

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
**Université Saad Dahleb de Blida**

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR



**DEPARTEMENT : AERONAUTIQUE**  
Option : Avionique



# Projet de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de ( D.E.U.A) en  
aéronautique

## THEME

ETUDE ET REALISATION D'UN  
INDICATEUR DIGITAL DU  
RAPPORT DE PRESSIONS  
MOTEUR

Réalisé par :

**Mr : SAIDI Hamza**

**Mr : LOUNI Mohamed Riad**

Encadré par :

**Mr : A.BENOUARED**

Promotion 2003-2004

### REMERCIEMENTS

*Nous remercions dieu de nous avoir donné le courage d'aller jusqu'au bout de ce travail.*

*Nous tenons à exprimer nos profondes gratitudees à notre promoteur Mr. A. BENOUARÉD Pour son aide et ses précieux conseils.*

*Nous remercions vivement tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

*Nous citons :*

*-Mr. KOUIDER.*

*-Mr. DJALEL.*



Dédicaces:

*A ma famille:*

*Je dédie ce modeste travail à mes parents qui m'ont instruit et encouragé tout le long de mes études. A ma très chère sœur et à mes chers frères.*

*A mon grand-père, mes oncles et tantes et à tous mes cousins et mes cousines.*

*A mes deux grand-mères, que dieu les accueille dans son vaste paradis.*

*A mes amis :*

*A mon binôme ,à ABDERRAHIM ,BADRO ,FAYCAL ,FOUED KHALIL,MOHAMED ,NASRO ,ROUF ,SALIM ,TOUFIK , YAZID ,GHANTA .*

*Sans oublier HAMID ,ABDESSAMAD ,BAGHDAD et surtout AA.*

*A tous ceux que j'ai oublié de citer.*

RIAD

## Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail :*

### *A ma famille :*

*\*Tout d'abord à mes parents qui m'ont donné le courage durant mes études.*

*\*A mes mères, mes sœurs et mes frères.*

*\*A mon frère AYOUB et mes sœurs SABRINA, RADIA et NADIA.*

*\*A ma grande famille.*

### *A mes amis :*

*\*A mon binôme RIAD.*

*\*A mes amis IS (Avionique, Propulsion et Structure).*

*\*A mes amis ingénieurs (Mohamed, Hichem, Ossama, Sami, Hamza, Lamri...).*

*\*A tous ceux que je connais mais j'ai oublié de citer.*

*HAMZA*

# Sommaire

<b>Introduction</b> .....	1
---------------------------	---

## **Chapitre I : généralités**

1-Historique du moteur.....	2
2- Description du moteur .....	3
3- Les différents systèmes du moteur .....	5
a)- Système d'allumage: (ignation) .....	5
b)- Système de lubrification: (oil system) .....	5
c)- Système de démarrage : (storting) .....	7
d)- Système carburant : (fuel system and fuel control) .....	7
e)- Système d'inversion de poussée: (Thrust reverser) .....	9
f)-Le système de dégivrage: (engine anti-ice) .....	9
g) système de soutirage: (air système) .....	11
h)-Système anti-pompage .....	11

## **Chapitre II : étude de la chaîne de mesure de l'EPR**

I- Généralités sur la mesure de pression .....	14
I-1- définition d'un capteur .....	14
I-2- les parties constitutives d'un capteur .....	15
I-3- rôle des capteurs .....	15
I-4- caractéristiques des capteurs .....	15
II- La chaîne de mesure de l'EPR .....	19
II-1- principe .....	19
II-2- prise de pression .....	19
II-3- transmetteur .....	21
a- le calculateur .....	21
b- la transmission .....	22
▶ Le dispositif SYNCHRO .....	23
▶ Le dispositif SELSYN .....	25
II-4- l'indicateur : .....	27
II-5 -l' alimentation électrique : .....	28
II-6 -les tests de bon fonctionnement : .....	28

### **Chapitre III : la conversion analogique numérique**

Introduction.....	29
1-L'echantillonnage .....	29
2- Les convertisseurs analogiques numériques $A/N$ .....	30
2-1 Définition.....	30
2-2 Caractéristiques des convertisseurs $A/N$ .....	30
2-3 Les différents types de convertisseurs, $A/N$ .....	33
a- Convertisseur parallèles- flache.....	33
b- Convertisseur à approximation successive.....	34
c- Convertisseur Sigma delta .....	36
d- Convertisseur à rampe numérique.....	36
d-1 Convertisseur à rampe numérique « Simple» .....	36
d-2 Convertisseur à rampe numérique « améliorée » .....	37
d-3 Convertisseur à rampe numérique « poursuite » .....	38
d-4 Convertisseurs $A/N$ à double rampe .....	40
2-4 Exemples .....	42
2-5 Récapitulatif des convertisseurs $A/N$ .....	42

### **Chapitre IV : réalisation**

I-Schéma synoptique général.....	43
II- Schéma synoptique détaillé.....	44
1- Circuit analogique.....	45
2- Circuit de mise en forme .....	45
3- Circuit de commande.....	46
4- Circuit de conversion .....	47
5- Le décodage et l'affichage .....	48
III- circuit électrique du montage.....	49

<b>Conclusion</b> .....	59
-------------------------	----

#### **Annexe**

#### **Bibliographie**

# La liste des figures et tableaux

## Chapitre I

Fig.I-1 Les étages du moteur JT8D.....	4
Fig.I-2 Les différentes stations du moteur .....	4
Fig.I-3 Le système de lubrification.....	6
Fig.I-4 Le système de carburant.....	8
Fig.I-5 Le système de dégivrage.....	10
Fig.I-6 Le système d'anti-pompage.....	12

## Chapitre II

Fig.II-1 Schéma synoptique d'un capteur.....	14
Fig.II-2 composition interne d'un capteur.....	15
Fig.II-3 Différents types de répartition des résultats de mesure.....	18
Fig.II-4 Les prises de pressions.....	19
Fig.II-5 fonctionnement de la chaîne de mesure.....	20
Fig.II-6 principe de fonctionnement.....	21
Fig.II-7 le dispositif AUTOSYN.....	23
Fig.II-8 Le schéma électrique de l'AUTOSYN.....	24
Fig.II-9 le dispositif SELSYN.....	25
Fig.II-10 schéma électrique du SELSYN.....	26
Fig.II-11 l'indicateur EPR.....	27

## Chapitre III

Fig.III-1 Principe de l'échantillonnage.....	29
Fig.III-2 la courbe de transfert.....	31
Fig.III-3 Courbe de non linéarité.....	32
Fig.III-4 le CAN parallèle.....	33
Fig.III-5 le CAN à approximations successives.....	35
Fig.III-6 exemple de fonctionnement du CAN à approximations successives.....	35
Fig.III-7 le CAN à rampe simple.....	37
Fig.III-8 chronogramme des signaux du CAN à rampe simple.....	37
Fig.III-9 Le CAN à rampe améliorée.....	38
Fig.III-10 chronogramme des signaux du CAN à rampe améliorée.....	38
Fig.III-11 Le CAN à rampe poursuite.....	39
Fig.III-12 chronogramme des signaux du CAN à rampe poursuite.....	39
Fig.III-13 Le CAN à double rampes.....	41
Fig.III-14 chronogramme des signaux du CAN à double rampes.....	41

## Chapitre IV

Fig.IV-1 Schéma synoptique général.....	43
Fig.IV-2 schéma synoptique détaillé.....	44
Fig.IV-3 synoptique du circuit analogique.....	45
Fig.IV-4 synoptique du circuit de mise en forme.....	45
Fig.IV-5 la sortie du Trigger de Schmitt.....	47
Fig.IV-6 le diagramme des signaux de sortie.....	48
Fig.IV-7 schéma électrique général	

### La liste des tableaux

Tableau (III-1): Codage E/S exemple à 3 sorties.....	34
Tableau (III-2): Caractéristiques de quelques convertisseurs.....	42

# INTRODUCTION

## I-INTRODUCTION :

L'aéronautique exige un minimum de connaissances théoriques regroupant un nombre considérable de matière scientifique à savoir ,la mécanique du vol , la thermodynamique ,l'aérodynamique ,la résistance des matériaux , la métallurgie et l'avionique .

Cette dernière est basée essentiellement sur l'utilisation des principes d'électroniques dans les divers instruments de commande, de communication, De navigation et de contrôle de l'avion pendant son vol .

Par mis ces instruments de bord on cite l'EPR (indicateur du rapport de pression moteur) qui va être l'objet de notre étude et réalisation dans cette thèse.

Cette étude a été faite selon le plan de travail suivant : en premier lieu à donner des généralités sur le moteur JT8D.

Dans le deuxième chapitre on va étudier la chaîne de mesure de l'EPR. Le troisième chapitre est consacré à la conversion analogique numérique, qui est une étape primordiale dans notre réalisation. Cette dernière a été détaillée dans le quatrième chapitre.

Enfin on donnera une conclusion générale proposant des améliorations à notre montage.

# CHAPITRE I

### 1-Historique du moteur :

Le moteur JT8D est un turboréacteur double corps, double flux à écoulement axial fabriqué par le constructeur américain 'PRATT et WHITNEY'. Sa conception a débuté en Avril 1960 avec le modèle JT8D-1.

Plusieurs variantes du premier modèle ont été construites après, englobant des modifications et des développements technologiques qui ont eu des impacts remarquables sur certains paramètres tels que la poussée, la consommation spécifique, le poids, etc.....

Le tableau ci-après illustre les dates de certification et les poussées produites par chaque modèle :

<u>Modèle</u>	<u>Poussée (pounds)</u>	<u>date de certification</u>
JT8D-1	14000 à 15 <sup>0</sup> C	Février 1963
JT8D-5	12000	Avril 1963
JT8D-7	14000 à 27 <sup>0</sup> C	Mars 1966
JT8D-9	14500	Mai 1967
JT8D-11	15000	Sept. 1968
JT8D-15	15500	Avril 1971
JT8D-17	16000	Février 1974
JT8D-17R	17400	Avril 1976

La production du JT8D a enregistré 11878 moteurs construits .elle est détaillée par type comme suit :

<u>Modèle</u>	<u>Nombre de moteurs construits</u>
JT8D-1/-5	1809
JT8D-7	2612
JT8D-9	2832
JT8D-11	128
JT8D-15/15A	2525/338
JT8D-17/-17A	1069/241
JT8D-17R	312
JT8D-17AR	12

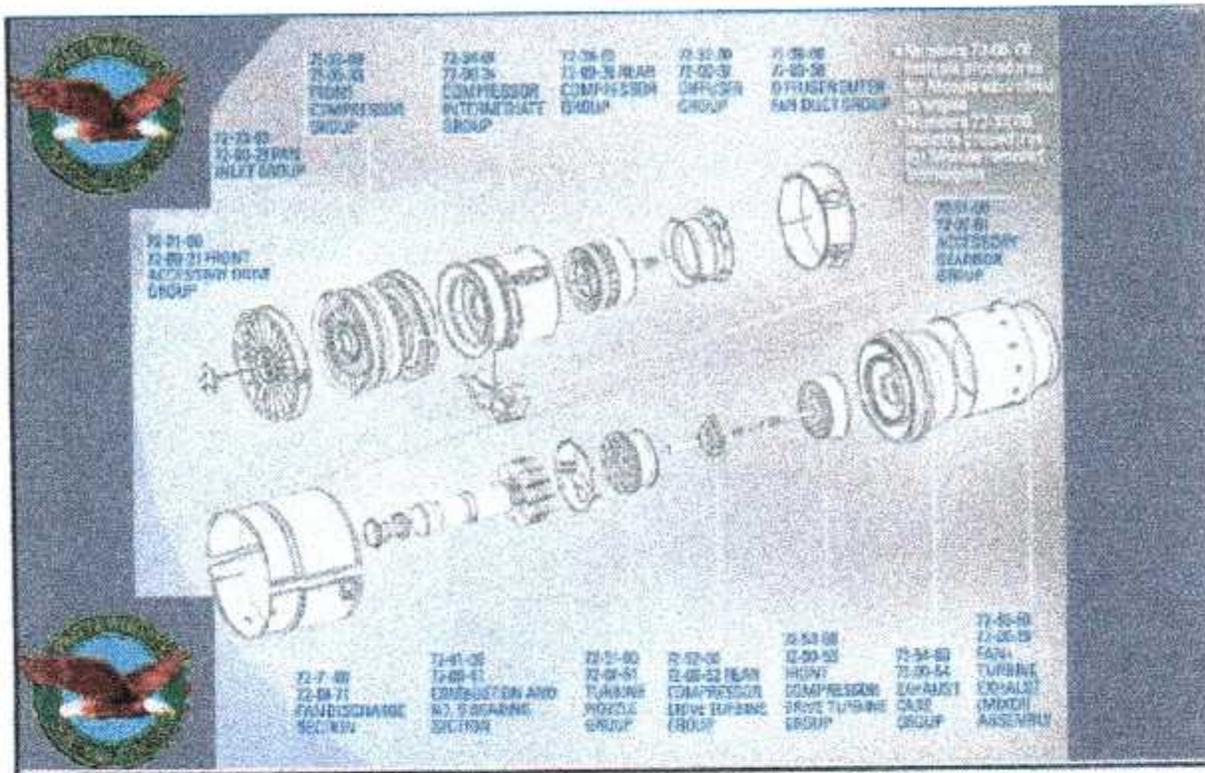


Fig.I-1 Les étages du moteur JT8D

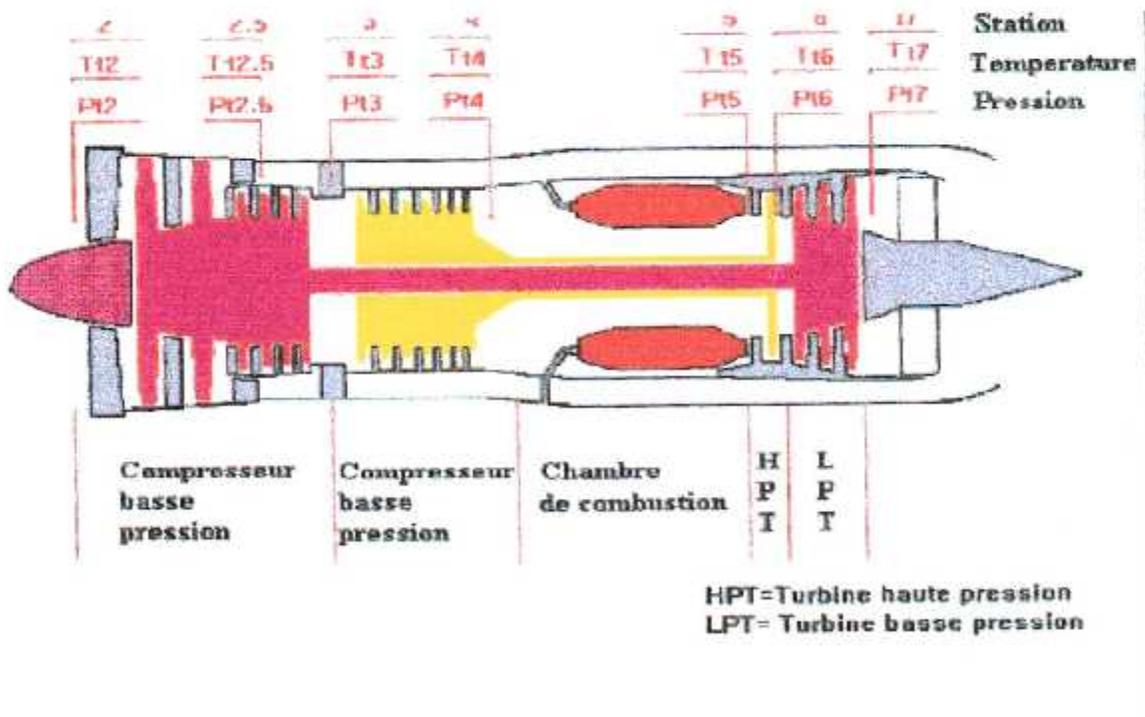


Fig.I-2 Les différentes stations du moteur

Notons enfin que ces types de moteurs équipent les avions suivants :

- Boeing 727/737.
- Mc Donnell Douglas 9.
- Dassault Super Caravelle et Mercure.
- Saab Viggen.

## 2- Description du moteur :( voir fig.1-1,fig.1-2)

Le JT8-D15 est composée essentiellement des éléments suivants:

- a) un compresseur axial à treize étages, subdivisé-en:
  - six étages forment le compresseur basse pression qui tourne à une vitesse  $N_1$  ; Les deux premiers étages sont surdimensionnés et constituent le fan (La soufflante).
  - sept étages composant le compresseur haute pression qui tourne à une vitesse  $N_2$ .
- b) Neuf chambres de combustion du type can-annular; deux de ces chambres 4 et 7 sont pourvues d'une bougie d'allumage.
- c) Une turbine axiale, subdivisée-en :
  - Un étage haute pression pour l'entraînement du compresseur haute pression et la boîte d'entraînement des accessoires.
  - Trois étages basse pression entraînant le compresseur basse pression.
  - Chaque moteur est en plus équipé d'une entrée d'air (air inlet), d'une tuyère convergente d'éjection (tail pipe).

### 3- Les différents systèmes du moteur :

Ce moteur est un ensemble de plusieurs systèmes, par mis lesquels on cite :

#### a)-Système d'allumage: (ignation)

Le système d'allumage amorce la combustion dans les tubes à flamme au moment du démarrage. Dans certaines conditions au sol ou en vol où extinction moteur est à craindre, il est utilisé comme mesure préventive.

Le système d'allumage comprend:

- Une boîte d'allumage.
- Deux câbles haute tension
- Deux bougies d'allumage dans les chambres de combustion 4 et 7 qui produisent des étincelles allumant ainsi le mélange air-fuel présent aux chambres de combustion.

#### b)-Système de lubrification: (oil system).

Chaque moteur est équipé d'un circuit de lubrification autonome destiné à lubrifier, refroidir et nettoyer les sept roulements ainsi la boîte d'entraînement des accessoires. Tous les éléments du circuit sont montés sur le moteur.

Le système de lubrification comprend:

- Un réservoir cylindrique monté sur la face avant et à gauche de la boîte d'entraînement des accessoires.
- Un circuit de pression mettant l'huile sous pression et constitué d'une pompe, d'un filtre, d'un régulateur de pression d'huile et d'un échangeur thermique (huile/carburant).
- Un circuit de récupération ramenant l'huile au réservoir au moyen de cinq pompes de récupération.
- Un circuit de mise à l'air libre établissant la pression interne dans les chambres à lubrifier.
- Des indicateurs et avertisseurs. (Voir fig.I-3)

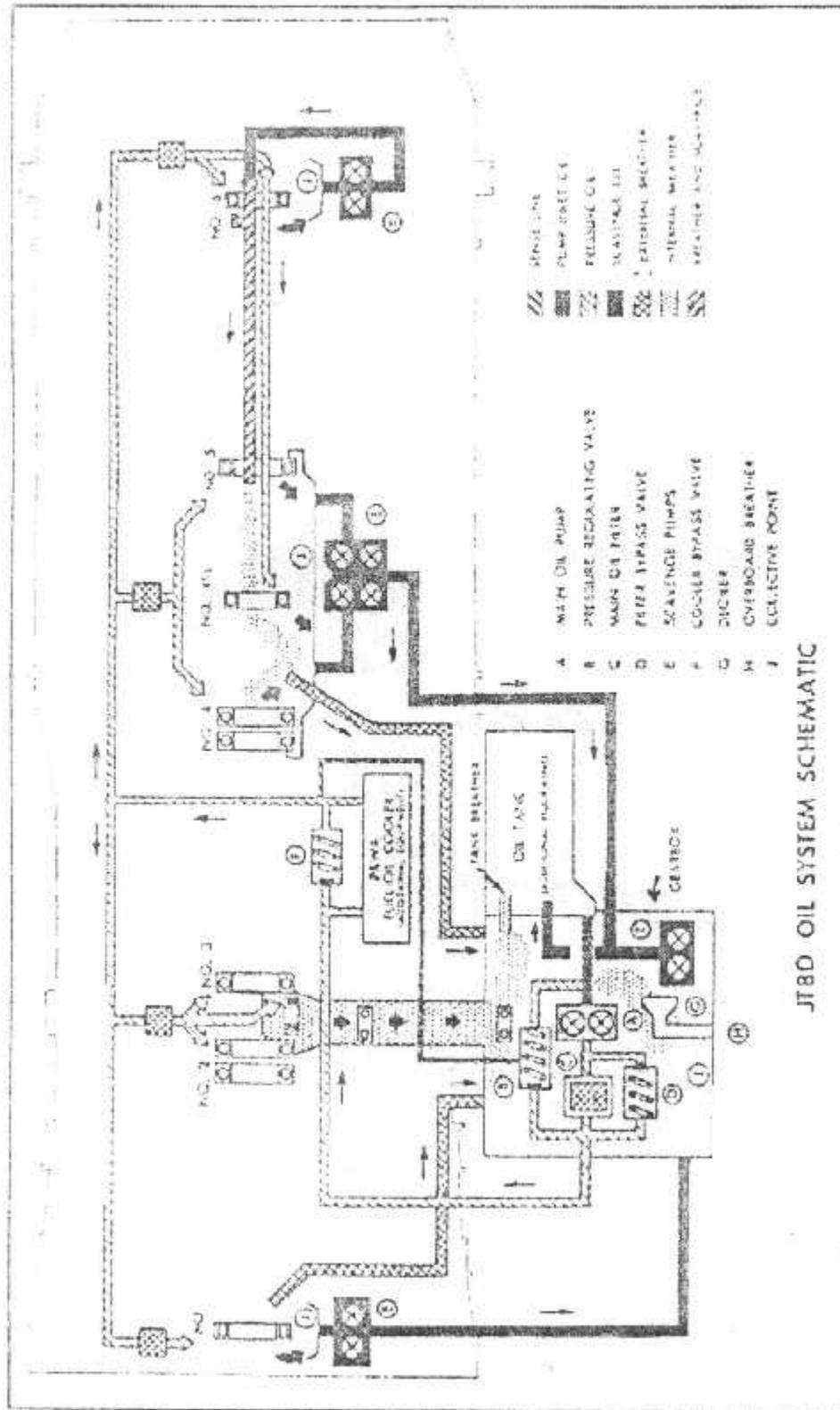


Figure I-3-Le système de lubrification

**c)- Système de démarrage : (storting).**

La mise en route du turboréacteur JT8D-15 au sol est obtenue à l'aide d'un démarreur pneumatique comprenant une turbine centrifuge qui convertit l'énergie de l'air en couple suffisant à l'entraînement du réacteur.

