

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA  
INSTITUT D'AERONAUTIQUE

06/2/2002

Mémoire de fin d'études en vue de l'Obtention du Diplôme d'Etudes  
Universitaires Appliquées ( DEUA ) en Aéronautique

*Option : AVIONIQUE*

**THEME**

Etude et Réalisation d'une Interface pour la  
Visualisation sur PC de la Variation de la  
Température d'Huile du circuit de graissage du  
CFM56\_7B

Proposé par : Mr A. Ben Ouared  
Encadré par : Melle Khelifa Yamina

Réalisé Par :  
\* Mlle Daoudi Soumia  
\* Mlle Mouffok Sonya

Promotion 2001 - 2002

## Remerciements

Nous tenons à exprimer nos plus vifs remerciements à Mlle Khelifa . Y , et Mr Benouared .A d'avoir proposer ce thème et d'avoir accepter de nous encadrer et de nous avoir suivi pendant toute la durée de ce travail, avec les précieux conseils et orientations.

Nos remerciements vont aussi à Mr Farid qui a mis tous les moyens matériels à notre disposition.

Nous remercions aussi toute la direction de l' I.A.B , et une attention particulière Mr Berghel . S

# Dédicaces

*Je dédie ce présent ouvrage :*

- ◆ *A ma très chère maman : Felouh Berkaboum qui a toujours été présente pour moi, celle qui m'a aidé et soutenu dans les moments les plus difficile de ma vie et que j'ai partagé avec moi mes joies et mes réussites. Merci pour tout.*
- ◆ *A mon très cher papa : Daoudi Abdelwabab, un homme qui a marqué ma vie dans tout les sens.*
- ◆ *A mon unique frère que j'aime beaucoup : Yazid.*
- ◆ *A mes deux adorables petites sœurs : Nawel et Lilia.*
- ◆ *A tous les membres de ma famille*

*Je le dédie aussi à une personne à qui j'ai beaucoup de respect et d'estime et que j'aime particulièrement : Adramé Ndiaye, à sa maman Aldonse et sa sœur Anta.*

*Je le dédie, par la même occasion à mes amis(es) : Amina, Sékou, Sarab, Meriem, Ratiba, Hassiba, Skoura, Sarab, Rédab, Tark, Mourad, Sibem, Saliba, Chakib, Feiby, Karim, Houcine, Fayçal, Nouredine, Soumana.*

*A mes autres amis (es) de la cité et de la faculté et spécialement ceux de l'F.A.B.*

*A Mr Zerouali D que je remercie du fond du cœur*

Souria



## Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail :*

- ◆ *A mes deux mère que j'aime beaucoup ; je prie Dieu de vous garder en bonne santé.*
- ◆ *A mon père qui m'a encouragé durant ma vie ainsi que sa patience et son attention qui n'a jamais cessé.*

*Spécialement à une personne qui m'a porté tout le bonheur et que j'estime beaucoup Fayçal.*

- ◆ *A mes sœurs : Samia, Lynda, Sessal, Sonia, Fahima, Fyfy et ma très chère Assema.*
  - ◆ *A mes frères : Samir, Malek, Mohand, Riad, Oussama et mon cher Sidali.*
    - ◆ *A mon oncle Saleb.*
- ◆ *A mes amis : Radia, Nassima, Hamida, Tassadit, Wanissa, Nabila, Hayet, Naïma, Ghenia, Sibem, Hana, Yasmîna, Habiba...  
Allou, Fetby, Adel, Lamine, Chakib, Karim, Houcine, Hafid, Reda...*

*Sonya*



# Sommaire



## Introduction

### Chapitre I :Le circuit de graissage du CFM56.

I.1.Historique.....	1
I.2. Qu'est ce qu'un système de graissage ?.....	3
I.3. Présentation du circuit de graissage du CFM56.....	3
I.3.1. Stockage.....	3
I.3.2. Distribution.....	3
I.3.2.1. Schéma de principe de circuit d'huile .....	4
I.3.2.2. Fonctionnement.....	4
a- Le circuit de refoulement .....	4
b- Le circuit de retour.....	4
c- Le circuit de dégazage.....	6
I.3.3. Indication.....	6
I.3.3.1. Définitions.....	6
❖ Température. ....	6
❖ Mesurande. ....	7
❖ Capteur. ....	7
a- Les performances d'un capteur.....	7
1. Etendue de la mesure.....	7
2. Résolution.....	8
3. Caractéristique d'entrée-sortie d'un capteur.....	8
4. Sensibilité.....	8
5. Finesse.....	8
6. Linéarité.....	8
7. Fidélité.....	9
8. Justesse.....	9
9. Précision.....	9
10. Rapidité.....	10

b- Le choix d'un capteur.....	10
c- Les différents types de capteur.....	10
1. Les thermocouples.....	11
2. Les capteurs à résistance métallique.....	13
3. Les thermistances. ....	15
4. Les capteurs intégrés. ....	16
<b>I.3.3.2. Système d'indication de température d'huile.....</b>	<b>17</b>

## **Chapitre II :Les convertisseurs analogique/numérique.**

<b>II .PRESENTATION:Quelle est la différence entre l'analogique et le numérique ? .....</b>	<b>19</b>
<b>II .1. Convertisseurs analogique numérique.....</b>	<b>20</b>
<b>II .2. Définitions.....</b>	<b>20</b>
♦ Théorie de l'échantillonnage.....	20
➤ Théorème de Shannon.....	21
➤ L'échantillonnage blocage.....	21
♦ La quantification.....	22
♦ Plage de conversion.....	23
♦ Résolution.....	23
♦ Dynamique.....	23
♦ Mise en relation.....	24
<b>II.3. Erreurs de conversion.....</b>	<b>24</b>
1. Erreur d'offset. ....	24
2. Erreur de gain.....	25
3. Erreur de linéarité différentielle(DNL) .....	26
4. Erreur de linéarité intégrale(INL) .....	26
5.Characteristique totale sans compensation .....	27
6. Erreur d'hystérésis.....	28



7. Erreur de mono tonicité.....	28
<b>II.4. Les différents types de convertisseurs.....</b>	<b>29</b>
1. Convertisseur parallèle .....	29
2. Convertisseurs à approximations successives.....	32
3. convertisseur à comptage d'impulsions.....	33
▪ Convertisseur simple rampe.....	34
▪ Convertisseur double rampe.....	36

### **Chapitre III :Les interfaces.**

<b>III.1. Système d'interface pour « PC » .....</b>	<b>40</b>
<b>III.2. Transmission de données.....</b>	<b>40</b>
III.2.1.Principe .....	40
III.2.2. Définitions.....	41
III.2.3. Types de liaison.....	41
<b>III.3. Transmission série.....</b>	<b>42</b>
<b>III.4. Protocole de communication.....</b>	<b>45</b>
III.4.1. Protocole synchrone.....	45
III.4.2. Protocole asynchrone.....	46
<b>III.5. Sens de transmission.....</b>	<b>46</b>
III.5.1. La Liaison Simplex.....	47
III.5.2. La Half-duplex.....	47
III.5.3. Full-duplex.....	47
<b>III.6. Transmission parallèle .....</b>	<b>48</b>
<b>III.6. 1. Définitions.....</b>	<b>48</b>
<b>III.6. 2. Classification.....</b>	<b>49</b>

## Chapitre IV : Réalisation

IV. Présentation .....	55
IV.1 Schéma général.....	55
IV.2. Circuit électrique détaillé .....	56
❖ Fonctionnement des étages .....	56
1. Alimentation.....	56
2. Circuit de mesure.....	58
2.1. Présentation du LM335.....	58
2.2. Etage du capteur LM335.....	59
3.Circuit de mise en forme .....	59
3.1. La tension de référence .....	59
3.2. Circuit soustracteur.....	60
3.3. Circuit Amplificateur inverseur.....	61
4. Etage de conversion .....	62
5. Mise au point.....	64

**Conclusion**

**Bibliographie**

**Annexes**

**Glossaire**

**Abréviations**



# Introduction



## **INTRODUCTION GENERALE**

Le but d'aujourd'hui, par le biais des nouvelles technologie, est d'intégrer sur le même circuit le maximum de fonctions analogiques. Pour arriver à ce résultat, les méthodes de conception des circuits analogiques ont du s'adapter et apporter des solutions. Ils ont permis des réalisations telles que des convertisseurs analogiques-numériques et des capteurs (des composants maîtres constituant notre circuit électronique) présentant de très bonnes performances.

Le sujet de notre thèse est consacré à l'Etude et la Réalisation d'une interface pour la Visualisation sur « PC » de la Variation de la température d'huile du circuit de graissage du CFM56\_7B.

L'objectif étant de détecter l'information provenant des différents endroits du circuit lubrificateur ensuite de la traiter selon les procédés usuelles (amplis opérationnels, la numérisation ) pour enfin la présentée au « PC » qui va, à travers un logiciel de traitement de données, nous permettre sa lecture sur un thermomètre.

Dans le but de la mise en œuvre de ce travail, l'étude a été divisé en quatre chapitres précédés par une introduction générale comme suit :

Le premier chapitre présentera le circuit de graissage de CFM56\_7B.

Le deuxième chapitre sera réservé aux convertisseurs analogiques-numériques.

Le troisième chapitre étudiera les interfaces.

Le quatrième et dernier chapitre fera l'objet de la réalisation de l'interface suivi

d'une conclusion générale, d'une bibliographie et d'annexes.

# chapitre I

### **I.1. Historique :**

Un avion équipé de CFM56 décolle toutes les quatre secondes dans le monde. Ces moteurs, issus de plus de 25 ans d'un partenariat étroit entre SNECMA et GENERAL ELECTRIC, équipent près de 5 000 avions exploités par plus de 340 clients dans le monde. CFM International, qui a vendu près de 15 000 réacteurs ces vingt dernières années, est devenu le motoriste préféré des compagnies aériennes sur le marché des avions de plus de 100 places, ce qui fait du CFM le moteur le plus vendu dans le monde.

Commercialisée par CFM International, filiale 50/50 de Snecma et de Général Electric, la famille de moteurs CFM56 couvre une gamme de poussée de 82 à 151 kN. Elle est considérée comme la plus fiable de sa génération. Les CFM56 ont accumulé 200 millions d'heures de vol et effectuent chaque mois plus de 2 millions d'heures supplémentaires, avec un taux de disponibilité proche des 100 %.

ce moteur est de choix pour les applications court et moyen-courriers de BOING et AIRBUS. Il est le seul moteur de sa catégorie à équiper tous les avions des grandes familles mono couloir des deux avionneurs. Le CFM56 propulse en exclusivité toute la famille BOING 737. Chez AIRBUS, il équipe non seulement la totalité de la famille A320, mais aussi le quadrimoteur long-courrier A340.

Dans le cadre du partenariat CFM, Snecma Moteurs et General Electric Aircraft Engines assurent chacun 50 % de la conception, du développement, de la production, des essais, du commerce et du support après-vente du programme CFM56. Snecma est responsable des systèmes basse pression (soufflante, compresseur et turbine), des boîtiers de transmission de puissance, de certains équipements majeurs comme le module de lubrification, et des câblages électriques. Snecma est aussi responsable du montage final et des essais de réception de série de 50 % des mille



moteurs produits chaque année .

Snecma assure la commercialisation des CFM56 dans les zones Europe, Afrique, Moyen-Orient, sous-continent Indien et effectue directement le suivi des moteurs de plus de 150 compagnies aériennes.

Les résultats techniques et commerciaux exceptionnels de CFM International sont le fruit d'un travail continu de la part des deux partenaires. Ils sont la preuve de la maîtrise et de la capacité technologique de Snecma à développer et produire dans les délais demandés des moteurs fiables, tout en offrant un support technique de qualité et un suivi scrupuleux des moteurs en exploitation.

Afin de préparer le futur du CFM56, Snecma et Général Electric ont lancé en 1998 un programme de recherche et technologie baptisé TECH56. L'objectif de ce programme d'acquisition de technologies est d'anticiper et d'être prêt à répondre à une demande éventuelle des clients en matière **d'amélioration de performances, de coûts d'exploitation et de respect de l'environnement.**

CFM International compte plus de 340 clients dans le monde, soit 260 compagnies aériennes plus les forces aériennes, voyagistes, sociétés de leasing et clients VIP, pour une flotte en service de environ 12 700 moteurs au 30 juin 2002. A cette date, le carnet de commandes était supérieur à 2 700 moteurs, soit près de trois fois le nombre de moteurs livrés en 2001.

## **I.2. Qu'est ce que un système de graissage ?**

Le système de graissage d'un moteur est un circuit comportant des éléments qui assurent le cheminement de l'huile vers les paliers et les surfaces de frottement( les articulations des arbres, les réducteurs et dents de pignons de commande des accessoires et les roulements des paliers du moteur).

### **\* Rôle :**

Le graissage des mécanismes dans les machines tournantes est essentiel pour :

- Diminuer l'usure des pièces et les protéger contre la corrosion .
- Récupérer les particules qui s'infiltrent en suspension dans le circuit.
- Evacuer la chaleur dégagée à la suite du frottement.

## **I.3. Présentation du circuit de graissage du CFM56 :**

Il est constitué de trois parties principales qui sont les suivantes :

### **I.3.1. Le stockage :**

Le réservoir de stockage d'huile est intégré dans le circuit pour une alimentation continue avec une quantité suffisante en réserve.

Le réservoir d'huile du moteur CFM56-7B est conçu en Aluminium et protégé par une enveloppe protectrice anti-feu. Sa capacité est de 21,14 litres.

### **I.3.2- La distribution :** Ce système se compose de trois circuits :

- a- Le circuit d'alimentation .
- b- Le circuit d'aspiration.
- c- Le circuit de dégazage.

**I.3.2.1. Schéma de principe du circuit d'huile :** (voir figure n°01).

**I.3.2.2. Fonctionnement :**

Etant donnée que la distribution s'est effectuer selon trois circuits alors le fonctionnement sera de même:

**a- Le circuit de refoulement:**

L'huile descend par gravité vers l'unité de lubrification (LBU), elle est pressurisée par la pompe de refoulement puis envoyée vers les paliers (avant et arrière), AGB et TGB. Un pick-up de la conduite de refoulement est dirigé vers la soupape anti-fuite pour actionner l'ouverture de la valve sous pression et la maintenir dans cette position tant que le moteur est en marche. Si la pression de refoulement dépasse la limite de conception, la soupape de surpression s'ouvre et envoie l'huile à l'entrée de la conduite de la pompe d'aspiration.

L'unité de lubrification contient un filtre qui a pour rôle de nettoyer l'huile en cas d'une éventuelle contamination (présence de débris).

Dans le cas de colmatage de ce filtre, la valve de refoulement sera actionnée par le fait d'augmentation de pression ainsi le circuit by-pass s'ouvre. Simultanément, un indicateur (voyant de couleur rouge) apparaît sur la position haute par effet de pression hydraulique afin d'effectuer un changement de ce filtre (maintenance).

**b- Le circuit de retour :**

L'huile + air venant des paliers (avant et arrière), AGB et TGB sont aspirés par les pompes de récupération protégé chacune contre les impuretés métalliques éventuelles par des chip detector.



