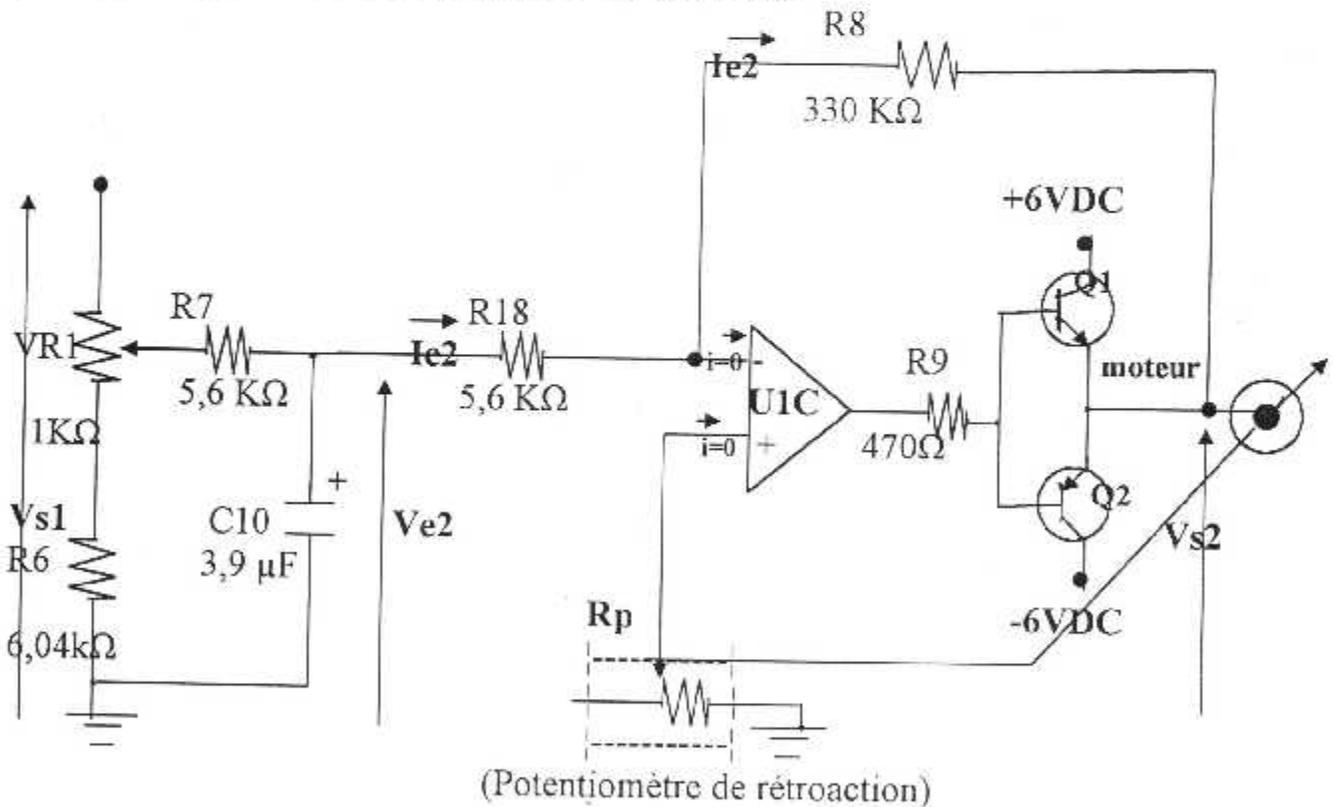
La fréquence de coupure correspond au gain en tension efficace, on peut la déterminer graphiquement par la projection voir la figure(II-30). Sachant que la fréquence de coupure  $f_c = \omega_c/2\pi$  on peut aussi la déterminer à l'aide de la relation suivante :

$$|GV|_{\max}/\sqrt{2} = R_3(R_2+R_3)/[(R_2(R_2+R_3)+R_2+R_1.R_3)\sqrt{2}] = |GV(\omega_c)|.$$



**Figure(II-30) : Courbe de gain en tension (GV1) de l'ampli filtre 2.**

**b-2-2) L'amplificateur servo :** voir la figure(II-31).



**Figure(II-31) : Schéma électrique de l'ampli servo 2.**

- Quand la résistance variable à zéro ( $VR1=0$ ) on a :  $Ve2 = Vs1$ .
- Le condensateur C10 a un rôle de filtrage.

- Si le potentiomètre de rétroaction à zéro ( $R_p=0$ ) on a :
 
$$\begin{cases} V_{e2} = R_{18} \cdot I_{e2} \\ V_{s2} = -R_8 \cdot I_{e2} \end{cases}$$

En faisant le rapport de  $V_{s2}/V_{e2}$

D'où le gain est :

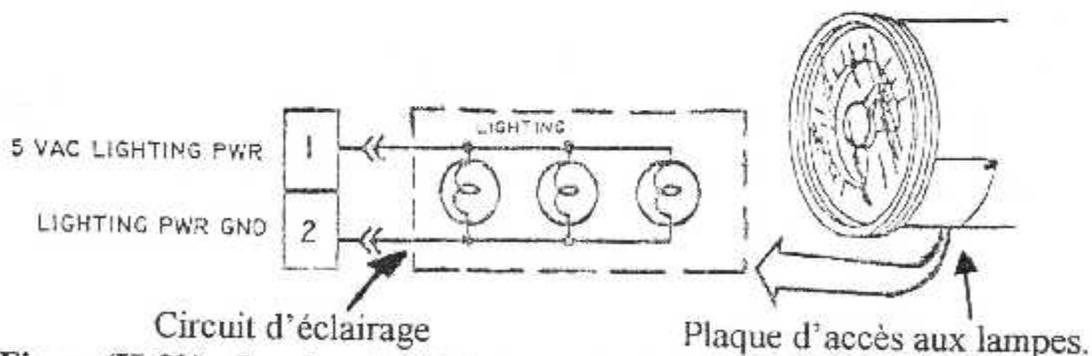
$$GV_2 = V_{s2}/V_{e2} = -R_8/R_{18} = -58,9$$

Donc notre ampli est un **inverseur**.

- Le moteur agit sur le potentiomètre de rétroaction (le retour d'asservissement de position) qui est guidé par un circuit intégré LM129, donc on aura un gain différent du précédent et la tension de sortie change, l'ampli symétrique classe B agit sur le moteur qui va s'arrêter, pour lire sur l'indicateur la valeur de pression (en PSI), quand on aura un nouveau signal d'entrée ( $V_{e2}$ ) l'ampli symétrique classe B agit sur le moteur qui va fournir la vitesse de rotation de l'aiguille de lecture de la pression droite, et on peut lire sur l'indicateur une autre valeur de la pression qui vient du réacteur droite.

### b-3) L'éclairage de l'indicateur double pression :

Le circuit d'éclairage comporte trois lampes, il est facile à déposer pour le remplacement des lampes sans nécessité d'enlever tout le boîtier, la plaque d'accès de lampe est enlevée pour accéder au circuit d'éclairage. L'alimentation du circuit d'éclairage de l'indicateur est de 5 VAC voir la figure(II-32).



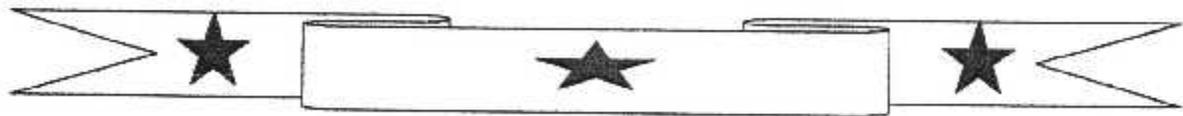
**Figure(II-32) : Le circuit d'éclairage de l'indicateur double pression.**

### Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons bien détaillé l'étude du fonctionnement interne du transmetteur et de l'indicateur, car c'est un élément très important pour réaliser le banc d'essai, dans l'atelier le banc d'essai est une simulation du rôle des deux transmetteurs de pression en vol dans l'avion (la variation de la tension correspond linéairement à la variation de pression). Donc on va attaquer l'étude et la réalisation du banc d'essai sans aucun problème.

# CHAPITRE III

## Etude et réalisation du banc d'essai



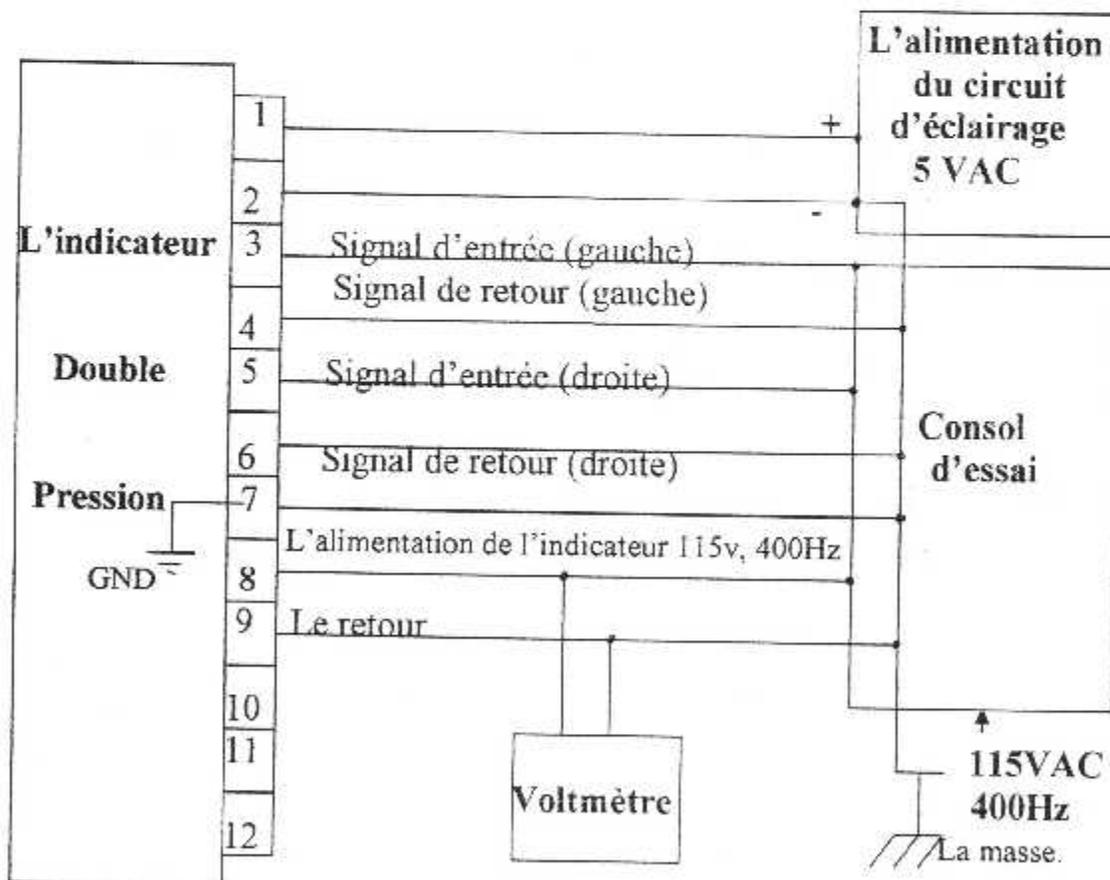
**Introduction :**

Dans ce chapitre on va voir l'étude détaillée du banc d'essai avec l'idée de le réaliser qui permettra le test du bon fonctionnement de l'indicateur double pression de conduite, après avoir développé cette idée par un synoptique général qui décrit les différents étages du montage, les éléments d'entrées et de sorties du banc d'essai, puis en passe aux différents étages du montage qui sont classés dans l'ordre suivant :

- L'alimentation.
- Etude du circuit électrique.
- La réalisation pratique.
- En fin la partie la plus intéressante, c'est le test de l'indicateur qui est notre objectif.

**III-1) Les Procédures de conception :**

**III-1-1) Schéma synoptique général du banc d'essai :** voir la figure(III-1).



**Figure(III-1) :Schéma synoptique du banc d'essai de l'indicateur double pression de conduite.**

• **Remarque :** Le boîtier a rectifié et toutes les canalisations de retour seront mises à une basse terre d'impédance.

### III-1-2) Identification des signaux d'entrées et de sorties du banc d'essai :

• **Le signal de sortie gauche :** C'est un signal qui sort du banc d'essai en sélectionnant la position 9B, 9C pour tester l'indicateur double pression du B767-300 et B737-800 NG, ce signal varie de 0,2 à 5,2 VDC obtenu lorsque on varie le potentiomètre, il est connecter à la pin N°3 de la prise de l'indicateur, pour le test du signal 'gauche' de l'indicateur voir la figure(III-3).

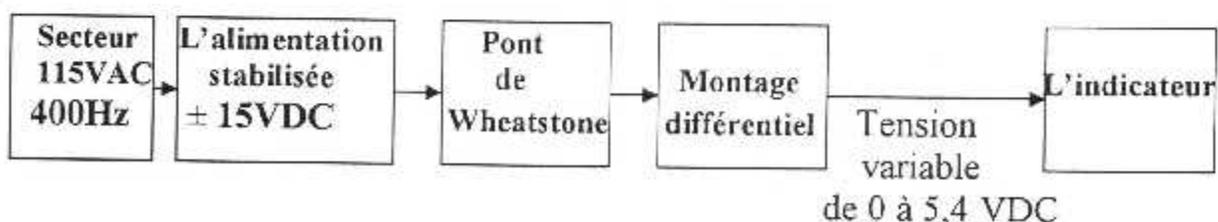
• **Le signal de retour gauche :** C'est un signal qui sort de l'indicateur et il doit être relia au banc d'essai lorsque on sélectionne la position 9B, 9C qui représente la masse, ce signal qui est connecter à la pin N°4 de la prise de l'indicateur, pour tester le signal 'gauche' de l'indicateur.

• **Le signal de sortie droite :** C'est un signal qui sort du banc d'essai en sélectionnant la position 9B, 9C pour tester l'indicateur du B767-300 et B737-800 NG, ce signal varie de 0,2 à 5,2 VDC obtenu lorsque on varie le potentiomètre, il est connecter à la pin N°5 de la prise de l'indicateur, pour le test du signal 'droite' de l'indicateur.

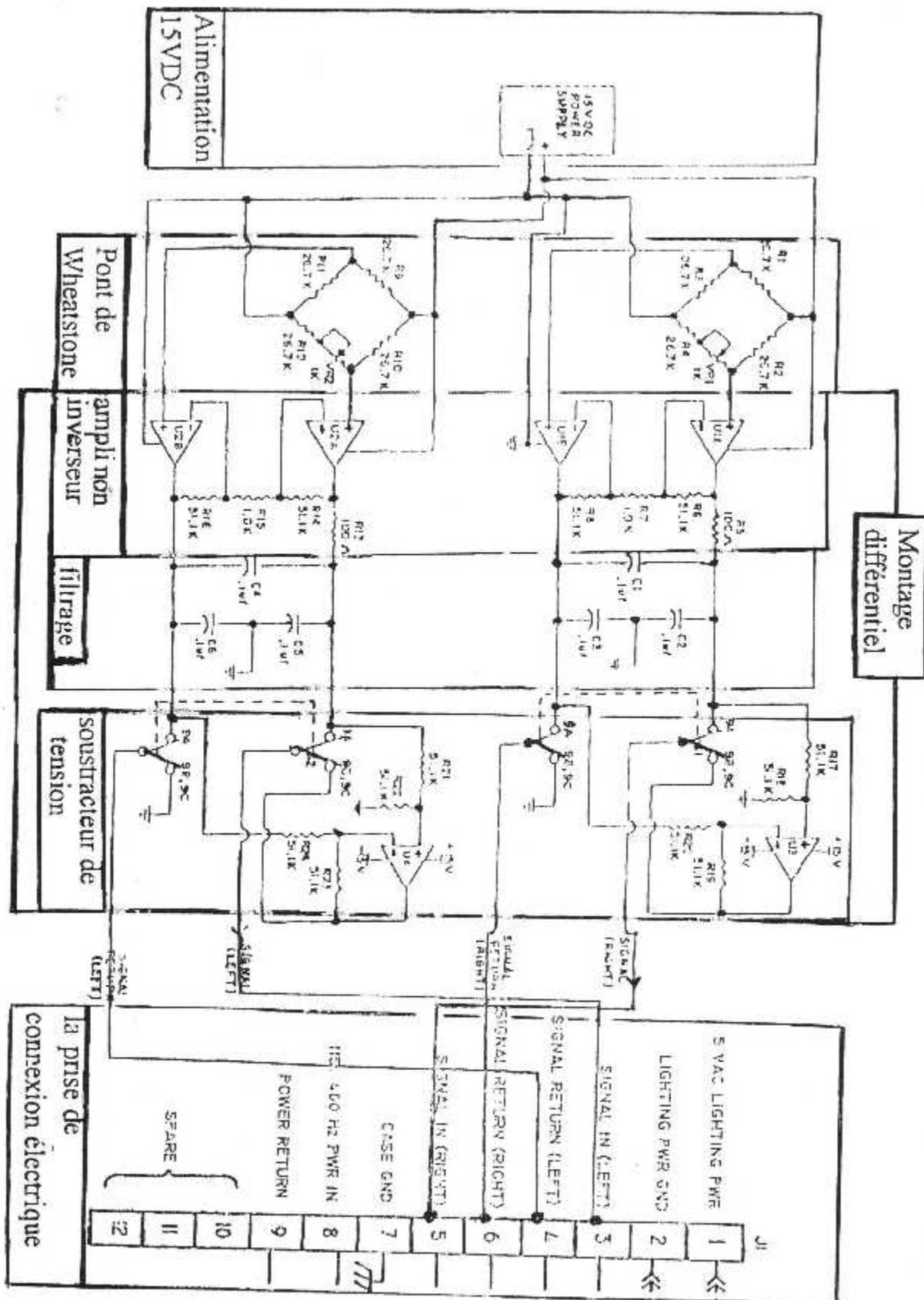
• **Le signal de retour droite :** C'est un signal qui sort de l'indicateur et il doit être relia au banc d'essai, on sélectionne la position 9B, 9C qui représente la masse, ce signal qui est connecter à la pin N°6 de la prise de l'indicateur, pour le test du signal 'droite' de l'indicateur.