Trois possibilités existent pour alimenter ce système:

- Par un groupe à air
- Par de l'air soutiré du groupe de puissance (A.P.U: Auxiliar Power Unit)
- Par de l'air soutiré du réacteur opposé lorsqu'il est en fonctionnement

**d)-Système carburant : (fuel system and fuel control).**

Le circuit d'alimentation a pour but d'amener le carburant du réservoir jusqu'aux injecteurs avec une pression suffisante pour obtenir une bonne pulvérisation dans tous les cas de fonctionnement: ralenti, poussée maximale, altitude élevée, démarrage, accélération.

Le système de carburation comprend les organes suivants:

- Pompe de carburant qui aspire le carburant du réservoir d'avion donc elle assure une alimentation continue de carburant avec une pression donnée.
- Réchauffeur de carburant qui sert à dégivrer le carburant.
- Filtre carburant qui retient les impuretés solides en cas de givrage de l'eau continue dans le carburant, il empêche avec le réchauffeur carburant l'introduction des cristaux de glace dans le FCU (Fuel Control Unit).
- L'échangeur thermique (huile/carburant) qui permet de réchauffer le carburant tout en refroidissant l'huile de lubrification du moteur.
- Collecteur double qui draine le fuel aux injecteurs.
- Injecteurs à doubles orifices qui servent à pulvériser le carburant pour chaque chambre de combustion. (Voir fig.1-4)

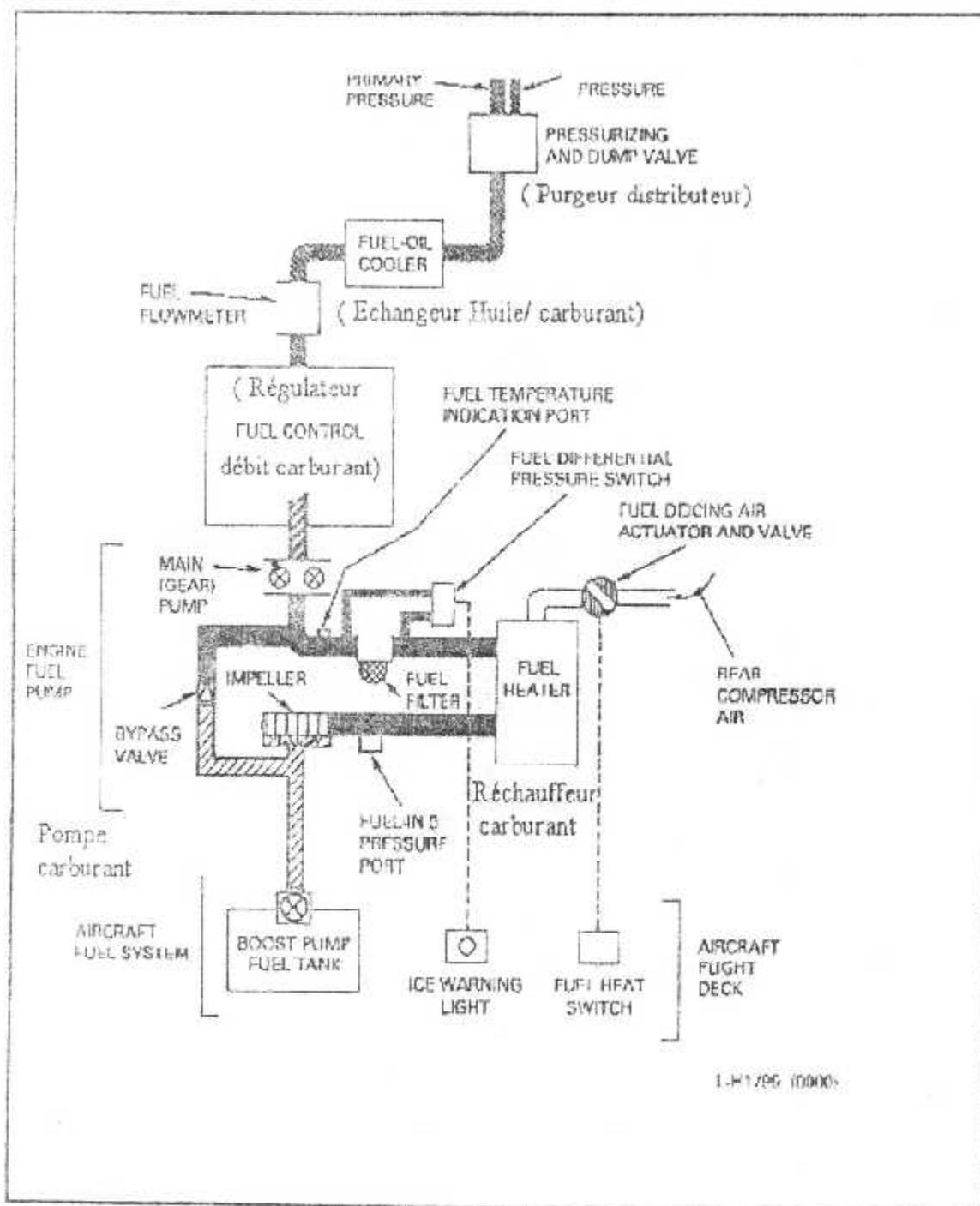


Figure 1-4-Le système carburant

**e)- Système d'inversion de poussée: (Thrust reverser).**

Les moteurs JT8D sont équipés d'un inverseur de poussée destiné à réduire la distance du parcours d'arrêt lors de l'atterrissage, l'ensemble est constitué de deux portes de déflexion et des vérins installés dans la rallonge du canal d'injection.

En croisière, les portes sont relevées pour dégager la sortie du jet, tandis que qu'en régime de décélération, elles sont rabattues vers l'arrière de façon à obturer la sortie de la tuyère d'éjection et diriger aussi le flux vers l'avant du moteur.

**f)-Le système de dégivrage: (engine anti-ice).**

Le système de dégivrage est utilisé pour empêcher la formation de la glace sur le carter d'entrée du réacteur, les aubes directrices (ailettes d'entrée) et le cône de pénétration.

Ce système est composé de deux tubes d'air de dégivrage et de deux robinets d'arrêt avec moteur actionneur.

Quand le système est mis en marche à partir du poste de pilotage, les deux moteurs sont actionnés pour ouvrir les robinets d'arrêts, ainsi l'air chaud se met en écoulement du huitième étage du compresseur (piquage d'air) vers le carter d'entrée fan à travers les tubes, ensuite, il se filtre vers le cône de pénétration à travers les creux d'ailettes pour être renvoyé ensuite à l'intérieur du turboréacteur.

(Voir fig.1-5)

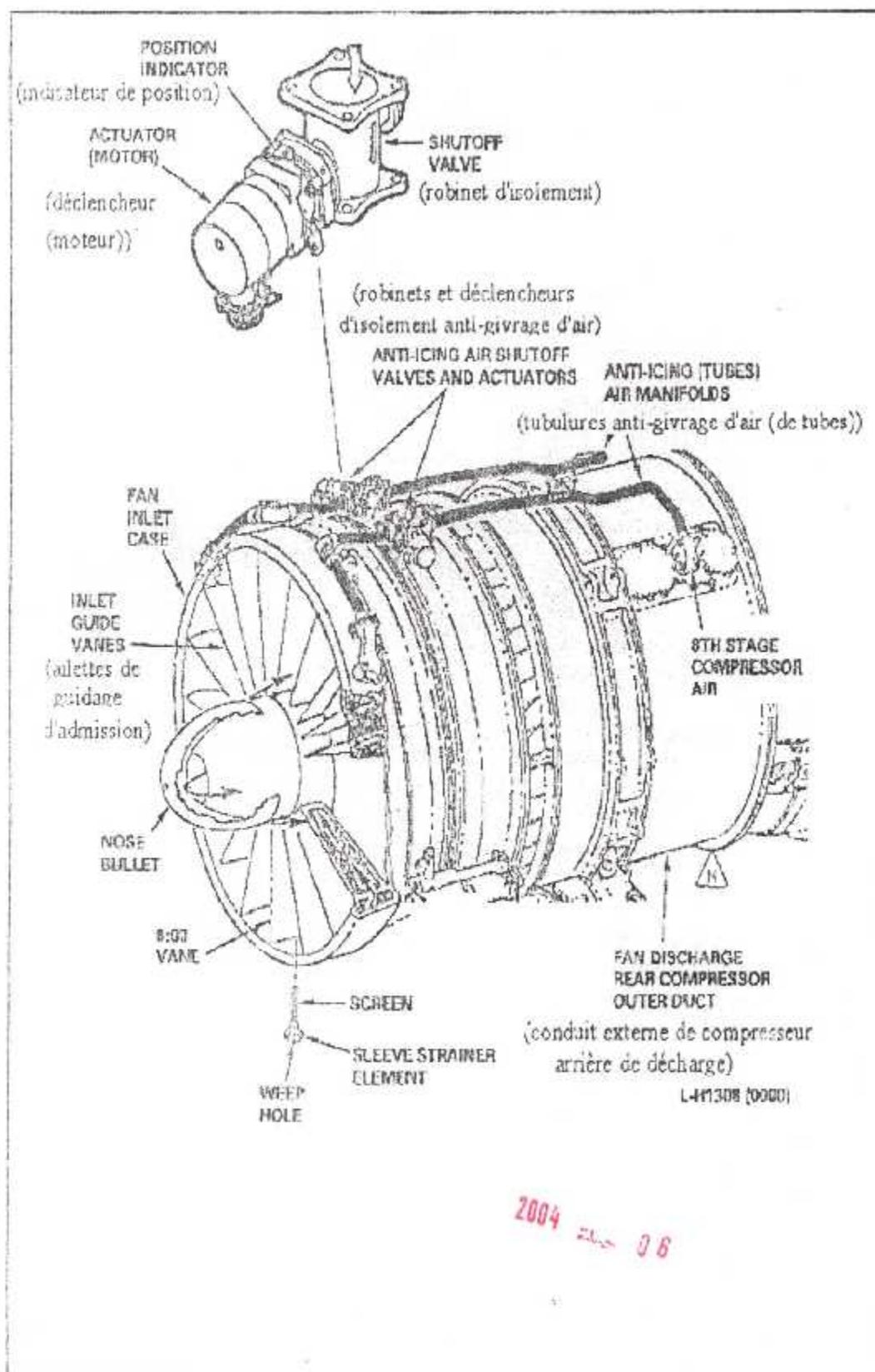


Figure I-5-Le système de dégivrage

**g) système de soutirage: (air système).**

L'air comprimé est soutiré à différents étages du compresseur, pour utilisations ultérieures. Il existe deux types de soutirage :

**♦ Soutirage d'air externe:**

Il est soutiré des étages 2, 6, 8, 13 et est utilisé pour différentes fonctions:

- Refroidissement de l'alternateur.
- Dégivrage du moteur et de la prise d'air. - Alimentation du réchauffeur carburant
- Protection anti-pompage
- Pressurisation des réservoirs hydrauliques - Dégivrage des ailes
- Mise sous pression du réservoir d'huile.

**♦ Soutirage d'air interne:**

Il est soutiré des étages 6, 8, 9, 13 et est utilisé pour :

- La pressurisation des joints de roulements.
- Le refroidissement de la partie chaude du moteur.
- La réduction de la poussée axiale sur le roulement N°4 - La pressurisation de l'intérieur du moteur.

**h)-Système anti-pompage :**

Le système anti-pompage est utilisé pour éviter le pompage du compresseur lorsque le fonctionnement de ce dernier n'est pas adapté. Pour cela, des vannes de décharge équipent le moteur et sous l'effet d'un bourrage, elles s'ouvrent automatiquement et mettent en contact une partie du débit d'air du 8ème et 13ème étage avec la sortie du fan rétablissant ainsi l'écoulement primaire. (Voir Fig.I-6)

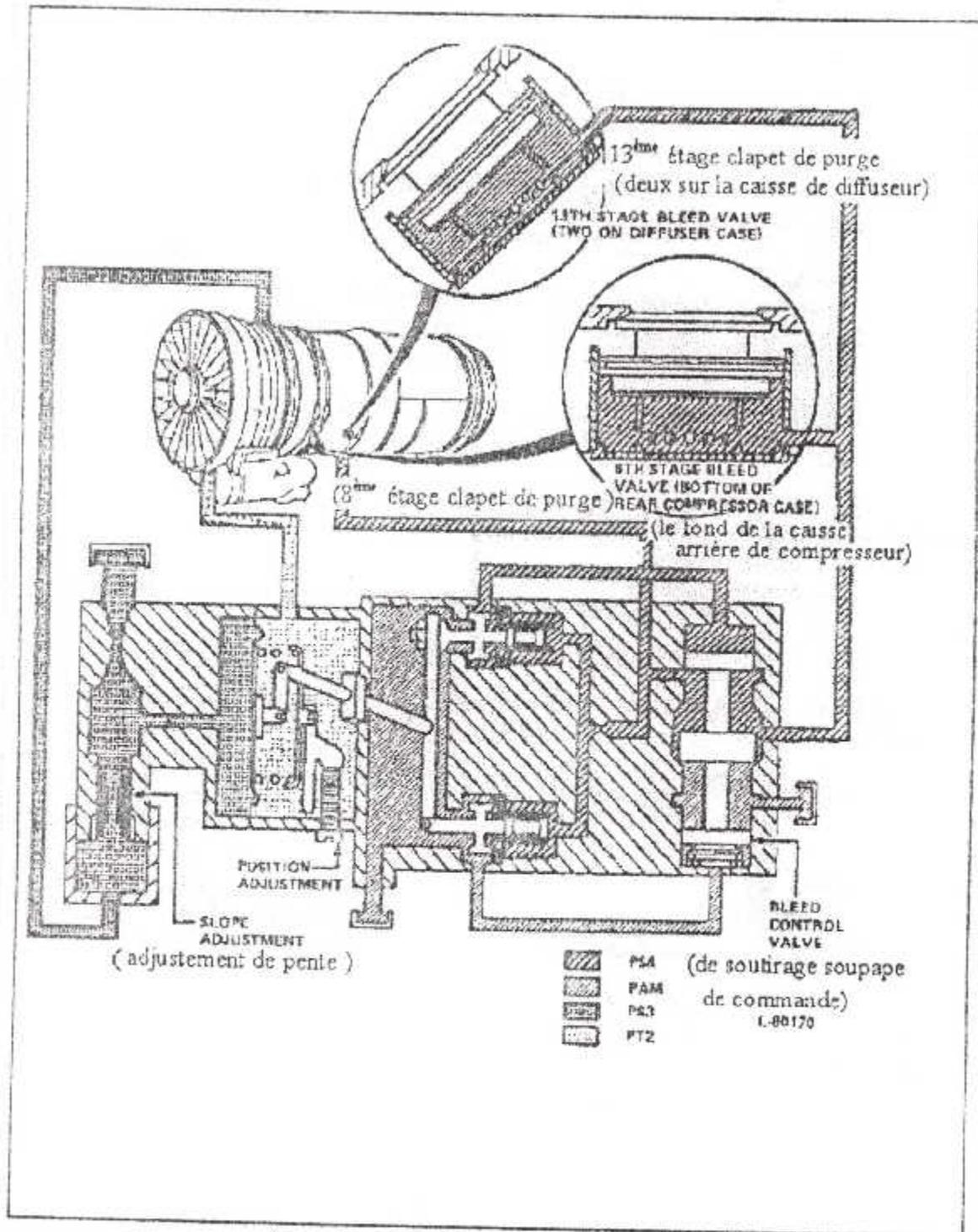


Figure 1-6-Le système anti-pompage

Les moteurs JT8D-15 sont équipés de plusieurs instruments situés sur la partie centrale du panneau des instruments (center instruments panel) et qui sont :

- L'indicateur de température totale des gaz d'échappement à la sortie de la turbine (exhaust temperature ou  $T_{17}$  indicator).
- Les indicateurs compte-tours  $N_1$  et  $N_2$  (RPM indicators).
- L'indicateur de vibration moteur (air borne vibration monitor, AVM).
- L'indicateur de rapport de pression  $P_{17}/P_{12}$  (engine pressure ratio ou EPR indicator) qui permet d'afficher et d'ajuster la poussée du moteur.

Ce dernier va être l'objet de notre étude dans le prochain chapitre.

# CHAPITRE II

### I- Généralités sur la mesure de pression :

Suivant l'intensité de la grandeur à mesurer et afin que la mesure soit obtenue avec la précision souhaitée, on rencontre plusieurs types de capteurs.

Avant de les examiner, nous rappelons que les gaz étant compressibles, il est nécessaire de bien distinguer la notion de pression statique (fluide au repos) et la pression totale (somme de la pression statique et de la pression dynamique).

Nous rappelons également que l'unité légale de cette grandeur est le pascal, mais comme cette dernière qualifie une très faible pression, on utilise plus souvent dans ce domaine l'hecto-pascal (hpa).

Pour des pressions plus élevées, l'unité la plus usuelle est le PSI, abréviation anglo-saxonne de pound square inches (livre par pouce au carrée).

Les correspondances entre les unités sont :

-1bar = 1000 hpa.

-1PSI = 0.069 bar ; soit en arrondissant 100 PSI = 7bars.

#### I-1- Définition d'un capteur :

Un capteur est un dispositif chargé de capter un signal sous forme de grandeur physique et de le transformer en grandeur électrique (tension, courant).

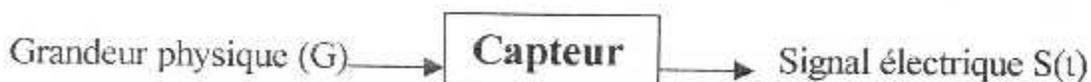
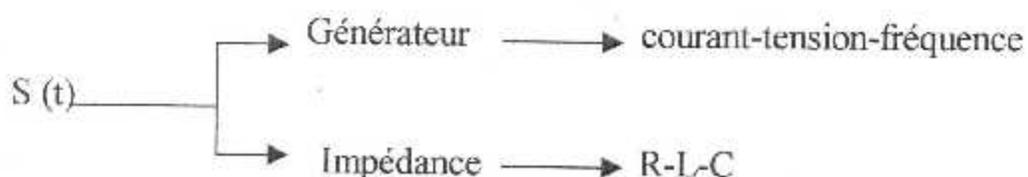


Fig.II-1 Schéma synoptique d'un capteur.

♦ Le capteur est réalisé de telle façon que la relation entre l'entrée et la sortie soit linéaire (dans la mesure du possible).

♦ La sortie du capteur peut être vue en deux catégories :



### I-2- Les parties constitutives d'un capteur :

Un capteur est constitué d'un corps d'épreuve, un élément de transduction, un module de conditionnement et le tout est enfermé dans un boîtier.