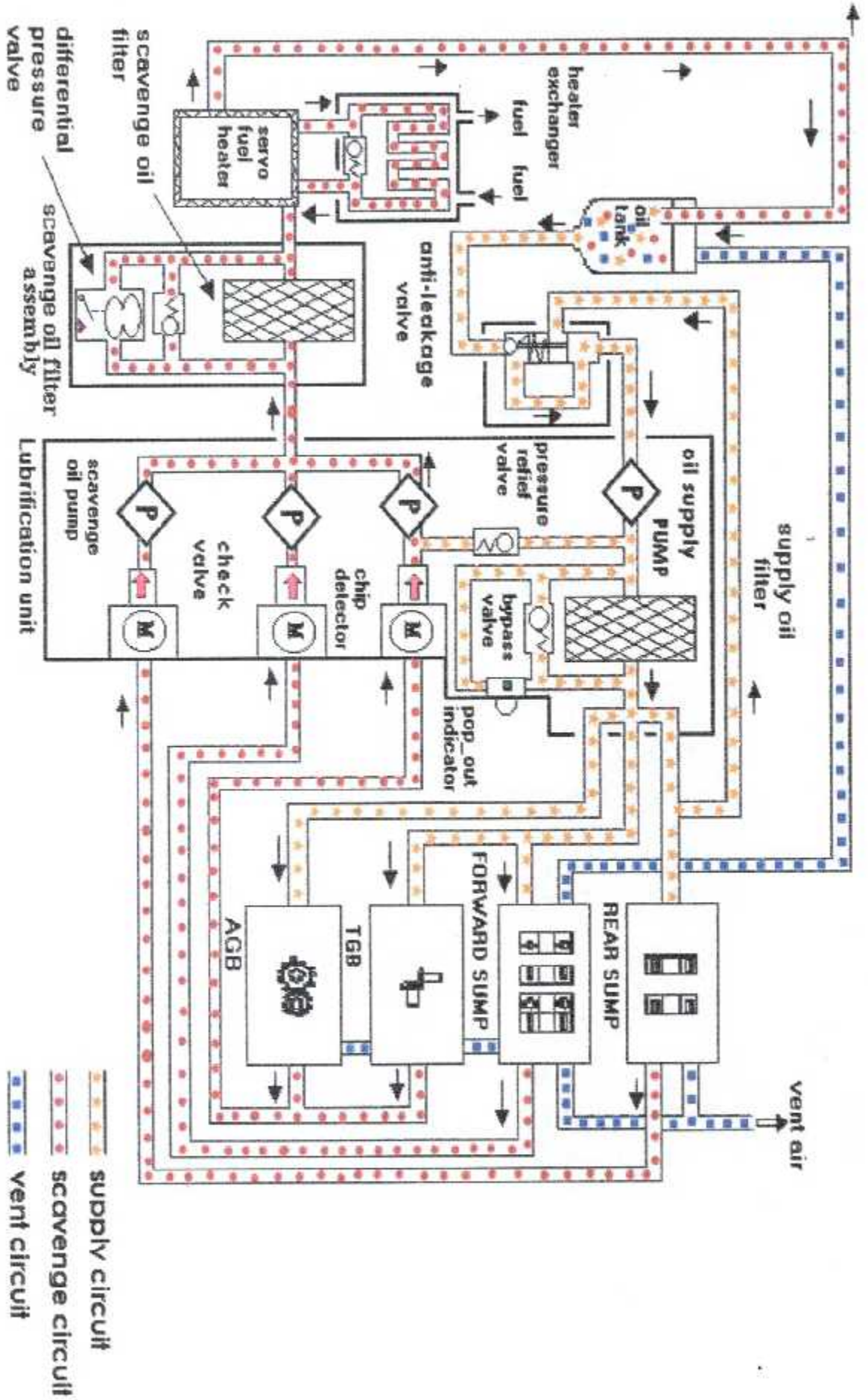


Figure N°01: circuit d'huile du CFM56\_7B



Ce mélange est ensuite envoyé vers le réservoir en passant d'abord par un filtre de retour (associé à un clapet de dérivation et un indicateur de colmatage) puis par un échangeur d'huile/carburant qui a pour rôle de refroidir l'huile tout en réchauffant le carburant.

### **c- Le circuit de dégazage :**

Une prise d'air est connectée aux paliers avant et arrière, à l'AGB et la TGB ainsi qu'au réservoir dans le but d'empêcher le moteur de présenter un dysfonctionnement en pompage et surpression en effectuant un échappement à l'arrière du moteur (tuyère).

### **1.3.3. L'indication :**

Ce système se compose d'un transmetteur de quantité d'huile, d'un transmetteur de pression d'huile et d'une sonde de température d'huile.

Notre travail consiste en fait, à mesurer la température d'huile du circuit lubrificateur à l'aide d'un capteur puis la traiter selon des applications électroniques et informatique dans le but de la visualiser sur un thermomètre réalisé par un langage de programmation adéquat. Et pour cela l'étude des capteurs de température s'est avérée nécessaire.

#### **1.3.3.1. Définitions :**

##### **❖ Température :**

C'est un paramètre définissant l'état d'un système physique au même titre que la pression, le volume etc.... Au sens strict du terme, la température n'est pas une grandeur mesurable, mais seulement repérable que l'on se contentera de déterminer sur une échelle "thermométrique". Pour y parvenir, on mettra en contact, avec les systèmes dont on veut repérer la température, un autre système appelé thermomètre; les deux systèmes échangeront de la chaleur jusqu'à atteindre un état d'équilibre global caractérisé par une température commune qui pourra être déterminée par le thermomètre et qui sera réputée être celle du corps étudié.

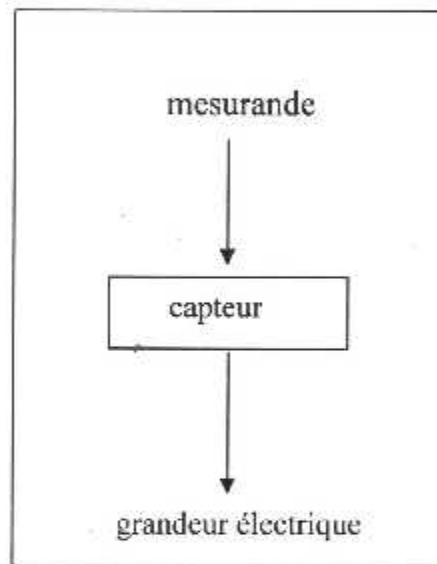
❖ **Mesurande :**

C'est la grandeur physique que l'on souhaite connaître (température).

❖ **Capteur :**

C'est l'élément qui va permettre sous l'effet du mesurande d'en délivrer une image exploitable (signal électrique par exemple).

On parle aussi de transducteur, la grandeur physique d'entrée (le mesurande) étant transformée en une autre grandeur physique de sortie ou en un signal électrique.



**Figure n°02:** principe d'un capteur.

Généralement, on obtient une grandeur de sortie du type électrique. Elle peut être soit :

- une charge.
- une tension.
- un courant.
- une impédance ( R, L, C).

a- Les performances d'un capteur : **définition métrologique :**

De manière à classer les capteurs en fonction de leurs performances, on est amené à définir des paramètres qui permettent de les sélectionner en fonction de l'application.

**1- Etendue de la mesure :**

Elle définit la zone dans laquelle les caractéristiques du capteur sont assurées par rapport à des spécifications données.

**2- Résolution :**

Elle correspond à la plus petite variation du mesurande que le capteur est susceptible de déceler.

**3- Caractéristique d'entrée-sortie d'un capteur :**

Elle donne la relation d'évolution de la grandeur de sortie en fonction de la grandeur d'entrée. Elle est donnée classiquement par une courbe en régime permanent. Elle ne donne pas d'informations sur les caractéristiques transitoires du capteur.

**4- Sensibilité :**

Elle détermine l'évolution de la grandeur de sortie en fonction de la grandeur d'entrée en un point donné (voir l'équation ci-dessous). C'est la pente de la tangente à la courbe issue de la caractéristique du capteur.

$$\text{Sensibilité} = \frac{d(\text{grandeur de sortie})}{d(\text{mesurande})} \Big|_{\text{pt donné}}$$

Dans le cas d'un capteur linéaire, la sensibilité du capteur est constante.

**5- Finesse :**

C'est la qualité d'un capteur à ne pas venir modifier par sa présence la grandeur à mesurer. Cela permet d'évaluer l'influence du capteur sur la mesure. On la définit non seulement vis à vis du capteur mais aussi vis à vis de l'environnement d'utilisation du capteur.

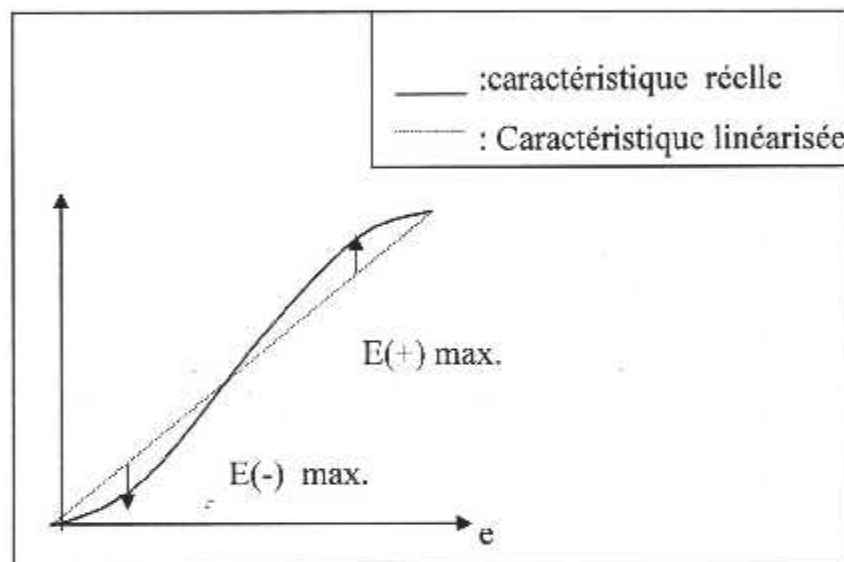
Finesse et sensibilité sont en général antagonistes. Il peut y avoir un compromis à faire.

### 6- Linéarité :

Zone dans laquelle la sensibilité du capteur est indépendante de la valeur du mesurande.

Cette zone peut être définie à partir de la définition d'une droite obtenue comme approchant au mieux la caractéristique réelle du capteur, par exemple par la méthode des moindres carrés.

On définit à partir de cette droite l'écart de linéarité qui exprime en % l'écart maximal entre la courbe réelle et la droite approchant la courbe (voir figure n°03 ).



**Figure n°03** : Exemple de linéarisation des Caractéristiques.

### 7- Fidélité :

Elle définit la qualité d'un capteur à délivrer une mesure répétitive sans erreurs. L'erreur de fidélité correspond à l'écart type obtenu sur une série de mesures correspondant à un mesurande constant.

### 8- Justesse :

C'est l'aptitude d'un capteur à délivrer une réponse proche de la valeur vraie et ceci indépendamment de la notion de fidélité. Elle est liée à la valeur moyenne obtenue sur un grand nombre de mesures par rapport à la valeur réelle.



**9- Précision :**

Elle définit l'écart en % que l'on peut obtenir entre la valeur réelle et la valeur obtenue en sortie du capteur. Ainsi un capteur précis aura à la fois une bonne fidélité et une bonne justesse.

**10- Rapidité :**

C'est la qualité d'un capteur à suivre les variations du mesurande. On peut la chiffrer de plusieurs manières :

- bande passante du capteur. (à -3 dB par exemple).
- Fréquence de résonance du capteur.
- Temps de réponse (à x%) à un échelon du mesurande.

**b- Le choix d'un capteur :** Pour choisir un capteur, il faut tenir compte des paramètres suivants :

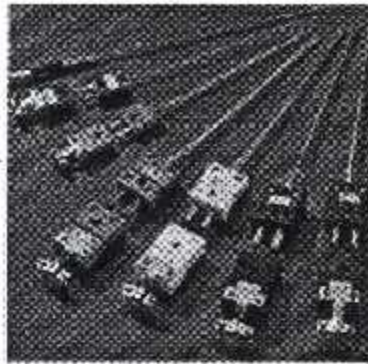
- Du milieu dans lequel il sera placé (la corrosion par exemple).
- De l'échelle de température à observer.
- De la précision statique: elle dépend essentiellement du type de capteur et de la résistance thermique interposée entre celui-ci et le milieu de mesure (influence de l'isolation, du protecteur).
- De la précision dynamique: elle se caractérise par le temps de réponse à une variation brusque de température.

**c- Les différents types de capteurs :**

Ils existent deux genres de capteurs, ceux à lecture directe (sur le lieu de mesure) connus sous le nom de thermomètres et ceux à signal électrique qui ont une plus grande souplesse d'emploi (information transmissible, pouvoir d'enregistrement) tout en gardant une précision pour les emplois industriels.

Notre choix est évident (c. à d. les capteurs électriques) vu l'endroit où on veut effectuer nos mesures.

### 1- Les thermocouples :



**Figure n°04 :** Thermocouples.

Un thermocouple est un capteur thermique (voir figure n°04) qui se compose de deux conducteurs de métaux différents. Quand ces deux conducteurs sont soudés à leurs extrémités et que celles-ci sont portées à des températures différentes, une force électromotrice apparaît et un courant s'établit (en l'absence de tout générateur). Cette f.e.m. thermoélectrique  $E_{a/b}(T,t)$  est fonction de la nature des métaux et proportionnelle à la variation de la température. Le circuit de mesure est donc constitué de deux jonctions l'une appelée jonction de soudure chaude, c'est la jonction de mesure elle sera située dans le milieu dont on veut mesurer la température, l'autre appelée jonction de soudure froide, c'est la jonction de référence (théoriquement à 0°C, pratiquement mesurée).

Deux conditions sont nécessaires pour qu'il y ait formation d'une f.e.m. :

- La présence au moins de deux conducteurs de nature différente.
- Une différence de température entre les deux jonctions c.à.d :

$$E_{a/b}(T,t) = E_{a/b}(T) - E_{a/b}(t).$$

De cette expression il faut retenir que l'on mesure toujours une f.e.m. produite par la

différence de température.

Aujourd'hui le domaine de température couvert par l'ensemble combiné des thermocouples va de : « -270°C » à « 2600 »°C.

Il a deux catégories de thermocouple selon le type de métaux employés :

- Métaux précieux (platine, platine Rhodié).
- Métaux communs (nickel-chrome, nickel-Aluminium, cuivre-nickel...).

Les thermocouples en métaux précieux sont les plus stables et leur plage de mesure va jusqu'à 2600°C. Les métaux communs ne vont que jusqu'à 1200°C mais leurs f.e.m. ont des valeurs plus élevées ce qui rend les mesures plus aisées.

On dénombre, en général, 13 combinaisons de thermocouples qui sont désignées par des lettres correspondant à des gammes de températures bien précises. Les séries les plus courantes sont les couples K, J, T, S, E.

Le tableau ci-dessous(n°01 ) présente certains d'entre eux en illustrant leur domaines de mesure comme suit.

Type de Thermocouple	Alliages	Domaine de la table en °C
K	Nickel-Chrome / Nickel Aluminium	-270 à 1370 °C
T	Cuivre / Cuivre-Nickel	-270 à 400 °C
N	Nickel-Chrome-Silicium / Nickel-Silicium	-270 à 1300 °C
E	Nickel-Chrome / Cuivre-Nickel	-270 à 1000 °C
R	Platine 13% Rhodium / Platine	-50 à 1760 °C
S	Platine 10% Rhodium / Platine	-50 à 1760 °C
B	Platine 30% Rhodium / Platine 6% Rhodium	0 à 1820 °C
G (non normalisé)	Tungstene / Tungstene 26% Rhenium	1000 à 2300 °C
C (non normalisé)	Tungstene 5% Rhenium / Tungstene 26% Rhenium	0 à 2300 °C
D (non normalisé)	Tungstene 3% Rhenium / Tungstene 25% Rhenium	0 à 2400 °C

**Tableau n°01** : Les différentes combinaisons de thermocouples.

## **2-Capteurs à résistance métallique** : (voir figure n°05)

Leurs fonctionnement est basé sur un même phénomène physique, à savoir la variation de la résistance électrique d'un conducteur avec la température. Les lois de variation étant très régulières, il est possible de les utiliser pour repérer les températures par des mesures de résistance.



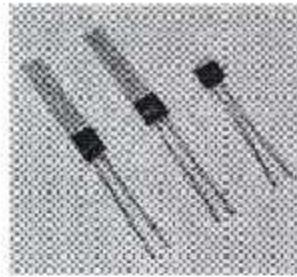


Figure N°05: sonde de platine

La résistance électrique d'un conducteur métallique croît avec la température. Cette variation est parfaitement réversible. On peut donc établir une relation  $R = f(T)$  entre la résistance  $R$  et la température  $T$  et ainsi relevé  $T$  en mesurant  $R$ .

Lorsque la température varie on a :

$$R = R_0(1 + aT + bT^2 + cT^3)$$

avec :

- $T$  la température en  $^{\circ}\text{C}$ .
- $R_0$  la résistance à  $0^{\circ}\text{C}$ .
- $a$ ,  $b$  et  $c$  des coefficients positifs, spécifiques au métal.

Trois matériaux sont principalement utilisés à l'état de résistance en raison, d'une part, de leur linéarité et d'autre part, de leur facilité de mise en oeuvre : ce sont le cuivre, le nickel et le platine. Les valeurs normalisées à  $25^{\circ}\text{C}$ , sont  $50\ \Omega$  pour Ni et  $100\ \Omega$  pour Pt. Voir le tableau n°02 si dessous.

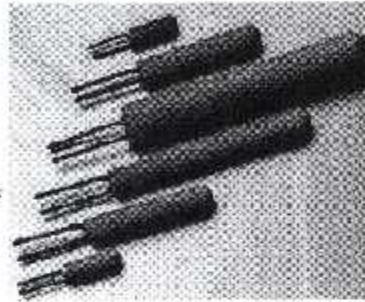
Métal	Domaine d'emploi ( $^{\circ}\text{C}$ )
Cuivre	-190 à +150
Nickel	-60 à +180
Platine	-250 à +1100
Indium	-269 à +27

**Tableau n°02** : Domaine d'emploi de certains capteurs à résistance métallique.

C'est le platine qui est le matériaux le plus utilisé.

**Exemple:** La sonde Pt100 est une sonde platine qui a une résistance de 100 Ohms pour une température de 0 °C. (138,5  $\Omega$  pour 100 °C).