III-1-3) Etude détaillée du schéma électrique du banc d'essai : Voir la figure(III-3).

#### a) Schéma synoptique détaillé du montage électrique du banc d'essai :



**Figure(III-2) : Schéma synoptique détaillé du montage électrique du banc d'essai.**



Figure(III-3) :Schéma électrique détaillé du banc d'essai.

**a-1) Etude de l'alimentation du banc d'essai :**

Les systèmes électroniques sont souvent alimentés par des sources de tension continues et alternatives. Dans le souci de répondre aux besoins énergiques de notre banc d'essai, nous optons pour une alimentation continue qui fournira les tensions et les courants nécessaires du fonctionnement avec le minimum d'ondulation résiduelle.

Les tensions fournies doivent rester stable quelque soient les conditions de charge d'alimentation dans ses limites normales et les régularités du secteur (115 VAC et 400Hz). L'alimentation du banc d'essai est donner sous deux formes de tensions :

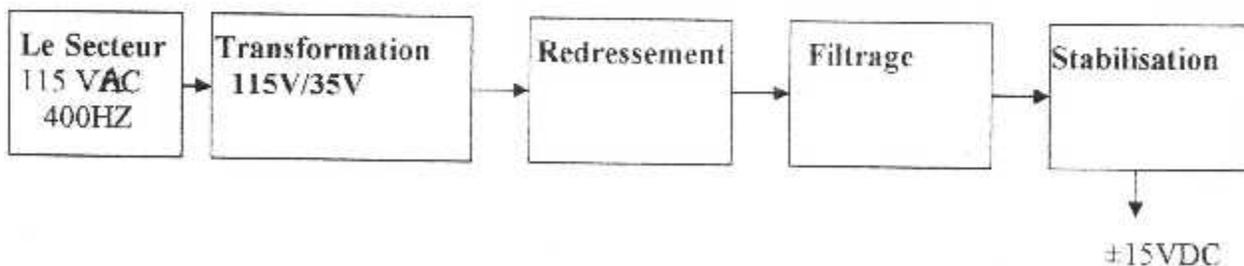
- Une tension alternative (~) pour l'alimentation de l'indicateur, qui est estimée à 115 VAC, Avec une fréquence de 400 Hz.
- Une tension continue pour l'alimentation des Amplificateurs opérationnels du banc d'essai, qui est estimée à  $\pm 15$  VDC.

**Principe de fonctionnement :**

Notre alimentation utilise un transformateur abaisseur de tension de secteur 35 v cette tension doit être redressé à l'aide de deux diodes D1 et D2 suivant le mode double alternance ensuite elle est filtrée et réglée, pour obtenir deux tensions continues stable et réglées à  $\pm 15$  VDC.

**• Schéma synoptique de l'alimentation:**

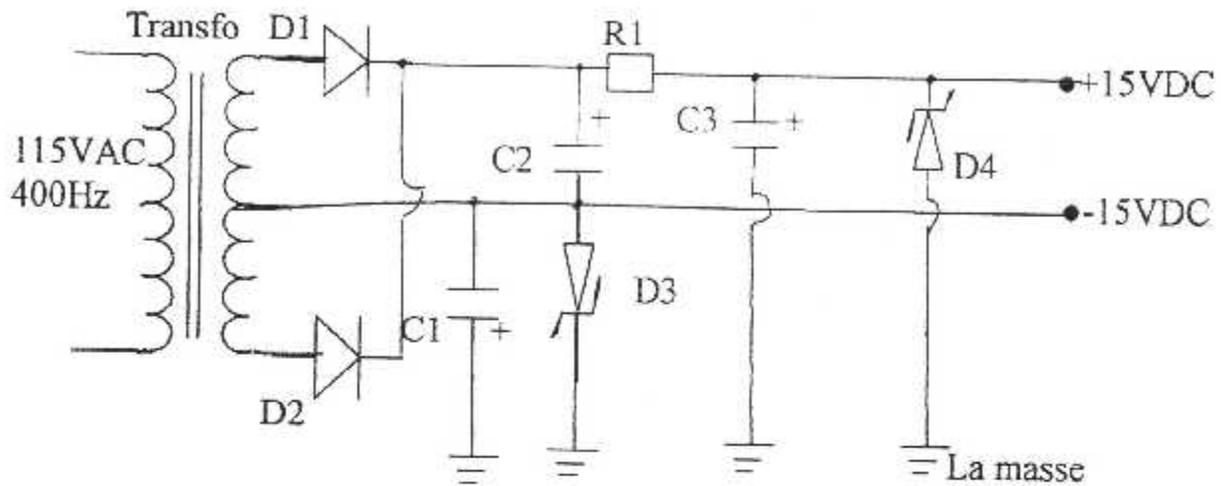
Comme toute alimentation traditionnelle, les étages élémentaires formant notre alimentation sont présentés par le schéma synoptique de la figure (III-4).



**Figure(III-4) :Schéma synoptique de l'alimentation.**

**• Le schéma électrique de l'alimentation:**

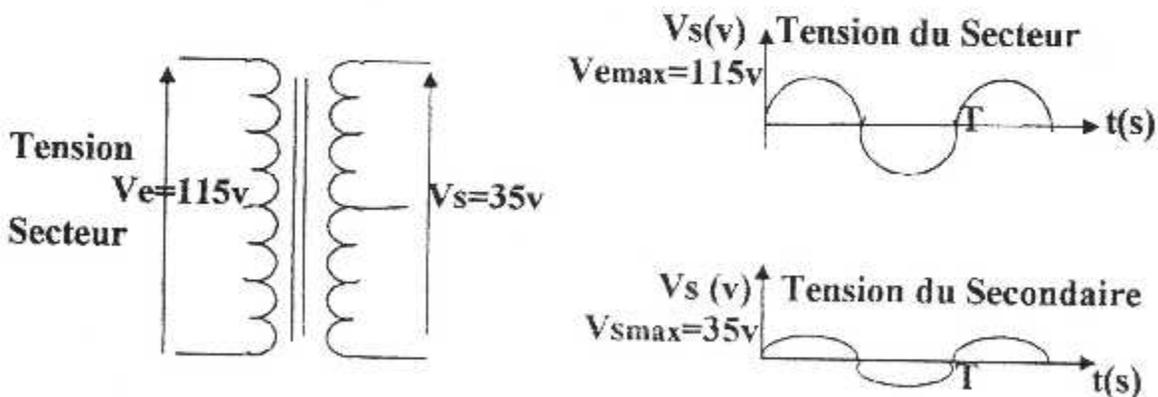
La figure (III-5) représente le schéma électrique de l'alimentation à étudier, une étude théorique de chaque partie est nécessaire pour connaître avec plus de précision chaque bloc.



**Figure (III-5) : Schéma électrique de l'alimentation du banc d'essai.**

**• Etude théorique de l'alimentation :**

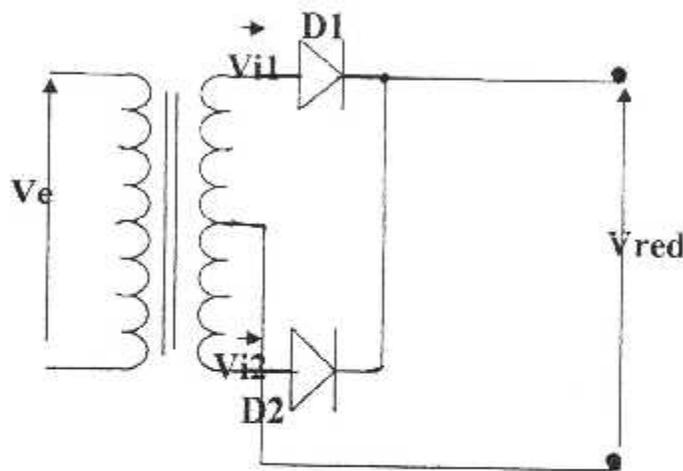
**• La transformation :** Elle se fait à l'aide d'un transformateur qui abaisse la tension alternative (115 VAC, 400 HZ) du secteur qui alimente le bobinage primaire (entrée) en une autre tension alternative 35VAC de enroulement secondaire, ce transformateur à un point milieu, l'allure de la tension au secondaire 'du transformateur 'est représenté dans la figure (III-6).



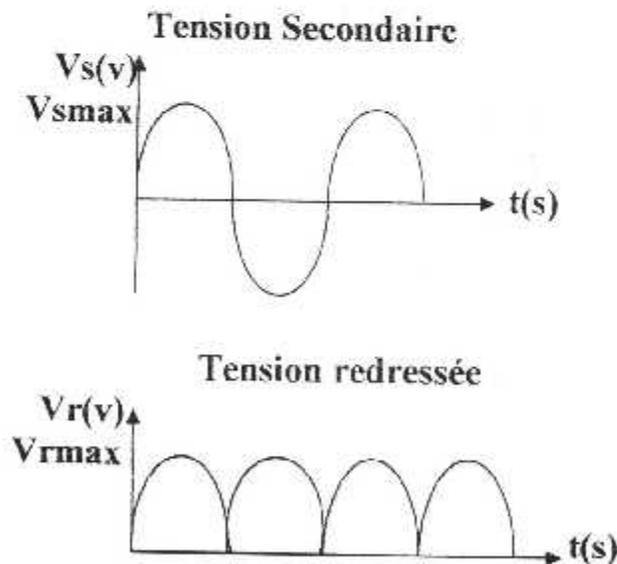
**Figure(III-6) :Tension du secteur abaissée.**

**• Le redressement :** On sait qu'un redresseur est un circuit qui transforme une tension alternative en une tension continue, la figure(III-7) représente le schéma

électrique du redressement, il se fait à l'aide des deux diodes D1 et D2 (une conception économique) conduisent quand leurs tensions d'entrée  $V_{i1}(t)$  et  $V_{i2}(t)$  deviennent supérieures à la tension bornes de C2 (condensateur C2) voir la figure(III-5). Quand  $V_{i1}(t)$  atteint sa valeur max  $V_m$ , la tension au bornes de C2 devient supérieure à la tension d'entrée et D1(ou D2) se bloque. La capacité se décharge alors à travers R1 avec la constante de temps  $R1C2$ (en supposant que les diodes sont parfaites) et le courant dans D1(ou D2) s'annule il ne redevient différent de zéro que lorsque la tension ou borne de condensateur C2 atteint de nouveau  $V_{i1}(t)$  ou  $V_{i2}(t)$ .



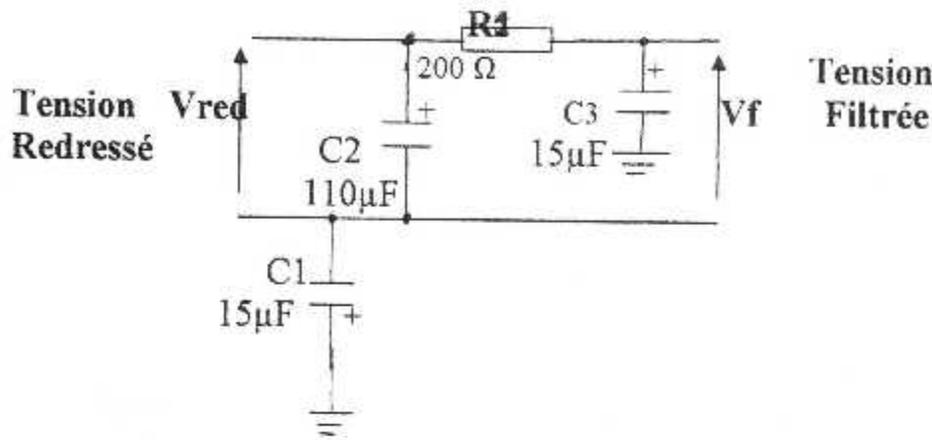
**Figure(II-7) : Le Circuit de redressement.**



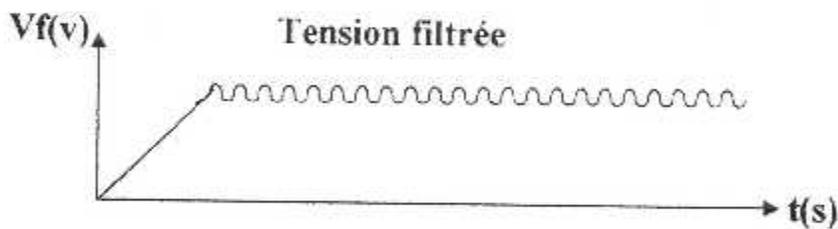
**Figure(III-8) : L'allure de la tension redressée.**

- **Le filtrage :** c'est de transformer la tension redressée en véritable tension continue. C'est l'opération la plus utilisée pour limiter les ondulations présentées dans la tension redressée, il se fait à l'aide de condensateur qui va

jouer le rôle d'amortisseur, de réserve d'énergie. En effet, chargé pendant les crêtes, il débite quand la tension redressée chute vers zéro (décharge vers la résistance R1). Il en résulte une tension continue, voir les figures (III-9) et (III-10).

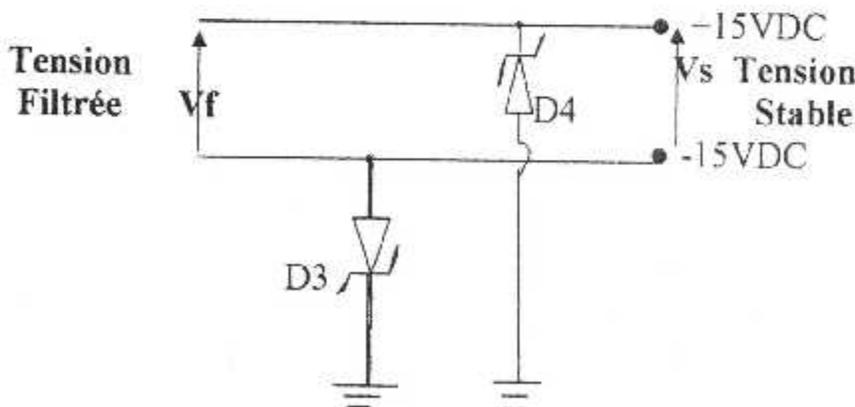


**Figure(III-9) : Le circuit de filtrage**

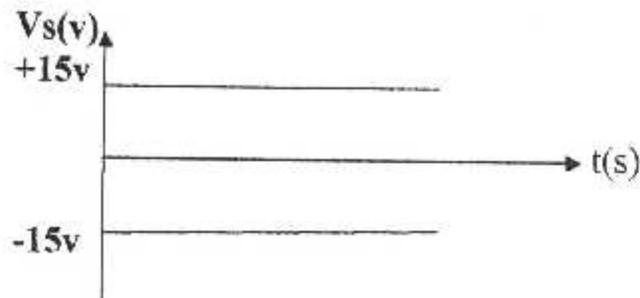


**Figure(III-10) : L'allure de la tension filtrée.**

• **La stabilisation :** La stabilisation permet d'avoir une tension continue stable et sans bruit de fond de l'alimentation à partir d'une plus haute tension continue, dans notre montage on a utilisé deux diodes de zener, à l'aide d'elle on a obtenu deux tensions stable ( $\pm 15$  VDC) voir la figure(III-11).