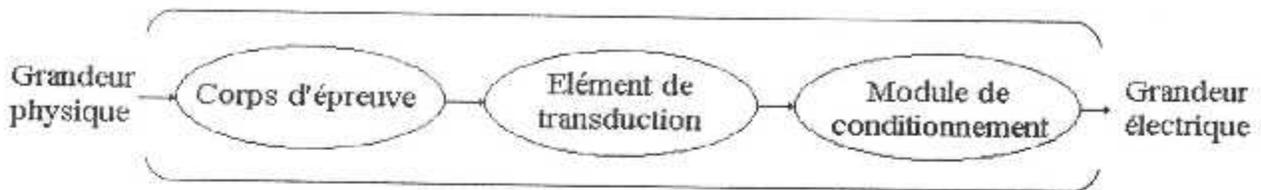


Fig.II-2 composition interne d'un capteur.

### I-3- Rôle des capteurs :

Les capteurs jouent un rôle très important car ce sont eux qui permettent de détecter les effets des phénomènes de l'environnement sur les moteurs. Ils se trouvent au début de la chaîne car ils prélèvent l'information pour la transmettre à la chaîne qui peut être un simple avertisseur ou un système de traitement analogique ou numérique.

Avec l'évolution de la technologie, de l'électronique en particulier, leur importance s'accroît car ils permettent d'assurer la liaison: homme-machine-environnement.

### I-4- Caractéristiques des capteurs :

Parmi les caractéristiques les plus importantes, on cite :

**-Sensibilité** : un capteur est un dispositif qui permet la mesure d'un paramètre physique ou chimique. Il fournit une grandeur électrique qui en est la représentation aussi exacte que possible. En général cette grandeur électrique varie proportionnellement avec le paramètre mesuré.

$S(t) = s G$  ou  $S(t)$  est la grandeur électrique.,  $G$  grandeur physique et  $s$  est la sensibilité du capteur. Elle doit dépendre le moins possible de son vieillissement et de son environnement, (c. a. d. de la variation des autres grandeurs).

-**Linéarité** : comme nous venons de le dire, il est recherché une sensibilité relativement constante sur toute l'étendue de mesure. Les différences entre la grandeur électrique de sortie et la droite idéale  $s = S.M$  sont appelés « écarts de linéarité ».

La sortie du capteur se présente :

soit comme un générateur fournissant un courant ou une tension, le capteur est alors actif,

soit comme une impédance, le capteur est alors passif.

-**Domaine d'utilisation** : le domaine d'utilisation d'un capteur est limité par les bornes supérieures et parfois inférieures des valeurs de la grandeur qu'il peut subir sans modification de ses caractéristiques.

-**Étendue de mesure, pleine échelle** : l'étendue de mesure est la différence entre la limite supérieure et la limite inférieure de la grandeur mesurable par un capteur. Lorsque le capteur fournit une valeur de la grandeur entre 0 et le maximum, ce maximum est appelé « Pleine Echelle », sous-entendu « de mesure ». Cette étendue de mesure est notée PE. Elle est toujours à l'intérieur du domaine de non-détérioration qui est lui-même inférieur au seuil de destruction.

-**Finesse** : la finesse permet d'estimer l'influence que peut avoir le capteur et de son support ou de ses liaisons sur la grandeur à mesurer. Par exemple, dans le cas d'un capteur de température, une capacité calorifique importante réduit sa finesse.

-**Les erreurs de mesure** :

♦ **Erreur aléatoire** : elle inclut les causes d'erreur dues aux :

- seuil de mesure (plus petite valeur mesurable).

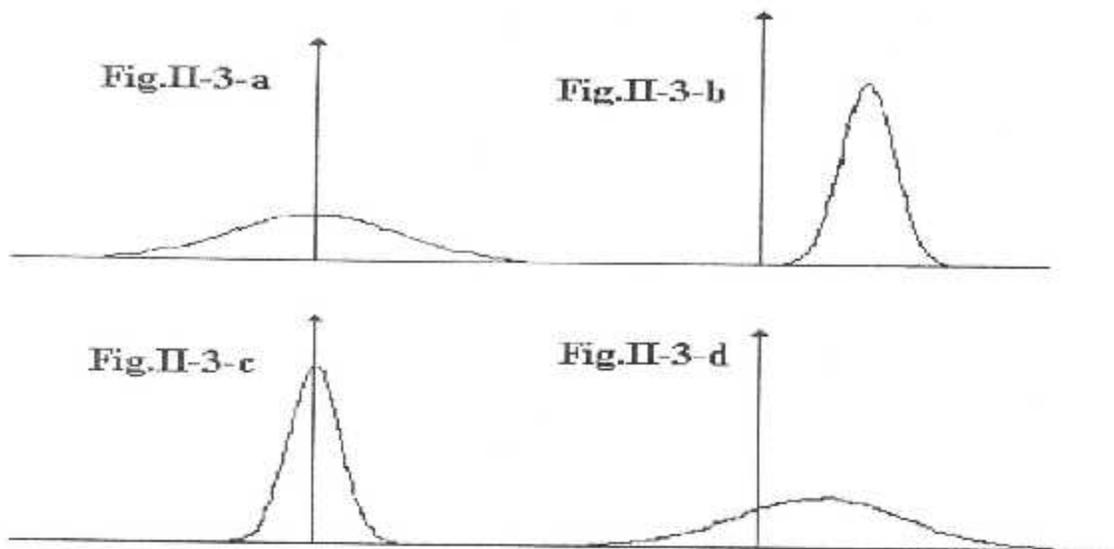
- résolution (plus petite variation mesurable).
- parasites
- influences du milieu sur le capteur : Par exemple celles provoquées par les variations de température sur un capteur de pression.

♦ **Erreur systématique** : l'erreur systématique se superpose aux erreurs aléatoires. Elle est provoquée par un mauvais réglage ou un mauvais étalonnage. Elle peut être également induite par la présence du capteur qui modifie la valeur du mesurande. Elle devient importante dans le cas où les instruments sont mal utilisés.

-**Fidélité** : la fidélité d'un capteur est sa propriété à redonner des valeurs très proches lorsque, après avoir varié, la grandeur reprend sa valeur initiale. Ce qui se traduit par des résultats groupés autour de leur valeur moyenne. L'écart type dont l'importance reflète la dispersion des résultats est souvent considéré comme l'erreur de fidélité : Il permet ainsi une appréciation quantitative de la fidélité. La valeur la plus probable, telle qu'elle résulte d'un ensemble de mesures, peut être connue avec une faible marge d'incertitude tout en étant assez éloignée de la valeur vraie.

-**Justesse** : la justesse est la qualité d'un appareillage de mesure à donner une valeur (moyenne) très proche de la valeur vraie.

-**Précision** : la précision qualifie l'aptitude du capteur à fournir des données qui, prises individuellement, sont proches de la valeur vraie. Un capteur précis est donc à la fois fidèle et juste.



**Fig.II-3** Différents types de répartition des résultats de mesure .

**Fig.II-3-a** Capteur juste mais non fidèle : Les erreurs systématiques sont réduites mais les erreurs aléatoires sont importantes.

**Fig.II-3-b** Capteur fidèle mais non juste : Les erreurs systématiques sont importantes mais les erreurs aléatoires sont faibles.

**Fig.II-3-c** Capteur juste et fidèle donc précis : Les erreurs systématiques et aléatoires sont faibles.

**Fig.II-3-d** Capteur ni juste, ni fidèle : Les erreurs systématiques et aléatoires sont importantes.

## II- La chaîne de mesure de l'EPR :

### II-1- Principe :

-La poussée développée par le moteur peut être exprimée en fonction du rapport  $P_{17}/P_{12}$ . La relation fait intervenir la pression et la température ambiante ainsi que le nombre de mach du vol.

-Les pression d'impact  $P_{12}$  (entrée du compresseur  $N_1$ ) et  $P_{17}$  (sortie de la turbine) sont appliquées à un calculateur électromécanique (transmetteur) qui détermine leur rapport. La position de l'arbre de sortie est transmise par liaison synchro à un indicateur.

### II-2- Prise de pression :

-La pression  $P_{12}$  est mesurée par un tube de Pitot monté au centre du nose dome, à l'avant du moteur. Ce tube est dégivré par l'air du dégivrage du moteur.

-La pression  $P_{17}$  est obtenue par six prises de pression placées à la sortie de la turbine ; ces prises sont raccordées à un collecteur d'équilibrage entourant le moteur. Ce collecteur est connecté à la tuyauterie à travers un conduit d'échappement du fan (position 7h).

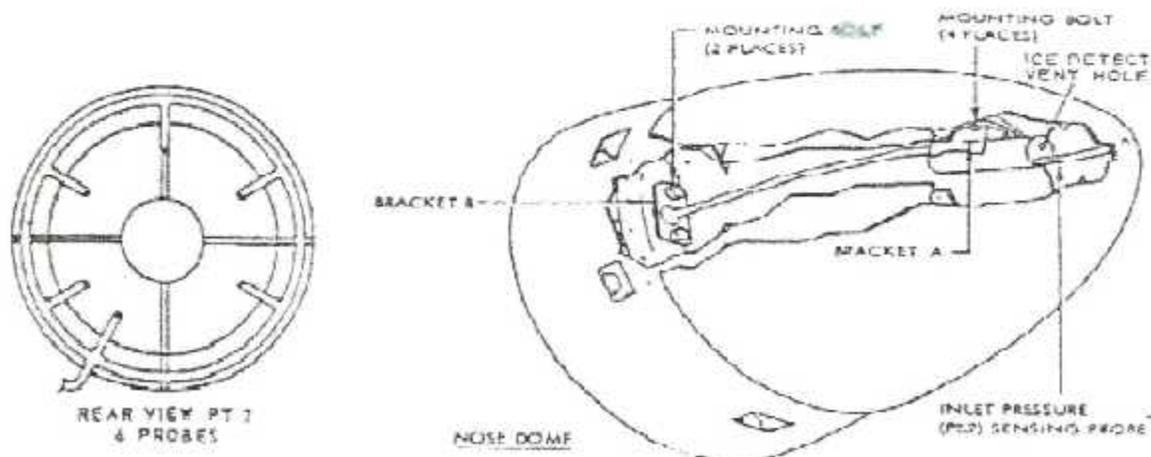


Fig.II-4 Les prises de pressions.

• **Remarque** : un petit orifice (vent hole) est percé à l'avant de la prise de Pitot ; en cas de givrage, il agit comme détecteur de givrage ( $P_2$  plus faible et EPR plus élevé).

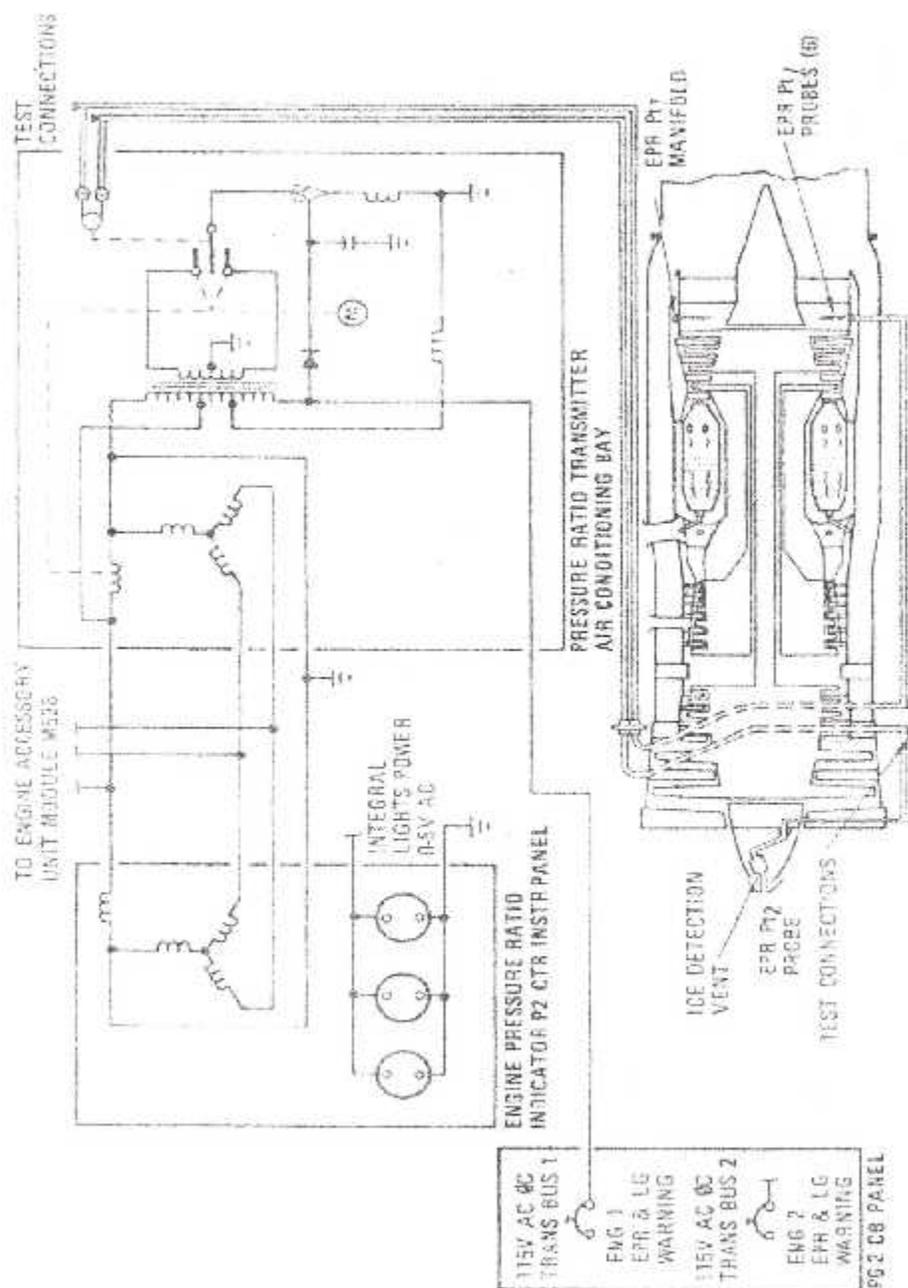


Fig.II-5 fonctionnement de la chaîne de mesure

### II-3- Transmetteur :

Le transmetteur est constitué d'un calculateur et d'une transmission.

#### a- Le calculateur :

Il se compose :

- D'une capsule soumise extérieurement à la pression  $P_{12}$  et intérieurement à la pression  $P_{17}$  ; la force qu'elle exerce est donc proportionnelle à  $P_{17}-P_{12}$ .
- D'une capsule évidée soumise à la pression  $P_{12}$ .
- De leviers d'un système vectoriel de bielles.
- D'un balancier (bras sensible).
- D'un transducteur à capacité variable et d'un moteur diphasé.

Le système vectoriel est soumis à une force  $F_1$  proportionnelle à  $P_{12}$  et une force  $F_2$  qui varie avec  $P_{17}-P_{12}$ .

Lorsque le système est en équilibre, la résultante  $R$  des deux forces est confondue avec une ligne passant par l'axe de rotation du bras sensible.

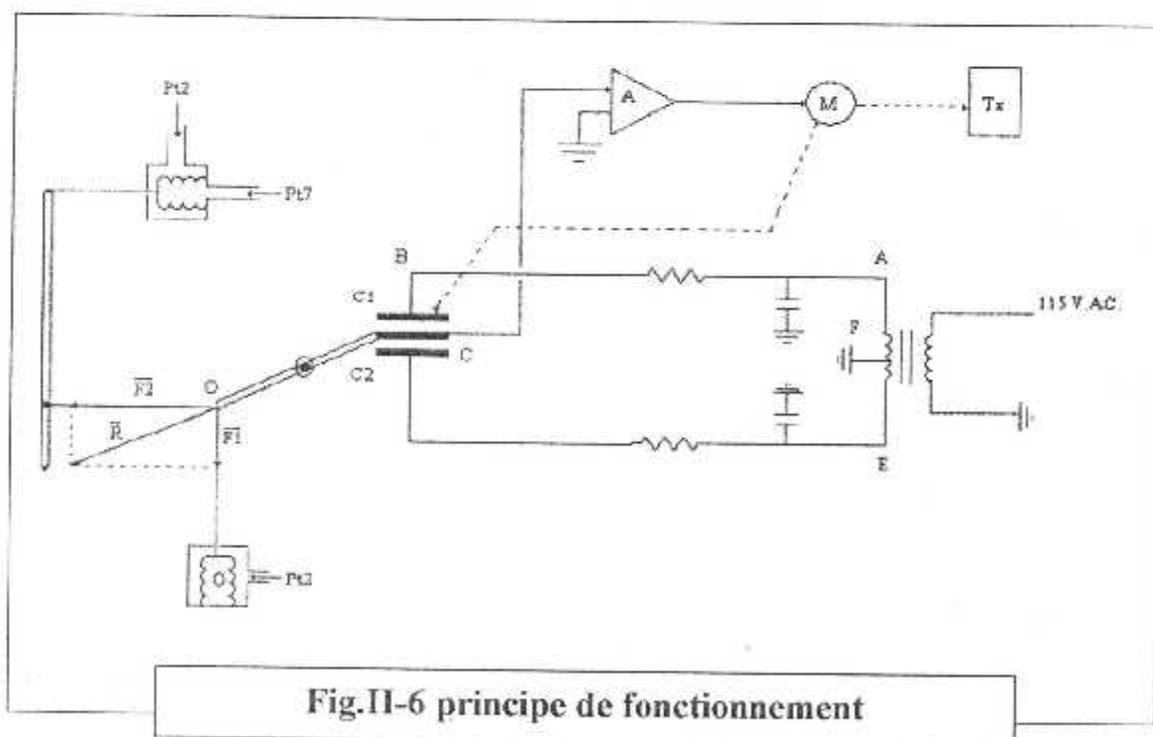


Fig.II-6 principe de fonctionnement

Lorsque l'une et (ou) l'autre pression varie, la force résultante  $R$  est modifiée en grandeur et en direction, ce qui fait pivoter le bras sensible jusqu'à ce qu'il soit réaligné avec cette force. Il est possible de démontrer que la position de la résultante et du bras sensible dépend de l'EPR.

Le transducteur est du type capacitif, il comprend deux condensateurs en série ayant une armature commune ; celle-ci est reliée au bras sensible.

Comme l'impédance totale ( $C_1, C_2$ ) et les deux résistances sont fixées, le courant dans le circuit est connu.

Si le système est en équilibre (armature centrale centrée), les deux capacités sont les mêmes et les points  $C$  et  $F$  sont au même potentiel.

Par contre, lorsque l'armature centrale est déplacée, entre  $C$  et  $F$  apparaît une tension dont l'amplitude et la phase dépendent du sens du déplacement de l'armature. Cette tension est proportionnelle à l'EPR.

Le transducteur comprend également un transformateur ayant deux enroulements secondaires en opposition de phase. Lorsque le bras sensible est centré, la tension de sortie est nulle. Cette tension est en phase ou en opposition de phase avec la tension primaire suivant la position du bras sensible lorsque l'EPR change.

Après l'amplification, cette tension est appliquée à un moteur d'entraînement diphasé dont le sens de rotation dépend de l'amplitude du signal.

Le moteur entraîne la transmission ainsi que le transducteur (feedback). Pour chaque valeur de l'EPR le bras sensible est centré dans l'entrefer.

#### **b- La transmission :**

En même temps que le transducteur, le moteur entraîne un synchro transmetteur relié électriquement à un synchro récepteur placé dans l'indicateur.

La position angulaire du synchro récepteur dépend de l'EPR. Les transmetteurs sont localisés de part et d'autre et à l'avant de l'A/C bay (sta.570 LH et RH).

Il existe deux types de transmetteurs :

► **Le dispositif SYNCHRO (ou AUTOSYN ou SYNCHROMACHINE) :**

Le synchro est utilisé pour sa simplicité, sa robustesse, sa grande sensibilité et sa résolution pratiquement infinie. Il allie le principe du moteur électrique à celui du transformateur. Comme le moteur, le synchro a des enroulements fixes et d'autres montés sur un rotor porté par un axe ; comme le transformateur, l'un des enroulements fonctionne comme primaire et l'autre comme secondaire. Chacun d'eux, celui du rotor ou celui du stator, peut être utilisé comme primaire selon le type de synchro et les applications envisagées (Fig.II-7).