### 3-Thermistances :



**Figure n°06 :** Thermistances.

Une thermistance est un agglomérat d'oxydes métalliques frittés (voir figure n°06), c'est-à-dire rendus compacts par haute pression exercée à température élevée, de

l'ordre de 150 bars et 1000 °C. La composition d'une thermistance peut-être, par exemple :

- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (oxyde ferrique),
- $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  (aluminate de magnésium),
- $\text{Zn}_2\text{TiO}_4$  (titane de zinc).

La résistance électrique d'une thermistance est très sensible à l'action de la température. Il existe deux types de thermistance, les CTN à coefficient de température négatif, et les CTP à coefficient de température positif. La loi de variation est de la forme :

$$R = a \times e^{b/T}$$

a et b sont deux paramètres de la thermistance.

La variation de résistance des thermistances dépend des matériaux utilisés. Leur domaine d'utilisation va de  $-80$  à  $+700^{\circ}\text{C}$  avec une précision de  $1/10^{\text{ème}}$  à un demi degré. On les trouve sous forme de petits cylindres ( $d = 1$  à  $12$  mm,  $L = 5$  à  $50$  mm) de disques, de perles (voir le figure n°07).

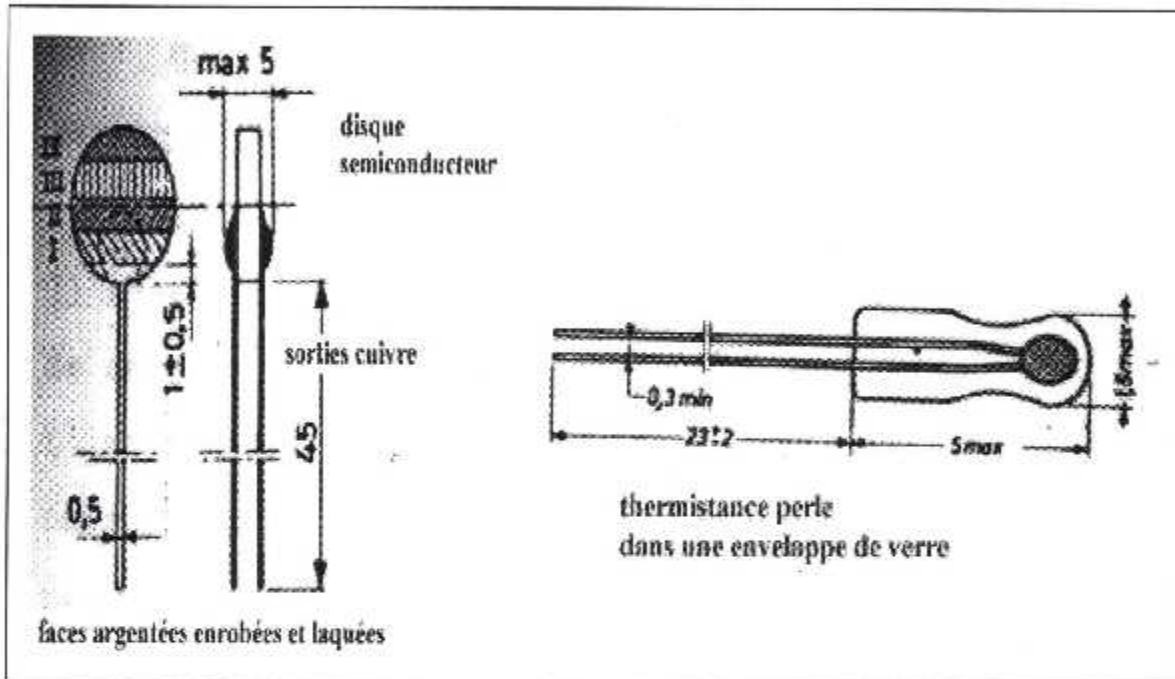
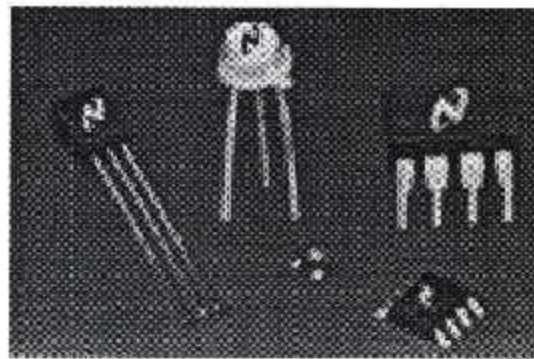


Figure n°07 exemple de thermistance disque et de thermistance perle.

#### 4-Capteurs intégrés :

Une nouvelle génération reposant sur la miniaturisation des circuits intégrés a vu le jour depuis quelques années, dont le prototype fut le MTS102 de Motorola. Ce fut d'ailleurs le premier type de capteurs intégrés commercialisés car leur conception ne supposait aucune innovation essentielle par rapport à celle des composants électroniques tels les ampli-opérationnels (voir figure n°08).





**Figure n°08 :**Divers types de présentations de capteurs intégrés de température.

Les circuits actuellement commercialisés permettent de réaliser des thermomètres électroniques à bas coût dont la plage s'étend de  $-40$  à  $+150^{\circ}\text{C}$  avec une résolution de  $0.1^{\circ}\text{C}$  (mais une précision souvent moindre). D'où l'ajout de certains circuits dans lesquels on a intégré en outre diverses fonctions de contrôle et de correction.

**Exemple :** le LM335 représente un capteur intégré qu'on va utiliser lors de notre réalisation.

### I.3.3.2. Système d'indication d'huile :

Il affiche les données de température sur l'unité d'écran (DUE). Il utilise une sonde pour mesurer la température à la sortie de la LBU. Cette dernière transmet ces données à la DEUS à travers la EEC. Cette sonde a deux éléments senseurs dans un seul logement, chaque élément est connecté avec un canal de la EEC.

La sonde de température d'huile obtient les données de température des conduites de refoulement du palier avant et la TGB et envoie un signal à la EEC qui convertit ce signal en un autre signal ARINC 429 et l'envoie à la DEUS. Cette dernière affiche habituellement la température d'huile sur l'écran secondaire.

La température est affichée sur deux indicateurs verticaux et deux afficheurs digitaux, un pour chaque moteur. Un pointeur montre la température en degré Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) sur chaque indicateur.



Chacun de ces indicateurs a deux marqueurs index.

- Le marqueur index ambrée montre la limite ambrée de la température .
- Le marqueur index rouge montre la limite rouge de la température.
- Si la température est entre la limite ambrée et la limite rouge, l'afficheur digital et la boîte qui l'entoure sont ambrés. La température d'huile est dans l'intervalle de précaution.
- Si la température d'huile dépasse la limite rouge , l'afficheur digital et la boîte qui l'entoure seront en rouge . La température est dans l 'intervalle de sur-limite.

# chapitre II

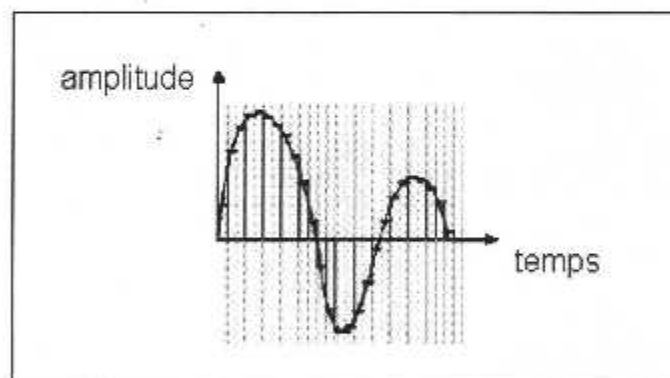
**II. PRESENTATION:**Quelle est la différence entre l'analogique et le numérique ?

Les phénomènes qui nous entourent sont quasiment tous continus, c'est-à-dire que lorsque ces phénomènes sont quantifiables, ils passent d'une valeur à une autre sans discontinuité.

Ainsi, lorsque l'on désire reproduire les valeurs du phénomène, il s'agit de l'enregistrer sur un support afin de pouvoir l'interpréter pour reproduire le phénomène original de la façon la plus exacte possible. Lorsque le support physique peut prendre des valeurs continues, on parle d'enregistrement analogique. Par exemple une cassette vidéo, une cassette audio ou un disque vinyle sont des supports analogiques.

Par contre, lorsque le signal ne peut prendre que des valeurs bien définies, en nombre limité, on parle alors de signal numérique.

La représentation d'un signal analogique est donc une courbe, tandis qu'un signal numérique pourra être visualisé par un histogramme comme le montre la figure n°09 qui suit.



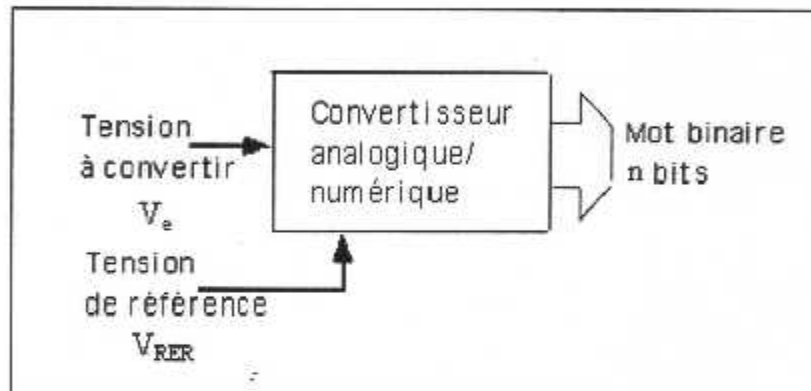
**Figure n°09 :**Représentation des signaux analogique et numérique.

Pour pouvoir passer d'un signal analogique à un signal numérique, il va falloir appliquer deux principes fondamentaux qui se traduisent par :

- L'échantillonnage.
- La quantification.

### II.1. Le convertisseur analogique numérique :

Un convertisseur analogique numérique (CAN) est un circuit permettant de transformer en valeurs numériques un phénomène variant dans le temps (voir figure n°10). Lorsque les numériques peuvent être stockées sous forme binaire (donc par un ordinateur), on parle de données multimédia.



**Figure n°10 :** Schéma synoptique d'un convertisseur analogique/numérique.

le mot binaire en sortie est proportionnel au rapport de la tension d'entrée à une tension de référence :

$$\text{Mot binaire} = \frac{V_e}{V_{REF}} \cdot (2^n - 1)$$

### II.2. Définitions :

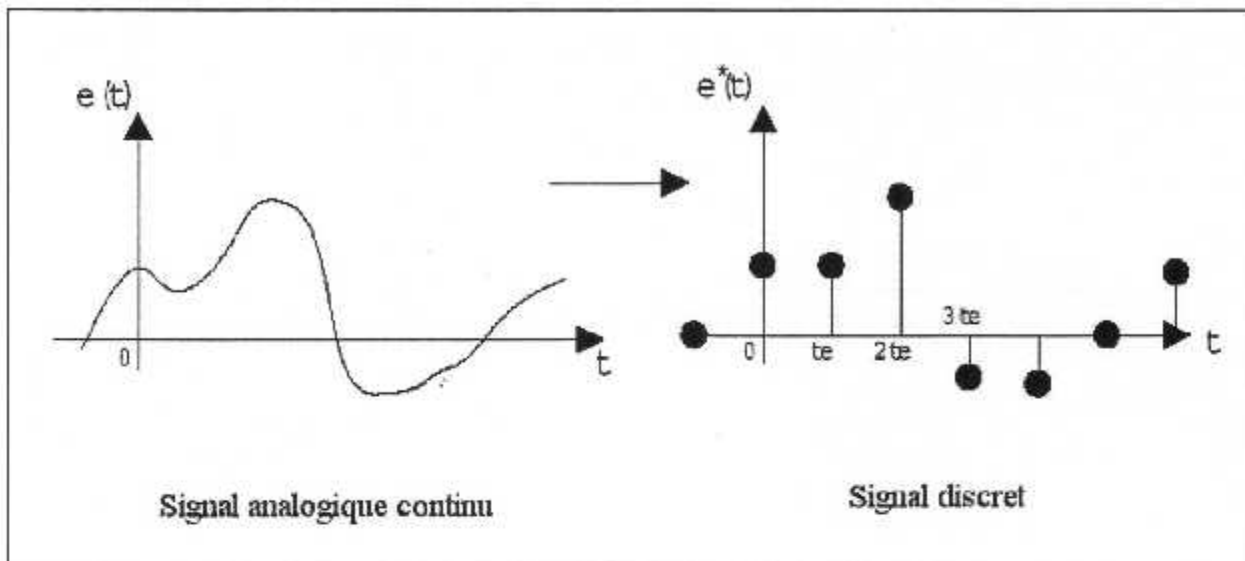
Toutes ces définitions sont données pour des convertisseurs parfaits. En pratique, on est loin du compte, car ces composants intègrent des comparateurs différentiels, amplificateurs opérationnels et autres réseaux de résistances qui sont imparfaits.

#### ◆ Théorie de l'échantillonnage :

Pour transformer un signal analogique en un signal numérique, il faut le discrétiser.

On va donc prélever régulièrement des échantillons du signal analogique pour le rendre discret et permettre ainsi sa numérisation :





**Figure n°11:** allure d'un signal échantillonné.

On prend ainsi des valeurs de  $e(t)$  à des intervalles de temps régulier (tous les  $T_e$ , période d'échantillonnage) à une fréquence  $F_e$  dite fréquence d'échantillonnage conditionnée par le théorème Shannon .

➤ Théorème de Shannon :

On ne peut échantillonner un signal sans pertes d'informations que si :

$$F_e > 2F_{\max}$$

➤ L'échantillonnage blocage :

Une fois le signal filtré et échantillonné, il reste à le quantifier. Pour pouvoir réaliser cette fonction, on doit maintenir constant la valeur à quantifier afin de permettre au CAN de traiter l'échantillon et de le numériser. On appelle cette opération, le blocage. Ce blocage doit être d'une durée supérieure au temps de conversion :

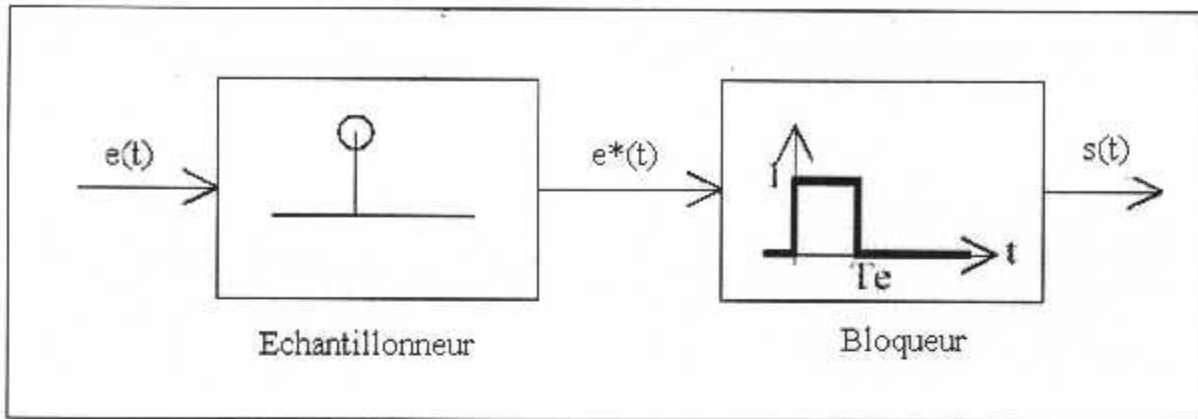


Figure n°12: Association d'un bloqueur à l'échantillonneur.

### ◆ La quantification :

Le signal échantillonné - bloqué peut à ce stade être converti sous forme binaire (numérique) pour être stocké. Ce codage s'appelle la quantification.

Le rôle de la quantification est de donner une image binaire d'un signal analogique :

D'une manière générale, le passage Analogique / Numérique s'effectue :

- D'un signal Continu à un signal discret.
- D'une Tension à un chiffre.

#### Son principe :

A chaque niveau de tension est associé une valeur binaire codée sur n bits:

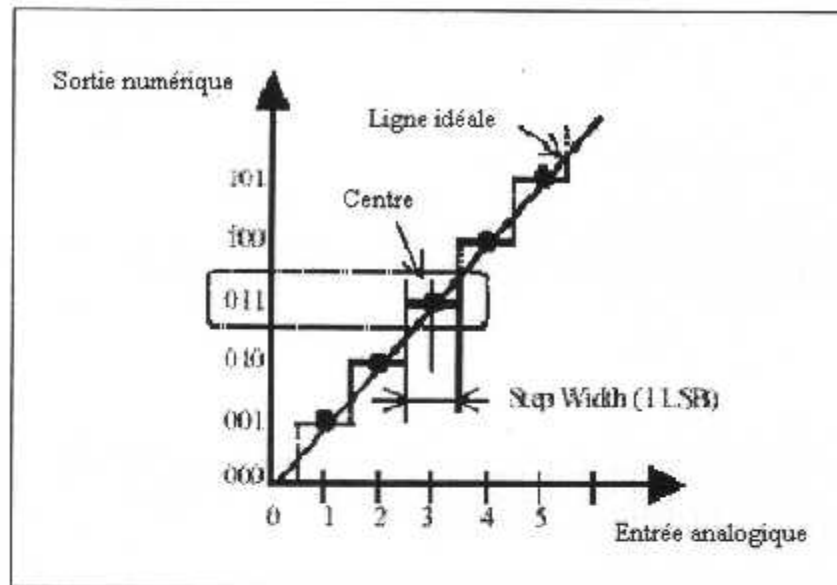
n bits vont permettre de distinguer  $2^n$  niveaux de tension répartis de  $-V_{max}$  à  $+V_{max}$ .