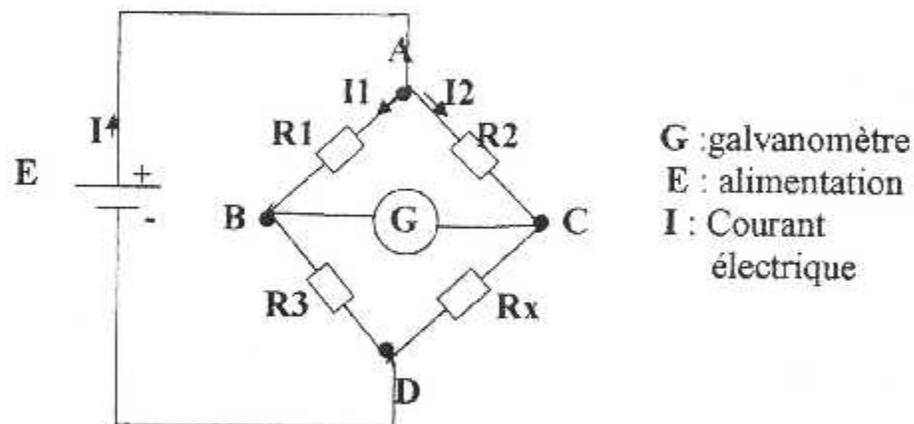
**Figure(III-11) : Le schéma électrique de la régulation.**



**Figure(III-12) : L'allure de la tension réglée.**

**a-2) Etude du pont de Wheatstone :**

Il s'agit d'un ensemble qui a vocation d'être équilibré et qui sert à traduire un déséquilibre électrique. C'est un pont qui est constitué de quatre (04) résistance, une alimentation qui alimente l'ensemble et d'un appareil de mesure (G :galvanomètre ) qui à zéro central nous indique que le système est équilibré, c'est-à-dire qu'aucune différence de potentiel (ddp=tension) n'est présent à ces bornes et que par conséquent aucun courant n'y circule voir la figure(III-13).



**Figure(III-13) :Montage d'un pont de wheatstone.**

**• Principe de Fonctionnement du pont :**

Si la résistance  $R_x$  a une valeur inconnue, cette résistance est variable et nous l'avons faite varier pour équilibrer le pont, c'est-à-dire le point '0' du galvanomètre. Dans ce cas la différence de potentiel entre les points (B) et (C) est nulle.

$V_{ab}$  : c'est la différence de potentiel entre les points A et B.

D'après la loi d'ohm :

$$V_{ab} = R_1 \cdot I_1$$

$$V_{bd} = R_3 \cdot I_1$$

Pour que le pont soit en équilibre, c'est-à-dire que la différence du potentiel entre les points (B) et (C) est nulle ( $V_{bc}=0$ ) ; il faut que les chutes de tension aux bornes de  $R_1$  et  $R_2$  soient identiques.

$$V_{ac}=R_1 \cdot I_2$$

$$V_{cd}=R_x \cdot I_2$$

Idem pour  $R_3$  et  $R_x$ .

On en déduit que :

$$R_1 \cdot I_1 = R_2 \cdot I_2$$

$$R_3 \cdot I_1 = R_x \cdot I_2$$

En reformulant notre équation :

$$R_1/R_3 = R_2/R_x$$

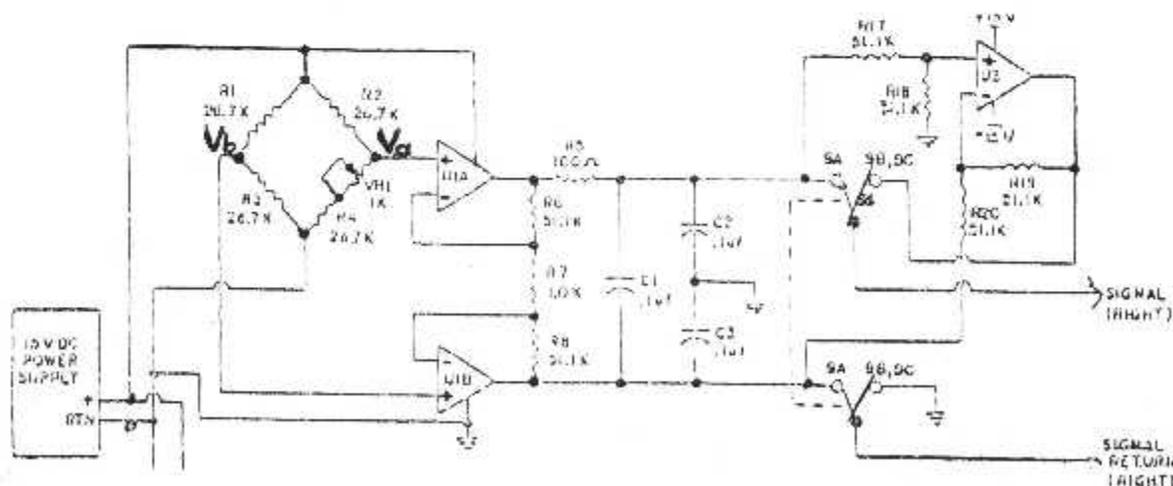
Déduisons la valeur de  $R_x$  :

$$R_x = R_2 \cdot R_3 / R_1$$

• **Exploitation du pont de Wheatstone** : Si on remplace le galvanomètre par un « amplificateur de tension différentielle » qui amplifie la différence de tension entre B et C. cette amplificateur différentielle est chose simple à construire. Il joue le rôle d'un capteur, il consiste à mesurer les tensions médianes de deux ponts diviseurs. Il détecte la moindre variation de la résistance  $R_x$  (potentiomètre dans notre banc d'essai).

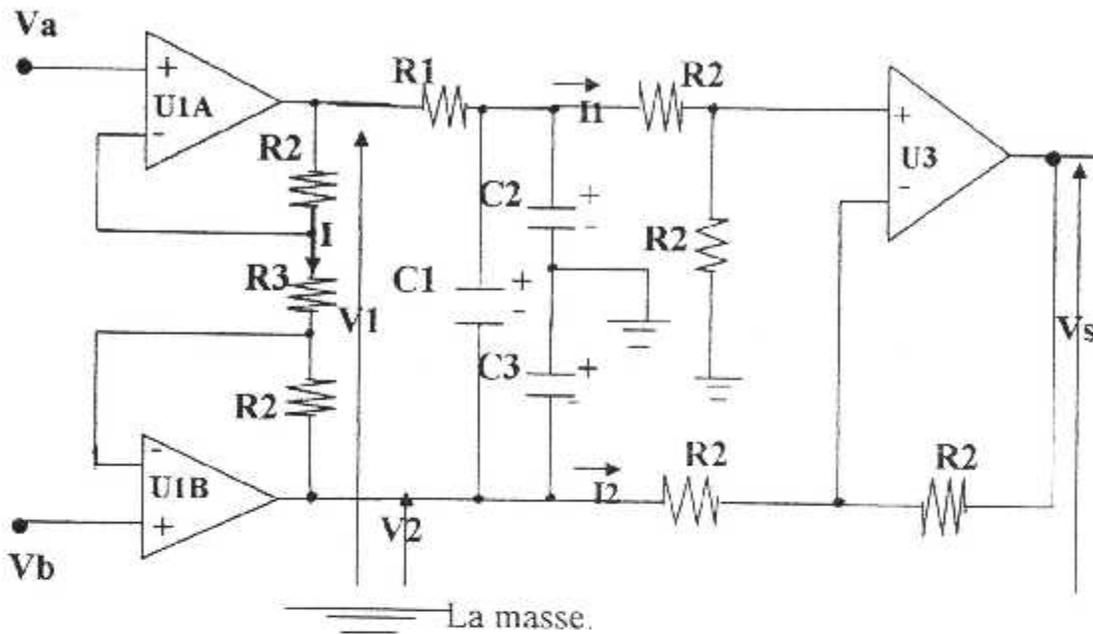
**a-3) Etude du montage différentielle du banc d'essai :**

Nous Allons simplifier le schéma électrique du banc d'essai de la figure(III-3) pour faciliter l'étude, car le montage est symétrique il suffit d'étudier une seule partie voir la figure(III-14).



**Figure(III-14) : Schéma électrique du signal droite du banc d'essai.**

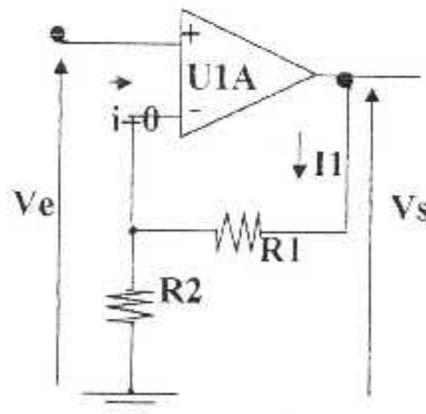
Pour tester l'indicateur double pression de conduite d'avions type B767-300 et B737-800NG il faut mettre le switch (S1) sur la position 9B, 9C voir la figure(III-14), nous sélectionnons cette position, le schéma devient :



**Figure(III-15) : Schéma électrique simplifié du signal droite du banc d'essai.**

Dans le montage on a utilisé un dual amplificateur opérationnel qui le LM747 pour l'amplis U1A et U1B qui ont un rôle d'un ampli non inverseur voir la figure(III-16). U3 est un ampli opérationnel type OP-07 qui joue le rôle d'un soustracteur de tension voir la figure(III-17).

**• L'amplificateur non inverseur (U1A, U1B) :**



On a :

$$V_e = R_2 \cdot I_1$$

$$V_s = (R_1 + R_2) \cdot I_1$$

D'où :

$$G_V = V_s / V_e = (R_1 + R_2) / R_2 = 1 + R_1 / R_2$$

Donc l'ampli est : non inverseur.

**Figure(III-16) :Circuit de l'ampli non inverseur.**

• **Soustracteur de tension (U3):**

On a :

$$R1=R2=R3=R4=51,1k\Omega$$

Le gain est :

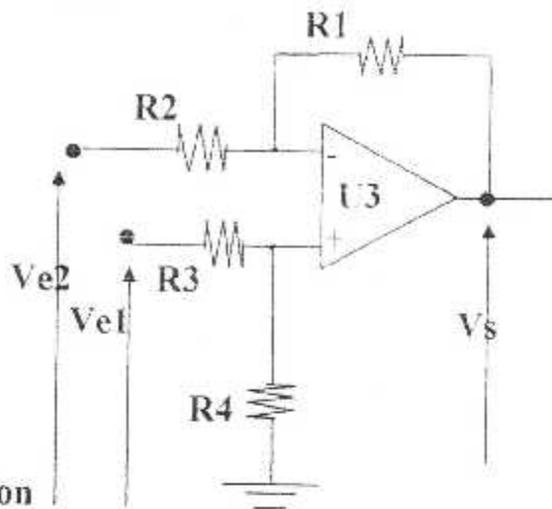
$$GV=R1/R2=R4/R3=1$$

La tension de sortie est :

$$Vs=(E1-E2).GV=E1-E2$$

Donc l'ampli est:

Un soustracteur de tension



**Figure(III-17) : Circuit de l'ampli soustracteur de tension.**

• Les condensateurs C1, C2, C3 ont un rôle de filtrage du signal, C1 pour le filtrage des deux signaux sortent de l'ampli U1A et U1B, C2 pour le filtrage du signal qui sort de l'ampli U1A, C3 pour le filtrage du signal qui sort de l'ampli U1B voir la figure(III-15).

• **Détermination de la fonction de transfert du montage différentiel :** voir la figure(III-15).

On a :

$$\begin{cases} Vs = -R2 \cdot I2 & (1) \\ I2 = (V2 - V1)/R2 & (2) \end{cases}$$

En remplaçant l'équation(2) dans l'équation (1).

$$D'où : Vs = -R2 \cdot (V2 - V1)/R2 = (V1 - V2) \quad (3)$$

Nous avons:

$$\begin{cases} V1 - V2 = I (2R2 + R3) & (4) \\ I = (Va - Vb)/R3 & (5) \end{cases}$$

En remplaçant l'équation(5) dans l'équation (4).

$$D'où : V1 - V2 = (Va - Vb) (2R2 + R3) / R3 \quad (6)$$

En remplaçant l'équation(6) dans l'équation (3).

Donc :

$$Vs = (V1 - V2) = (2R2 + R3)(Va - Vb)/R3$$

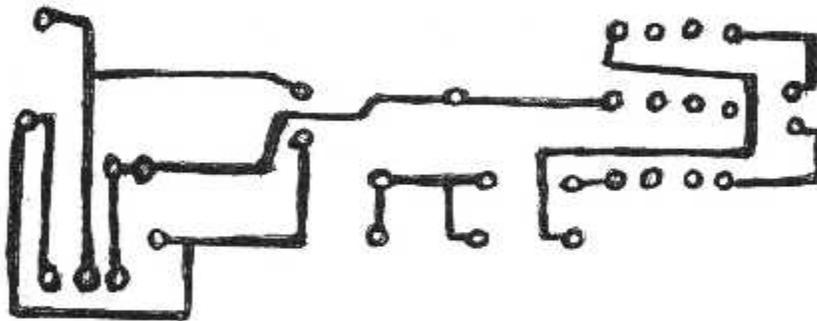
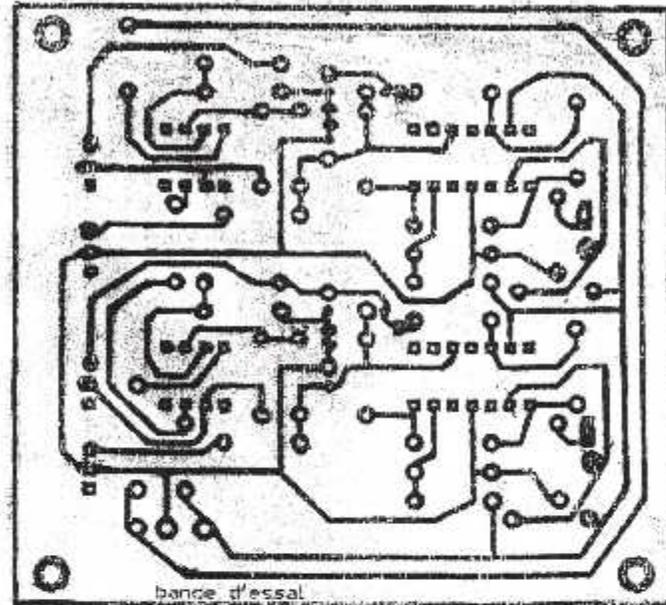
Alors dans le schéma de la figure(III-14) on a Va et Vb des variables quand en déséquilibre le pont (on varie le potentiomètre). Donc nous aurons un gain ajustable et une tension de sortie qui varie de 0 à 14VDC, pour le test de l'indicateur.

**III-1-4) Réalisation pratique du banc d'essai :****a) Conception du circuit imprimé :**

Pour réaliser le circuit imprimé de notre montage on a utilisé des plaques pré sensibilisée, cette méthode permet de reproduire plusieurs plaquettes identiques. Sans avoir à faire chaque fois le dessin sur les rubans de cuivre, et aussi pour éviter les fautes de dessin pendant l'utilisation d'un crayon feutre spéciale pour ce type de circuit imprimé. Au niveau de sa conception, quelques straps ont été nécessaire pour éviter la double face parce qu'il est un peu cher. Tous les trous sont percer à l'aide d'un foret de 0,8 mm de diamètre, les pastilles les plus grandes sont percer avec un foret de 1mm et plus suivant le diamètre des connexions des composants à implanter voir la figure(III-18). Pour les éléments utilisé voir le tableau(III-1).