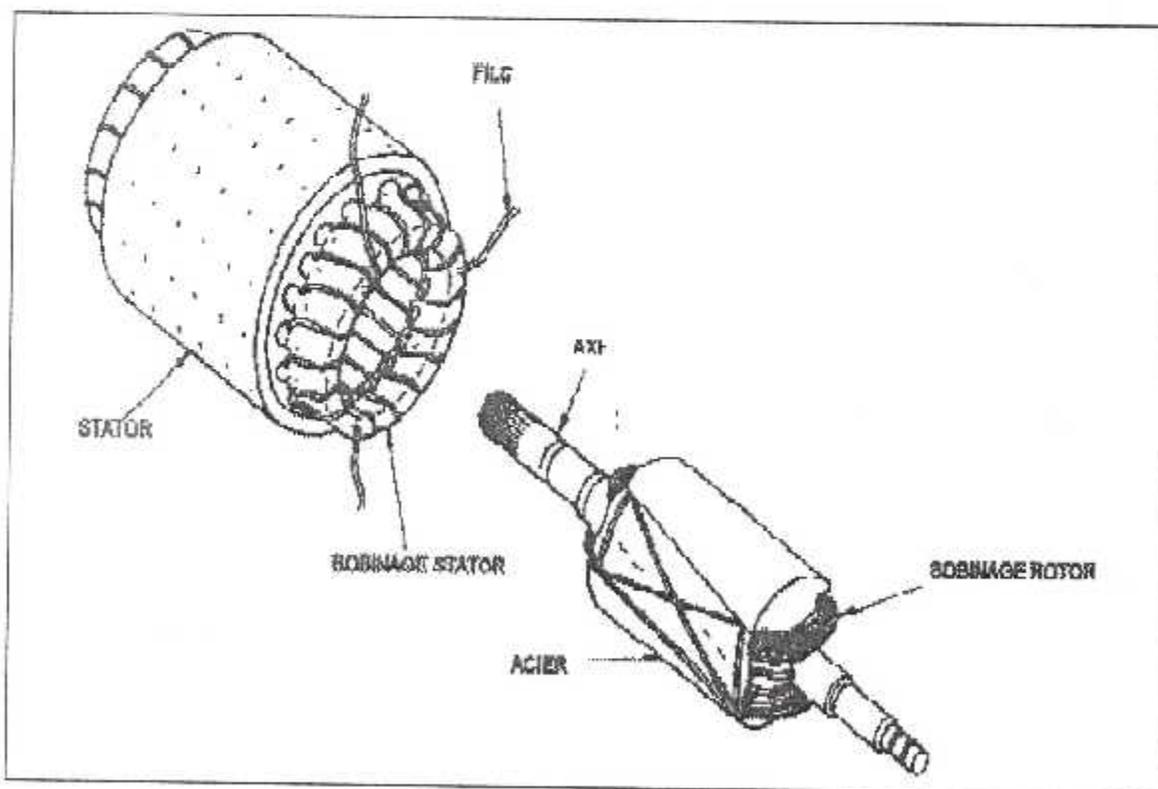


Fig.II-7 le dispositif AUTOSYN.

Le mot synchro est souvent utilisé comme terme générique pour désigner des appareils transducteurs qui peuvent être connectés entre eux de plusieurs manières pour former un système de mesure d'angle ou de position. Ils fonctionnent tous selon le même principe de transformateur tournant.

Dans le synchro-transmetteur, le rotor joue le rôle de primaire et les enroulements statoriques celui de secondaire. Comme l'angle entre les enroulements rotoriques et les enroulements statoriques peut être modifié en tournant l'axe, le couplage du primaire au secondaire change par conséquent et la tension induite dans le secondaire dépend de cet angle : on peut donc considérer que le synchro-transmetteur traduit une position en tension.

Dans le synchro-récepteur, les enroulements du stator créent un champ magnétique dont la direction et l'intensité sont déterminés par les tensions appliquées. Le rotor tourne alors jusqu'à ce qu'il se soit lui-même équilibré dans le champ magnétique du stator. L'angle dont l'axe aura tourné dépendra, par conséquent, de la tension appliquée aux enroulements statoriques. On peut donc considérer que le synchro-récepteur traduit une tension en position. (Fig.II-8).

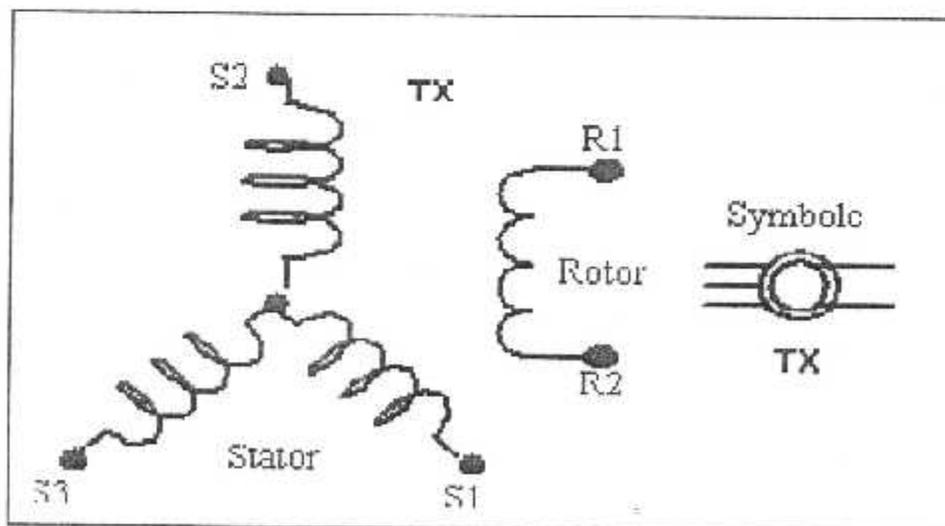


Fig.II-8 Le schéma électrique de l' AUTOSYN.

### ► Le dispositif SELSYN :

Le transmetteur est constitué par une résistance circulaire fermée possédant trois prises disposées à 120 degrés l'une de l'autre. Sur cette résistance peut se déplacer un curseur portant deux contacts isolés et diamétralement opposés, alimentés en courant continu 27,5 V (Réseau continu de bord). Ce curseur est actionné par l'organe de mesure du transmetteur et son déplacement angulaire est fonction de la grandeur à mesurer. Le récepteur comporte un stator sur lequel sont montés trois enroulements couplés en triangle. Au centre de ce stator, peut pivoter un aimant bipolaire sur l'axe duquel est calée une aiguille indicatrice. (Voir Fig.II-9)

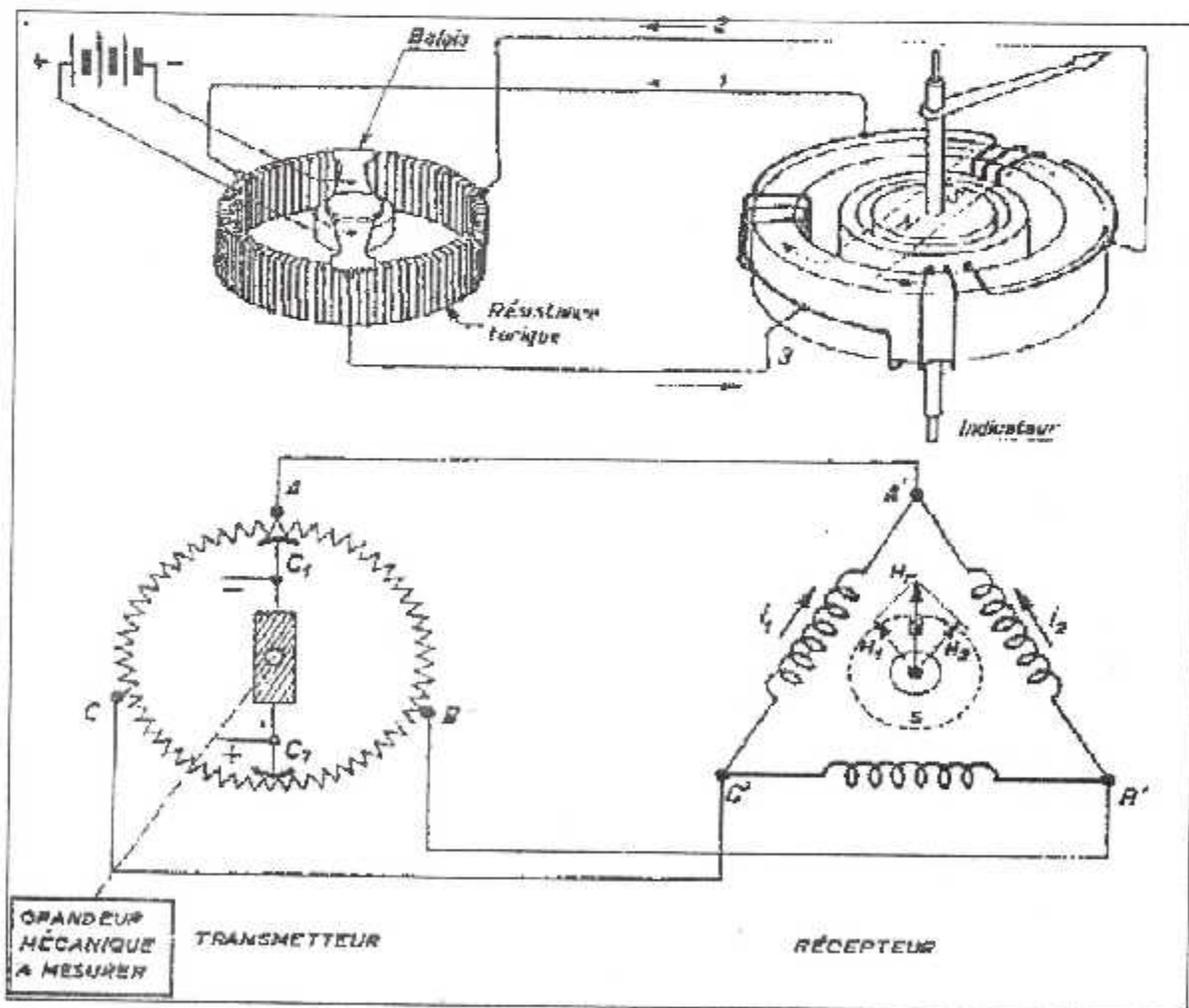


Fig.II-9 le dispositif SELSYN.

Soit un transmetteur "T" branché à un récepteur "R". Les potentiels des points A, B, C du transmetteur et par là même, les potentiels des points A', B', C' du récepteur dépendent de la position des curseurs C1 et C2. A tout moment nous aurons :

$$VC1 = 0 \text{ V et } VC2 = + 27 \text{ V}$$

$VA = VA'$  ;  $VB = VB'$  ;  $VC = VC'$  avec des valeurs comprises entre  $VC1$  et  $VC2$ .

Et, dans le cas de la figure 2,  $VA = VA' = VC1 = 0$  et  $VB = VC = VB' = VC' = 2 \cdot VC2 / 3$

Au stator récepteur, nous avons des courants de circulation  $I1$  de C' vers A' , et  $I2$  de B' vers A'. Ces courants donnent naissance à des champs magnétiques tels que  $H1$  et  $H2$  qui se composent pour donner une résultante  $Hr$  de même direction que le curseur C1 du transmetteur. Le rotor polarisé pivote et place son axe N-S dans la direction  $Hr$  ; l'aiguille indicatrice a donc une position bien déterminée pour cette position du curseur transmetteur.

Nous voyons sur la figure ci-dessous, qu'un déplacement angulaire de 120 degrés du curseur transmetteur, engendre une rotation des potentiels de 120 degrés au récepteur et par là même une rotation identique du champ résultant  $Hr$ . Le rotor et l'aiguille indicatrice pivotent donc de 120 degrés dans le sens de rotation du curseur. (Voir Fig.II-10)

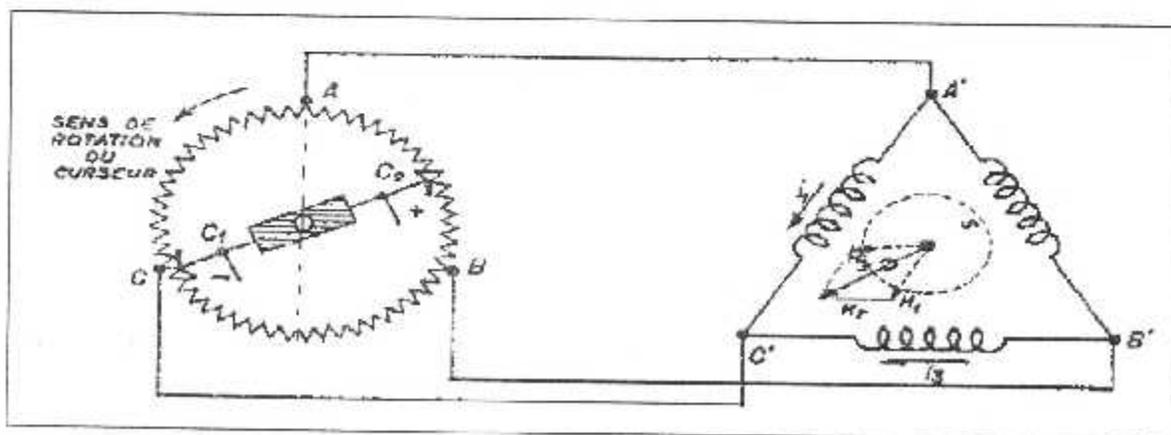
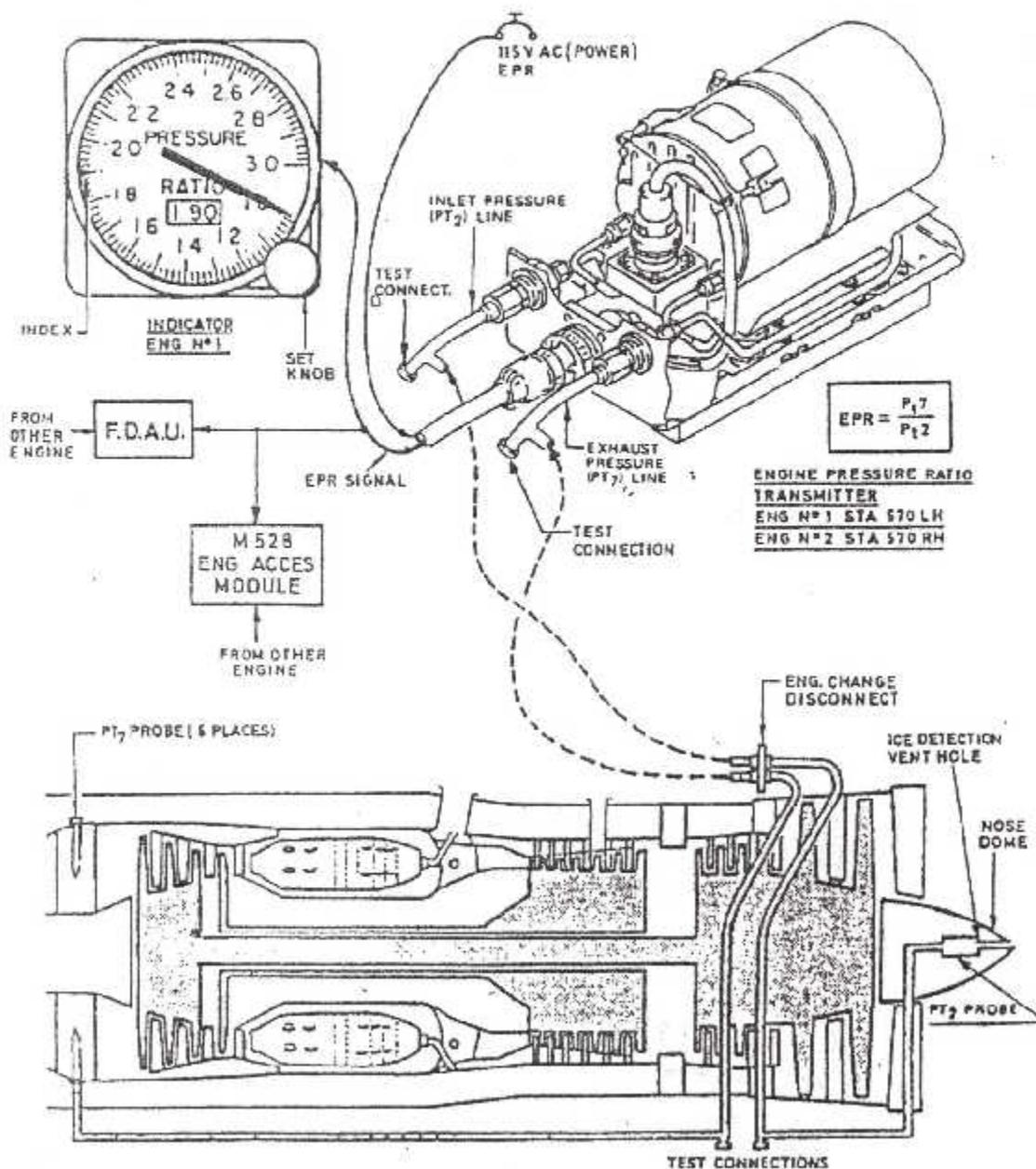


Fig.II-10 schéma électrique du SELSYN.

**II-4 L'indicateur :**

Les indicateurs comprennent un synchro récepteur entraînant une aiguille et un tambour. Ils sont gradués de 1 à 3 ; un bouton permet d'afficher l'EPR désiré dans une découpe de la fenêtre et de déplacer un index le long du cadran.



**Fig.II-11 l'indicateur EPR.**

**II-5 L' alimentation électrique :**

L'alimentation électrique est du 115v AC des XFER BUSES correspondants aux moteurs.

**II-6 Les tests de bon fonctionnement :**

► Un essai du système est prévu au sol. Cet essai consiste à rechercher les fuites éventuelles dans les tuyauteries d'alimentation, et à vérifier le fonctionnement du transmetteur.

► La prise de pression Pt2 ainsi que sa ligne de raccordement dans la nose dome ne sont pas prévues dans l'essai à cause de la difficulté à fermer le vent-hole. De même, à cause des difficultés d'accès, il n'est pas possible d'inclure dans l'essai les prises Pt7 à leur collecteur d'équilibrage.

► Les connexions d'essai Pt7 et Pt2 sont placées à la partie inférieure avant du moteur.

► Il existe également un test opérationnel qui consiste à :

-appliquer des pressions déterminées aux lignes Pt7 et Pt2 et de vérifier l'EPR obtenu.

-afficher un EPR déterminé, appliquer des pression connues au transmetteur et de vérifier si l'EPR ne change pas.

# CHAPITRE III

### Introduction:

Dans l'électronique, les techniques actuelles font de plus en plus appel au traitement numérique qui présente d'intéressante propriété de performance et de souplesse.

Actuellement la partie prise par les circuits logiques binaires est de plus en plus grande, ceci est dû à la facilité relative de construction et d'utilisation de tel circuit par rapport au circuit analogique classique. Il est cependant nécessaire de faire la liaison entre le monde dans lequel nous vivons qui est analogique et le monde de traitement qui est numérique. C'est pourquoi, l'industrie électronique a développée sous forme de circuit intégré des convertisseurs extrêmement performants et de faible coût pour réaliser ces opérations.

### 1-L'échantillonnage :

Echantillonner un signal c'est le rendre accessible à un traitement numérique sur calculateurs digitaux. Cela se traduit par l'incompatibilité des signaux analogiques (continues) à être traités par les outils informatiques.

C'est dans ce concept que SHANNON a développé la notion d'échantillonnage, il s'agit de remplacer un signal continue dans le temps par un autre défini à des instants seulement (à temps discret), et suffisamment rapprochés pour qu'il contient la même information.(voir Fig.III-1)

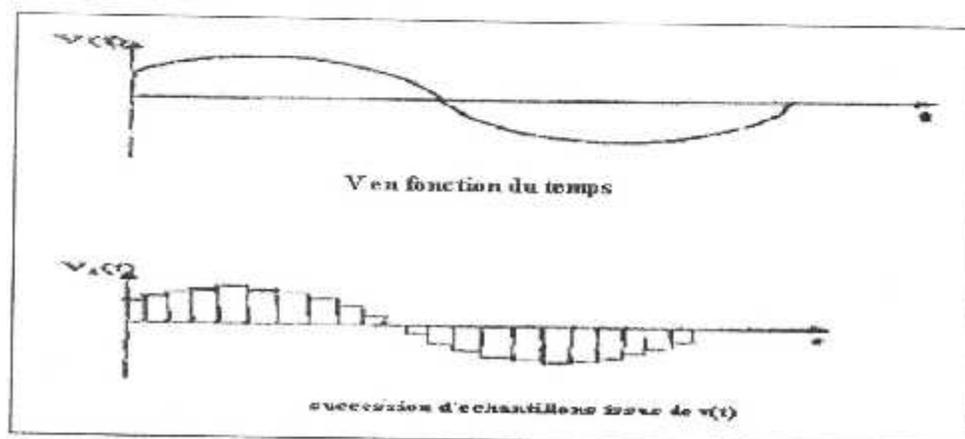


Fig.III-1 Principe de l'échantillonnage.

Le théorème d'échantillonnage montre que dans certaines conditions le remplacement de  $V(t)$  par la succession d'échantillons  $V_i(t)$  ne provoque aucune perte d'information.