On a ainsi un pas de quantification(q) :

$$q = \frac{2V_m}{2^n}$$

Ainsi un signal de +/-5V codé sur 8 bits donnera un pas de quantification(appelé aussi quantum)  $q=39\text{mv}$ .

La caractéristique d'entrée - sortie d'un CAN est une caractéristique en marche d'escalier. Chaque palier a une largeur d'un pas de quantification q. Le passage d'un palier à un autre correspond à une variation de '1' du code.



**Figure n°13 :** Caractéristiques (entrée-sortie) d'un CAN.

◆ **Plage de conversion :**

Le convertisseur délivrera en sortie un nombre fini de codes numériques, correspondant à une gamme de tension analogique d'entrée bornée : c'est la plage de conversion (ou tension de pleine échelle) du convertisseur. Cette plage de conversion sera couramment de 0-5V, 0-10V ou encore  $\pm 5V$  ou  $\pm 10V$ . Il existe aussi d'autres plages de conversion moins usitées.

◆ **Résolution :**

Pour le CAN, c'est la plus petite variation de tension qui engendre une modification du code. Elle correspond au quantum, on l'exprime très souvent en pourcentage (%):

$$\text{Resolution} = \frac{1}{2^n} \cdot 100$$

◆ **Dynamique :**

La dynamique d'un signal est le rapport entre la tension maxi et la tension mini que pourra prendre ce signal.

Pour un CAN, se sera le nombre binaire le plus élevé divisé par le plus faible qui est 1 (et pas 0 qui correspond à un signal nul), donc, les nombres de codes binaires différents que peut fournir le convertisseur moins un (le zéro !).

Si on prend l'exemple d'un convertisseur 8 bits, la dynamique vaut en toute rigueur :

$$2^8 - 1 = 255$$

En pratique, on arrondira ce nombre à une puissance de 2, qui sera le nombre de bits du convertisseur. Notre convertisseur aura donc une dynamique de 256, qu'on exprimera plutôt sous la forme " 8 bits ", ou encore  $48\text{db} = 20\log(256)$ .

#### ◆ Mise en relation :

Il est possible de relier la dynamique, la résolution et la plage de conversion d'un convertisseur.

La résolution correspond à la variation d'une unité du code binaire ; cette unité est égale à la variation du bit de poids le plus faible (LSB = least significant bit). Si on désigne par  $V_{\text{MAX}}$  la plage de conversion et  $n$  le nombre de bits du convertisseur, on a la relation :

$$\text{LSB} = \frac{\Delta V_{\text{MAX}}}{2^n}$$

### II.3. Erreurs de conversion :

#### 1. Erreur d'offset:

C'est un décalage entre la courbe de transfert idéal et la courbe réelle :



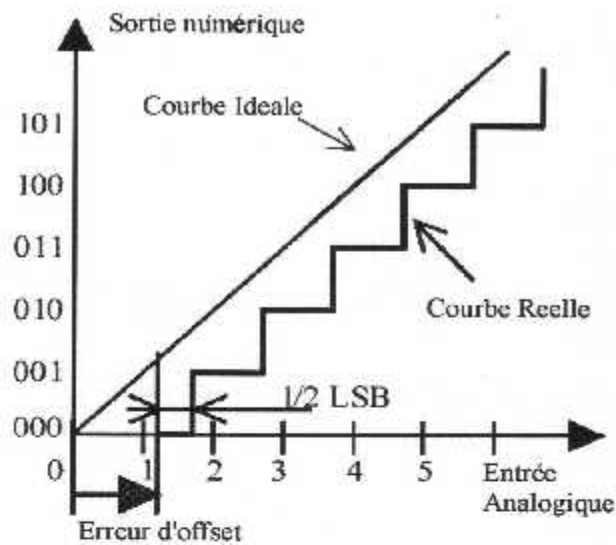


Figure 14: Erreur d'offset CAN

Elle est due à la présence d'offset des Amplis Opérationnels. et comparateurs au sein du convertisseur, et est définie par l'écart existant sur le code nul (00..0). On peut la compenser par un circuit externe en ramenant l'écart sur le code nul à zéro.

### 2. Erreur de gain :

La pente de la fonction de transfert est différente de la pente idéale :

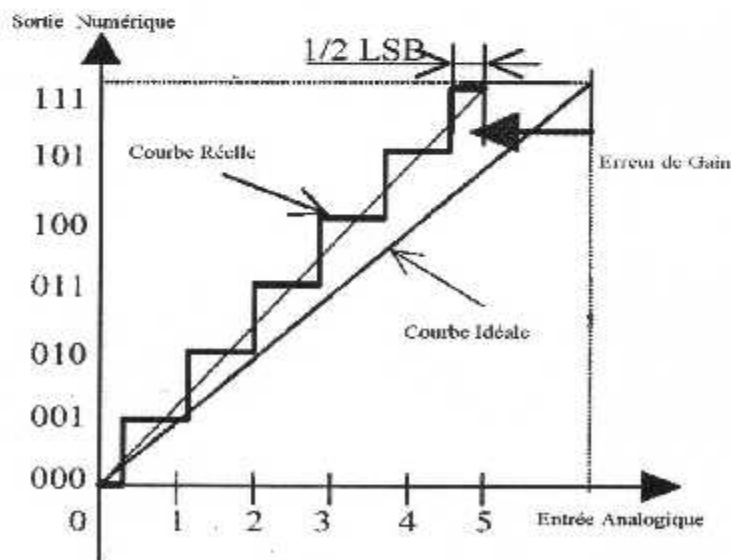


Figure 15: Erreur de gain CAN

Elle peut être due à une erreur sur la tension de référence, sur les gains des amplis utilisés ou encore un mauvais appareillage d'un réseau de résistance. On la définit par rapport à la pleine échelle du convertisseur (code 11...1). On peut la compenser par un circuit externe qui annule l'erreur.

### 3. Erreur de linéarité différentielle (DNL) :

Elle est définie pour chaque palier du convertisseur et représente la différence entre la largeur du palier réelle et la largeur idéale. On l'exprime en nombre de LSB.

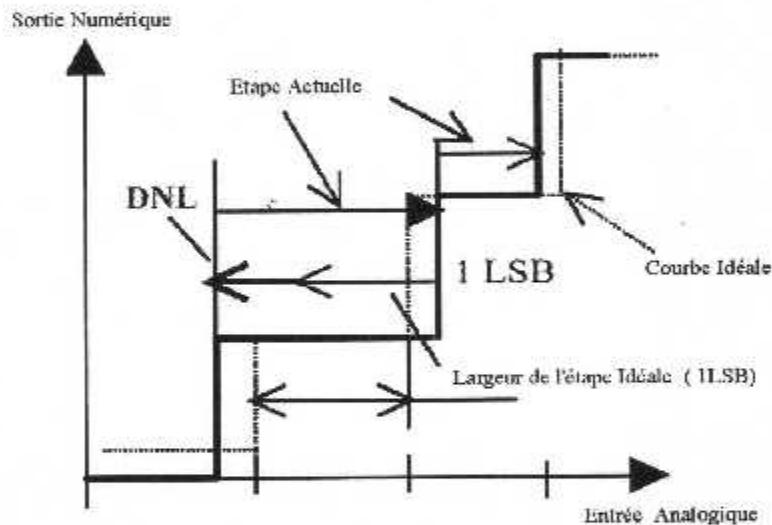


Figure 16: Erreur de Linéarité Différentielle (DNL)

### 4. Erreur de linéarité intégrale (INL) :

Elle est définie par la position de la courbe réelle par rapport à la courbe idéale. Dans le cadre du CAN, il existe deux définitions de l'INL. La première caractérise la

différence entre la position des flancs, une erreur nulle correspond donc à une INL nulle. La deuxième caractérise la différence entre le milieu des paliers et les flancs. Une erreur nulle correspond alors à un INL d'un demi-quantum.

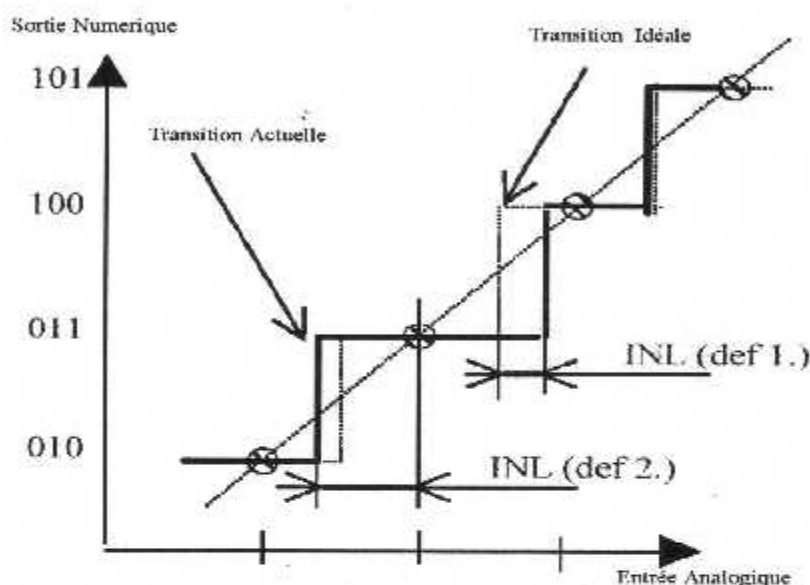


Figure 17: Erreur de Linéarité Intégrale (INL)

### 5. Caractéristique totale sans compensation :

C'est l'erreur obtenue sans aucune compensation (offset, gain, INL, DNL...). On la définit par la différence maximale à chaque palier entre les flancs et le milieu d'un palier idéal.

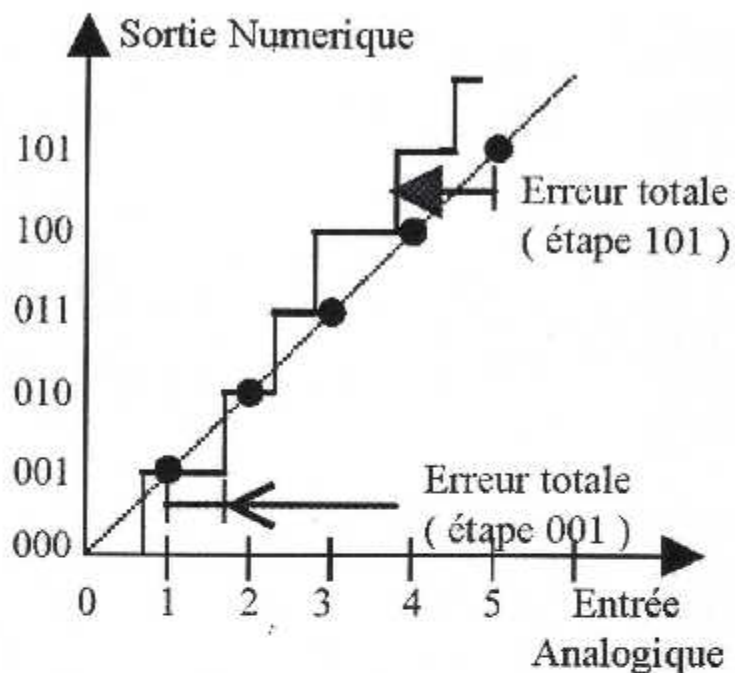


Figure 18: Erreur Totale CAN

### **6. Erreur d'hystérésis :**

Les tensions de transition peuvent varier selon le sens dans lequel on parcourt la fonction de transfert. Cela reflète la présence d'hystérésis au sein du comparateur ou bien la décharge incomplète de capacité.

### **7. Erreur de monotonicité :**

La caractéristique de transfert d'un convertisseur doit assurer la croissance ou décroissance de la sortie en fonction du code. Une erreur de monotonicité arrive quand cette croissance ou décroissance n'est pas assurée.



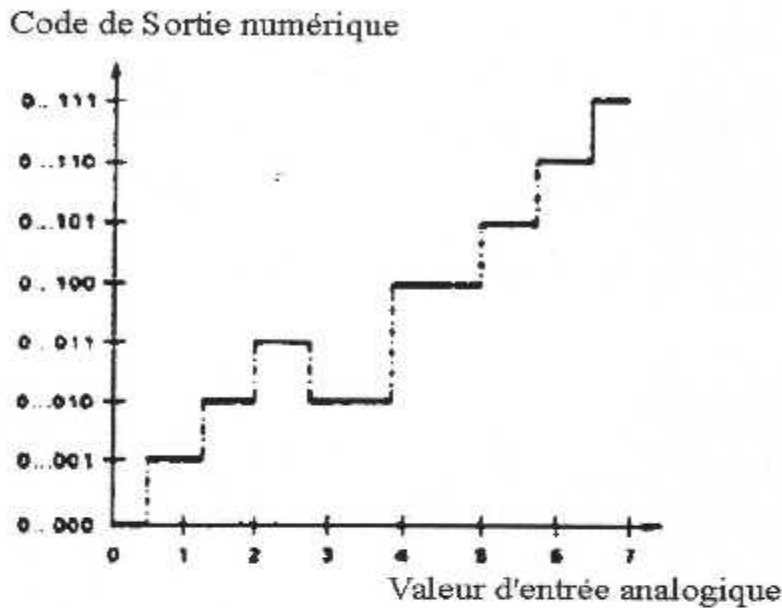


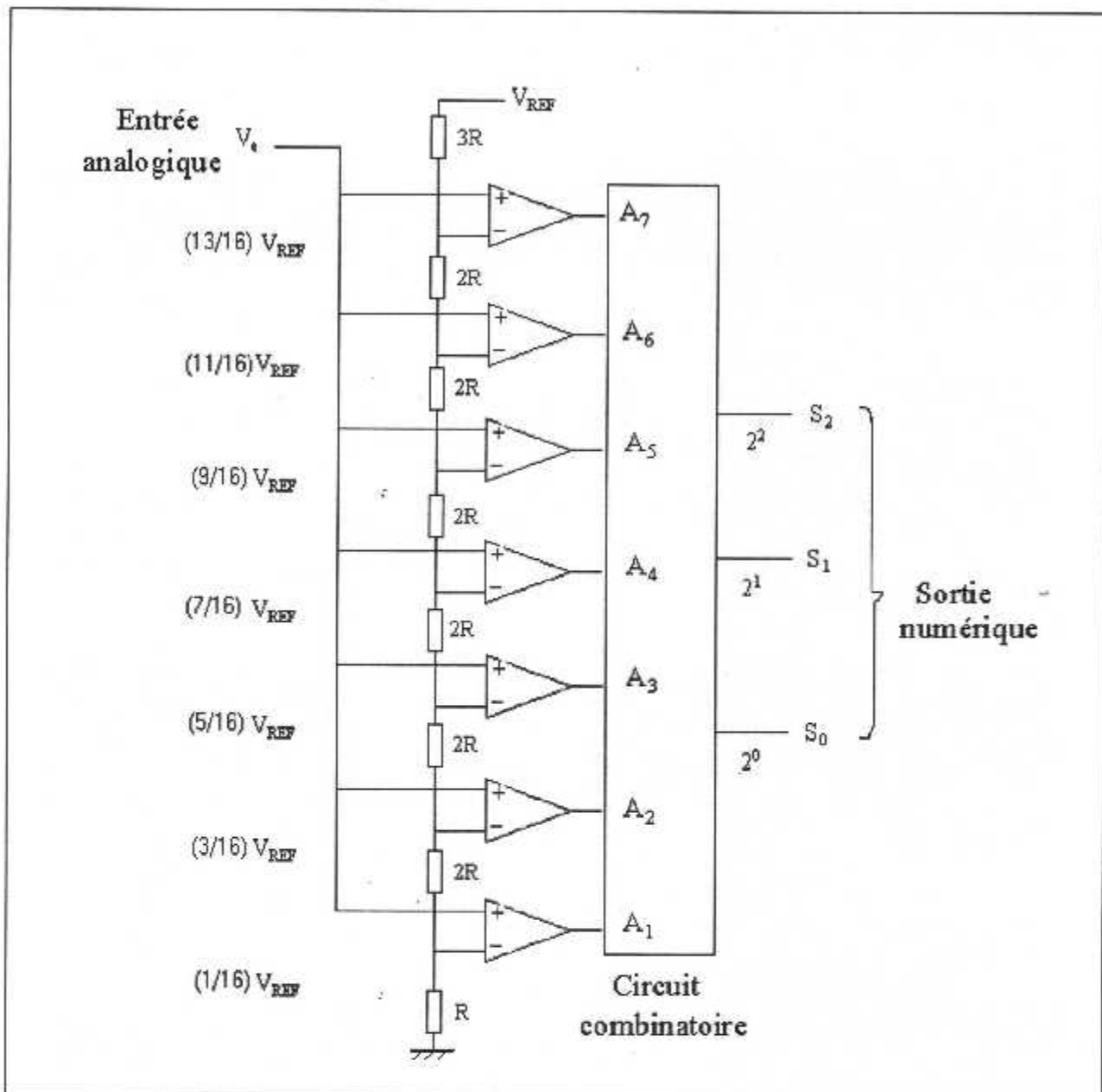
Figure 19 : Erreur de monotonie CAN

#### II.4. Les différents types de convertisseurs:

Parmi les principes de conversion analogique-numérique disponible, nous en avons choisis trois particulièrement représentatifs et qui se différencient nettement en terme de compromis vitesse/précision.