Désignation des composants	Numéro de la pièce	Description
.R1 jusqu'à R4, R9 jusqu'à R12	RN55C2672F	Résistance fixe 26,7k
.R6, R8, R14, R16 jusqu'à R24	RN55C112F	Résistance fixe 51,1k
.R7 R15	RN55C1001F	Résistance fixe 1k
.R5 R13	RCR05G101JS	Résistance ohms
.C1 jusqu'à C6	CK06BX104	Capacité céramique 1uf,100v
.U1, U2	LM747 ou MC1747CP	circuit intégré, Ampli opérationnel duel
.U3, U4	OP07J ou OP07EN	ampli opérationnel
.S1, S2	JMT-221	interrépture
.VR1, VR2	.Bourns 3501 -1-102	potentiomètre, 10 tour, 1k

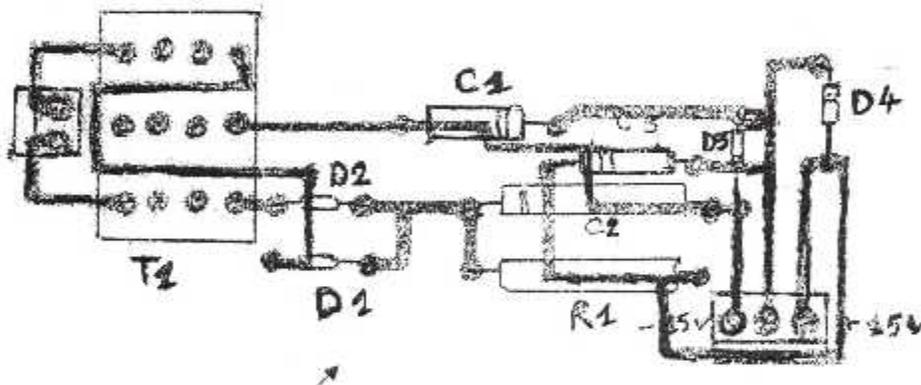
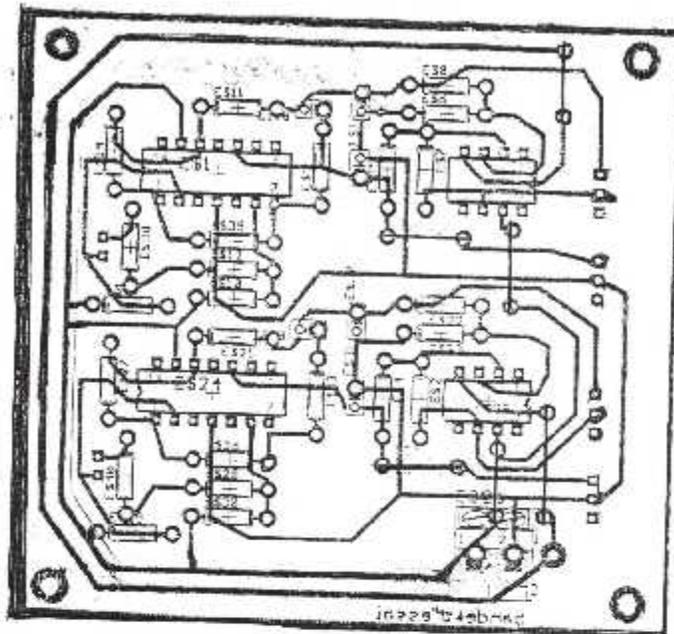
**Tableau(III-1) : Les composantes utilisées.**



**Figure(III-18) : Réalisation du circuit imprimé.**

**b) Implantation des composants :**

On implantera en premier lieu les diodes (pour la carte d'alimentation), les résistances, les condensateurs et les amplis (pour la carte de consol d'essai). Les straps sont réalisés à l'aide de chutes de connexions des résistances et des diodes, une attention toute particulière au respect des orientations des différents composants polarisés. De même des précautions sont à prendre lors de soudure des circuits intégrés, en particulier il est bon de ménager un temps de refroidissement suffisant entre deux soudures consécutives sur le même circuit intégré voir la figure(III-19).

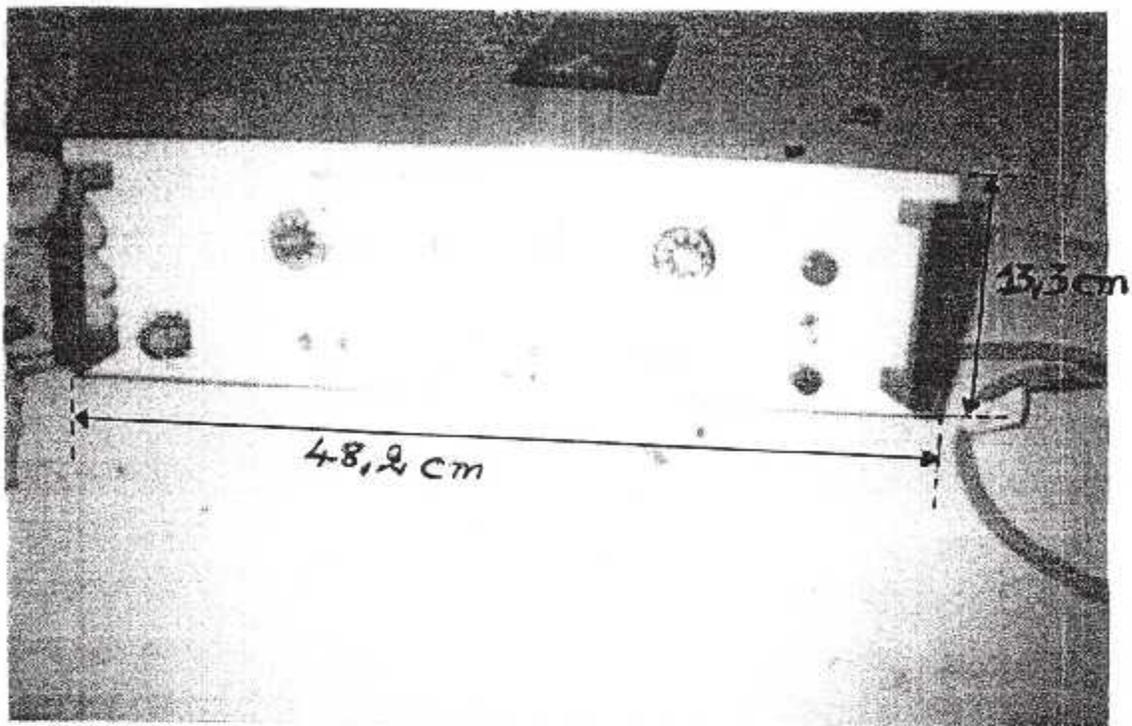


La carte d'alimentation

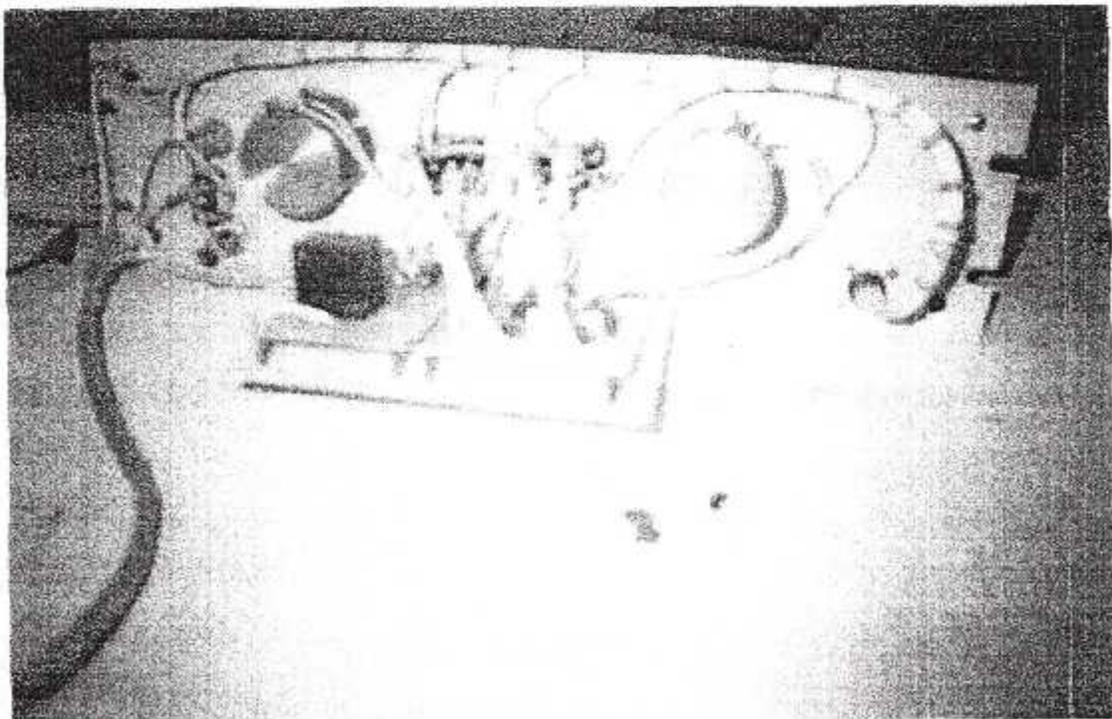
Figure(III-19) : Implantation des composants.

III-1-5) Conception de la face avant et de la face arrière du banc d'essai :

Les figures (III-20), (III-21) représentent respectivement la face avant et la face arrière du banc de l'indicateur double pression de conduite d'avions type B767-300 et B737-800NG.



Figure(III-20) : La face avant du banc d'essai.



Figure(III-21) : La face arrière du banc d'essai.

**III-2) Les Procédures de test de l'indicateur :****III-2-1) Les conditions de test de l'indicateur :**

- **États atmosphériques de banc d'essai :** Tous les essais doivent être faits à une température ambiante de  $-60^{\circ}$  à  $80^{\circ}\text{C}$ .

- L'humidité relative peut affecter la quantité de l'électricité statique et devrait être surveillée dans les secteurs où des réparations sont faites aux pièces sensibles d'ESD. Les niveaux acceptables d'humidité relative dépendront du type de normes d'industrie utilisées par la commandes d'ESD qui devraient être consultés.

- **Position de "TEST" :**

L'indicateur doit être examiné en position normale de fonctionnement (la tête inclinée des  $68^{\circ} \pm 5^{\circ}$  degrés vers l'avant de ligne centrale verticale pour l'avion B767-300. Pour B737-800NG, l'angle est  $63,5^{\circ} \pm 5^{\circ}$  degrés).

- **Test de la tension :**

L'indicateur doit être activer avec une tension fournie de  $115 \pm 1$  VAC avec une fréquence de  $400 \pm 1$  hertz et une tension d'éclairage de  $5 \pm 0,03$  VAC.

- **Tapement :** L'indicateur ne doit pas être tapé ou vibré pendant les essais.

- **Le signal d'entrée :**

Le signal d'entrée à chaque canal de B737-800NG et de B767-300 doit avoir une tension continue finie par signal avec une gamme de "copie normale" de 0,4 à 5,2 VDC corresponde linéairement à la variation de la pression de 0 à 80 PSI (livres par pouce carré).

- **Opération d'essai de l'indicateur :**

Les conditions qui suivent doivent être employées pour l'opération d'essai d'indicateur:

Affichage à indiquer: 40 PSI (livres par pouce carré).

Alimentation normale: 115 - / +2VAC, 400 - / +1 hertz

La tension d'éclairage : 5,0 - / +0,3 VAC.

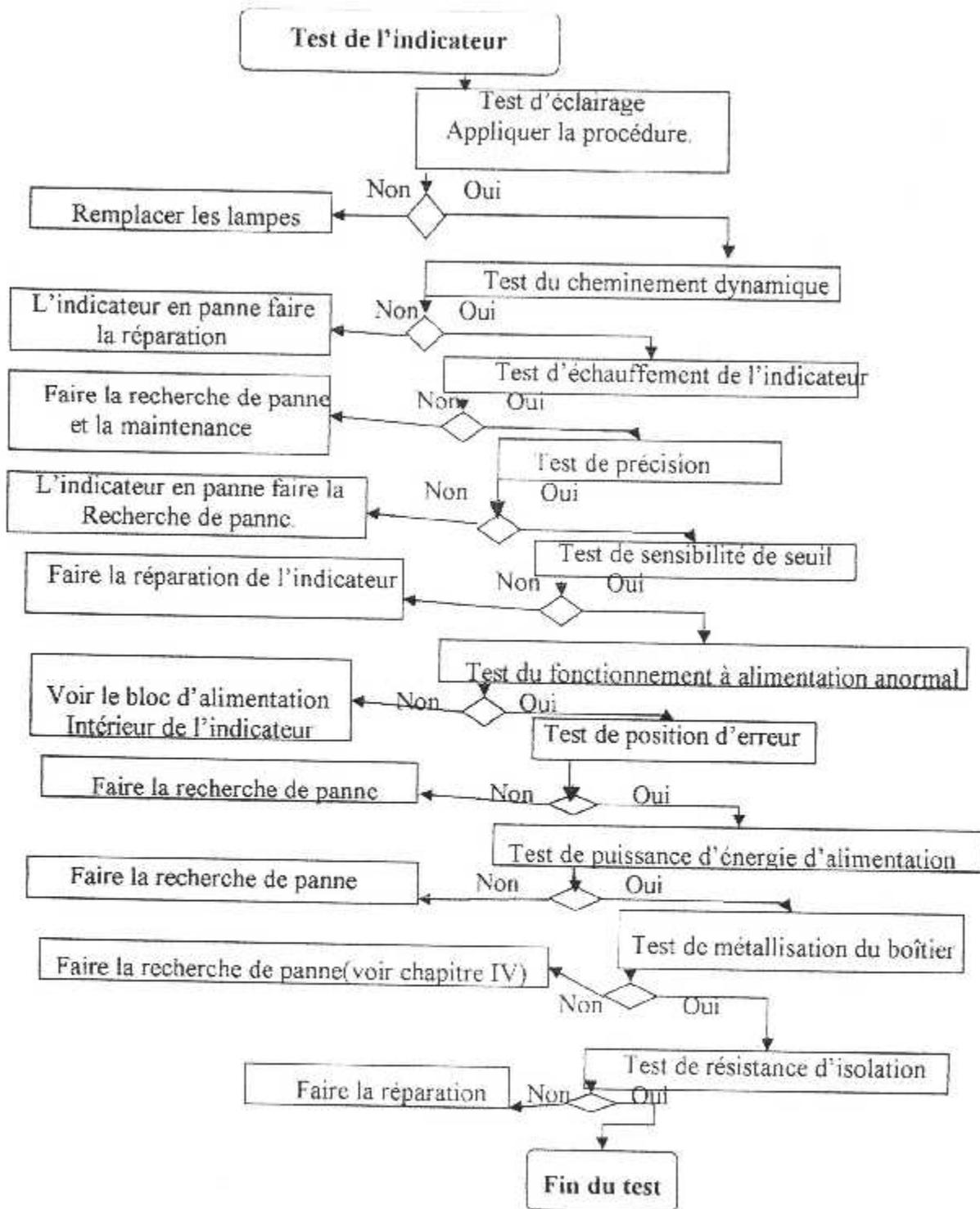
**III-2-2) Les équipements nécessaires au test :** Voir le tableau(III-2).

Equipement et matériel d'essai	Description
-Alimentation	-support 0 à 115 VAC,400Hz
-Alimentation des lampes	- actionner le modèle BPA-10D de mode de compagnon capable de fournir 0 à 10 VAC, 0-10 ampères
- ohmmètre	- model 260 de Simpson capable de mesurer la résistance, la tension et le courant
- megohmeter	-instrument industriel modèle L6B
-multimètre digital	-Model 262 de Digital capable de mesurer 1,9990 à 1000 VAC et VDC de résistance de 1,9999 à 19,9999 mégohms
- consol d'essai (B767-300, B737-800NG)	- a réaliser

**Tableau(III-2) : Le matériel exigé pour le test.**

Pour le test on a utilisé des équipements équivalents au lieu de ceux recommandés dans le tableau(III-2). L'équipement équivalent devrait fournir 4 à 10 fois de l'exactitude exigées par la tolérance de la valeur indiquée. Exemple: une lecture de 5 volts  $\pm 1\%$  est exigée. L'équipement avec l'exactitude de 0,10 à 0,25% peut être employé.

**III-2-3) Organigramme de test de l'indicateur double pression :** Voir la figure(III-22).



**Figure(III-22) : Organigramme de test de l'indicateur double pression.**

**III-2-4) La Méthode de test :**

**I. Test d'éclairage:**

Appliquer 5,0 - / +0,3 VAC aux pins N°1 et N°2, de circuit d'éclairage à l'aide d'un ampèremètre, vérifier le courant total de lampe est entre 311 milliampères de minimum et 380 milliampères de maximum. Remplacer la glissière si le courant de lampe dévie de cette gamme.

**2. Test du cheminement dynamique:**

a) Les aiguilles de l'indicateur doivent se déplacer dans les deux sens à gauche et à droite des deux échelles hauts et bas, oscillant, collant ou sautant quand des changements des signaux d'entrée sont montrés pendant le cheminement dynamique voir le tableau(III-3).

b) Actionner lentement l'échelle haut et l'échelle bas d'indicateurs indépendamment à un taux d'approximation. 30 secondes de l'arrêt inférieur et de l'autre côté à l'arrêt supérieur. S' il y a hésitation, frottement, sauter, faisant tic tac, interférence entre les aiguilles, etc., l'indicateur doit être réparé parce que il est en panne.