## 2- Les convertisseurs analogiques numériques A/N:

### 2-1 Définition:

Un convertisseur analogique numérique AIN est un dispositif qui reçoit un signal analogique A, et de le transformer en un signal numérique N avec une précision et une résolution donnée, On comparant A à une tension de référence, le signal a convertir A peut s'écrire sous la forme:

$$A = F_s(b_1/2 + b_2/4 + \dots + b_n/2^n + \dots),$$

ou  $F_s$  représente l'étendue de la pleine échelle.

La longueur du mot binaire obtenue après conversion étant limité à n bits, il faut arrêter la division à l'ordre n et écrire:

$$A = F_s(b_1/2 + b_2/4 + \dots + b_n/2^n)$$

Avec N = 

$b_n$	$b_{n-1}$	.....	$b_2$	$b_1$
-------	-----------	-------	-------	-------

### 2-2 Caractéristiques des convertisseurs A/N:

Dans cette partie nous allons passer en revue des caractéristiques principales des convertisseurs AIN, ces caractéristiques sont données dans les DATA BOOKS des constructeurs et permettant à l'utilisateur de faire son choix.

Parmi ces caractéristiques on cite:

- Fonction de transfert.
- Précision:
- Temps de conversion.
- Résolution.
- Non linéarité intégrale et non linéarité différentielle.
- Gamme de signal d'entrée.
- Consommation.

► **Fonction de transfert** : caractéristiques idéales d'un CAN peut se définir comme suite:

Les tensions d'entrée nominale pour lesquelles l'erreur est nulle sont données par l'égalité suivante :

$$U_{nom} = F_s(b_1/2 + b_2/4 + \dots + b_n/2^n)$$

les différents bits valant « 0 » ou « 1 ». (voir Fig.III-2)

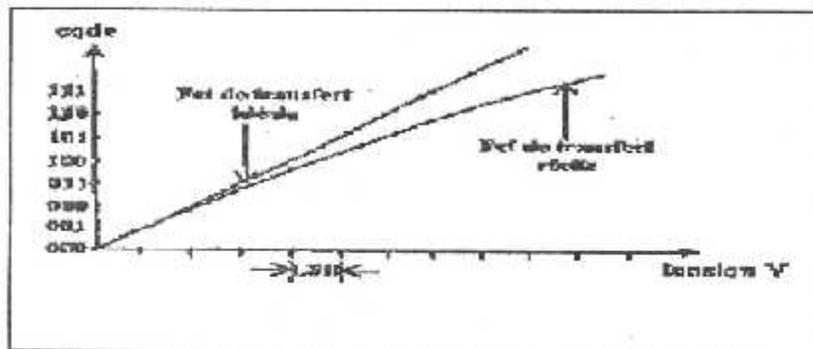


Fig.III-2 la courbe de transfert.

**Remarque :**

Le LSB « quantum élémentaire » est le rapport entre la tension maximale à l'entrée et le nombre de pas de quantification.

nombre de pas de quantification =  $2^n$

$n$  = le nombre de bits.

► **La précision** : on peut définir la précision comme le nombre de bit fournis par le CAN pour conserver une bonne précision il s'agit donc de coder chaque échantillon avec un nombre de bit suffisant. Un codage sur 8 bits permettra par exemple de placer l'amplitude du signal parmi  $2^8 = 256$  valeurs possibles, et d'avoir ainsi une précision de l'ordre  $1/256$  quand le signal sera à la valeur maximale.

On comprend alors l'intérêt de choisir un nombre important de bit de codage dans les mesures de haute précision.

► **Temps de conversion:** le temps de conversion est le temps nécessaire pour obtenir en sortie un signal numérique correspondant à un signal d'entrée analogique avec la précision désirée, il s'exprime habituellement en micro seconds ou en milliers de seconds.

► **La résolution:** la résolution définit la plus petite variation de la tension que le convertisseur peut coder et indiquer, elle est fixée par le nombre de bits fournis par le convertisseur.

► **Non linéarité intégrale et non linéarité différentielle :** la non linéarité intégrale est l'écart maximum entre la valeur correspondante à la valeur codée et la valeur théorique donnée par la droite idéale représentant la fonction de transfert.

La non linéarité différentielle est l'écart maximum correspond à un pas de quantification et sa valeur théorique (Voir Fig.III-3 )

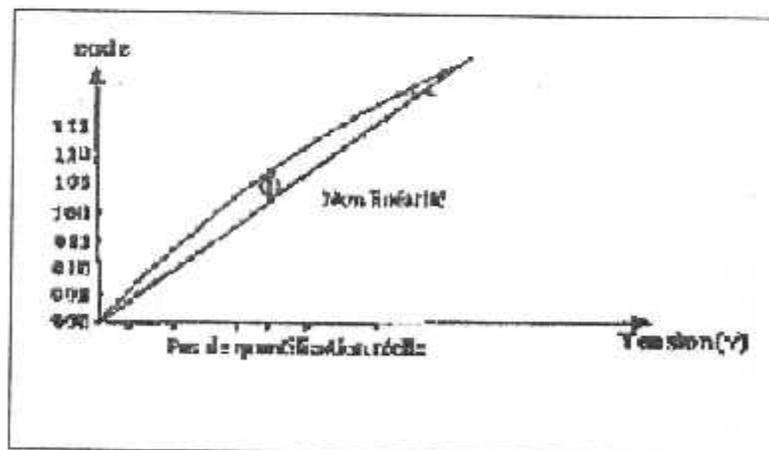


Fig.III-3 Courbe de non linéarité.

► **Gamme de signal d'entrée:** c'est une plage de tension à l'intérieur de laquelle le signal d'entrée doit être inclus, elle s'étend généralement de "0" à "10v" ou de "-5" à "5v".

► **Consommation:** c'est la puissance consommée par le convertisseur.

### 2-3 Les différents types de convertisseurs, A/N :

On va citer quatre types de convertisseurs analogiques numériques :

- Convertisseur parallèles - flash
- Convertisseurs à approximations successives
- Convertisseurs sigma delta.
- Convertisseurs à rampe numérique.

#### a- Convertisseur parallèles- flache :

Le convertisseur parallèle est basé sur une technique simple. Son principal atout est qu'il est très rapide, il peut donc être utilisé dans des applications demandant un grand débit d'information (traitement vidéo et de la voix par exemple), puisque son temps de conversion peut être aussi faible de l'ordre de 10 ns dans ce convertisseur  $2^n$  valeurs possibles sont comparées simultanément dans  $2^n - 1$  comparateurs analogiques au signal d'entrée  $V_e$ .

Le schéma de principe est donné par la figure (III-4) . Le circuit combinatoire est déterminé d'après une table de vérité. Le tableau (III-1) donne l'exemple d'un convertisseur à trois bits.

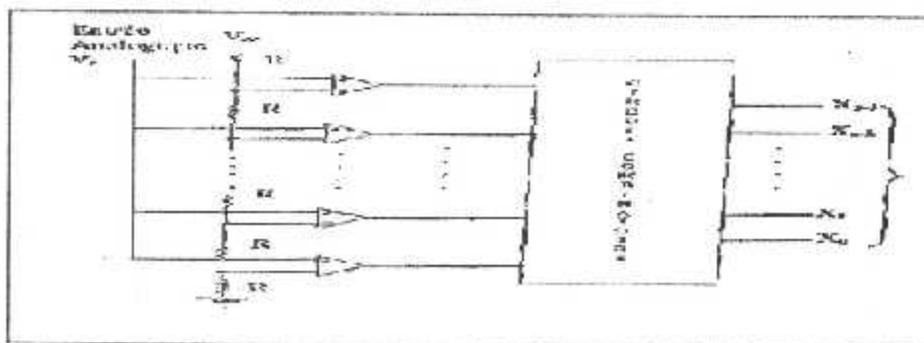


Fig.III-4 le CAN parallèle.

Tension analogique	Sorties des convertisseurs							Codes binaires $X_2X_1X_0$
	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	
7 K $\rightarrow$ 8K	1	1	1	1	1	1	1	111
6 K $\rightarrow$ 7K	1	1	1	1	1	1	0	110
5 K $\rightarrow$ 6K	1	1	1	1	1	0	0	101
4 K $\rightarrow$ 5K	1	1	1	1	0	0	0	100
3 K $\rightarrow$ 4K	1	1	1	0	0	0	0	011
2K $\rightarrow$ 3K	1	1	0	0	0	0	0	010
1K $\rightarrow$ 2K	1	0	0	0	0	0	0	001
0 $\rightarrow$ 1K	0	0	0	0	0	0	0	000

**Tableau (III-1): Codage E/S exemple à 3 sorties**

#### b- Convertisseur à approximation successive :

Ce convertisseur est utilisé quand une excellente précision est demandée par exemple pour la conception des appareils de mesures.

Le principe de fonctionnement du CAN approximation successive est de comparer une tension d'entrée  $V_e$  d'abord avec la tension analogique correspondante au MSB (le poids le plus fort ). Puis au bit de poids inférieur et ainsi de suite jusqu'au bit LSB. Le schéma de principe est donné par la figure (III-5). La décision de « 1 » ou du « 0 » vient de la sortie de comparateur.

- si  $V_s$  inférieur à  $V_e$  la sortie du comparateur sera basse et n'agira pas sur l'entrée K de la bascule qui restera à « 1 ».

- si  $V_s$  supérieur à  $V_e$  il y a dépassement, donc la sortie du comparateur qui sera au niveau haut mettra la bascule correspondante à «0» par l'intermédiaire de l'entrée K.

Après une impulsion d'horloge c'est les bits de poids inférieur qui sont mis à «1» pour poursuivre la comparaison et la décision dans le raisonnement est similaire. La sortie digitale sera obtenue après exploration de tous les bits du MSB au LSB. Le résultat final sera obtenu dans la mémoire.

Pour illustrer le fonctionnement du convertisseur à approximation successive un exemple de conversion est représenté par la figure (III-6)

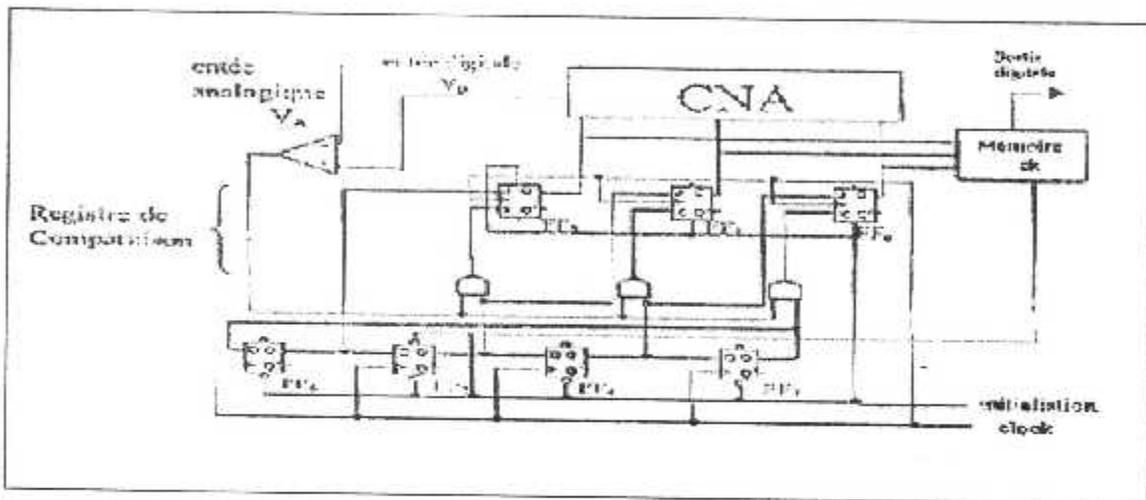


Fig.III-5 le CAN à approximations successives.

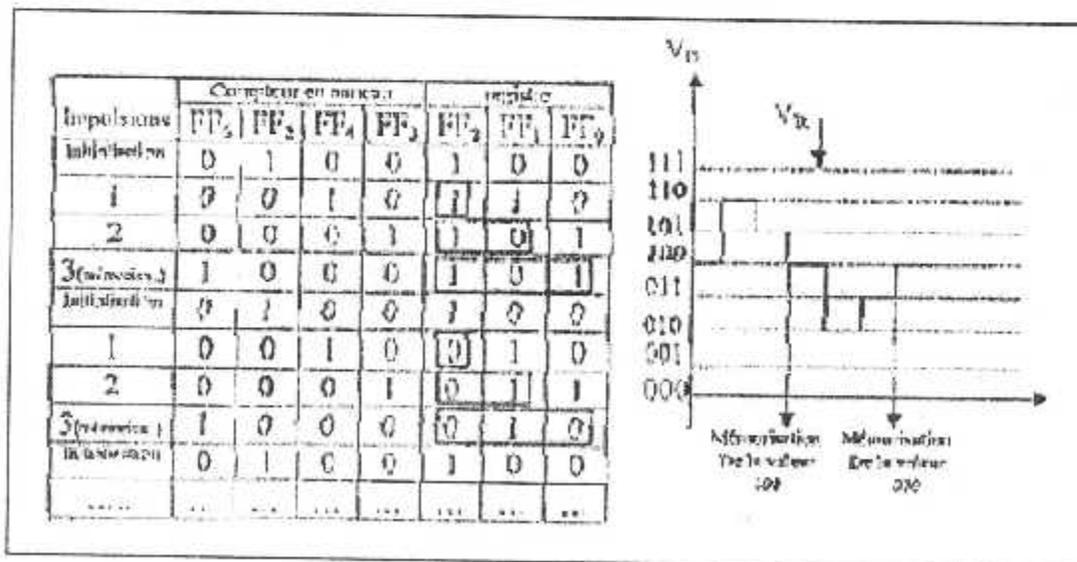


Fig.III-6 exemple de fonctionnement du CAN à approximations successives.

**c- Convertisseur Sigma delta :**

Apparus plus récemment, le convertisseur sigma delta permet d'obtenir des précisions de codage que ne permettent pas les autres types de convertisseurs. Le principe de fonctionnement est assez complexe, et tiré en partie des techniques numériques de traitement du signal.

Le signal d'entrée est échantillonné avec une fréquence très supérieure à celle qui sera nécessaire par application de la règle de SHANNON. Le signal ensuite sera filtré afin de minimiser le bruit, la linéarité de conversion est également excellente les précisions assez élevées plus que «24 bits» sont possibles. Ces convertisseurs sont réalisés en particulier dans l'enregistrement numérique sur disque laser.

**d- Convertisseur à rampe numérique:**

Les convertisseurs AN à rampe numérique sont constitués:

- D'un compteur binaire à 11 bits, initialement mis à « 0 ».
- D'un CNA qui transforme le nombre affiché par le compteur analogique.
- D'un comparateur qui compare les valeurs des paliers successifs (dus au compteur) à la tension d'entrée.

**d-1 Convertisseur à rampe numérique « Simple» :**

Dans le cas du convertisseur AN à rampe numérique simple il suffit de transférer le contenu du compteur vers une mémoire quand le comparateur bascule ainsi on obtient le nombre digital correspondant à la tension analogique d'entrée. Les figures (fig.III-7 ) et (fig.III-8) montrent le schéma de principe ainsi qu'un exemple de conversion.

Ce premier système de rampe numérique continue sans cycle de comptage quelque soit le moment du transfert de la donnée digitale dans la mémoire. Il possède l'avantage d'avoir une vitesse de conversion constante mais lente.

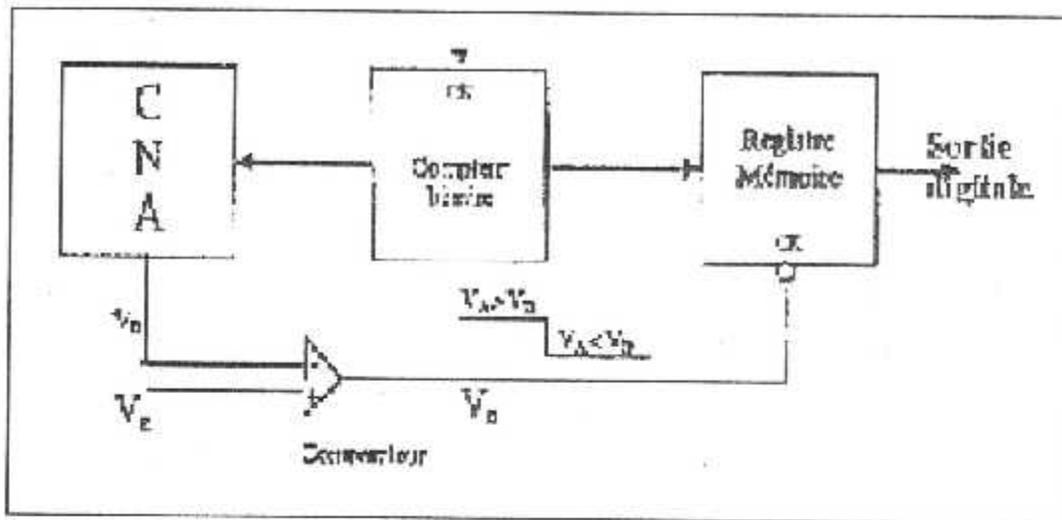


Fig.III-7 le CAN à rampe simple.

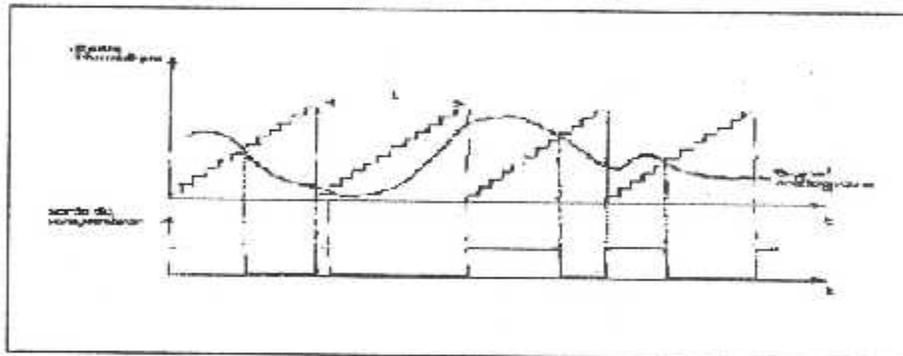


Fig.III-8 chronogramme des signaux du CAN à rampe simple.

### d-2 Convertisseur à rampe numérique « améliorée » :

Pour améliorer le système de la rampe numérique, un deuxième montage est possible dans ce cas, le compteur est remis à «0» lorsque le transfert est effectué. La vitesse de conversion sera plus rapide mais ne sera pas constante.

Le schéma de principe ainsi qu'un exemple de conversion sont représentés par les figures (fig. III-9 ; fig.III-10)

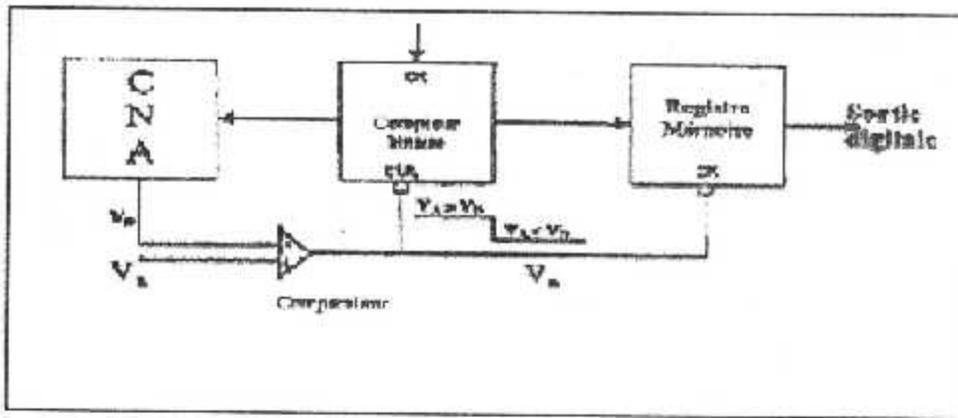


Fig.III-9 Le CAN à rampe améliorée.