##### 1. Convertisseur parallèle :

Le convertisseur parallèle (flash converter) est basé sur un principe de fonctionnement simple. Ce type de convertisseur est de plus en plus utilisé dans les applications demandant une fréquence d'échantillonnage élevée puisque son temps de conversion peut être aussi faible que 10 nanosecondes (une nanoseconde est un milliardième de seconde). La figure n°20 ci-dessous illustre le principe de fonctionnement du convertisseur parallèle pour une conversion sur trois bits. Le cas est facilement généralisable à un nombre de bits quelconque.



**Figure n°20 :** Convertisseur analogique/ numérique parallèle.

La tension à coder  $V_e$  est appliquée en parallèle sur les sept comparateurs dont les seuils de comparaison sont déterminés à l'aide d'un pont de résistances.

Les valeurs de basculement sont :  $V_{REF}/16$ ,  $3V_{REF}/16$ ,  $5V_{REF}/16$ ,  $7V_{REF}/16$ ,

$9V_{REF}/16$ ,  $11V_{REF}/16$ ,  $13V_{REF}/16$ . Quand la tension  $V_e$  dépasse un seuil, le comparateur concerné voit sa sortie passer de l'état bas à l'état haut. Au fur et à mesure que la tension augmente, les comparateurs déclenchent, les uns derrière les

autres. Les sorties logiques des sept comparateurs représentent donc la valeur du signal à coder. Il ne faudrait pas en conclure hâtivement que les sept niveaux logiques en sortie des comparateurs représentent la valeur codée en binaire du signal d'entrée.

A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
1	1	1	1	0	0	0	1	0	0
1	1	1	1	1	0	0	1	0	1
1	1	1	1	1	1	0	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

**Tableau n°03** : table de vérité du circuit combinatoire

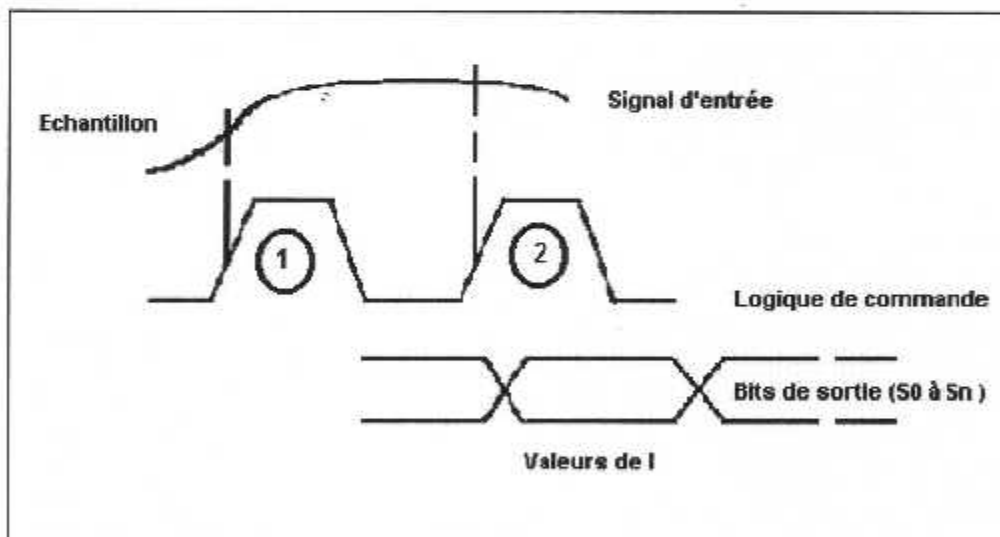
Le tableau n°03 ci-dessus montre le transcodage qu'il est nécessaire d'effectuer pour obtenir la valeur codée sur trois bits. Il est possible d'écrire les équations logiques reliant les sorties A<sub>i</sub> des comparateurs aux bits codage S<sub>i</sub> de la manière suivante :

$$\begin{aligned}
 S_0 &= A_1 \bar{A}_2 \bar{A}_3 \bar{A}_4 \bar{A}_5 \bar{A}_6 \bar{A}_7 + A_1 A_2 A_3 \bar{A}_4 \bar{A}_5 \bar{A}_6 \bar{A}_7 + A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 \bar{A}_6 \bar{A}_7 \\
 &\quad + A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 A_7 \\
 S_1 &= A_1 A_2 \bar{A}_3 \bar{A}_4 \bar{A}_5 \bar{A}_6 \bar{A}_7 + A_1 A_2 A_3 \bar{A}_4 \bar{A}_5 \bar{A}_6 \bar{A}_7 + A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 \bar{A}_7 \\
 &\quad + A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 A_7 \\
 S_2 &= A_1 A_2 A_3 A_4 \bar{A}_5 \bar{A}_6 \bar{A}_7 + A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 \bar{A}_6 \bar{A}_7 + A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 \bar{A}_7 \\
 &\quad + A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 A_7
 \end{aligned}$$

Ces équations logiques se déduisent simplement du tableau de transcodage en considérant tous les cas où un bit  $S_i$  donné prend la valeur « 1 » et d'écrire le OU logique des combinaisons des bits  $A_i$  correspondants .

Les bits de codage des échantillons ayant été obtenus, ils sont ensuite inscrits dans une mémoire ou appliqués en entrée d'un microprocesseur. Un signal de commande permet de définir le temps de mesure de l'échantillon et le début de la conversion.

La conversion dure le temps qu'il faut aux différents signaux pour se propager à travers les différents circuits. Comme toutes les opérations s'effectuent en parallèle, ce temps est court. Dans la figure n° 21 qui suit, le début de la conversion est défini par le front montant de l'impulsion CK de la commande. Les bits de codage sont validés au moment du front montant suivant. La conversion et la mise à disposition des bits de codage s'effectuent donc u rythme de l'horloge d'échantillonnage. Il y a un retard d'une période d'horloge entre le temps d'échantillonnage et la fourniture des bits de codage.



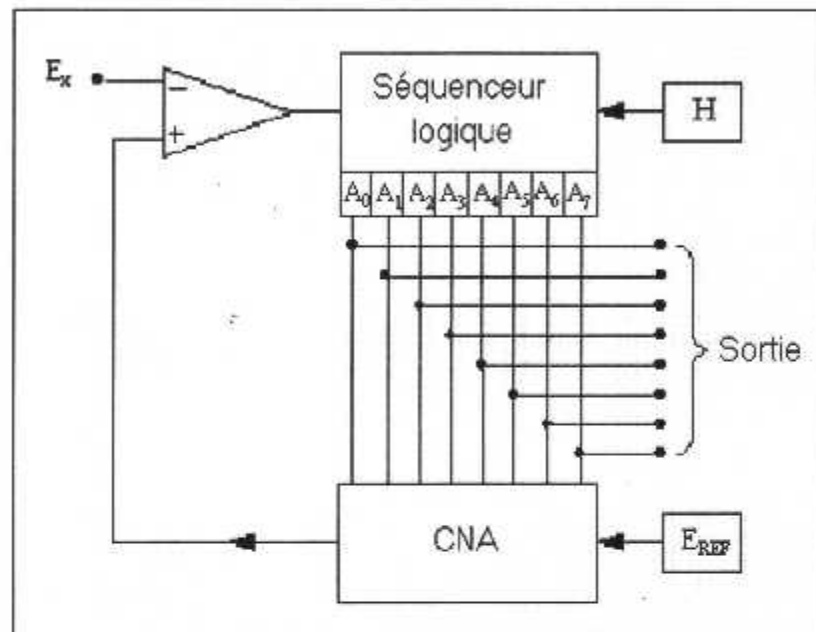
**Figure n°21** :Convertisseur parallèle, chronogramme.

## **2. Convertisseur à approximations successives :**

Le convertisseur à approximation successive offre l'avantage d'un plus grand nombre de bits de conversion et d'une plus faible consommation avec un temps de conversion



plus élevé que celui du convertisseur parallèle, d'où son utilisation dans des applications ne demandant pas une fréquence d'échantillonnage élevée ( $< \text{à } 100\text{Khz}$ ). Son schéma de principe est donné par la figure n°22 juste en dessous



**Figure n°22 :** Convertisseur à approximations successives.

On y trouve principalement une référence de tension, un convertisseur numérique-analogique, un comparateur et un séquenceur logique piloté par horloge.

Son principe de fonctionnement est le suivant :

Le séquenceur logique délivre un code binaire à l'entrée du CNA. la tension de sortie de ce CNA est comparée à la tension à mesurer et en fonction du résultat, le code binaire est modifié de manière à approcher la valeur à trouver.

### **3. Convertisseur à comptage d'impulsions :**

Ce type de convertisseur est très répandu, il offre une grande précision pour un faible coût, mais de par son principe, il ne peut mesurer que des tensions statiques contrairement aux convertisseurs précédents qui échantillonnent le signal instantané.

On trouve quatre types de convertisseurs à rampe (de simple à quadruple rampe. Généralement, sous un même principe les rampes supplémentaires venant compenser diverses erreurs) ainsi que des convertisseurs tension-fréquence.

Nous allons en citer deux à titre d'exemple.

Tous les convertisseurs sont basés sur une opération de chronométrage (comptage d'impulsions) pendant un temps proportionnel à la tension d'entrée.

### ▪ Convertisseur simple rampe :

Un convertisseur simple rampe est basé sur le principe de la conversion tension en fréquence ou durée.

La figure n°23 représente le schéma synoptique d'un convertisseur simple rampe et la figure n°24 représente le diagramme des temps correspondant.

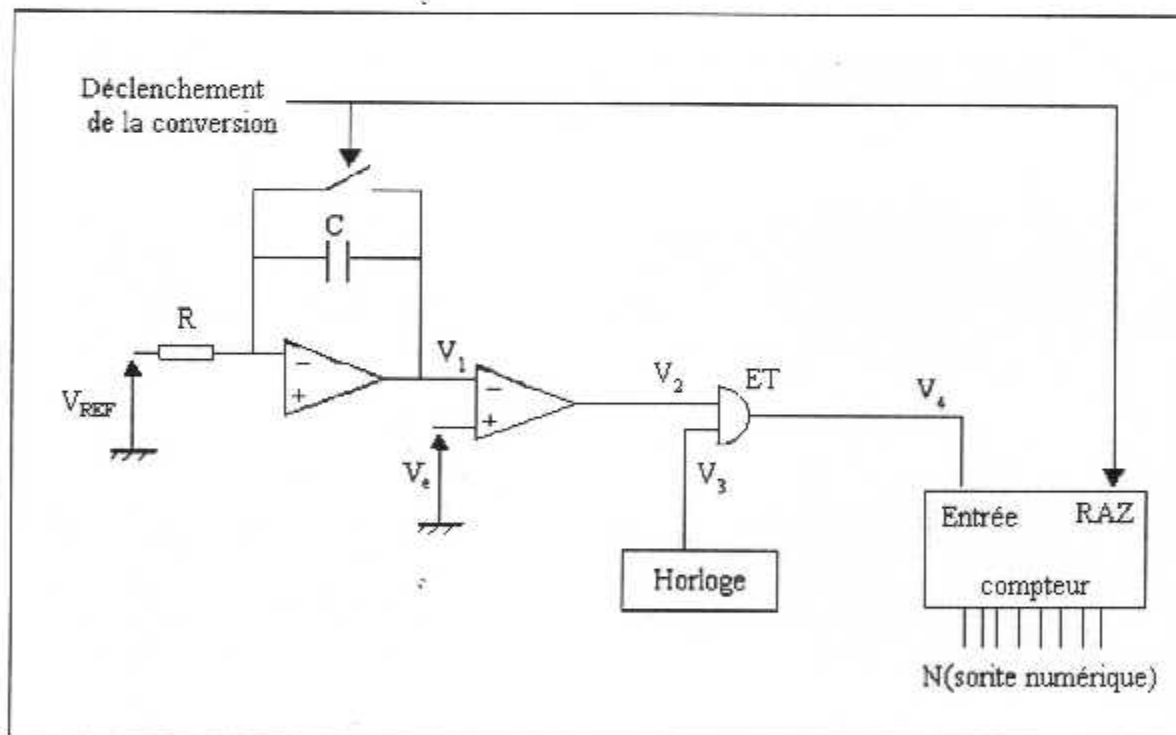
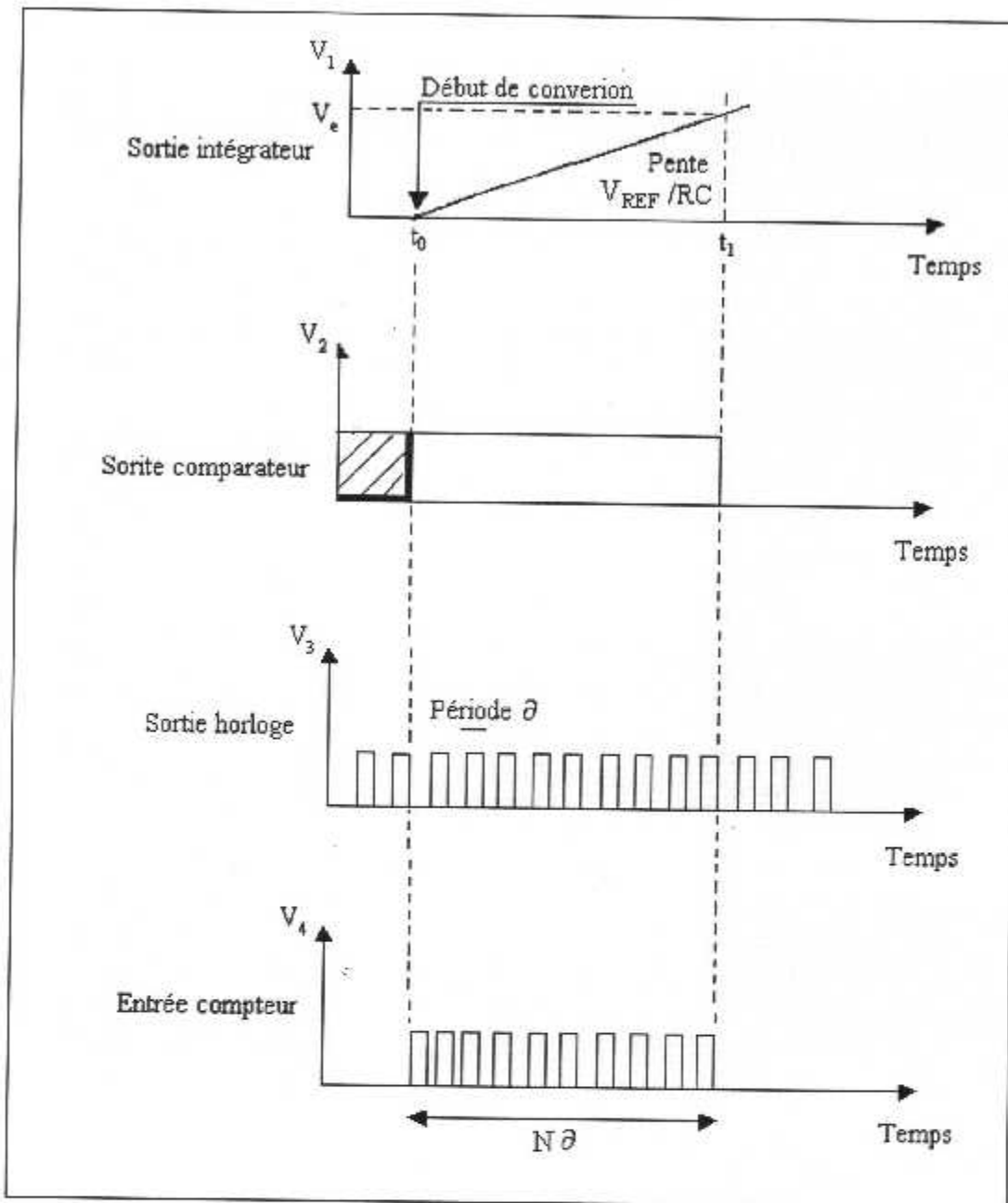


Figure n°23 : Convertisseur simple rampe.