Point de test PSI	La tension continue (VDC)d'entrée		
	Tension nominal	Tension minimale.	Tension maximale.
0	0.4	0.296	0.504
20	1.6	1.496	1.704
40	2.8	2.696	2.904
60	4.0	3.896	4.104
80	5.2	5.096	5.304

**Tableau(III-3) : Marge d'erreur (d'exactitude) de l'indicateur**

**3. Test d'échauffement :**

Appliquer ' l'opération d'essai de l'indicateur ' recommander à l'indicateur après qu'il ait été éteint pendant plus de 30 minutes. Enregistrer les lectures à la fin de 30 minutes. L'exactitude doit être en dessous des tolérances indiquées dans le tableau(III-3).

**4. Test de précision:**

Il faut employer les signaux d'entrée de l'indicateur et les valeurs d'exactitude indiqués dans le tableau(III-3).

A) Appliquer un signal différentiel de 3,10 VDC (il faut qui il indique 45 PSI) aux pins (5 et 6) pour le signal de la partie droites. Ajuster le signal différentiel à droite du canal pins (5 et 6) pour examiner l'exactitude à droite de l'échelle haut.

b) Appliquer un signal différentiel de 3,10 VDC (il faut qui il indique 45PSI) aux pins (3 et 4). Faire le test de précision pour l'aiguille gauche. Voir échelle bas d'indicateur. Se référer aux points test de mesure indiqués dans le tableau(III-3).

**5. Test de sensibilité de seuil:**

Le mécanisme d'affichage de l'indicateur doit indiquer un changement visuellement perceptible quand le niveau de signal d'entrée est changé par 0,05 volts.

### **6. Test du fonctionnement de l'indicateur à alimentation anormale:**

#### **a) Opération à 97V(115-17 VAC), 400 hertz :**

Avec la puissance d'entrée diminuée à 97 VAC et une indication de 40 PSI, l'indicateur doit répondre à l'exigence d'exactitude du tableau(III-3). pendant le cheminement dynamique, l'indicateur doit se déplacer sans à-coup sans osciller, coller ou sauter.

#### **b) Opération à 134V(115+19 VAC), 400Hz.**

Avec une tension d'entrée grimpée jusqu' à 134 volts et une indication de 40PSI, l'indicateur doit répondre à l'exigence d'exactitude du tableau(III-3). pendant le cheminement dynamique, l'indicateur doit se déplacer sans à-coup sans osciller, coller ou sauter.

### **7. Position de test d'erreur :**

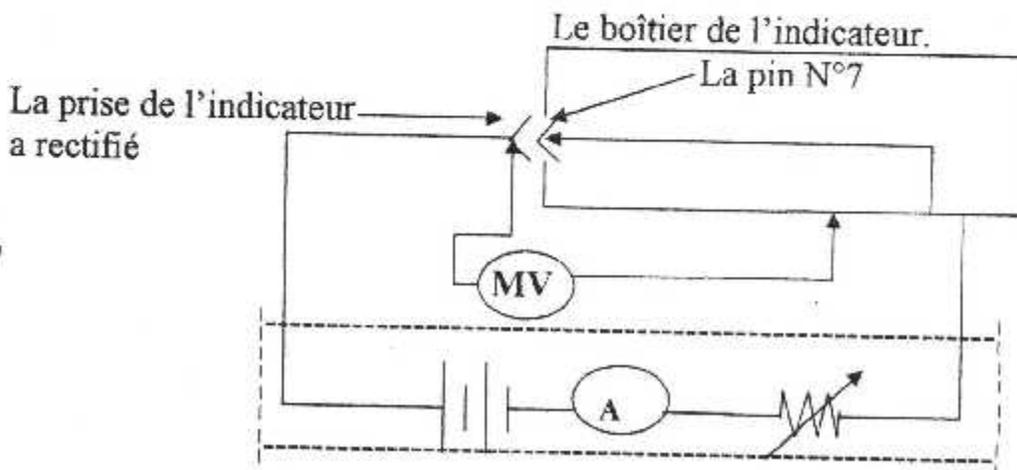
Quand l'indicateur est tourné 90 degrés dans n'importe quelle direction autour d'un axe, l'indicateur doit rester dans les conditions d'exactitude du tableau(III-3).

### **8. Test de puissance d'énergie d'alimentation (état d'équilibre):**

Mesurer la puissance d'énergie quand ' l'indicateur est opérationnel ' et conditions du paragraphe 2 à (7) sont appliqués. La puissance consommée sur 115 volts d'entrée ne doit pas être plus de 1,38 watts (12 mA (AC)).

### **9. Test de métallisation du boîtier de l'indicateur :**

Pour cela on utilise une alimentation d'énergie de  $28 \pm 0,3$  VDC dans une installation de test, appliquer un courant d'un (1A) ampère entre la prise de l'indicateur a rectifié (pin N°7) et le boîtier. La chute de tension à travers ces points ne doit pas excéder 30mV voir la figure(III-23).



**Figure (III.23) : La mesure de la résistance de métallisation du boîtier.**

**10. Test de résistance d'isolation:**

- a) Cet essai doit être fait avec 500 VDC. L'équipement doit avoir une résistance d'isolation de pas moins de 20 mégohms entre la pin N° 7 de et toutes autres pins de la prise l'indicateur rectifiée.
- b) La résistance d'isolation entre la pin N° 1 (côté de l'alimentation du circuit d'éclairage) et la pin N° 7 ne doit pas être moins de 100 mégohms avec les lampes installées.

**Conclusion :**

Dans ce chapitre on a bien détaillé l'étude de notre banc d'essai, et la réalisation pratique nous a permit la mise on œuvre et l'exploitation des différentes informations acquises durant les années d'étude à l'institut, en vérifiant que le résultats théoriques se confondent avec les résultats pratiques, on a fait l'essai de l'indicateur double pression de conduite avec succès. Donc on va attaquer la recherche de panne et la maintenance de l'indicateur double pression.

# CHAPITRE IV

## RECHERCHE DE PANNE ET MAINTENANCE



**Introduction :**

Dans ce chapitre on va voir la recherche de panne et la maintenance. Nous commençons par la définition de la maintenance on citons leur types, en suite les différents manuels utilisés pour faire la maintenance, puis la recherche de panne de l'indicateur et la maintenance, les causes probables de panne et les corrections possibles, le contrôle non destructif et en fin la réparation de l'indicateur.

**IV ) Maintenance et entretien :****IV-1) Définition :**

La maintenance est définie comme étant l'ensemble des interventions permettant de maintenir ou établir un matériel à son potentiel de performance et de disponibilité à un niveau fixé par l'autorité responsable (l'état) .

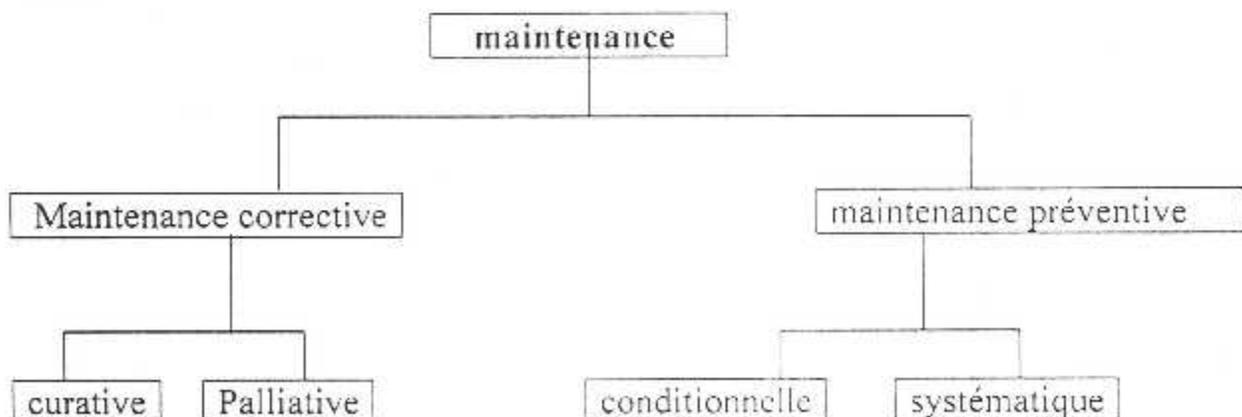
En aéronautique , la maintenance est un corps important régie par des réglementations que le JAR-145 est soumis à une structure organisationnelle technique importante à un point que pas toutes les compagnies aériennes peuvent faire la maintenance indépendamment et sans sous- traitante .

**IV-2) Maintenir :**

C'est effectuer des opérations de dépannage , graissage , visite et opérations qui permettent de conserver le potentiel de matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production .

**IV-3) Les objectifs de la maintenance**

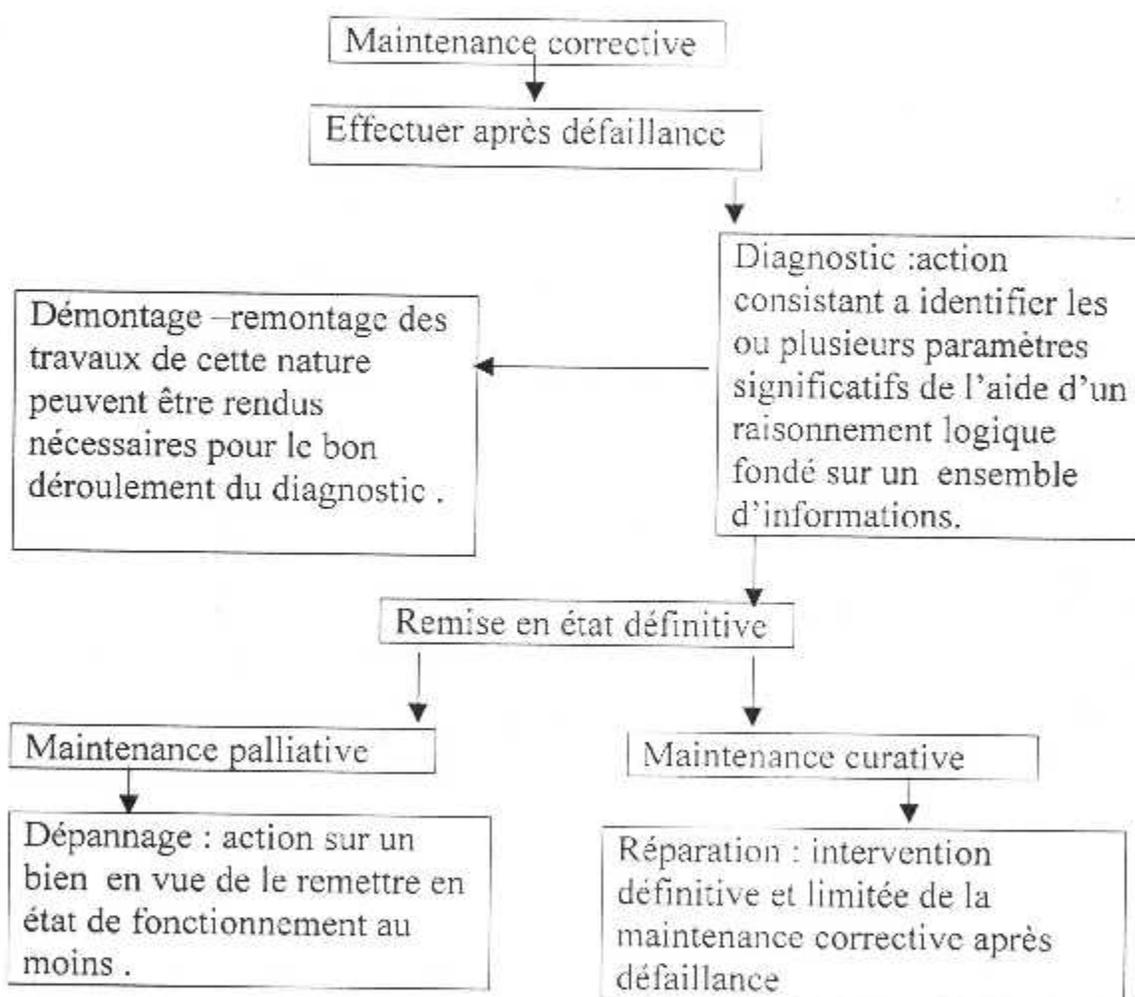
- Assurer la SECURITE au niveau le plus haut (navigabilité).
- Assurer la DISPONIBILITE (diminuer le temps d'arrêt) .
- Assurer le COUT minimum (économie) .

**IV- 4) Les types de maintenance (organigramme de la maintenance) :****Figure(IV-1) : Organigramme de la maintenance**

**IV-4-1) Maintenance corrective :****1) Définition :**

C'est une maintenance effectuée à une défaillance (norme AFNOR X60-10), Par une politique , dépannage ou réparation qui correspond à une altitude de réaction à des événements plus ou moins aléatoire et qui s'applique après la panne .

C'est un choix politique de l'entreprise qui malgré tout nécessite la mise en place d'un certain nombre de méthodes qui permettent d'en diminuer les conséquences .

**2) Organisation de la maintenance corrective :**

**Figure(IV-2) : Organisation de la maintenance corrective .**

**3) La mise en oeuvre de la maintenance corrective :**

La maintenance corrective devra s'appliquer automatiquement au défaillance, comme par exemple la rupture brusque d'un organe mécanique ou le court-circuit d'un système électrique .

Ce type de maintenance sera réservé au type de matériel peu coûteux et dont la panne aurait une influence sur la sécurité.

#### **IV-4-2) Maintenance préventive :**

##### **1) Définition :**

C'est une maintenance effectuée selon des critères prédéterminés dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu, pour cela on a deux types de maintenance.

- Maintenance conditionnelle
- Maintenance systématique

##### **2) Maintenance conditionnelle :**

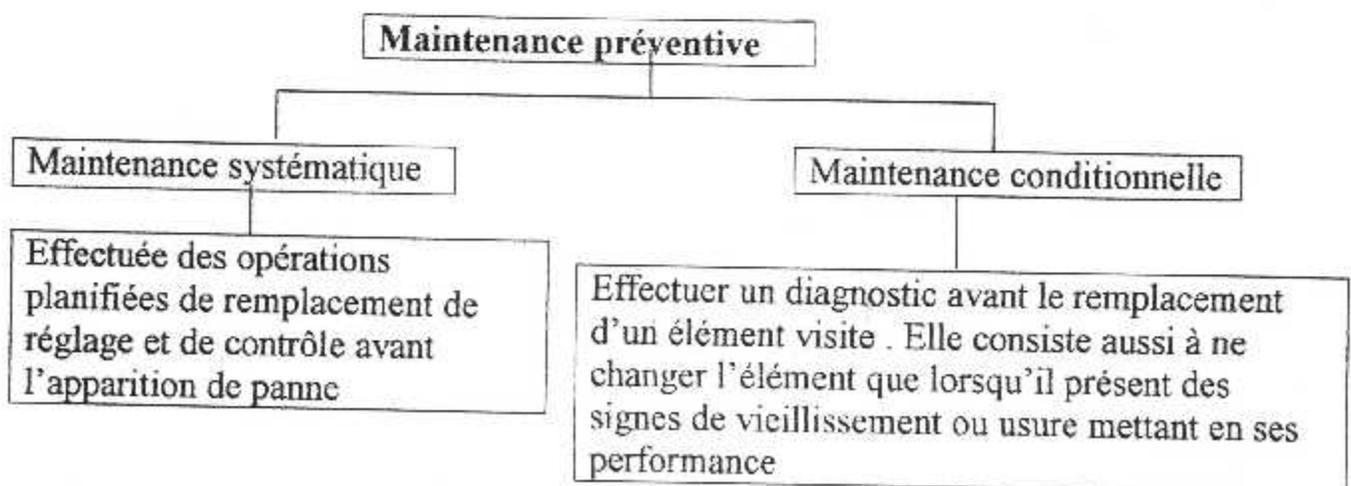
C'est une maintenance qui effectue un diagnostic avant de remplacer l'élément visé. Elle s'applique par exemple (pour les grandes machines tournantes). Un démontage ou un remplacement coûte cher en perte de production et en temps. Pour cela la maintenance conditionnelle consiste aussi à ne changer l'élément que lorsque celui-ci présente des signes de vieillissement ou d'usure mettant en danger ses performances.

##### **3) Maintenance systématique :**

C'est une maintenance effectuée selon une échéance établie en fonction du temps et du nombre d'unités, elle est appliquée avant l'apparition d'une panne.