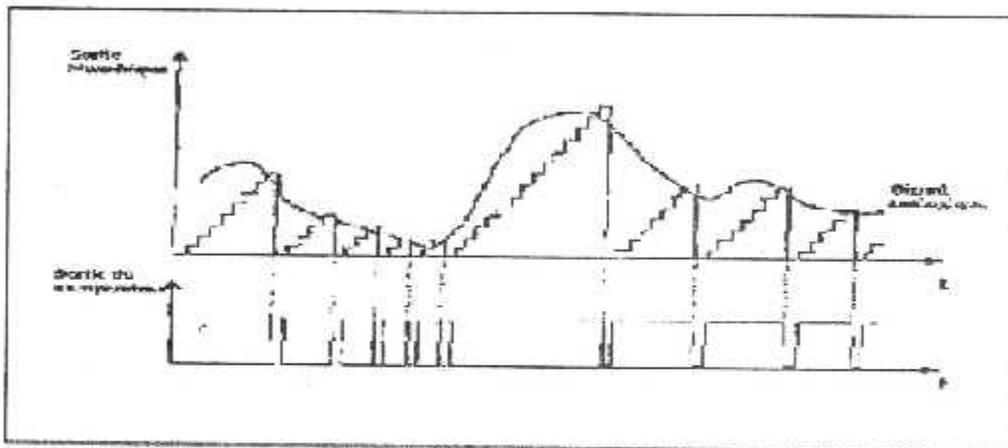


Fig.III-10 chronogramme des signaux du CAN à rampe améliorée.

### d-3 Convertisseur à rampe numérique « poursuite » :

Un troisième système de rampe numérique, a l'avantage d'être très rapide, et possible en utilisant un compteur bidirectionnel (UPIDOWN) à la place d'un compteur binaire. Le schéma de principe de ce convertisseur A/N à rampe numérique « poursuite » ou TRACKING ADC convertir ainsi qu'un exemple de conversion sont représentés par les figures (fig.III-11 ; fig.III-12).

Le système incrémente le compteur jusqu'à la valeur de l'entrée par la suite le tracking ou poursuite se fait par incrémentation ou décrémentation du compteur bidirectionnel suivant la sortie du comparateur.

Le transfert des données digitales se fait pour chaque transition (de HAUT vers BAS ou de BAS vers HAUT).

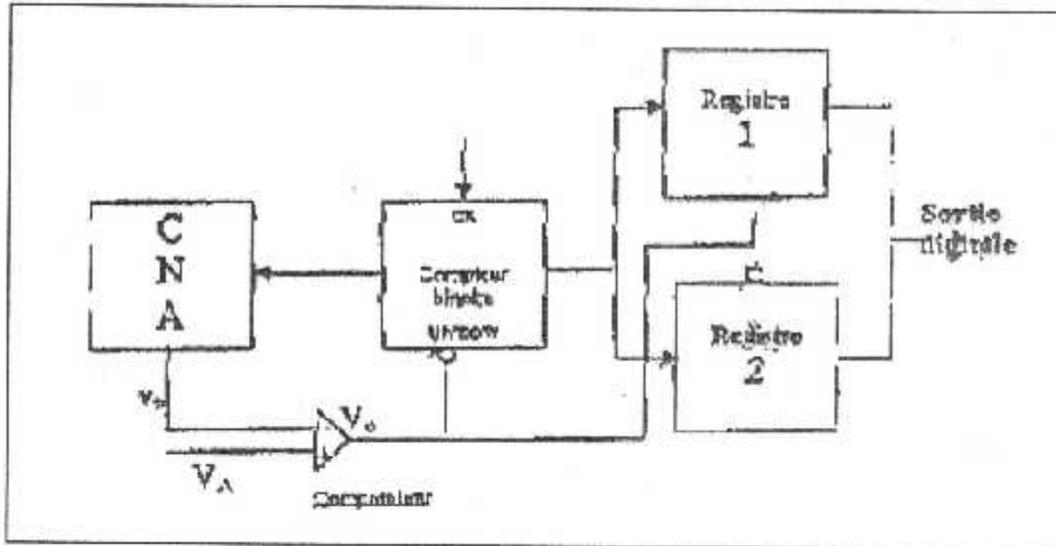


Fig.III-11 Le CAN à rampe poursuite.

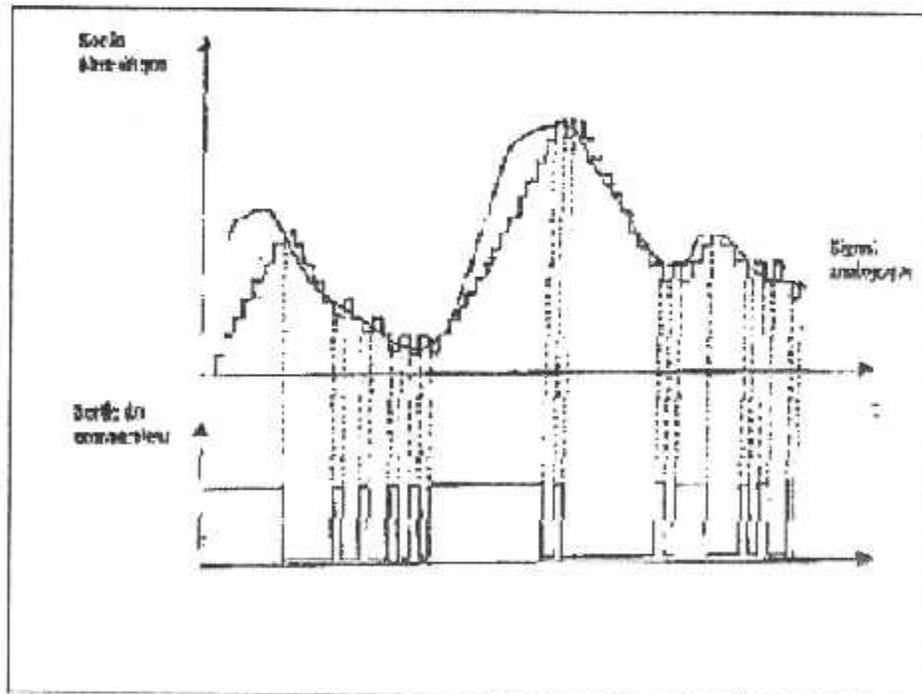


Fig.III-12 chronogramme des signaux du CAN à rampe poursuite.

**d-4 Convertisseurs A/N à double rampe :**

Le schéma de principe du convertisseur A/N à double rampe, très utilisé dans les voltmètres digitaux, est représenté par la figure (fig.III-13).

Ce convertisseur est en réalité un convertisseur « tension - temps » ou le temps nécessaire pour la conversion de l'entrée analogique inconnue  $V_e(t_1)$  est comparé au temps de conversion de référence  $V_{ref}(t_2)$ . Le principe de fonctionnement est le suivant:

Initialement, la capacité C est déchargée et son compteur est mis à «0 ». L'interrupteur S est ensuite connecté à  $-V_e$  pendant un temps fixe  $t_1$  (temps nécessaire au bits MSB 2 de passer à «1» ou au compteur de compter  $2^{n-1}$  cycle d'horloge). Cette durée  $t_1$  est utilisée pour intégrer l'entrée  $V_e$  ce qui donne:

$$V_{n1} = -\frac{1}{RC} \int_0^{t_1} (-V_e) dt = \frac{t_1}{RC} V_e$$

Le passage à « 1 » de bit MSB relatif à la fin de temps fixe  $t_1$ , fait basculer l'interrupteur S vers la tension de référence  $V_{ref}$  ce qui induit une décroissance de la tension de sortie  $V_1$  devienne nul (basculement du comparateur). Le temps  $t_2$  est le temps de cette décroissance:

$$V_{n2} = V_{n1} - \frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_2} (+V_{ref}) dt = V_{n1} - \frac{(t_2 - t_1)}{RC} V_{ref} = 0$$

Si la période d'un cycle d'horloge est T, donc

$$t_1 = 2^{n-1} \times t \quad \text{et} \quad t_2 - t_1 = NT$$

Avec n représentant le nombre accumulé pendant l'intervalle de temps ( $t_2 - t_1$ ), on aura alors:

$$V_e + V_{ref} \frac{t_2 - t_1}{t_1} = \frac{V_{ref}}{2^{n-1}} N$$

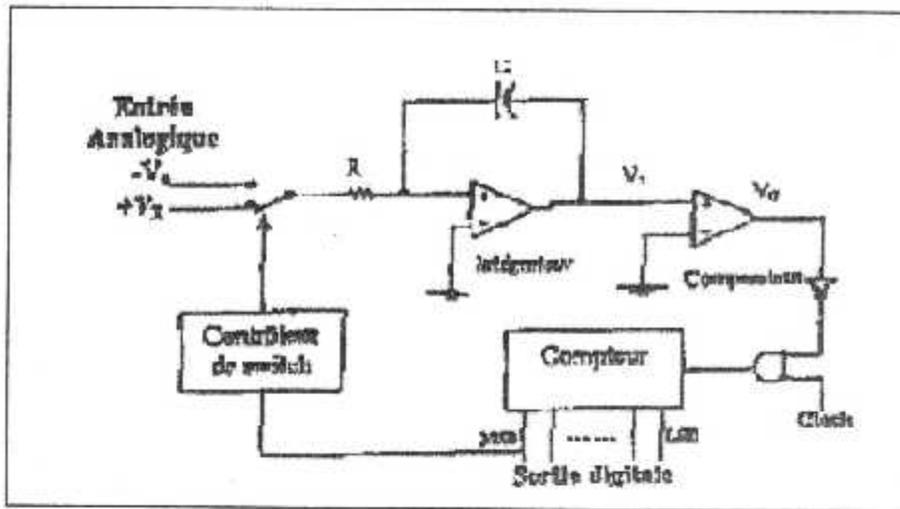


Fig.III-13 Le CAN à double rampes.

Pour illustrer le fonctionnement du convertisseur A/N à double rampe un exemple de conversion est représenté par la figure (fig.III-14).

L'inconvénient majeur de ce convertisseur est sa lenteur. Mais il représente de nombreux avantages, parmi lesquels:

- Il est économique car il n'utilise pas de convertisseurs N/A.

- Il possède une très bonne précision de conversion. En effet ce type de convertisseur élimine les erreurs dues aux temps de retard de composants utilisés.

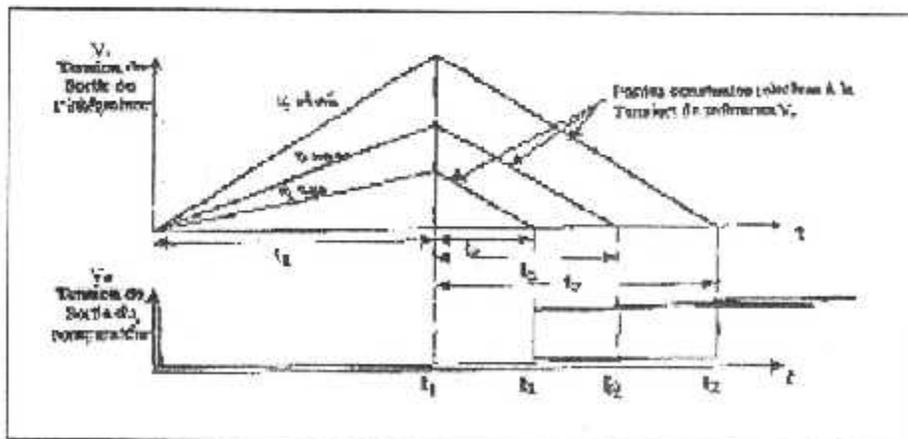


Fig.III-14 chronogramme des signaux du CAN à double rampes.

**2-4 Exemples:** Voir le tableau (III-2.)

	AD1776	AD9012	AD7582	DSP56ADC16
Type	Mixte série parallèle	Parallèle	Approximation successives	Sigma delta
Précision (bits)	14	8	12	16
Conversions	100 kHz	100MHz	10 kHz	100 kHz
Bits effectifs	/	7.5 à 12 Mhz	/	/
Gamme d'entrée	0 à 10 v	0 à 10 v	0 à 5 v	0 à 5 v
Précision d'échantillonnage	150 ps	15 ps	/	/
Non linéarité intégrale	$\pm 2$ LSB	$\pm 0.6$ LSB	$+ 1$ LSB	/
Non linéarité différentielle	/	$\pm 0.6$ LSB	$\pm 1$ LSB	/
Consommation	560 mw	950 mw	75 mw	/

**Tableau (III-2):** Caractéristiques de quelques convertisseurs.**2-5 Récapitulatif des convertisseurs A/N:**

Après exposé des diverses techniques de conversion la question qui se pose est la suivante:

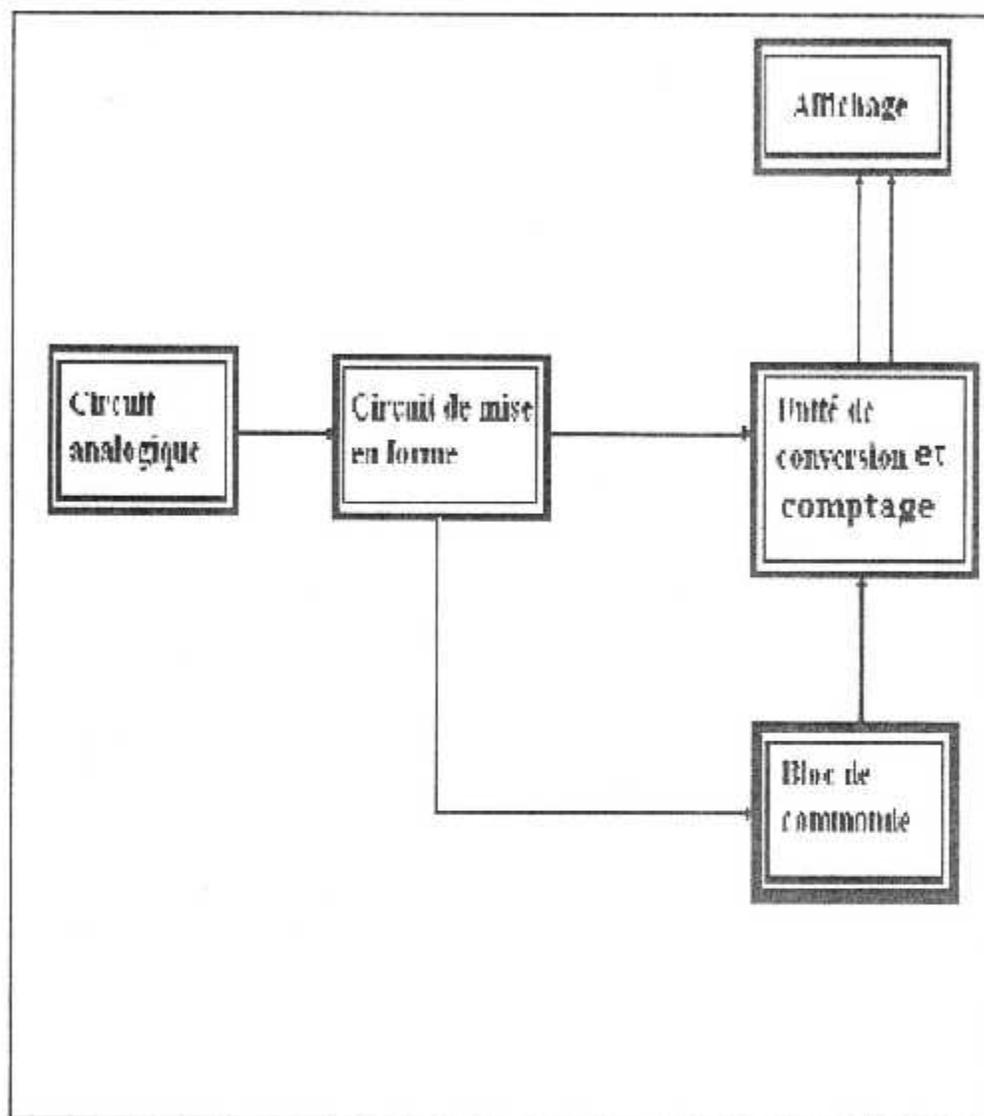
- Quelle type de convertisseur dois-je utiliser dans mon application?

Les deux facteurs principaux pris en compte dans la classification proposée sont le nombre de bits de codage, et la fréquence d'échantillonnage choisi selon les critères exposés précédemment. D'autres critères sont pris également en considération comme la consommation et le coût du circuit.

# CHAPTER IV

**I-Schema synoptique general:**

Pour une meilleure illustration de notre réalisation voici le schéma synoptique général avec tous les étages qu'il comprend .



**Fig.IV-1 Le schéma synoptique général.**

## II-Schéma synoptique détaillé:

Le schéma synoptique détaillé comprend les étages suivants :

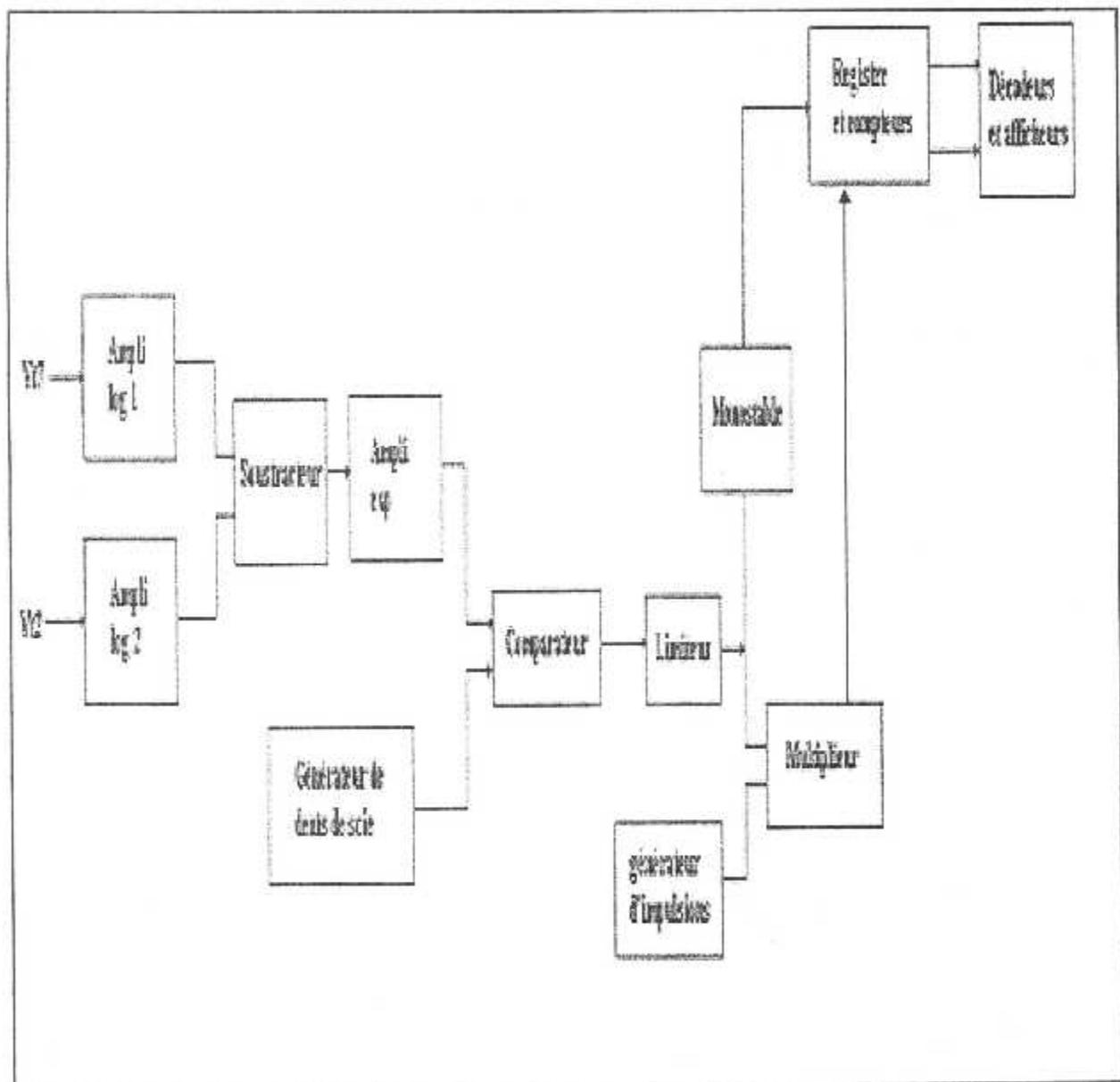


Fig.IV-1 schéma synoptique détaillé.

### 1- Circuit analogique :

On suppose que les tensions  $V_1$  et  $V_2$  correspondent aux pressions  $P_{12}$  et  $P_{17}$  mesurées par les capteurs comme l'on a noté dans le deuxième chapitre.