**Figure n°24:** Diagramme des temps d'un convertisseur simple rampe.

Le principe est le suivant :

On charge linéairement un condensateur à l'aide d'un amplificateur opérationnel monté en intégrateur (tension  $V_1$ ) dont la tension d'entrée est constante et égale à  $-V_{REF}$ . Cette tension est appliquée à l'entrée d'un comparateur dont l'autre entrée reçoit la tension inconnue  $V_e$  à convertir, lorsque la tension rampe  $V_1$  arrive à égalité avec  $V_e$ , la sortie  $V_2$  du comparateur bascule. Le temps écoulé entre le départ de la rampe  $t_0$

correspond au début de la conversion et le basculement au temps  $t_1$  est le résultat de la conversion tension-durée. En utilisant une horloge de période  $\partial$  (sortie  $V_3$ ), la fonction logique « ET » entre les signaux horloge et créneau de durée proportionnelle à  $V_e$  donne un nombre d'impulsions  $N$  tel que :

$$t_1 - t_0 = V_e (R C / V_{REF}) - N \partial$$

On dispose ainsi, en sortie du compteur, d'un nombre binaire  $N$  proportionnel à  $V_e$  :

$$N = V_e (R C / V_{REF} \partial)$$

Si on prend l'exemple d'un convertisseur 8 bits, la conversion de la tension maximale nécessitera 255 impulsions. Par conséquent, avec une horloge de fréquence de 1 Mhz, le temps de conversion sera de  $255\mu S$ .

De cet exemple, on tire les conclusions suivantes :

- Ce type de convertisseur est relativement lent.
- Les sources d'erreurs sont nombreuses puisque le coefficient de proportionnalité entre  $N$  et  $V_e$  contient des termes sensibles aux perturbations extérieures (bruit, température,...). La linéarité de la charge du condensateur et la résolution du comparateur peuvent aussi introduire des erreurs.

Résultat : Ce type de convertisseur, économique mais peu précis et lents, est amélioré en utilisant une conversion double rampe.

### **Convertisseur double rampe :**

Le convertisseur double rampe constitue un perfectionnement important du convertisseur simple rampe. En effet, la précision devient indépendante des éléments pouvant varier : la capacité, la résistance et la fréquence de l'horloge. La conversion s'effectue ici en deux étapes, pilotées par une logique de contrôle qui commande deux interrupteurs comme l'illustre les figures n°25 et n°26 ci-dessous.



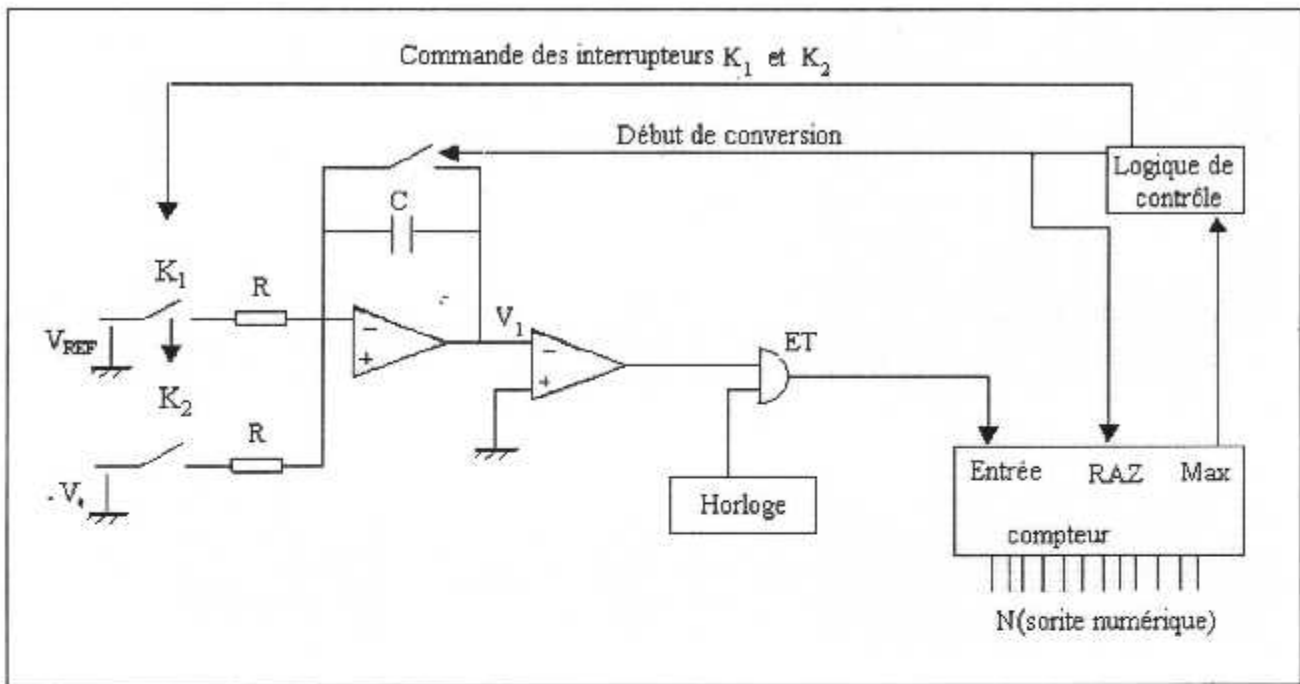


Figure n°25 : convertisseur double rampe.

- Première étape : la tension d'entrée  $V_e$  à mesurer est appliquée à l'entrée de l'intégrateur pendant un intervalle de temps prédéterminé  $\Delta t_1$  égal à  $N_1$  période d'horloge et au bout duquel la tension de sortie  $V_{1,i}$  de l'intégrateur est :

$$V_{1,i} = - (V_e \Delta t_1 / RC) = - (V_e N_1 \partial / RC)$$

- Deuxième étape : l'entrée de l'intégrateur est commutée sur une tension de référence  $V_{REF}$  de polarité opposée à  $V_e$ , de sorte que la tension décroît linéairement et le compteur est remis à zéro. Lors de cette décroissance, un comparateur détecte le passage par zéro de  $V_{1,i}$  et, à cet instant, arrête le comptage. Si  $N$  est le nombre emmagasiné dans le compteur, la durée de la décroissance est  $N\partial$ . Aussi, on peut écrire :

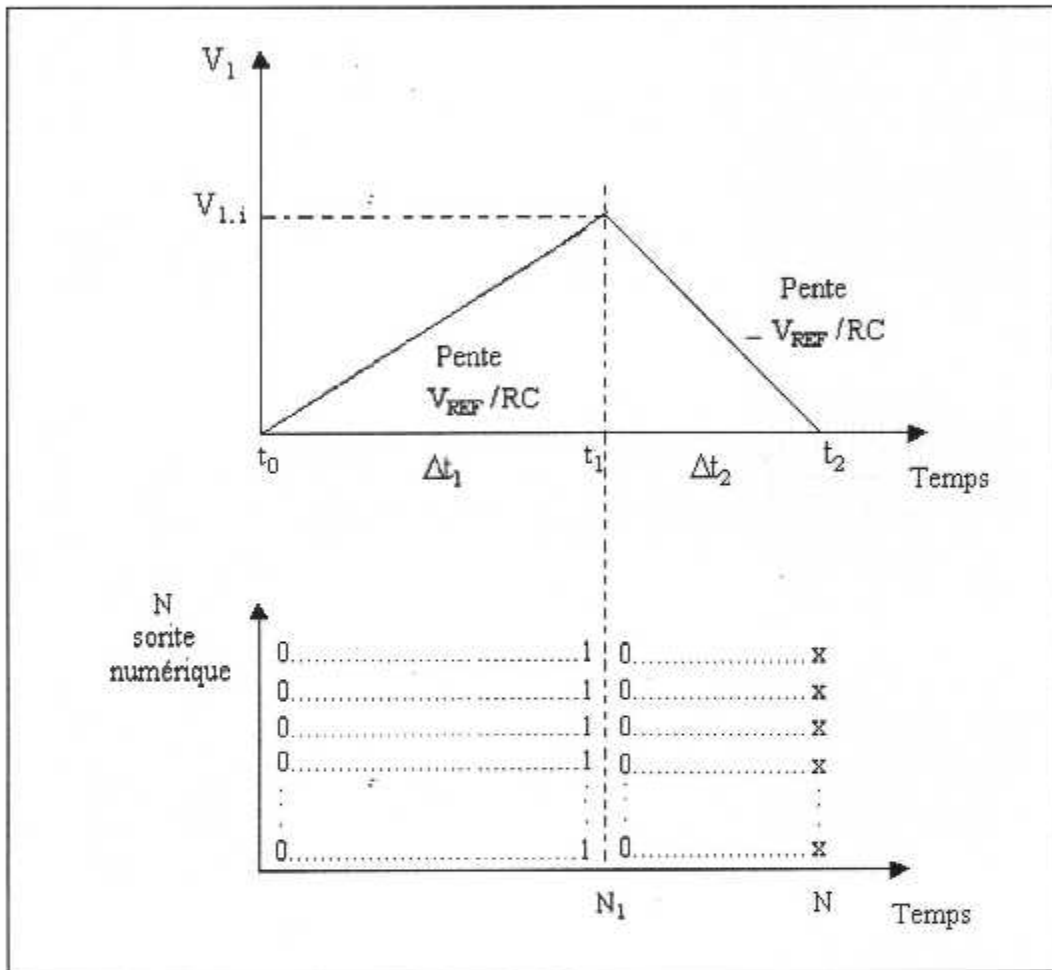
$$V_{1,i} = V_{REF} N \partial / RC$$

En considérant les deux expressions de  $V_{1,i}$ , nous avons la relation linéaire entre  $N$  et  $V_e$  :

$$N = N_1 V_e / V_{REF}$$



La précision d'un tel convertisseur a été fortement augmentée puisque les sources d'erreurs dues aux dérives des composants R, C et de la période  $\delta$  ont été éliminées. Par contre le temps de conversion a été augmenté.



**Figure n°26 :** Croissance et décroissance de  $V_1$  pendant les deux étapes de la conversion et sortie numérique correspondante.

- Première étape : la tension d'entrée  $V_e$  à mesurer est appliquée à l'entrée de l'intégrateur pendant un intervalle de temps prédéterminé  $\Delta t_1$  égal à  $N_1$  période d'horloge et au bout duquel la tension de sortie  $V_1$  de l'intégrateur est :

$$V_{1,j} = - (V_e \Delta t_1 / RC) = - (V_e N_1 \delta / RC)$$

- Deuxième étape : l'entrée de l'intégrateur est commutée sur une tension de référence  $V_{REF}$  de polarité opposés à  $V_e$ , de sorte que la tension décroît linéairement et le compteur est remis à zéro. Lors de cette décroissance, un comparateur détecte le passage par zéro de  $V_i$  et, à cet instant, arrête le comptage. Si  $N$  est le nombre emmagasiné dans le comparateur, la durée de la décroissance est  $N\delta$ . Aussi, on peut écrire :

$$V_{i,i} = V_{REF} N \delta / RC$$

En considérant les deux expressions de  $V_{i,i}$ , nous avons la relation linéaire entre  $N$  et  $V_e$  :

$$N = N_i V_e / V_{REF}$$

La précision d'un tel convertisseur a été fortement augmentée puisque les sources d'erreurs dues aux dérives des composants  $R, C$  et de la période  $\delta$  ont été éliminées. Par contre le temps de conversion a été augmenté.

# chapitre III

### **III.1. Système d'interface pour « PC » :**

Pour pouvoir communiquer avec l'extérieur, l'ordinateur est équipé de plusieurs périphériques (clavier, moniteur, souris, ...). Mais pour l'exécution de certaines commandes ou de contrôle, l'utilisation d'une interface s'avère indispensable. L'interface se distingue par sa facilité d'utilisation et de connexion, elle est simplement connectée au port imprimante de l'ordinateur. La liaison avec l'ordinateur peut être effectuée de façon optique ou électromagnétique, de sorte que tout endommagement de l'ordinateur par le biais de la carte est exclus.

### **III.2. Transmission de données :**

#### **III.2.1. Principe :**

Tout comme la communication humaine, la communication entre systèmes s'effectue à travers une chaîne d'éléments : « voir figure ci-dessous ».

La communication entre l'ordinateur et les récepteurs est du type maître-esclave. Les récepteurs reçoivent les messages envoyés par l'ordinateur, retournent à celui-ci un accusé de réception, puis exécutent les ordres. L'ordinateur est libre d'effectuer d'autres tâches pendant le travail des récepteurs. Plus la vitesse de transmission est élevée, et plus un message sera transmis rapidement. C'est donc toujours l'ordinateur qui donne un ordre ou qui interroge un récepteur.



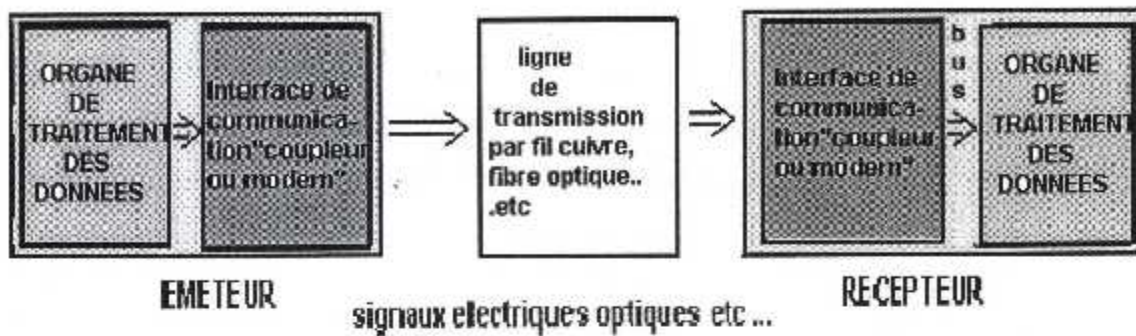


Figure n° 27: Transmission d'un message.

### III.2.2. Définitions :

- **Bus** : il s'agit d'une série de fils électriques par lesquels sont véhiculées, sous forme numérique ( bits ), les informations à transmettre.
- **Coupleur de communication** : unité de traitement autonome ayant pour unique fonction de gérer des transmissions de données ( envoie, réception, gestion de la ligne de transmission, vérification d'erreur ETC...).
- **Modem** : fonction identique au coupleur de communication mais adapté aux lignes téléphoniques. Pour faire communiquer plusieurs organes de traitement ,il est indispensable de définir un support et un langage compréhensible par ces organes.

Deux organismes ont pour rôle d'éditer les spécifications techniques précises des différents supports physiques de communication : c'est la **NORME** .

Ces organismes sont : l' EIA ( Electronic Industries Association ) ( USA )

le CCITT ( Comité consultatif International de télégraphie et téléphonie ) ( Europe )

C'est pour cette raison que certains standards possèdent deux noms différents (ex : RS232 et V24).

Les standards les plus utilisés sont : RS 232C, RS 422A, RS 485, CENTRONICS, IEEE 488, Boucle de Courant



La transmission des bits de données peut être véhiculée de deux façons différentes :  
en SERIE ou PARALLELE .

### III.3. Transmission série :

La liaison parallèle exige beaucoup de lignes ,ce qui se traduit par consommation importance de fils de cuivre de connecteurs , buffer , synchronisation des données ...etc .

De ce faite la transmission série est venue pour remédier à l'inconvénient présenté par la liaison parallèle surtout dans le cas des grandes distances .

Dans ce type de transmission ,l'information est véhiculé sur un seul fil ( voir figure n°28) ,bit par bit selon une fréquence propre à la voie de transmission . Ce procédé mettra beaucoup de temps pour arriver à la destination qu'elle mettra dans la liaison parallèle ,ceci est compensé par le fait qu'elle revient beaucoup moins chère que l'autre type de transmission. Généralement ,c'est ce facteur qui motive les concepteurs à opter pour telle ou telle communication .

Afin d'identifier le début et la fin du critère que celui du message ,il faudra ajouter un protocole de communication entre la source et la destination.

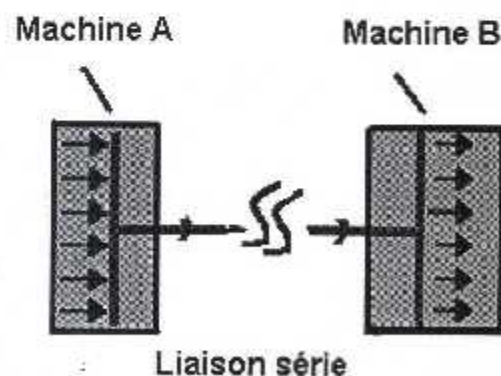


Figure n° 28 :Transmission série.