Ce type de maintenance permet de réduire le nombre de défaillances, d'améliorer la disponibilité de l'équipement, la sécurité et l'augmentation de la durée de vie des équipements.

#### **4) Organigramme de la maintenance préventive :**



**Figure(IV-3) : Organigramme de la maintenance préventive.**

#### **IV-5) Les documents de maintenance (MANUELS) :**

Différents documents travaillent ensemble pour nous permettre de maintenir l'avion. Les documents de maintenance vont aider à faire le travail de maintenance programmée et non – programmée.

On utilise les documents suivants pour la maintenance programmée :

- Document de planification d'entretien[(MPD )(Maintenance Planning Document)].
- Manuel d'entretien d'avion [(Aircraft Maintenance Manual)(AMM)].

On utilise les documents suivants pour la maintenance non programmée :

- Manuel De Dépannage [(Trouble Shouting Manual)(TSM)].
- Construit en Manuel d'équipement d'essai [(Built In Test Equipment Manual)(BITE)].
- Manuel de réparation structurale [(Structural Repair Manual)(SRM)].
- Manuel d'entretien d'avion [(Aircraft Maintenance Manual)(AMM)].

Les documents suivants fournissent des données de support pour faire la maintenance programmée :

- Manuel Schématique Système [(System Schematic Manual)(SSM)].
- Manuel de diagramme câblage[(Wiring Diagram Manual)(WDM)].
- Manuel de réparation structurale [(Structural Repair Manual)(SRM)].
- Catalogue partiel illustré [(Illustrated Part Catalog)(IPC)].

#### **IV-5-1)Documents de planification de maintenance (MDP) :**

Le MDP définit les tâches pour chaque type d'inspection de maintenance programmée .

Les compagnies aériennes utilisent le MDP pour faire des cartes de tâches de que le technicien utilise durant les inspections de maintenance.

#### **IV-5-2)Manuel d'entretien d'avion (Aircraft Manual Maintenance)(AMM) :**

Le AMM a deux parties :

- partie I
- partie II

La partie I est SDS (System Description Section). Cette section remplace la section de description et opération(D et O) .

La SDS apporte les descriptions es interfaces ,fonction et opération des systèmes et sous systèmes avion.

La SDS est divisée en chapitre ATA (système) ou chapitre /section (sous-système) .

La partie II comprend les procédures et pratiques. Ces derniers ont donné lieu aux fonctions suivantes :

- dépose /pose des composants .
- location des composants .
- pratique de maintenance .
- entretien (servicing) .
- ajustement/teste .
- Inspection/Contrôle .
- Nettoyage/peinture .
- Réparation .

Le manuel a un système de numération de chapitre suivant la norme ATA comme suite :

**XX'-YY'-ZZ'**

**XX'** : chapitre ATA

**YY'** : sub-système ou sous sub-système

**ZZ'** : unité(élément,composant).

Exemple de notre banc d'essai on a : **36-21-02.**

ATA 36 : Génération pneumatique.

Chapitre 21 : Contrôle de pression.

Elément 02 : Indicateur double pression.

Chaque page a deux numéros dans le coin inférieur droite :le ASN est un numéro de page sujet.

Les pages sont réparties comme suite :

Type de page	Bloc de page
Pratique maintenance (PM).	201-299
Servicing (SRV).	301-399
Dépose /pose des composants(R/I).	401-499
Ajustement/teste (A/T).	501-599
Inspection/Contrôle (I/C)	601-699
Nettoyage/peinture (C/P)	701-799
Réparation	801-899
Dispatc déviation guide (DDG)	901-999

**Tableau(IV-1) : Répartition des pages du manuel AMM.**

#### **IV-5-3) Manuel schématique système[(Système Schematic Manual)(SSM)] :**

Le SSM apporte à l'utilisateur une compréhension du fonctionnement du système et l'aide dans la procédure d'isolation de panne il fournit l'interconnexion de tout « LRU » (line replaceable unit)d'un système ou sub-système .

Il fournit aussi une connaissance générale : comment le fonctionnement d'un système .

**IV-5-4)Manuel de diagramme câblage[(Wiring Diagram Manual)(WDM)] :**

Le WDM fourni des détails sur les câbles d'un point à un point dans l'avion.

**IV-5-5)Catalogue partiel illustré [(Illustrated Part Catalog)(IPC)] :**

L'IPC fourni des données sur le remplacement d'un pièce.

Ces données incluent :

- Numéro de pièce de rechange.
- Illustration de pièce.
- Données de support.
- Numéro de spécification.
- Les activités de rechange recommandée.

**IV-5-6)Manuel de reportage défaut [(Fault Reporting Manual)(FRM)] :**

L'équipement utilise le FRM pour amélioré la communication avec le personnel de maintenance.

L'équipage utilise le FRM pour avoir les codes de panne pour les pannes avion. Ces pannes peuvent être (Flight dech effect) ou autre .

Le FRM a un log-book standard avec entête pour chaque code de panne, le code de panne permet une maintenance rapide quand l'avion atterri.

**IV-5-7)Manuel de dépannage [(Trouble Shooting Manual)(TSM)] :**

On utilise le TSM pour réparer les pannes . On commence la procédure d'isolation de la panne avec les codes de panne de FRM ou une description de la panne . Le TSM va identifier les actions de maintenance pour corriger la faute .

**IV-5-8) Construit en manuel d'équipement d'essai [(Built In Test Equipment Manual (BITE)] :**

On utilise la BITE MANUAL pour avoir les données sur la panne de l'équipement de test incorporé dans l'avion . Si on commence la procédure d'isolation de la panne avec des pannes observées , le BITE MANUAL va identifier quelles pannes observées .

**IV-5-9)Manuel de réparation structurale [(Structural Repair Manual)(SRM)] :**

Le SRM fourni des informations descriptives et des instructions spécifiques pour aider la réparation de la structure de l'avion sur terrain .il a des données relatives aux domaines suivant :

- évacuation des dommages permise
- réparation typique
- identification matériel
- installation rapide

- contrôle d'alignement
- planification

#### **IV-5-10)Manuel de maintenance des composants [(Component Maintenance Manual)(CMM)] :**

Le CMM est préparé en séquence dicté par ATA100 , révision 26 , il traite l'emballage des équipements (composants), description et fonctionnement des composants , test et isolation , démontage , nettoyage , recherche de panne, réparation , montage , outil spéciales , appareil et équipement et une partie d'installation .

**Note :**chaque document de maintenance à une introduction pour nous montrer comment utiliser ce document .

#### **IV-6)Recherche de panne de l'indicateur double pression de conduite et la maintenance :**

**A) Les causes probables de la panne et les corrections possibles :** Voir la tableau(IV-3).

<b>Condition</b>	<b>La cause probable</b>	<b>Correction possible</b>
1. L'indicateur ne marche pas( l'alimentation normal mais des excès de courant).	1. Tournés des pins 8&9 de la connexion électrique (la prise)(69).	1. Mettre en ordre les pins
	2. La prise P1 de connexion.	2. Relier la prise de connexion P1.
	3. La prise P3 de connexion électrique est débrancher.	3. Relier la prise P3 de connexion.
	4. Les prises P4, P5 de connexion du moteur est débrancher.	4. Relier les prises P4, P5 de connexion à la carte électronique de l'ampli servo (53).
	5. Le support de la prise de connexion interrompu (69).	5. Repérer la piste défectueuse.
	6. Alimentation interne(±6 VDC et ±15 VDC est défectueuse .	6. Contrôler le xmfr T1(transformateur), diodes CR1-CR8,

		condensateur C3-C6 & les remplacer si elle est défectueuse.
2. L'indicateur à un excès de courant (surchauffe)	<p>1. xmfr T1 défectueux</p> <p>2. alimentation interne défectueuse (<math>\pm 6VDC</math> et <math>\pm 15VDC</math>).</p> <p>3. perte d'asservissement (Perte potentiomètre de rétroaction).</p> <p>4. mauvais xstr (s) qui conduit le moteur.</p> <p>5. l'aiguille du moteur de rétroaction (s) est débrancher.</p>	<p>1. remplacer le xmfr T1</p> <p>2. contrôler les composants de l'alimentation &amp; les remplacer si elle est défectueuse</p> <p>3. contrôler le circuit intégré CI U2 à la sortie pin 1 &amp; remplacer si il est mauvais.</p> <p>4. contrôler Q1, Q2 de la partie droite (14); Q3, Q4 de la partie gauche (13), et remplacer si ils sont mauvais.</p> <p>5. contrôler l'asservissement par ohmmètre quand l'aiguille aller de stop à stop &amp; assurer que le moteur ni pas ouvert, calibrer si nécessaire.</p>
3. L'aiguille dirige contre arrêt.	<p>1. non alimenté</p> <p>2. perte du signal d'entrée</p> <p>3. perte d'asservissement (Perte du potentiomètre de rétroaction).</p> <p>4. perte du potentiomètre de rétroaction produite.</p>	<p>1. remettre (réinjecter) le signal d'entrée.</p> <p>2. revoir les pistes et connexion électrique.</p> <p>3. contrôler la sortie du CI U2 &amp; remplacer si il est défectueux.</p> <p>4. contrôler les brochages jaune, rouge &amp; vert du potentiomètre remplacer le moteur si</p>

	<p>5.alimentation interne défectueux</p> <p>6.mauvais calibrage</p> <p>7.mauvais xstr (s) qui conduit le moteur</p>	<p>l'aiguille est ouvert</p> <p>5.controler les composants de l'alimentation</p> <p>6.recalibrer l'indicateur</p> <p>7. vérifier q1-q4. remplacer le mauvais</p>
4. L'excès d'erreur de l'échelle.	<p>1. L'aiguille bloqué.</p> <p>2. Vitesse (32) glissée sur l'axe de moteur(28)</p> <p>3.mauvais calibrage.</p> <p>4. l'asservissement (potentiomètre de rétroaction) de référence de tension de CI est défectueux</p> <p>5.moteur (28) non- linière</p>	<p>1. Fixer l'aiguille et calibrer l'indicateur</p> <p>2. Fixer la vitesse et la calibrer l'indicateur</p> <p>3.recalibrage de l'indicateur.</p> <p>4.Controler la sortie CI U2 (pin 1) pour &amp; remplacer si il est défectueux.</p> <p>5.remplacer le mauvais moteur</p>
5. Mauvaise opération & mal sensitivité	<p>1.surtension d'entrée du moteur (28)</p> <p>2.panne du xstr(s) qui conduit le moteur</p> <p>3.l'alimentation (<math>\pm 6VDC</math>) est défectueux</p> <p>4.l' ampli Op U1 est défectueux</p>	<p>1.remplacer le moteur (28).</p> <p>2.controler Q1, Q2 de la partie droite (14) ; Q3, Q4 de la partie gauche (13), remplacer le mauvais xsfr(s).</p> <p>3.controler xmfr T1, diodes CR1- CR4 &amp; cap C3, C4 .remplacer la partie mauvaise</p> <p>4.remplacer l'ampli Op U1</p>
6. Mouvement saccadé d'	<p>1.une matière étrangère dans l'équipement</p> <p>2.interference entre les</p>	<p>1.nettoyer &amp; graisser l'équipement</p> <p>2.controler le</p>

aiguille	<p>aiguilles (13&amp;14)</p> <p>3.interference entre les aiguilles (14) &amp; l'ensemble du montage du cadran (15).</p> <p>4.panne du moteur (28)</p>	<p>dégagement entre aiguille &amp; ajuster.</p> <p>3.controler le dégagement entre aiguille et Ensemble du cadran. ajuster si nécessaire</p> <p>4.remplacer le moteur (28) si la rotation est rugueuse</p>
7. Interférence entre aiguilles	Interférence entre aiguilles (13&14)	Contrôler le dégagement entre aiguilles et ajuster
8. L'oscillation des l'aiguilles	<p>1.mal filtrage de l'alimentation</p> <p>2.le moteur est défectueux (28).</p>	<p>1.controler les condensateurs C3- C6, remplacer la mauvaise partie.</p> <p>2. Commuter les prises de connexion du moteur de la carte électronique d'amplificateur (53) pour voir si le problème suit le moteur. Remplacer le moteur si défectueux</p>
9. Manque de l'énergie du cadran lampe (s)	<p>1.la sortie des lampes brûlée</p> <p>2. La prise de connexion est P6 débranchée.</p> <p>3.le fil est cassé (ruiné).</p>	<p>1.Remplacer l'ensemble de glissière de lampe (19).</p> <p>2. relier la prise e connexion P6.</p> <p>3.réparer le fil</p>

**Tableau(IV-2) : Les causes probables de panne et les réparations possibles.**

**B) Le contrôle de l'indicateur double pression (maintenance préventive type systématique):****Le Contrôle non destructive (le CND):**

En examinant visuellement les composants d'indicateur pour suivre:

1. verre lâche, rayé ou cassé.
2. Le boîtier crique ou coudé.
3. Vis, écrous, rondelles de freinage, entretoises, brides, rondelles, pins, ou douilles absentes.
4. Les fils doivent avoir une finition sans heurt et ne pas avoir des pailles qui les rendent peu convenables pour la fonction prévue.
5. Fissures, coupures ou éraflures sur le cadran et les indicateurs. Nécessité ne pas affecter la lisibilité.
6. Pins absentes sur la prise électrique.
7. Coupures sur les fils électriques.
8. Plaque signalétique endommagée ou manquante.
9. Aiguilles cassées, fondues ou perte de l'ensemble de pignon et des roulements, l'ensemble de pignon de la vitesse.
10. Dommages mécaniques aux condensateurs internes, les transistors, les diodes, le circuit intégré, les amplificateurs opérationnels, les résistances variables et le transformateur.
11. Lâches de la soudure de raccords.
12. Finition externe de boîtier.
13. Indication de dégradation de la peinture interne ou externe, corrosion.
14. En utilisant la loupe d'un bijoutier, examiner les voies de roulement

pour déceler la saleté, la fibre, les morceaux ou n'importe quelle autre matière ni pas désiré. Vérifier linge de saumure, les courses fendues, les boules fendues ou cassées ou les séparateurs. Enlever la corrosion.

15.Éléments de verre brûlés ou cassés par les lampes.

16.Opération libre (dépression et retour) du bouton-poussoir et le poteau arrêter.

17.Fonctionnement libre du moteur.

**C)Réparation de l'indicateur double pression de conduite(maintenance corrective type curative) :**

Peinture, à plat brun	compagnie de Koppers, inc.. Division organique de matériaux. Pittsburgh, PA 15219
peinture, gris gris 70 séries de laque (alimentée STD 595 colore #36118)	Le Colorado américain de dissolvants de laquer & Forge de vallée, PA
Souder, Pb de 63% sn-37%	Disponible dans le commerce
Enduit isogone (PC 18m de hysol)	Corps. droite, rue de franklin de la division 211 de hysol olean, ny 14760

**Tableau(IV-3) : Le matériel réparation.**

Des solutions de rechange équivalentes peuvent être employées pour les matériaux Tableau(IV-3).

a. Il n'est pas pratique pour réparer des pièces de détail. Remplacer toutes les pièces endommagées par les pièces utiles.

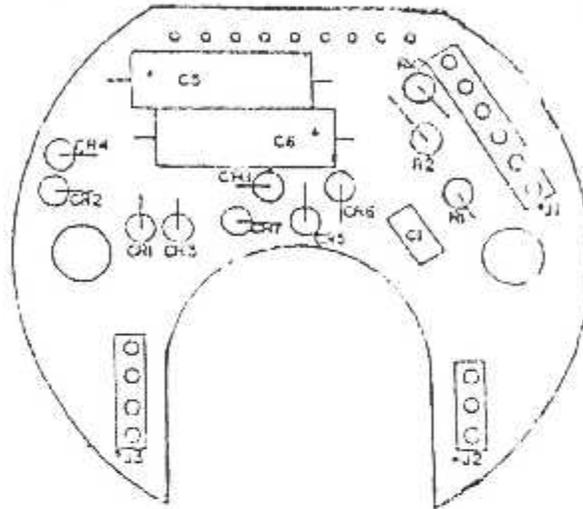
b. Appliquer la peinture brune plate à l'extérieur de la surface du verre quand la retouche est nécessaire pour B767-300(voir le tableau ).

c. Appliquer la peinture grise à l'extérieur de la surface du verre quand la retouche est nécessaire pour B737-800 voir le tableau(IV-3).

### d. Réparation des cartes électroniques :

#### 1). La carte électronique d'alimentation d'énergie : voir le figure (IV-4).

a. Si les condensateurs (2.3), diodes (4) et résistances (5 et 6) ont été enlevés de la carte électronique, implanté et ressoldent les composants comme montrés. Se référer à la figure (IV-4).