Le rôle du circuit analogique est de calculer le rapport de la tension  $V_2$  à la tension  $V_1$ , cela, en ce basant sur la relation mathématique suivante :

$$\ln(a) - \ln(b) = \ln(a/b)$$

Et voici le schéma synoptique du circuit analogique:

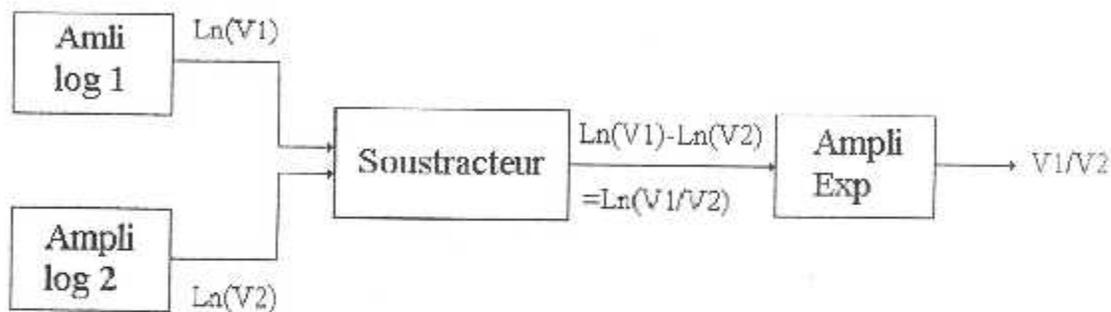


Fig.IV-3 synoptique du circuit analogique.

### 2- Circuit de mise en forme :

On entend par mise en forme d'un signal, les transformations nécessaires apportées au signal pour qu'il soit prêt à être utilisé dans l'étage suivant.

Dans notre cas, la mise en forme du signal est nécessaire pour exciter la partie numérique du système.

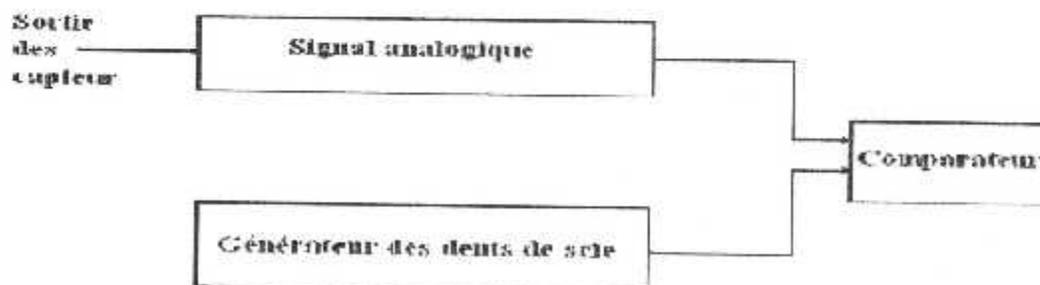


Fig.IV-4 synoptique du circuit de mise en forme .

**♦ Le générateur du signal en dents de scie :**

Le signal de dents de scie est appelé aussi signal en rampes car il est constitué d'une droite en pente, ce signal a les caractéristiques suivantes :

$$\text{Valeur efficace : } V_{\text{eff}} = V_c/3$$

$$\text{Valeur moyenne : } V_{\text{moy}} = V_c/2$$

Le circuit du générateur de notre montage génère un signal à double rampe.

**♦ L'étage comparateur :**

Il a pour rôle de comparer le signal provenant du circuit analogique avec le signal de dents de scie.

C'est un amplificateur opérationnel sans boucle de réaction retour.

**3- Circuit de commande :**

Il est composé de plusieurs étages :

**♦ Trigger de Schmitt :**

Le trigger de schmitt produit un signal carré à front raide à partir d'un signal d'entrée à variation lente. Il fonctionne comme un comparateur à hystérésis.

Lorsque la tension d'entrée  $e(t)$  augmente, on a un basculement de la sortie à une tension de référence ( $U^+$  ref.) et lorsque la tension  $e(t)$  diminue, la sortie bascule à une autre tension de référence ( $U^-$  ref.)

On distingue généralement deux types de trigger :

-inverseur.

-non inverseur.

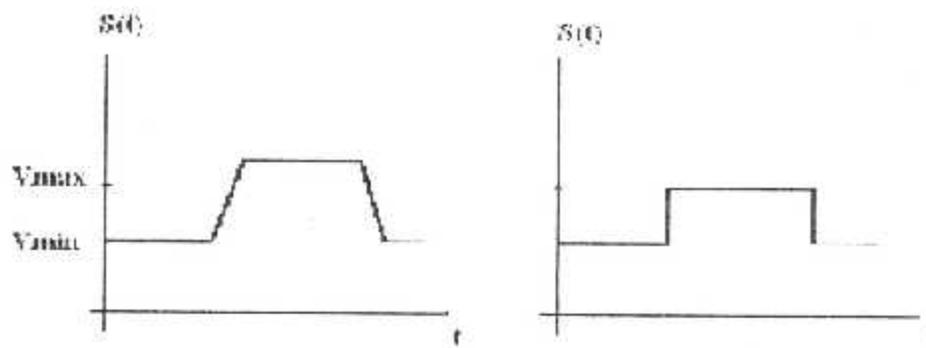


Fig.IV-5 la sortie du trigger de Schmith.

♦ **Le monostable :**

Dan notre réalisation, on a besoin de deux monostables : le premier donne l'ordre au registre pour effectuer le décalage des informations après la mémorisation. Et le deuxième permet la remise à zéro des compteurs.

**4- Circuit de conversion :**

Pour la conversion on fait appel à plusieurs fonctions :

♦ **La base se temps :**

On utilise un circuit qui fournit des impulsions ayant une période :

$$T = 0.8RC$$

La fréquence est donnée par la relation suivante :

$$F = 1/T$$

♦ **Les compteurs :**

Les compteurs sont des circuits électriques qui permettent le comptage d'impulsions. Le contenu passe d'une valeur binaire « n » à une autre valeur binaire « m » mais généralement un compteur permet le passage de la valeur « n » à la valeur « n+1 » qui s'effectue après une application d'une impulsion horloge .Dans notre réalisation les compteurs sont disposés en série.

♦ **Les registres :**

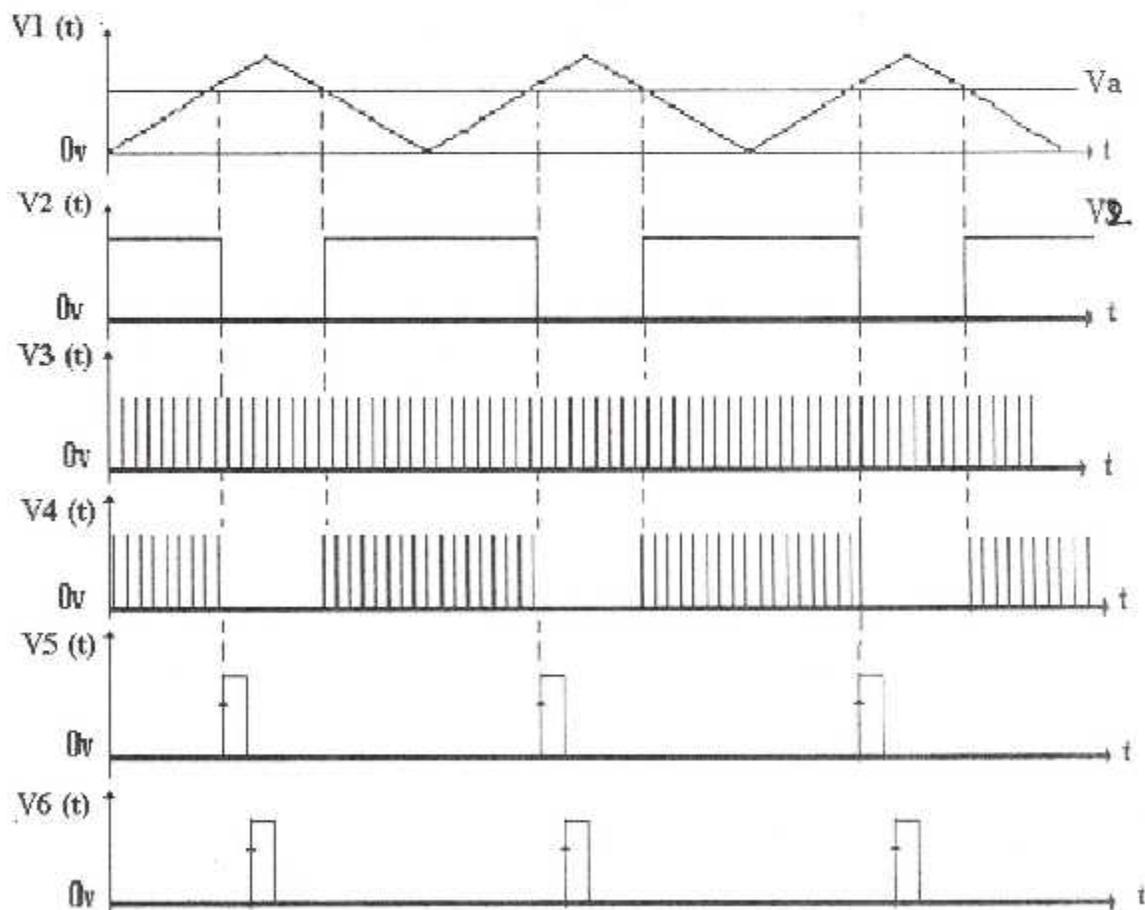
Un registre est un élément dans lequel peut être organisée une information sous forme binaire, il est constitué d'un certain nombre de bascules en cascade.

Il fonctionne souvent avec les compteurs car il a pour rôle de mémoriser les sorties de ces derniers.

**5- Le décodage et l'affichage :**

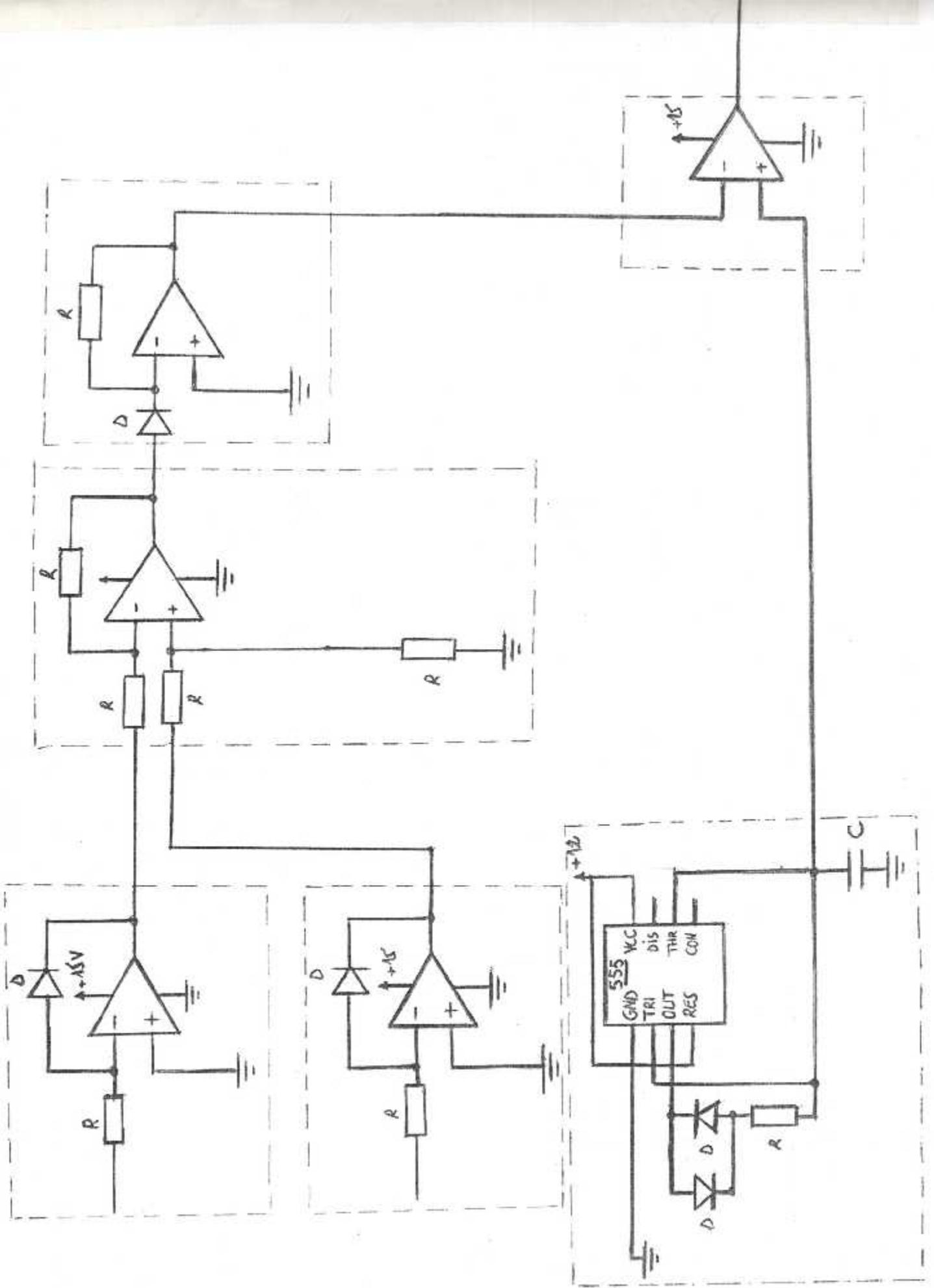
Ces deux fonctions permettent de transformer les informations mémorisées dans les registres n un code décimal.

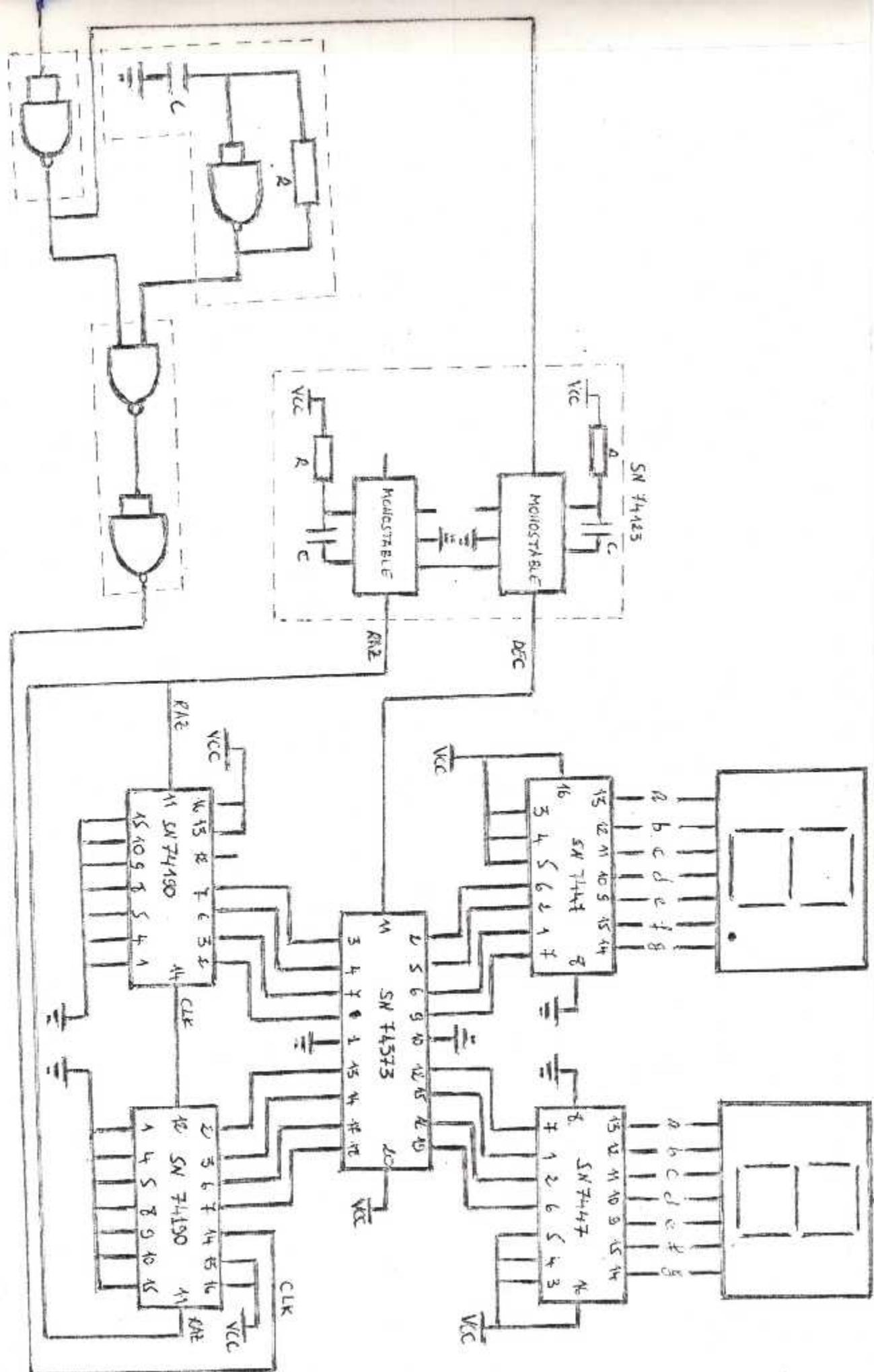
Généralement, les afficheurs utilisés sont des afficheurs BCD à sept segments.



**Fig.IV-6 le diagramme des signaux.**

IV 7. Schéma électrique général.

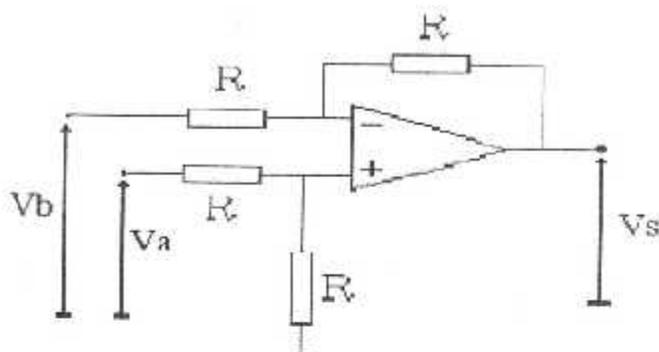




### III-Le circuit électrique du montage:( voir Fig.IV-7)

Il comporte les circuits suivants :

♦ **Le soustracteur :**



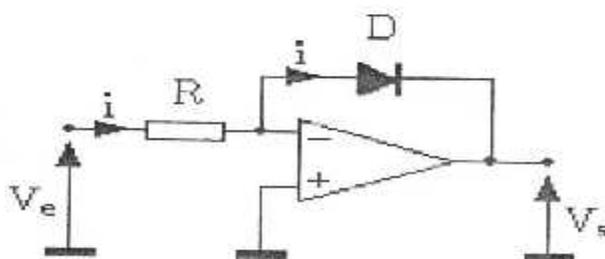
**Amplificateur soustracteur.**

En posant  $R=20\text{ K}\Omega$  on aura donc :

$$V_s = -(V_b - V_a)$$

Nous avons utilisé un amplificateur opérationnel du type LM324

♦ **Le montage logarithmique :**



**Montage logarithmique.**

Dans ce montage, on retrouve la structure traditionnelle de l'ampli inverseur, mais avec une diode en contre-réaction. Cette diode, dont la caractéristique courant/tension est logarithmique va nous donner une fonction de transfert de ce type. En entrée, on a :

$$V_e = R \cdot i$$

Et en sortie :

$$V_s = -V_d$$

$$i = I_f (e^{q \cdot V_d / K \cdot T} - 1)$$

on peut écrire :

$$V_d = kT/q \ln(i/I_f)$$

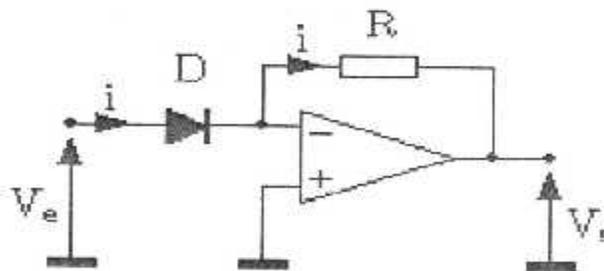
Soit, en remplaçant  $i$  par sa valeur :

$$V_s = -kT/q \ln(V_e/R \cdot I_f)$$

En sortie, on trouve bien une fonction logarithmique du signal d'entrée.

En pratique, et une fois de plus, ce montage (bien que fonctionnel) n'est pas utilisé tel quel : d'abord, il ne fonctionne que pour des tensions d'entrée positives, et il nécessite de sérieuses compensations thermiques pour permettre des opérations précises. De plus, on remplace souvent la diode par une jonction base-émetteur de transistor, linéaire sur une plus grande plage de courant.

♦ le montage exponentiel :



Montage exponentiel.