Les deux paramètres rentrant en jeu lors d'une transmission série sont :

- **Longueur de mot** : sur le PC, le BIO ne permet une longueur de mot que de 7 ou 8 bits.
- **La parité** : le mot transmis peut être suivi d'un bit de parité qui sert à détecter les erreurs éventuelles de transmission . Il existe deux parité : parité paire et parité impaire .
- **Bit de strat** : lorsque rien ne circule sur la ligne, celle-ci est à l'état haut. Pour indiquer qu'un mot va être transmis, la ligne passe à bas avant de connecter le transfert. Cette précaution permet de resynchroniser le récepteur .
- **Bits de stop** : ces bits signalent la fin de la transmission. Selon le protocole utilisé, il peut y avoir 1, 1.5, ou 2 bits de stop ( ces bits sont toujours à 1 ).
- **Vitesse de transmission** : la plupart des cartes série permettent de choisir une vitesse entre 300 et 9600 bauds (par exemple à 300 bauds, un bit est transmis tout les trois-centième de seconde ). Les cartes récentes proposent des vitesses jusqu'à 115200 bauds. Ces vitesses ne vous paraissent peut être pas énormes mais il faut garder à l'esprit que la liaison série est avant tout pensée pour les liaisons téléphoniques par modems, dont la bande passante est très limitée.

#### **Exemple : RS 232 C ou V24**

La spécification électrique la plus courante utilisée pour la communication de données série asynchrones est celle de la norme RS232 C.

Les deux paramètres rentrant en jeu lors d'une transmission série sont :

- **Longueur de mot** : sur le PC, le BIO ne permet une longueur de mot que de 7 ou 8 bits.
- **La parité** : le mot transmis peut être suivi d'un bit de parité qui sert à détecter les erreurs éventuelles de transmission . Il existe deux parité : parité paire et parité impaire .
- **Bit de strat** : lorsque rien ne circule sur la ligne, celle-ci est à l'état haut. Pour indiquer qu'un mot va être transmis, la ligne passe à bas avant de connecter le transfert. Cette précaution permet de resynchroniser le récepteur .
- **Bits de stop** : ces bits signalent la fin de la transmission. Selon le protocole utilisé, il peut y avoir 1, 1.5, ou 2 bits de stop ( ces bits sont toujours à 1 ).
- **Vitesse de transmission** : la plupart des cartes série permettent de choisir une vitesse entre 300 et 9600 bauds (par exemple à 300 bauds, un bit est transmis tout les trois-centième de seconde ). Les cartes récentes proposent des vitesses jusqu'à 115200 bauds. Ces vitesses ne vous paraissent peut être pas énormes mais il faut garder à l'esprit que la liaison série est avant tout pensée pour les liaisons téléphoniques par modems, dont la bande passante est très limitée.

### **Exemple : RS 232 C ou V24**

La spécification électrique la plus courante utilisée pour la communication de données série asynchrones est celle de la norme RS232 C.

Elle comporte 2 lignes de transmission des données: une pour chaque sens, ainsi qu'un ensemble de lignes de contrôle et de commandes nécessaires à l'établissement d'un canal de communication.

Toutes ces lignes sont référencées par rapport à un fil commun (terre de signalisation ou retour commun).

La norme RS232C peut avoir un de ces connecteurs : DB25 ou DB9( tableau n° 04).

BROCHE DB25	BROCHE DB9	LIBELLE	SIGNIFICATION
2	3	TD	Transmission de donnée.
3	2	RD	Réception de données.
4	7	RTC	Demande d'émission.
5	8	CTS	Prêt à émettre.
6	6	DSR	Poste de données prêt.
7	5	GND	Masse .
8	1	DCD	Détection de porteuse.
20	4	DTR	Terminal de donnée prêt .
22	9	RI	Indicateur de sonnerie .

**Tableau n°04 : Désignation de broches des connecteurs RS232C.**

Pour les lignes de données:

- tension > 0 (entre +5 et 15V ) = bit a 0 logique
- tension < 0 (entre -5 et -15V ) = bit a 1 logique.



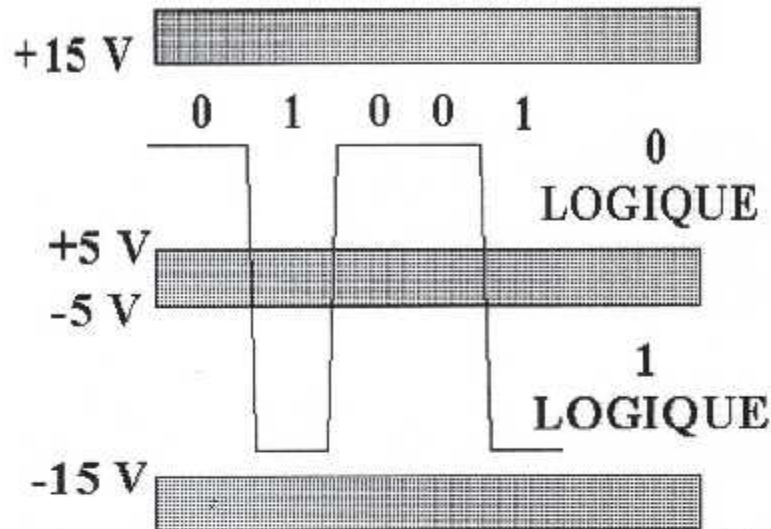


Figure n°29 : Chronogramme de l'interface RS232C.

### III.4. Protocole de communication :

Dans la transmission parallèle nous n'avons pas parler d'horloge .en effet les 8 bits d'un caractère transférés par l'émetteur sont présents sur les 8 bits d'entrée du récepteur jusqu'à ce que le récepteur les prennes en compte. Au pire des cas seule une impulsion de prise en compte des données est nécessaire mais elle n'as pas un moment précis pour apparaître .Par contre dans transmission série ,l'émetteur et le récepteur doivent disposer de deux horloges appelées horloge d'émission et horloge de réception . Il existe deux catégories de protocole de communications.

#### III.4.1. Protocole synchrone :

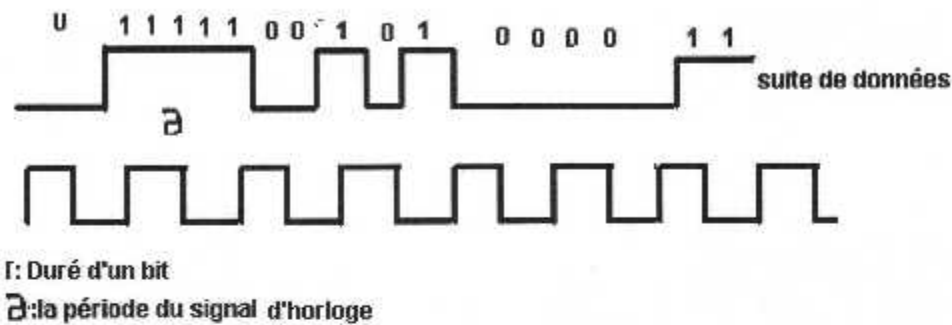
Il existe une transmission synchrone lorsque l'intervalle entre deux signaux quelconque est un multiple entier de la durée du signal élémentaire ,elle se fait par suite de données n'utilisant de repère que le début et la fin d'une suite de données

La synchronisation entre émetteur et récepteur se fait à l'aide d'une horloge commune.

Ce mode de transmission permet de fixer les paramètres suivant :

- a) la vitesse de transmission .

b) la longueur d'un caractère .



f: Duré d'un bit

a: la période du signal d'horloge

Figure n°30: Message du signal d'horloge.

### III.4.2. Protocole asynchrone :

Ce dernier diffère du synchrone par le fait que la transmission de l'information est discontinue, et qu'elle se fait caractère par caractère .

L'astuce d'une transmission asynchrone repose sur la forme des signaux envoyés, signaux permettant une synchronisation de récepteur sur chaque caractère reçu.

La transmission étant effectuée caractère par caractère et que l'émetteur et le récepteur ont chacun une horloge propre ,qui ne sont pas synchronisés mais travaillent à des fréquences voisines afin de ne pas produire un grand décalage sur la durée d'un mot transmis .

Chaque caractère utile est précédé d'une information d'état actif dit bit « start » qui signale au récepteur l'envoi d'un début de caractère puis suivi d'une information d'état repose dit bit « stop » qui identifie la fin du caractère transmis comme l'indique la figure n°31.

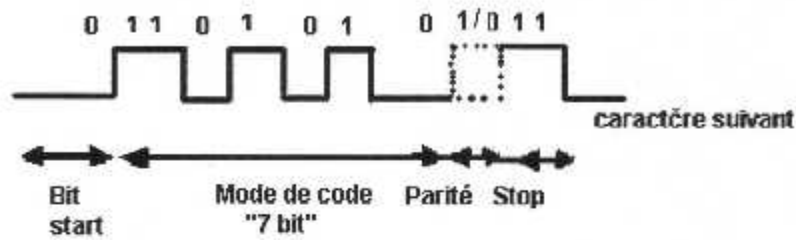


Figure n°31 : Message de données asynchrone.

### III.5. Sens de transmission :

Dans un échange d'information entre deux équipements l'un joue le rôle d'émetteur, l'autre de récepteur .

Il existe trois types de transmission de transmission sur une liaison de type série :

#### III.5.1. La liaison SIMPLEX :

Les caractères transitent sur le bus de façon unidirectionnel ,n'autorisant qu'un seul sens de données .Dans ce cas, un et un ,seul équipement émet, ce type de liaison est représenté par le schéma bloc ci-après.

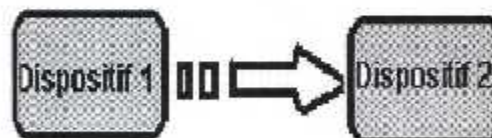


Figure n°32 : Liaison simplexe.

#### II.5.2. Liaison Semi-duplex ou Half -Duplex :

les caractères transitent sur le bus de façon unidirectionnelle mais alternés, ou les données ne circulent que dans un sens à la fois .Dans ce cas ,un équipement peut jouer le rôle d'émetteur puis récepteur et vice versa.

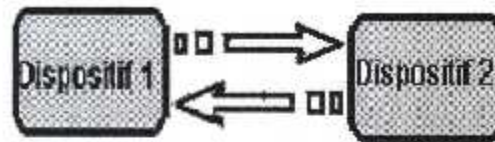


Figure n°33 : Liaison half-duplex.

### III.5.3. Liaison Duplex intégral ou full duplex :

Les caractères transitent sur le bus, de façon simultanées ou bien dans les deux sens, l'émission et la réception sont traités en même temps (figure n°34).

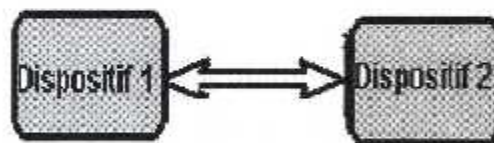


Figure n° 34 : Liaison Full Duplex.

### III.6. Transmission parallèle :

#### III.6.1. Définition :

Les données en sortie des organes de traitement de l'information sont présentées généralement sous forme de mots de  $n$  bits. Ces bits sont envoyés simultanément sur  $N$  voies différentes (voir figure n°35).

Ces voies peuvent être:



- $N$  lignes physiques: auquel cas chaque bit est envoyé sur une ligne physique (c'est la raison pour laquelle les câbles parallèles sont composés de plusieurs fils en nappe)
- une ligne physique divisées en plusieurs sous-canaux par division de la bande passante. Ainsi chaque bit est transmis sur une fréquence différente...

Etant donné que les fils conducteurs sont proches sur une nappe, il existe des perturbations (notamment à haut débit) dégradant la qualité du signal...

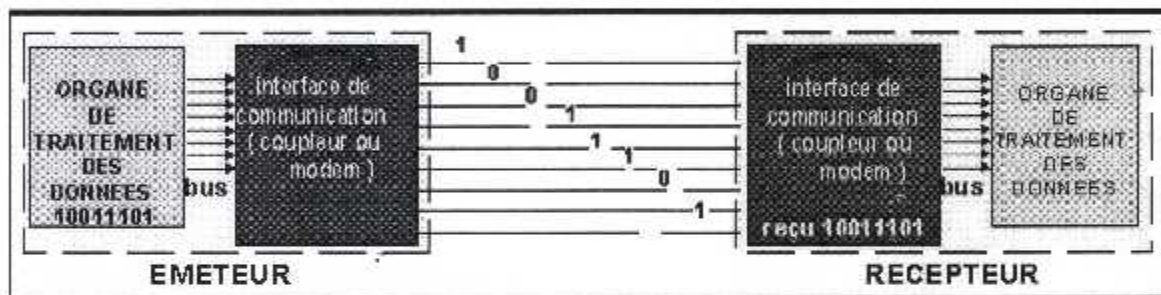


Figure n°35: Transmission parallèle.

### III.6.2. Classifications :

Les interfaces parallèles peuvent être classés selon deux critères :

#### a) Largeur du canal :

Les largeurs de canal peuvent varier d'un seul bit à 16 ou 32 bits ,voire plus .La taille la plus courante ,pour les processeurs à 8 bits ,est un canal de 8 bits .Cette largeur permet au processeur de transmettre par l'interface un mot de données entier à chaque opération. L'interface parallèle à 8 bits est d'autant plus intéressante que c'est aussi la taille la plus courante pour les processeurs à 16 bits .Ceci pour deux raison .Tout d'abord parce qu'il existe un grand nombre de périphériques ,telles les imprimantes ,qui ont été initialement conçus pour les micro-ordinateurs à 8 bits , ensuite parce que

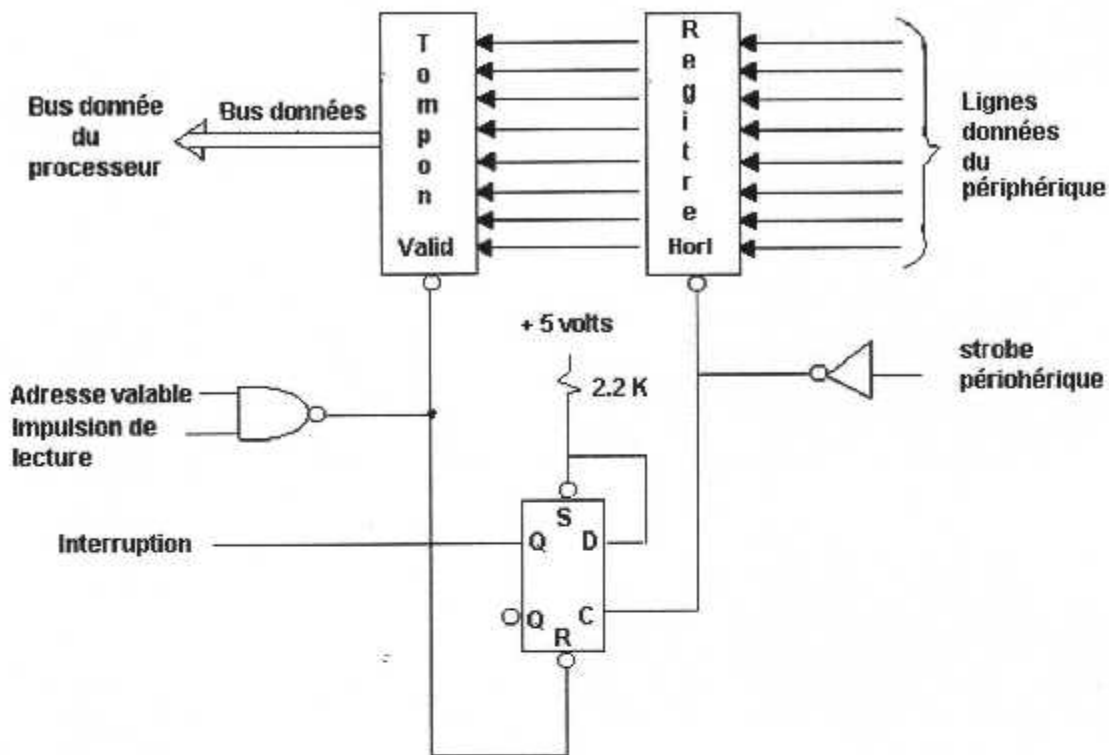


Figure n° 36: Circuit d'interface d'entée parallèle à un fil d'asservissement.