#### La figure (IV-4) : La carte électronique d'alimentation d'énergie.

. Tous les composants identifiés avec des valeurs doivent être montés sur la carte électronique de sorte que ces valeurs puissent être facilement identifiées.

. Si une nouvelle diode CR1, CR2, CR3, CR4, CR5, CR6, CR7 ou CR8 est nécessaire, installer avec la cathode vers le bas.

● **Remarque :** Le circuit imprimé par hysol 18M est inflammable. Ne pas employer quand il y a les flammes nues ou les étincelles. Le circuit imprimé par Hysol 18m est dangereux s' il obtient dans la bouche ou respirait. Il cause l'irritation d'oeil et peut causer l'irritation de peau. Empêcher la respiration des vapeurs de la brume. Employer le flux d'air suffisant. Faire l'abondance de l'eau. L'empêcher de la peau émouvante. Si elle touche la peau, laver avec le savon et arroser à la première occasion.

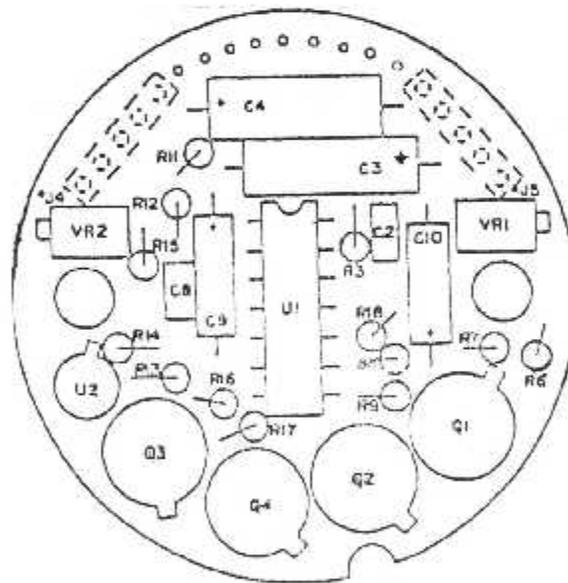
● **Attention:** tous les outils qui sont en contact avec les cartes électroniques doivent être fondus.

b. Après la réparation du montage de la carte électronique d'alimentation d'énergie, il faut sceller la carte du circuit imprimé par hysol 18M, l'enduisant pour se protéger contre l'humidité. Avant d'appliquer l'enduit, masquer tous les pins et câbles plats de secteurs.

c. Aucun composant n'est autorisé à être plus de 0,350 pouces au-dessus de la surface limitée. La soudure n'est pas autorisée à être plus de 0,050 pouces au-dessus du côté de soudure limité.

**2). La carte de amplificateur servo :** voir le figure (IV-5).

a. Si les condensateurs (2, 3, 4), transistors (4, 7), résistances (8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15), amplificateur opérationnel (16), circuit intégré (17) et résistance variable (19) sont enlevés de la carte électronique, monter et ressouder les composants comme montrés. Se référer à la figure (IV-5).



**La figure (IV-5) : La carte électronique d'amplificateur servo.**

**Remarque :** Pour identifier facilement les références et les valeurs, tous les composants, il doivent être assemblés sur la carte électronique de sorte que ceux-ci puissent être facilement lus.

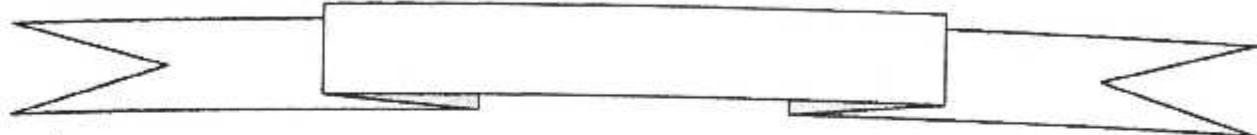
. Des garnitures de isolateur doivent être mises sous les transistors Q1, Q2, Q3, Q4 et le circuit intégré U2 avant l'installation.

b. Après que la carte électronique de l'amplificateur servo est monter, scellé avec le circuit imprimé par hysol 18M, l'enduisant pour se protéger contre l'humidité. Avant d'appliquer l'enduit, masquer tous les pins et câbles plats.

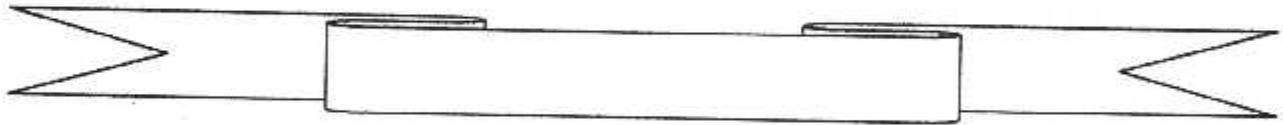
c. Aucun composant n'est autorisé à être plus de 0,350 pouces au-dessus de la surface du limité. La soudure n'est pas autorisée à être plus de 0,050 pouces au-dessus du côté de soudure limité.

### **Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons eu l'occasion de se familiariser avec la politique de la maintenance et la recherche de panne, qui est une application adéquate de la réparation et la révision de l'indicateur double pression de conduite, afin de l'exploiter et d'augmenter sa fiabilité, et surtout d'assurer la sécurité des passagers.



# CONCLUSION GENERALE



## CONCLUSION GENERALE



Durant la période du stage pratique à Air Algérie et en même de préparer le mémoire de fin d'étude intitulé ' Etude et réalisation d'un banc d'essai de l'indicateur double pression d'avions type B767-300 et B737-800 ', on a vécu les conditions de travail des techniciens qui veillent de jour et nuit sur l'entretien et la maintenance des équipements de bord afin d'augmenter leurs durées de vie et d'assurer la sécurité des passagers. La réalisation de ce banc d'essai était bénéfique pour nous et pour Air Algérie, car il nous a permit :

La mise en œuvre et l'exploitation des différentes informations et connaissances acquises durant les années d'études, et surtout à la confrontation des différents problèmes à la réalisation pratique du banc d'essai tout en tenant compte des différentes normes de réalisation et procédures de maintenance.

Ce banc d'essai est une aide considérable pour les ateliers d'Air Algérie, car il permet la maintenance de l'indicateur double pression de conduite au niveau de leurs ateliers. Ce qui met fin à la sous traitante étrangère et par conséquence un gain économique conséquent.

Nous avons eu l'occasion de nous familiariser avec la politique de la recherche de panne et les techniques appliquée à la maintenance, en côtoyant les différents manuels de maintenance afin de nous faciliter la tâche dans la recherche et la détection de panne.

En fin nous souhaitons que notre projet contribuera positivement à l'institut (IAB), et fera l'objet d'un support pédagogique et technique pour les futures promotions.

Aux quels nous suggérons l'apport d'une amélioration dans le domaine de la recherche de panne et de la maintenance.

# ***ANNEXE***

LM747

**Absolute Maximum Ratings**

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage

LM747/LM747A  
LM747C/LM747E±22V  
±18V

Power Dissipation (Note 1)

800 mW

Differential Input Voltage

±30V

Input Voltage (Note 2)

±15V

Output Short-Circuit Duration

Indefinite

Operating Temperature Range

LM747/LM747A

-55°C to +125°C

LM747C/LM747E

0°C to +70°C

Storage Temperature Range

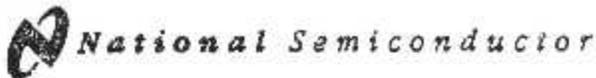
-65°C to +150°C

Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)

300°C

**Electrical Characteristics** (Note 3)

Parameter	Conditions	LM747A/LM747E			LM747			LM747C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_B \leq 10\text{ k}\Omega$ $R_G \leq 50\Omega$		0.8	3.0		1.0	5.0		2.0	6.0	mV
	$R_B \leq 50\Omega$ $R_G \leq 10\text{ k}\Omega$			4.0			6.0			7.5	mV
Average Input Offset Voltage Drift				15							$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Voltage Adjustment Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_B = \pm 20\text{V}$	±10			±15			±15			mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$	3.0 30			20 200			20 200			nA
		70			85 500			300			
Average Input Offset Current Drift			0.5								$\text{nA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	30 90			80 500			80 500			nA $\mu\text{A}$
		0.210			1.5			0.8			
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_B = \pm 20\text{V}$	1.0	6.0		0.3	2.0		0.3	2.0		M $\Omega$
	$V_B = \pm 20\text{V}$	0.5									
Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$							±12 ±13			V
		±12 ±13			±12 ±13						
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_B = \pm 20\text{V}$ , $V_O = \pm 15\text{V}$	90									V/mV
	$V_B = \pm 15\text{V}$ , $V_O = \pm 10\text{V}$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$				50	200		20	200		V/mV
	$V_B = \pm 20\text{V}$ , $V_O = \pm 15\text{V}$	32									V/mV
	$V_B = \pm 15\text{V}$ , $V_O = \pm 10\text{V}$				25			15			V/mV
	$V_B = \pm 5\text{V}$ , $V_O = \pm 2\text{V}$	10									V/mV
Output Voltage Swing	$V_B = \pm 20\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	±18 ±15									V
	$V_B = \pm 15\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$				±12 ±14 ±10 ±13			±12 ±14 ±10 ±13			V
Output Short Circuit Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$	10	25	35	25			25			mA
		10	40								
Common-Mode Rejection Ratio	$R_B \leq 10\text{ k}\Omega$ , $V_{\text{CM}} = \pm 12\text{V}$				70	90		70	90		dB
	$R_B \leq 50\text{ k}\Omega$ , $V_{\text{CM}} = \pm 12\text{V}$	80	95								



## LM747 Dual Operational Amplifier

### General Description

The LM747 is a general purpose dual operational amplifier. The two amplifiers share a common bias network and power supply leads. Otherwise, their operation is completely independent.

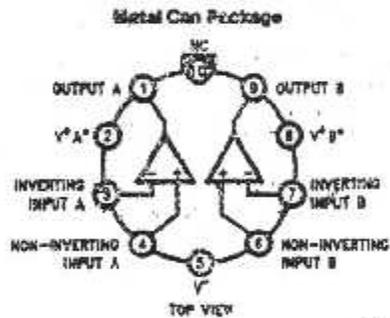
Additional features of the LM747 are: no latch-up when input common mode range is exceeded, freedom from oscillations, and package flexibility.

The LM747C/LM747E is identical to the LM747/LM747A except that the LM747C/LM747E has its specifications guaranteed over the temperature range from 0°C to +70°C instead of -55°C to +125°C.

### Features

- No frequency compensation required
- Short-circuit protection
- Wide common-mode and differential voltage ranges
- Low power consumption
- No latch-up
- Balanced offset null

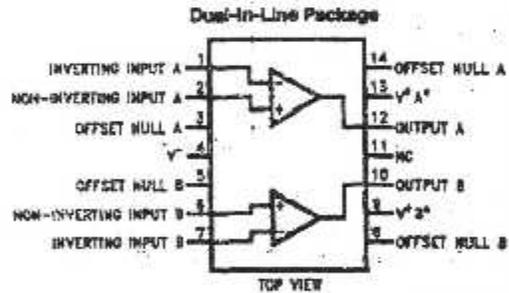
### Connection Diagrams



Order Number LM747H  
See NS Package Number H10C

\*V<sup>+</sup>A and V<sup>+</sup>B are internally connected.

TL74/11475-4



Order Number LM747CN or LM747EN  
See NS Package Number N14A

TL74/11475-5

## Electrical Characteristics (Note 3) (Continued)

Parameter	Conditions	LM747A/LM747E			LM747			LM747C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Supply Voltage Rejection Ratio	$V_S = \pm 20V$ to $V_S = \pm 5V$ $R_S \leq 50\Omega$ $R_L \leq 10\text{ k}\Omega$	86	96		77	96		77	96		dB
Transient Response Rise Time Overshoot	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , Unity Gain		0.25 6.0	0.8 20		0.3 5			0.3 5		$\mu\text{s}$ %
Bandwidth (Note 4)	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.437	1.5								MHz
Slew Rate	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , Unity Gain	0.3	0.7		0.5			0.5			V/ $\mu\text{s}$
Supply Current/Amp	$T_A = 25^\circ\text{C}$			2.5	1.7	2.8		1.7	2.8		mA
Power Consumption/Amp	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_S = \pm 20V$ $V_S = \pm 15V$		90	160		50	85		50	85	mW
	LM747A $V_S = \pm 20V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			185 135							mW
LM747E	$V_S = \pm 20V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			100 150 150							mW
LM747	$V_S = \pm 15V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$				60 45	100 75					mW

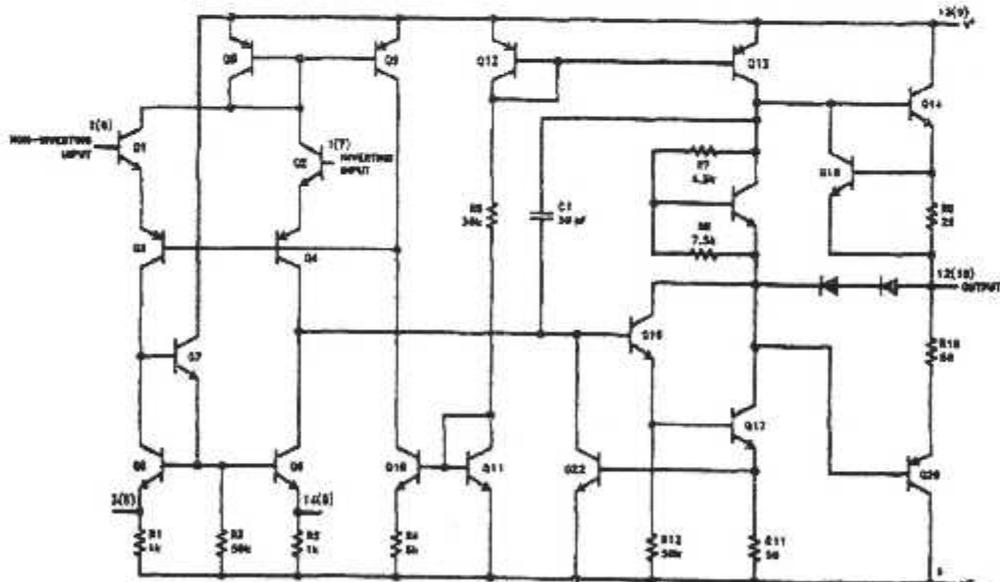
Note 1: The maximum junction temperature of the LM747C/LM747E is  $100^\circ\text{C}$ . For operating at elevated temperatures, devices in the TO-8 package must be derated based on a thermal resistance of  $100^\circ\text{C}/\text{W}$ , junction to ambient, or  $45^\circ\text{C}/\text{W}$ , junction to case. The thermal resistance of the dual-in-line package is  $100^\circ\text{C}/\text{W}$ , junction to ambient.

Note 2: For supply voltages less than  $\pm 15V$ , the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 3: These specifications apply for  $\pm 5V \leq V_S \leq \pm 20V$  and  $-50^\circ\text{C} \leq T_A \leq 125^\circ\text{C}$  for the LM747A and  $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$  for the LM747E unless otherwise specified. The LM747 and LM747C are specified for  $V_S = \pm 15V$  and  $-50^\circ\text{C} \leq T_A \leq 125^\circ\text{C}$  and  $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$ , respectively, unless otherwise specified.

Note 4: Calculated value from 0.35/Rise Time ( $\mu\text{s}$ ).

## Schematic Diagram (Each Amplifier)



Note: Numbers in parentheses are pin numbers for amplifier B, DIP only.

TL/H/11478-1



## Ultra-Low Offset Voltage Operational Amplifier

OP-07

### FEATURES

- Low  $V_{os}$  ..... 25  $\mu$ V Max
- Low  $V_{os}$  Drift ..... 0.6  $\mu$ V/ $^{\circ}$ C Max
- Ultra-Stable vs Time ..... 1.0  $\mu$ V/5000h Max
- Low Noise ..... 6.0  $\mu$ V $_{p-p}$  Max
- Wide Input Voltage Range .....  $\pm$ 14V
- Wide Supply Voltage Range .....  $\pm$ 3V to  $\pm$ 15V

even at high closed-loop gains. Stability of offsets and gain with time or variations in temperature is excellent. The accuracy and stability of the OP-07, even at high gain, combined with the freedom from external nulling have made the OP-07 a new industry standard for instrumentation and military applications.