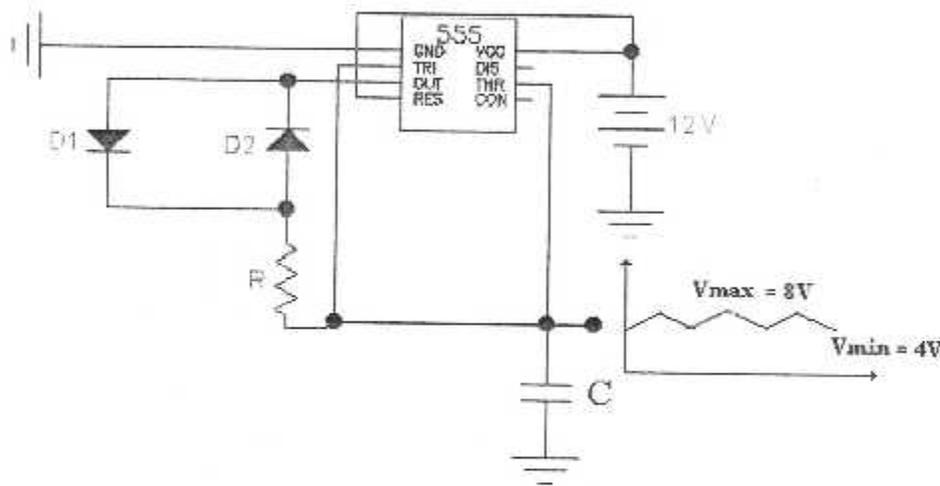
Pour diviser deux signaux, il ne suffit pas de prendre le Log de chacun des signaux, et de soustraire ; il faut ensuite prendre l'exponentielle du résultat. Ce circuit est fait pour ça.

Par des calculs analogues aux précédents, on démontre facilement et de la même manière :

$$V_s = -R \cdot I_f \cdot e^{qV_e/kT}$$

En pratique, on trouve des circuits intégrés tout faits comprenant le montage Log, le montage exponentiel, ainsi que les compensations thermiques et diverses possibilités de réglage de gain.

#### ♦ Le générateur de dents de scie :



#### Le générateur de dents de scie .

Nous avons utilisé un NE555.

On a la fréquence donnée par la relation suivante :

$$F = 1/6 \cdot R \cdot C$$

Dans notre cas on veut obtenir une fréquence  $F = 0.33 \text{ Hz}$  en donnant

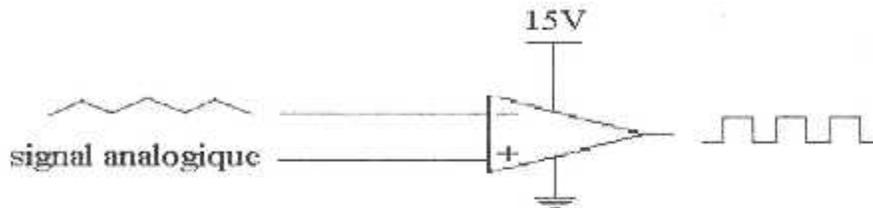
$$R = 400 \text{ K}\Omega \quad \text{et} \quad C = 4.7 \mu\text{F}$$

L'amplitude de notre signal à rampe est comprise entre deux valeurs

$$V_{\min} = 4\text{V} \quad V_{\max} = 8\text{V}$$

♦ **Le comparateur :**

Il a pour rôle de comparer le signal à rampe avec notre signal analogique pour obtenir à la sortie un signal carré dont la fréquence dépend de l'amplitude du signal analogique appliqué à l'entrée.



**Le comparateur.**

L'amplificateur opérationnel utilisé est du type **LM324**.

♦ **Le limiteur de sortie :**

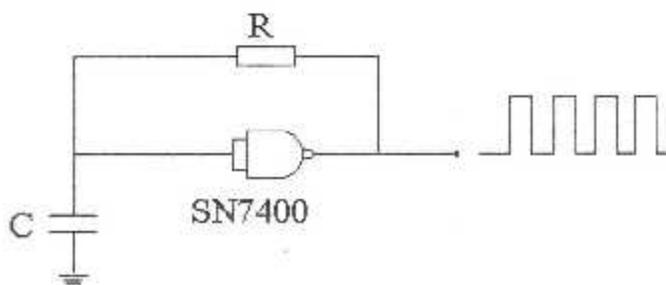
Il a pour but de fixer la tension de sortie à **5V** et de l'inverser. Pour cela on utilise Trigger de Schmith avec un circuit intégré du type **SN7400**.



**Le limiteur de sortie.**

♦ **Le générateur d'impulsions :**

Il produit des impulsions périodiques d'une période  $T=0.8.R.C$

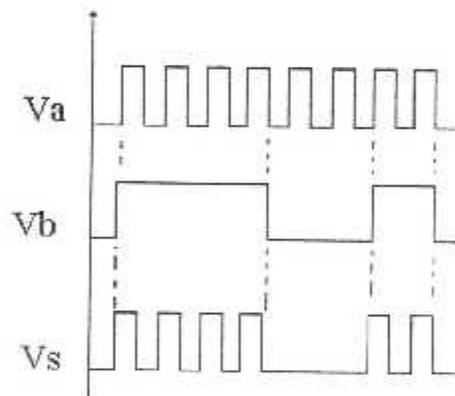
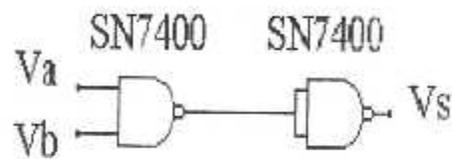


**Le générateur des impulsions.**

Pour  $T=0.4\text{ms}$  on aura :  $R=10\text{ K}\Omega$  et  $C=47\text{nF}$

♦ **Le multiplieur logique :**

Comme son nom l'indique, il permet la multiplication logique du signal du générateur d'impulsions avec celui de la sortie du limiteur. Ce qui donnera à la sortie le nombre d'impulsions qui correspond au rapport de pressions.



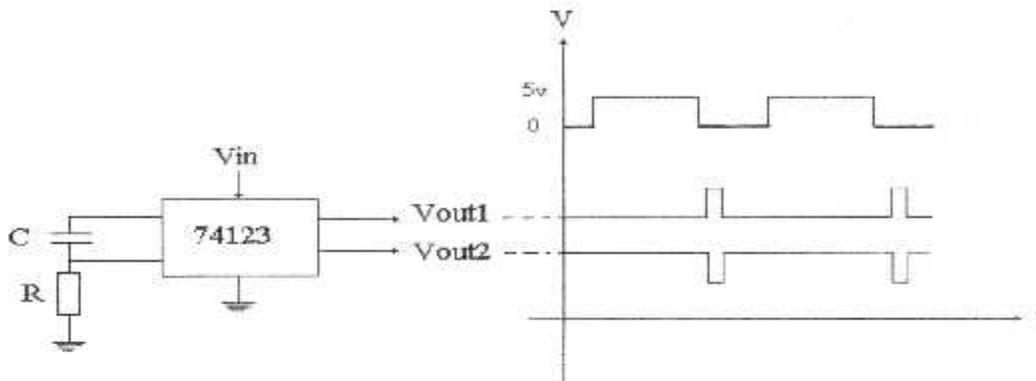
**Le multiplieur logique.**

• **Le monostable :**

Le circuit intégré qu'on a utilisé est du type **SN74123** qui contient deux monostables. (Voir annexe).

Pour notre montage nous avons besoin de deux monostable :

**-Le monostable N°1 :**



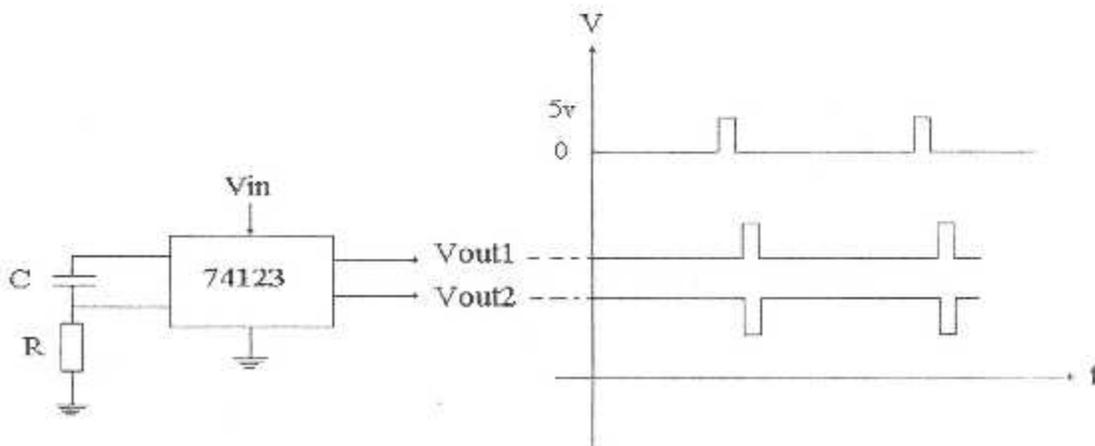
**Le monostable N°1.**

Lorsque ce monostable reçoit le signal du comparateur ; il produit une impulsion périodique de  $T=0.7 RC=0.4ms$  ce qui nous donne :

**R=10 KΩ et C=55nF**

Cette impulsion donne l'ordre de décaler les données mémorisées dans le registre.

**-Le monostable N°2 :**



**Le monostable N°2.**

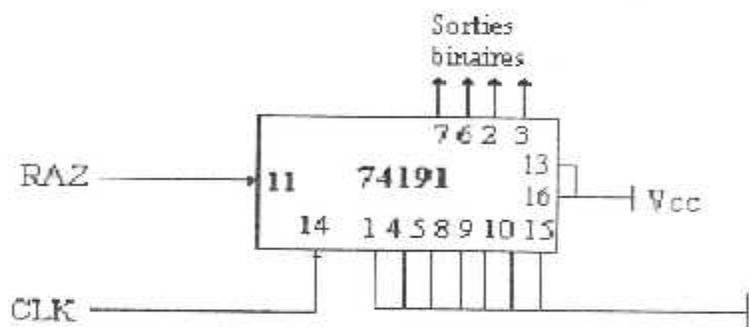
Dès qu'il reçoit le signal du monostable  $N^{\circ}=1$  ; il produit une impulsion similaire au premier, mais celle-ci commande la remise à zéro des compteurs.

• **Les compteurs :**

On a utilisé deux compteurs binaires : l'un pour afficher la valeur décimale et l'autre pour les unités sachant que la valeur affichée est comprise entre **1.0** et **3.0** (valeurs min et max de l'EPR).

Le clock qui commande ces compteurs est représenté par les séries d'impulsions issues du multiplieur.

Les compteurs utilisés sont du type **SN74191**.

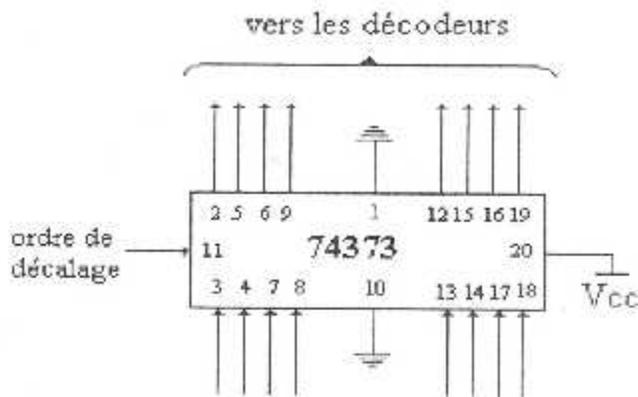


**Montage du compteur.**

• **Le registre :**

Il marche en parallèle avec les compteurs. Après chaque opération effectuée par ces derniers, on doit mémoriser leur contenu pour que l'affichage soit stable.

Le registre utilisé est du type **SN74373**.

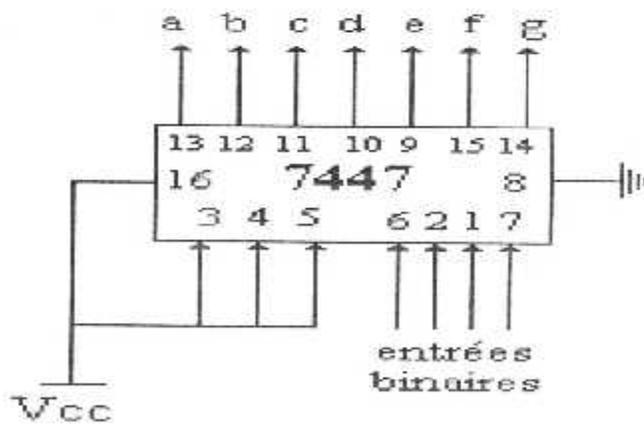


**Montage du registre.**

• **Les décodeurs :**

Leur rôle est de transformer les données binaires enregistrées dans le registre en données décimales affichable sur les pièces BCD (afficheurs).

Les décodeurs utilisés sont du type SN7447.



**Montage du décodeur.**

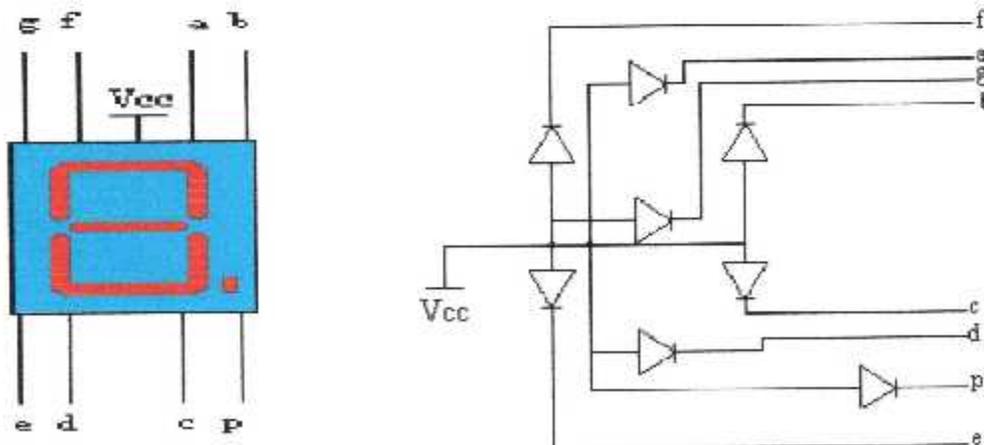
	A3	A2	A1	A0
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

Tableau du décodeur.

• Les pièces d’affichage :

Nous avons utilisé des afficheurs décimaux à anode commune.

On utilise la virgule décimale du deuxième nombre en la mettant à la masse. Ces pièces peuvent supporter un courant max de 30mA.



Afficheur à anode commune.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
<b>0</b>	1	1	1	1	1	1	0
<b>1</b>	0	1	1	0	0	0	0
<b>2</b>	1	1	0	1	1	0	1
<b>3</b>	1	1	1	1	0	0	1
<b>4</b>	0	1	1	0	0	1	1
<b>5</b>	1	0	1	1	0	1	1
<b>6</b>	1	0	1	1	1	1	1
<b>7</b>	1	1	1	0	0	0	0
<b>8</b>	1	1	1	1	1	1	1
<b>9</b>	1	1	1	1	0	1	1

**Tableau logique de l'afficheur 7 segments.**

CONCLUSION

## CONCLUSION :

Le travail que nous avons effectué avait pour objectif l'étude et la réalisation d'un indicateur à affichage numérique, pour la mesure du rapport de pressions moteur (EPR). L'objet voulu a été atteint, il nous a aidé à mieux comprendre la chaîne de mesure réelle de l'EPR au niveau du moteur JT8D.

Du point de vue manipulation, nous avons appris à mettre en œuvre les connaissances théoriques et pratiques et distinguer la différence entre les deux visions et ceci a été approfondis lors de l'utilisation des circuits digitaux.

Dans la réalisation de notre montage, néanmoins nous avons rencontré des difficultés d'ordre matériel (les composants aéronautiques tels que **le capteur de pression**, ...).

On souhaite que notre travail soit utile pour d'autres personnes qui désirent effectuer des améliorations au montage.

Quels que soient les manques qui existent dans ce travail, on peut considérer les opinions des lecteurs et leurs remarques comme des voies qui conduisent vers l'amélioration.

ANNEXE

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

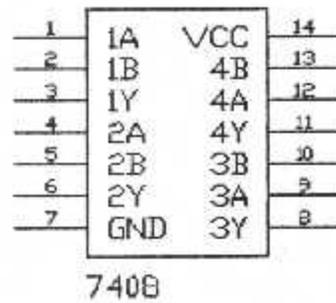


Tableau logique du 7408 (AND)

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

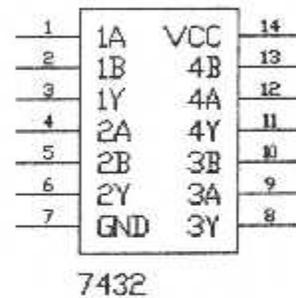


Tableau logique du 7432 (OR)

A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

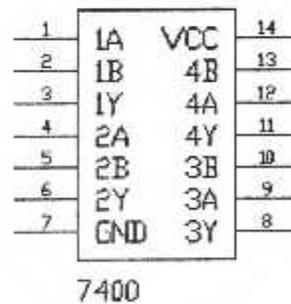
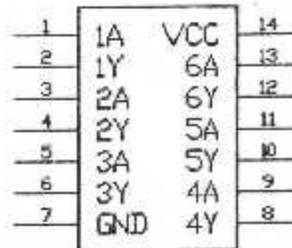


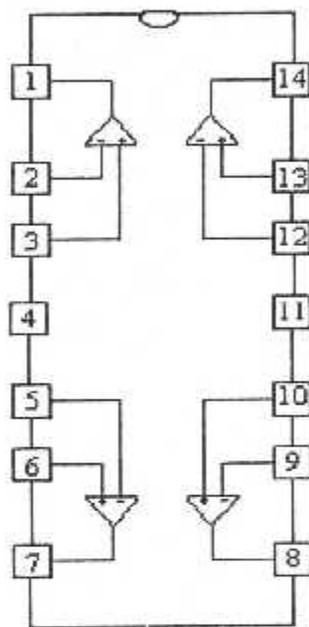
Tableau logique du 7400(NAND)

A	Y
0	1
1	0

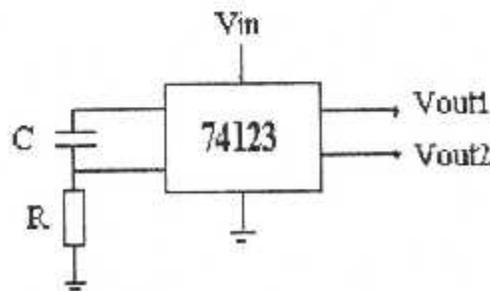


7404

Tableau logique du 7404(NOT)

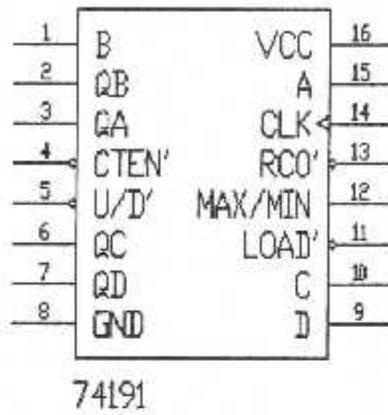


LM 324

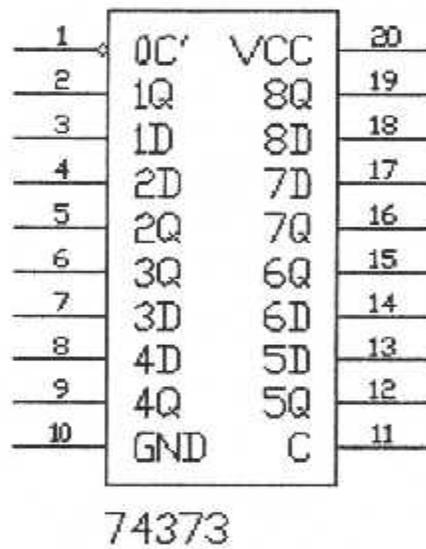


Le monostable

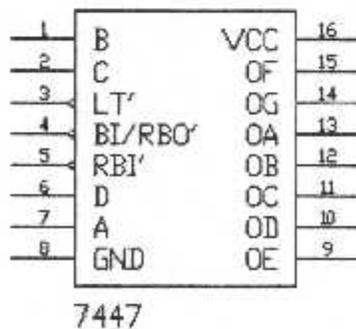
**Le compteur :**



**Le registre :**



**Le décodeur :**





# Bibliographie

- **Electronique des impulsions** .....Boubakeur SAMIR.
- **Electronique digitale**.....(TOME 1).
- **Mémotech « DATA –BOOK »**.....BERNARD.
- **Thèses:**

1-Etude et réalisation d'un système de surveillance d'un circuit de graissage.(2000/2001).

2-Etude et réalisation d'un indicateur de la mesure de pression d'huile d'un moteur d'avion(2000/2001).

3-Etude et simulation d'un performance du moteur JT8D (2002/2003).

**Site :** [www.st.com](http://www.st.com)