The OP-07 is available in five standard performance grades. The



# OP-07

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Note 1)

Supply Voltage	±22V
Differential Input Voltage	±30V
Input Voltage (Note 2)	±22V
Output Short-Circuit Duration	Indefinite
Storage Temperature Range	
J, RC and Z Packages	-65°C to +150°C
P Package	-65°C to +125°C
Operating Temperature Range	
OP-07A, OP-07, OP-07RC	-55°C to +125°C
OP-07E	0°C to +70°C
OP-07C, OP-07D	-40°C to +85°C
Lead Temperature (Soldering, 50 sec)	+300°C
Junction Temperature (T <sub>J</sub> )	+150°C

PACKAGE TYPE	θ <sub>JA</sub> (Note 3)	θ <sub>JC</sub>	UNITS
TO-98 (J)	150	16	°C/W
8-Pin Hermetic DIP (Z)	148	16	°C/W
8-Pin Plastic DIP (P)	103	43	°C/W
20-Contact LCC	98	36	°C/W
8-Pin SO (S)	158	43	°C/W

### NOTES:

1. Absolute maximum ratings apply to both DICE and packaged parts, unless otherwise noted.
2. For supply voltages less than ±22V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.
3. θ<sub>JA</sub> is specified for worst case mounting conditions, i.e., θ<sub>JA</sub> is specified for device in socket for TO, CerDIP, P-DIP, and LCC packages; θ<sub>JA</sub> is specified for device soldered to printed circuit board for SO package.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS at V<sub>B</sub> = ±15V, T<sub>A</sub> = 25°C, unless otherwise noted.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP-07A			OP-07			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	V <sub>OS</sub>	(Note 1)	—	10	25	—	30	75	μV
Long-Term Input Offset Voltage Stability	ΔV <sub>OS</sub> /Time	(Note 2)	—	0.2	1.0	—	0.2	1.0	μV/Mo
Input Offset Current	I <sub>OS</sub>		—	0.3	2.0	—	0.4	2.5	nA
Input Bias Current	I <sub>B</sub>		—	±0.7	±2.0	—	±1.0	±3.0	nA
Input Noise Voltage	e <sub>NP-P</sub>	0.1Hz to 10Hz (Note 3)	—	0.35	0.6	—	0.35	0.6	μV <sub>OP-P</sub>
Input Noise Voltage Density	e <sub>n</sub>	f <sub>O</sub> = 10Hz (Note 3)	—	10.3	16.0	—	10.3	16.0	nV/√Hz
		f <sub>O</sub> = 100Hz (Note 3)	—	10.0	15.0	—	10.0	15.0	
		f <sub>O</sub> = 1000Hz (Note 3)	—	8.6	11.0	—	8.6	11.0	
Input Noise Current	i <sub>NOISE</sub>	0.1Hz to 10Hz (Note 3)	—	14	30	—	14	30	pA <sub>OP-P</sub>
Input Noise Current Density	i <sub>n</sub>	f <sub>O</sub> = 10Hz (Note 3)	—	0.32	0.80	—	0.32	0.80	pA/√Hz
		f <sub>O</sub> = 100Hz (Note 3)	—	0.14	0.23	—	0.14	0.23	
		f <sub>O</sub> = 1000Hz (Note 3)	—	0.12	0.17	—	0.12	0.17	
Input Resistance — Differential-Mode	R <sub>IN</sub>	(Note 4)	30	80	—	20	80	—	MΩ
Input Resistance — Common-Mode	R <sub>INCM</sub>		—	200	—	—	200	—	GΩ
Input Voltage Range	IVR		±13	±14	—	±13	±14	—	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	V <sub>CM</sub> = ±15V	110	126	—	110	126	—	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	V <sub>B</sub> = ±3V to ±18V	—	4	10	—	4	10	μV/V
Large-Signal Voltage Gain	A <sub>VO</sub>	R <sub>L</sub> ≥ 2kΩ, V <sub>O</sub> = ±10V	300	500	—	200	500	—	V/mV
		R <sub>L</sub> ≥ 500Ω, V <sub>O</sub> = ±0.5V, V <sub>B</sub> = ±3V (Note 4)	150	400	—	150	400	—	
Output Voltage Swing	V <sub>O</sub>	R <sub>L</sub> ≥ 10kΩ R <sub>L</sub> ≥ 2kΩ R <sub>L</sub> ≥ 1kΩ	±12.5 ±12.0 ±10.5	±13.0 ±12.8 ±12.0	—	±12.5 ±12.0 ±10.5	±13.0 ±12.8 ±12.0	—	V
Slew Rate	SR	R <sub>L</sub> ≥ 2kΩ (Note 3)	0.1	0.3	—	0.1	0.3	—	V/μs
Closed-Loop Bandwidth	BW	A <sub>VCL</sub> = +1 (Note 3)	0.4	0.6	—	0.4	0.6	—	MHz
Open-Loop Output Resistance	R <sub>O</sub>	V <sub>O</sub> = 0, I <sub>O</sub> = 0	—	80	—	—	80	—	Ω
Power Consumption	P <sub>d</sub>	V <sub>B</sub> = ±15V, No Load	—	75	120	—	75	120	mW
		V <sub>B</sub> = ±3V, No Load	—	4	6	—	4	6	
Offset Adjustment Range		R <sub>P</sub> = 20kΩ	—	±4	—	—	±4	—	mV

### NOTES:

1. OP-07A grade V<sub>OS</sub> is measured approximately one minute after application of power. For all other grades V<sub>OS</sub> is measured approximately 0.5 seconds after application of power.
2. Long-Term Input Offset Voltage Stability refers to the averaged trend line of V<sub>OS</sub> vs. Time over extended periods after the first 30 days of operation.

Excluding the initial hour of operation, changes in V<sub>OS</sub> during the first 30 operating days are typically 1.5μV — refer to typical performance curves. Parameter is sample tested.

3. Sample tested.
4. Guaranteed by design.

# OP-07

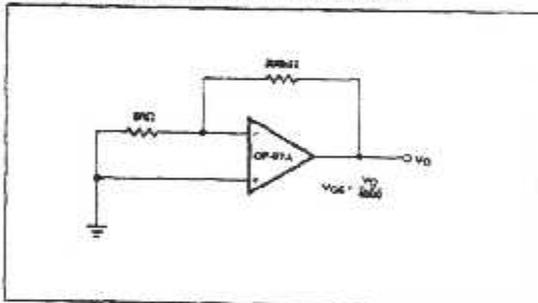
**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** at  $V_S = \pm 15V$ ,  $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ , unless otherwise noted.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP-07A			OP-07			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	$V_{OS}$	(Note 1)	—	25	60	—	60	200	$\mu V$
Average Input Offset Voltage Drift Without External Trim	$TCV_{OS}$	(Note 2)	—	0.2	0.6	—	0.3	1.3	$\mu V/^\circ C$
With External Trim	$TCV_{OS(EN)}$	$R_T = 20k\Omega$ (Note 3)	—	0.2	0.6	—	0.3	1.3	$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current	$I_{OS}$		—	0.8	4	—	1.2	5.6	nA
Average Input Offset Current Drift	$TCI_{OS}$	(Note 2)	—	5	25	—	8	50	$\mu A/^\circ C$
Input Bias Current	$I_B$		—	$\pm 1$	$\pm 4$	—	$\pm 2$	$\pm 6$	nA
Average Input Bias Current Drift	$TCI_B$	(Note 2)	—	8	25	—	13	50	$\mu A/^\circ C$
Input Voltage Range	$I_{VR}$		$\pm 13$	$\pm 13.5$	—	$\pm 13$	$\pm 13.5$	—	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = \pm 13V$	108	123	—	106	123	—	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$	—	5	20	—	5	20	$\mu V/V$
Large-Signal Voltage Gain	$A_{VOL}$	$R_L \geq 2k\Omega$ , $V_O = \pm 10V$	200	400	—	180	400	—	V/mV
Output Voltage Swing	$V_O$	$R_L \geq 2k\Omega$	$\pm 12$	$\pm 12.8$	—	$\pm 12$	$\pm 12.8$	—	V

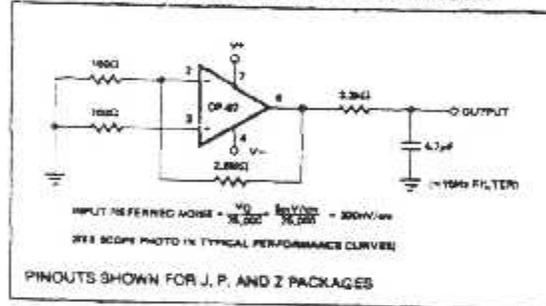
**NOTES:**

- OP-07A grade  $V_{OS}$  is measured approximately one minute after application of power. For all other grades  $V_{OS}$  is measured approximately 0.5 seconds after application of power.
- Sample tested.
- Overridden by design.

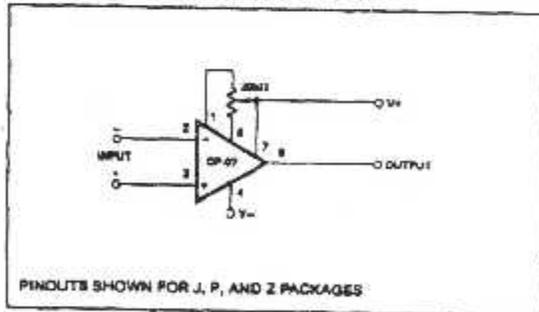
**TYPICAL OFFSET VOLTAGE TEST CIRCUIT**



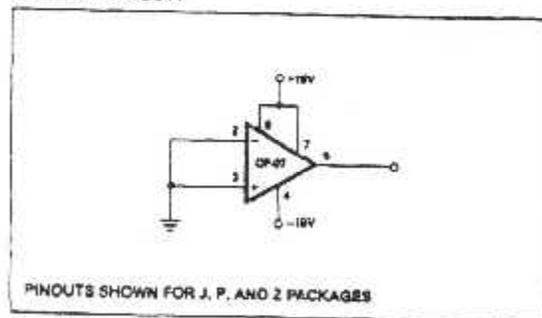
**TYPICAL LOW-FREQUENCY NOISE TEST CIRCUIT**



**OPTIONAL OFFSET NULLING CIRCUIT**



**BURN-IN CIRCUIT**





# Ultra-Low Offset Voltage Operational Amplifier

## OP-07

### FEATURES

- Low  $V_{os}$  ..... 25  $\mu$ V Max
- Low  $V_{os}$  Drift ..... 0.8  $\mu$ V/ $^{\circ}$ C Max
- Ultra-Stable vs Time ..... 1.0  $\mu$ V/30days Max
- Low Noise ..... 0.8  $\mu$ V $_{p-p}$  Max
- Wide Input Voltage Range .....  $\pm$ 14V
- Wide Supply Voltage Range .....  $\pm$ 3V to  $\pm$ 15V
- Fits 723, 106A/308A, 741, AD410 Sockets
- 125 $^{\circ}$ C Temperature-Tested Die

### ORDERING INFORMATION<sup>1</sup>

$T_a = +25^{\circ}$ C $V_{os}$ MAX ( $\mu$ V)	PACKAGE				OPERATING TEMPERATURE RANGE
	TO-48	CEPDM 8-PIN	PLASTIC 8-PIN	LCC 28-CONTACT	
25	OP07AJ	OP07AZ <sup>2</sup>	—	—	ML
75	OP07EJ	OP07EZ	OP07EP	—	COM
75	OP07J	OP07Z <sup>2</sup>	—	OP07HC/863	ML
150	OP07CJ	OP07CZ	OP07CP	—	XLND
150	—	—	OP07CS <sup>3</sup>	—	XLND
150	OP07DJ	—	OP07DP	—	XLND

- For devices processed in total compliance (MIL-STD-883C, NSD/603) and part number, consult factory for 883 data sheet.
- Com is available on commercial and industrial temperature range parts in CEPDM, plastic DIP, and TO-can packages.
- For branch and Distributor information on SO and PLCC packages, contact your local sales office.

### GENERAL DESCRIPTION

The OP-07 has very low input offset voltage (25  $\mu$ V max for CP-07A) which is obtained by trimming at the wafer stage. These low offset voltages generally eliminate any need for external nulling. The OP-07 also features low input bias current ( $\pm$ 2nA for OP-07A) and high open-loop gain (30kV/mV for CP-07A). The low offsets and high open-loop gain make the OP-07 particularly useful for high-gain instrumentation applications.

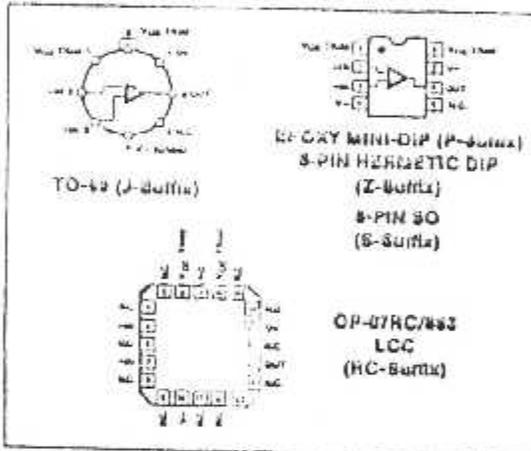
The wide input voltage range of  $\pm$ 13V minimum combined with high CMRR of 110dB (OP-07A) and high input impedance provides high accuracy in the noninverting circuit configuration. Excellent linearity and gain accuracy can be maintained

even at high closed-loop gains. Stability of offsets and gain with time or variations in temperature is excellent. The accuracy and stability of the OP-07, even at high gain, combined with the freedom from external nulling have made the OP-07 a new industry standard for instrumentation and military applications.

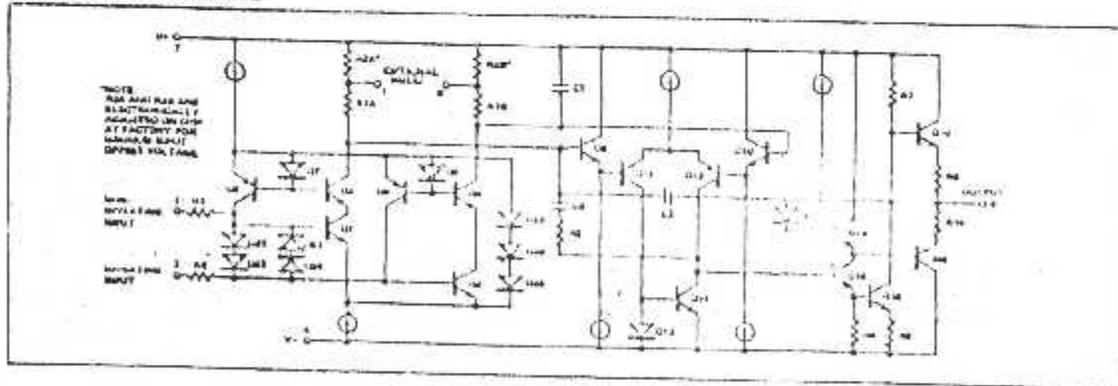
The OP-07 is available in the standard performance grades. The OP-07A and the OP-07 are specified for operation over the full military range of  $-55^{\circ}$ C to  $+125^{\circ}$ C; the OP-07E is specified for operation over the  $0^{\circ}$ C to  $+70^{\circ}$ C range and OP-07C and D over the  $-40^{\circ}$ C to  $+85^{\circ}$ C temperature range.

The OP-07 is available in hermetically-sealed TO-99 metal can or ceramic 8-pin Mini-DIP, and in epoxy 8-pin Mini-DIP. It is a direct replacement for 723, 106A, and OP-06 amplifiers; 741-types may be directly replaced by removing the 741's nulling potentiometer. The CP-207, a dual OP-07, is available for applications requiring close matching of two OP-07 amplifiers. For improved specifications, see the OP-27, OP-177.

### PIN CONNECTIONS



### SIMPLIFIED SCHEMATIC



# Bibliographie



# BIBLIOGRAPHIE



- **Electronique fondamentale Amplificateur opérationnel et électronique associée** par M.Moulin, 2<sup>ème</sup> édition 1981 'Le département d'électronique de l'ENAC France'.

- **Royal Air Maroc centre de formation professionnelle** les transmissions électriques à distance (CFP.DOC.143-145. édition 1989).

- **Instruments de bord Tome 1** par P.Braca-J-P.Grégori, édition 1999 (version 2) Jean Mermoz formation PN.

- **Les manuels de maintenance (Air Algérie) :**

- Air craft Maintenance Manual (AMM) ATA 36-21-02.
- Component Maintenance Manual (CMM) ATA 36-21-01.

- **Thèse :** Les capteurs de pression (météo Algérienne année 1999-2000).

- Mr ABADA 'cours organisation maintenance'.

- **Sites Internet :**

- Site: [www.Boeing.com](http://www.Boeing.com)
- Site: [www.abcelectronique.com](http://www.abcelectronique.com)
- Site: <http://www.st.com>