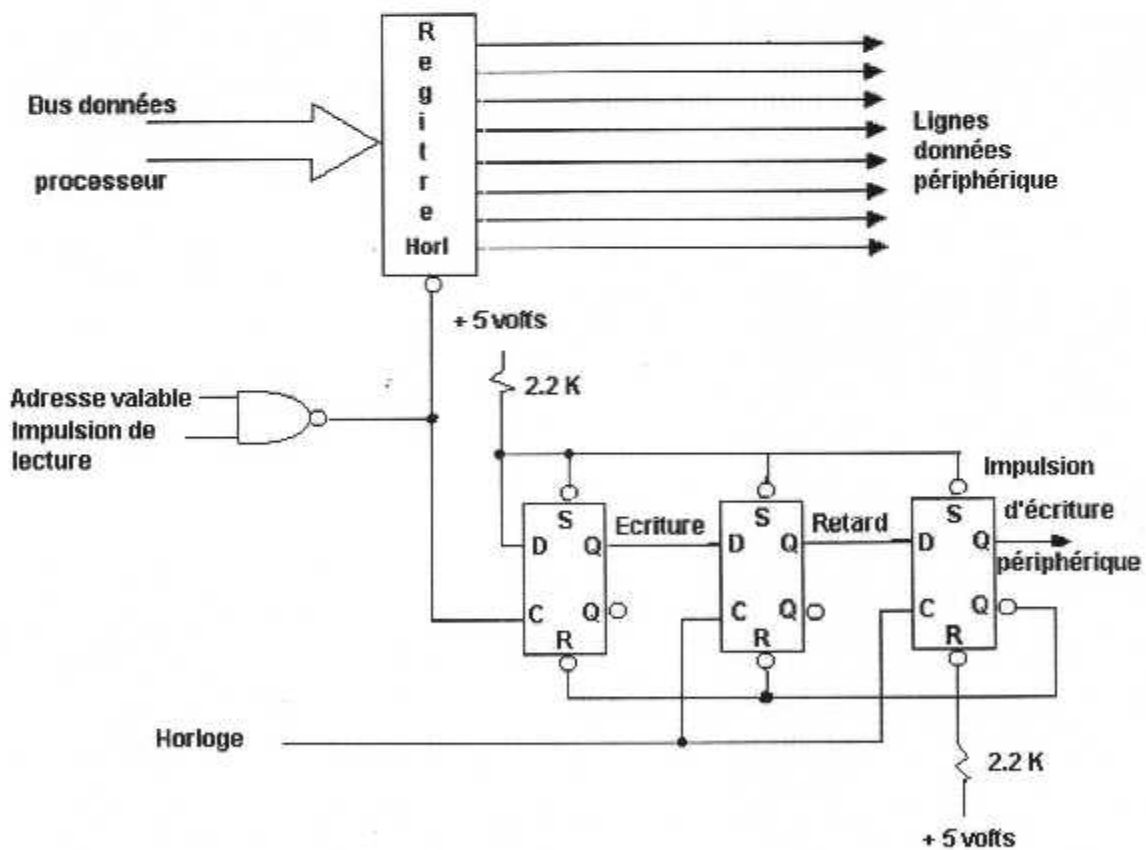
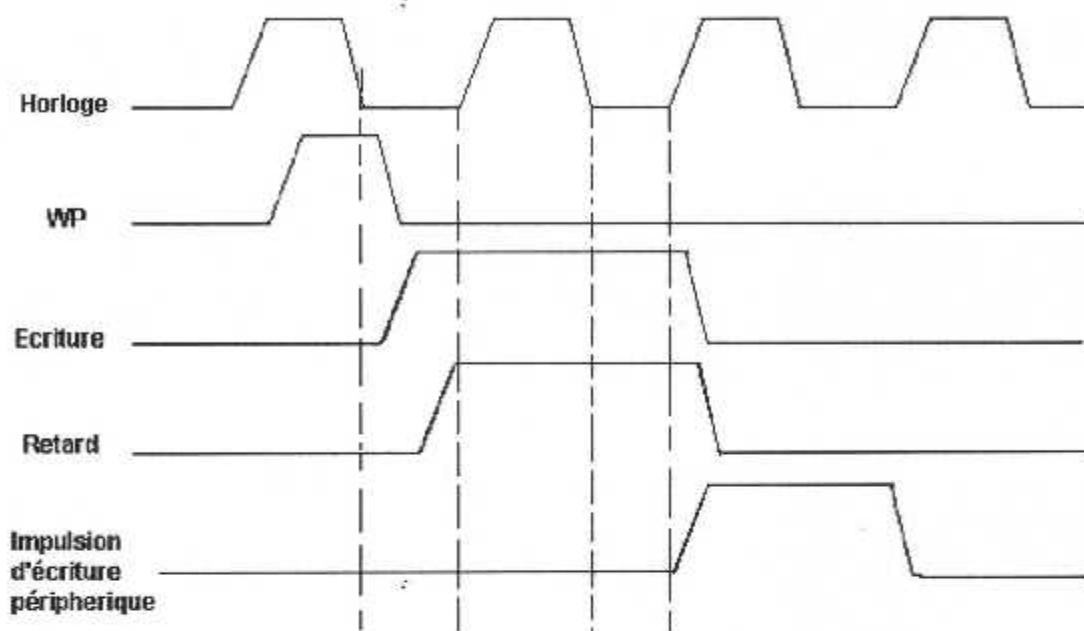


Figure n° 37: Circuit d'interface de sortie parallèle à un fil d'asservissement.

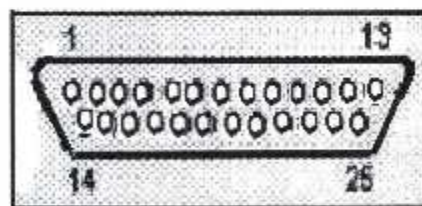


**Chronogramme d'une interface parallèle de sortie à un fil d'asservissement.**

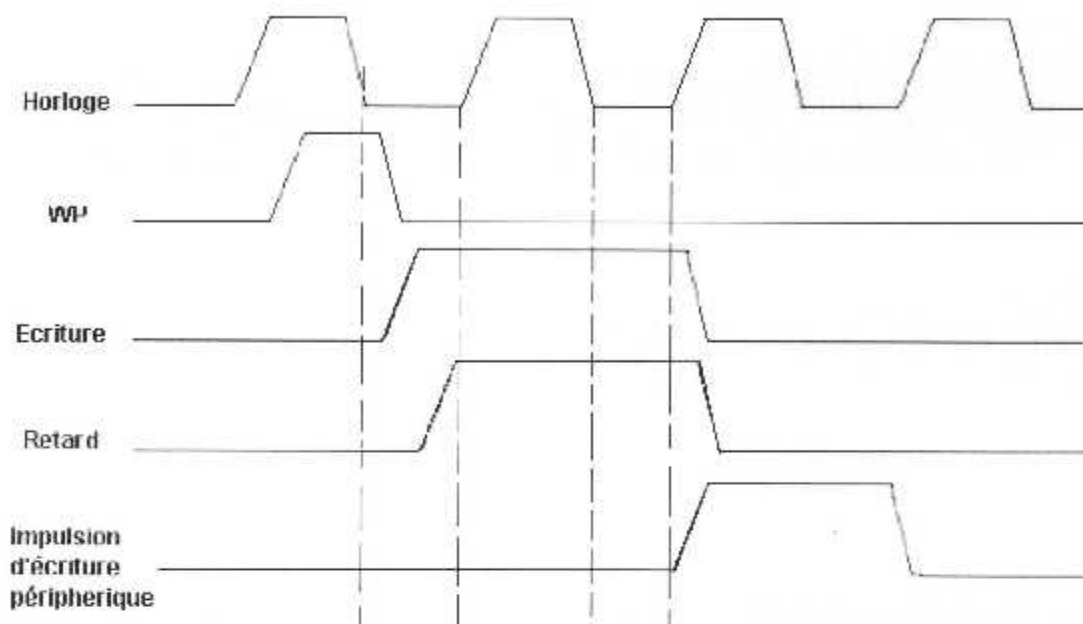
**Exemple :**

**Interface parallèle à trois fils d'asservissements « CENTRONICS »**

L'une des première interface parallèle à être largement utilisée dans l'industrie est une protocole développé par centronics, constructeurs d'imprimante.



**Figure (III.4) :DB25 Femelle de face**

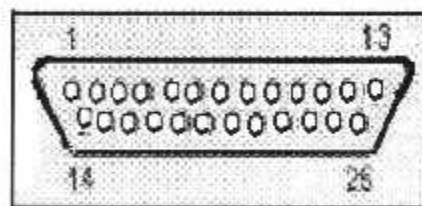


**Chronogramme d'une interface parallèle de sortie à un fil d'asservissement.**

**Exemple :**

**Interface parallèle à trois fils d'asservissements « CENTRONICS »**

L'une des premières interfaces parallèles à être largement utilisée dans l'industrie est un protocole développé par Centronics, constructeurs d'imprimantes.



**Figure n°38: DB25 Femelle de face**





Figure n°39: Centronic Male de face

Les différents modes de ce port

- Standart : Monodirectionnel.
- EPP : Enhanced Parallel Port – Bidirectionnel.
- ECP : Enhanced Capabilities Port - Bidirectionnel rapide.

- Ces adresses sont :

- LPT1 &H3BC.
- LPT2 &H378.
- LPT3 &H278.

L'adresse du port imprimante correspond généralement à LPT2, pour un autre port ,on se réfère au tableau suivant :

Le port \ Registres	LPT1		LPT2		LPT3	
	Décimal	Hexa	Décimal	Hexa	Décimal	Hexa
Données	956	3BC	888	378	632	278
Etat	957	3BD	889	379	633	279
Contrôle	958	3BE	890	37A	634	27A

Tableau n° 05:Les adresses du port imprimante.

Ce port ayant avant tout été pensé pour communiquer avec une imprimante, mais on peut les utiliser pour d'autres applications ,à condition de respecter

Ce port ayant avant tout été pensé pour communiquer avec une imprimante, mais on peut les utiliser pour d'autres applications, à condition de respecter la norme de communication. Il possède 17 broches utilisables ainsi que 8 broches reliées à la masse. Leurs affectations physiques sont indiquées sur le tableau n° 06.

	Nom		Nom
1	STROBE	14	AUTOFEED
2	D0	15	ERROR
3	D1	16	INITIALISATION
4	D2	17	SELECT IN
5	D3	18	Mise à terre
6	D4	19	Mise à terre
7	D5	20	Mise à terre
8	D6	21	Mise à terre
9	D7	22	Mise à terre
10	ACKNOWLEDGE	23	Mise à terre
11	Busy	24	Mise à terre
12	PAPER EMPTY	25	Mise à terre
13	SELECT		

**Tableau n°06 :** Désignation des broches de port parallèle DB25.

➤ **Rôle des broches :**

- **STROBE:** cette ligne active basse indique à l'imprimante que des données sont présentes sur les lignes D0 à D7 et qu'il faut les prendre en compte.
- **D0 à D7:** c'est le bus de données sur lequel véhicule la valeur du caractère à imprimer. On ne peut écrire sur ce port, à moins d'avoir un port parallèle étendu (c'est le cas pour les ports de type ECP/EPP).
- **ACK:** l'imprimante met à 0 cette ligne pour indiquer à l'ordinateur qu'elle a bien reçu le caractère transmis et que ce dernier peut continuer la transmission.

- **BUSY**: cette ligne est mise à 0 par l'imprimante lorsque son buffer de réception est plein. L'ordinateur est ainsi averti que celle-ci ne peut plus recevoir de données. Il doit attendre que cette ligne revienne à 1 pour recommencer à émettre.
- **PE**: signifie " paper error ". L'imprimante indique par cette ligne à l'ordinateur que l'alimentation en papier a été interrompue.
- **SELECT**: cette ligne indique à l'ordinateur si l'imprimante est "on line" ou "off line".
- **AUTOFEED**: lorsque ce signal est à 1, l'imprimante doit effectuer un saut de ligne à chaque caractère "return" reçu. En effet, certaines imprimantes se contentent d'effectuer un simple retour du chariot en présence de ce caractère.
- **ERROR**: indique à l'ordinateur que l'imprimante a détecté une erreur.
- **INIT**: l'ordinateur peut effectuer une initialisation de l'imprimante par l'intermédiaire de cette ligne.
- **SELECT IN**: l'ordinateur peut mettre l'imprimante hors ligne par l'intermédiaire de ce signal.
- **MASSE**: ou bien mise à la terre ,c'est la masse du PC.

# chapitre IV



#### IV. Présentation :

L'identification et le contrôle des mécanismes est une étape indispensable pour un avion au cour du vol . Cette étape est difficile, car elle nécessite un suivi permanent ,en raison de niveau de température et de la présence très fréquente des cas indésirables, telle que les surchauffes . Il faudra, pour réduire le risque de ces surchauffes, prendre la mesure et surveiller la température et pour pouvoir, à temps, reconnaître le danger encouru durant le vol.

Le montage qu'on propose ici, réside dans le type du capteur de température utilisé , LM335, qui permet de repérer la température en °C et la convertir en tension. A l'aide d'un convertisseur analogique numérique, on transforme cette tension obtenue(le signal analogique) en un signal numérique permettant une visualisation sur « PC ».

##### I.V.1. Schéma général :

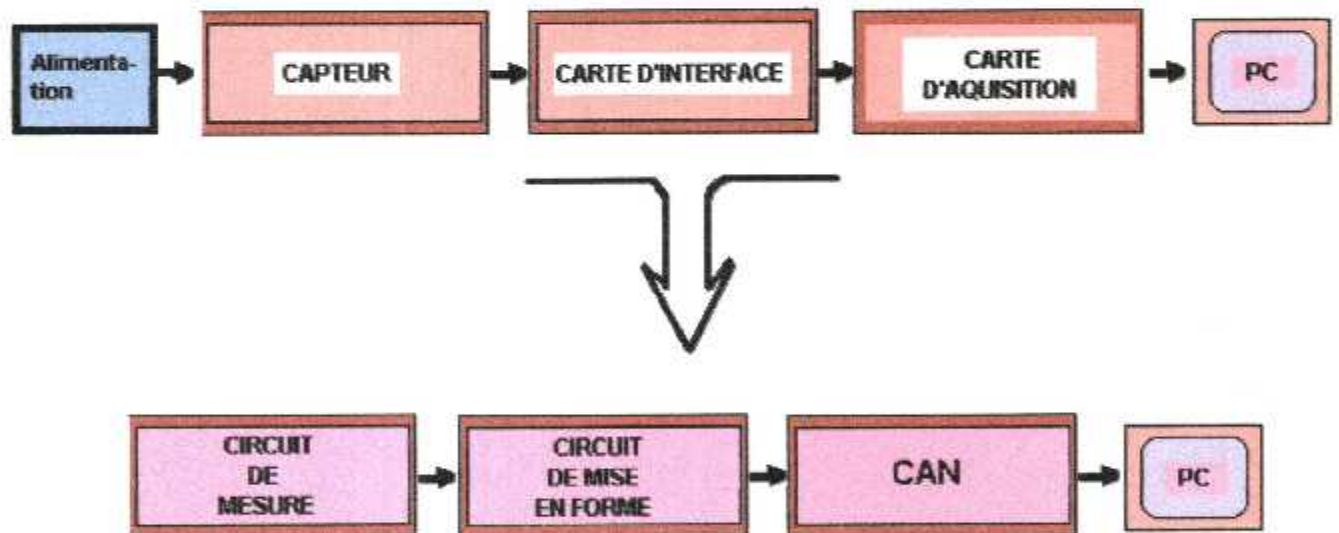


Figure n° 41: Schéma général

## I.V.2. Circuit électrique détaillé : (voir figure n°42).

### ❖ Fonctionnement des étages :

#### ➤ Principe :

Avant que la tension ne soit convertie puis envoyée vers l'ordinateur, elle passe par plusieurs circuits électroniques. Afin de réaliser toutes ces opérations on étudiera en détail les différentes étapes qui constituent le passage de la tension à travers ces circuits.

### 1. Alimentation :

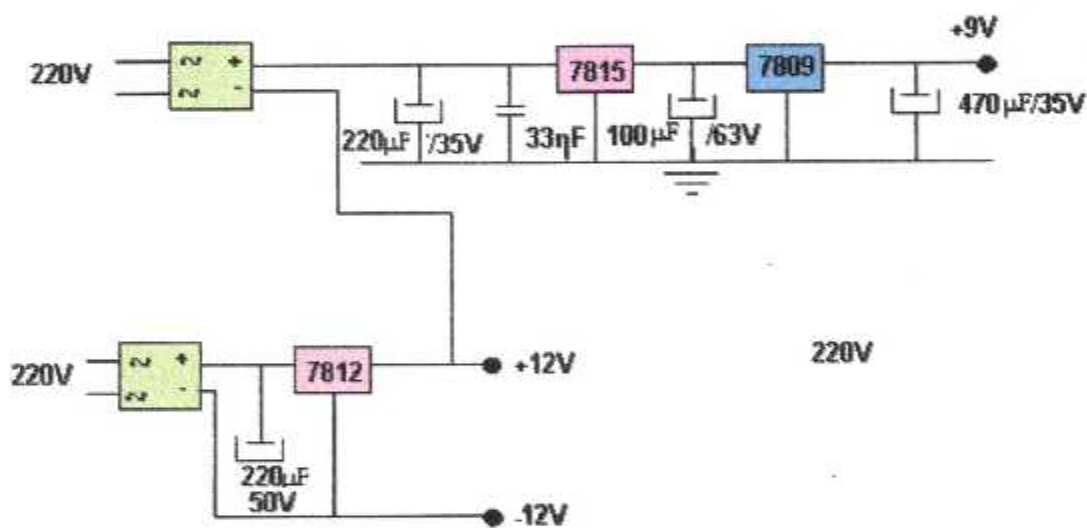


Figure n°43 : Etage d'alimentation.

C'est une source d'énergie nécessaire pour alimenter le montage. Dans notre cas, on a utilisé un transformateur qui après redressement par pont de diodes, délivre des tensions :

de 15V, 9V et 5 V.

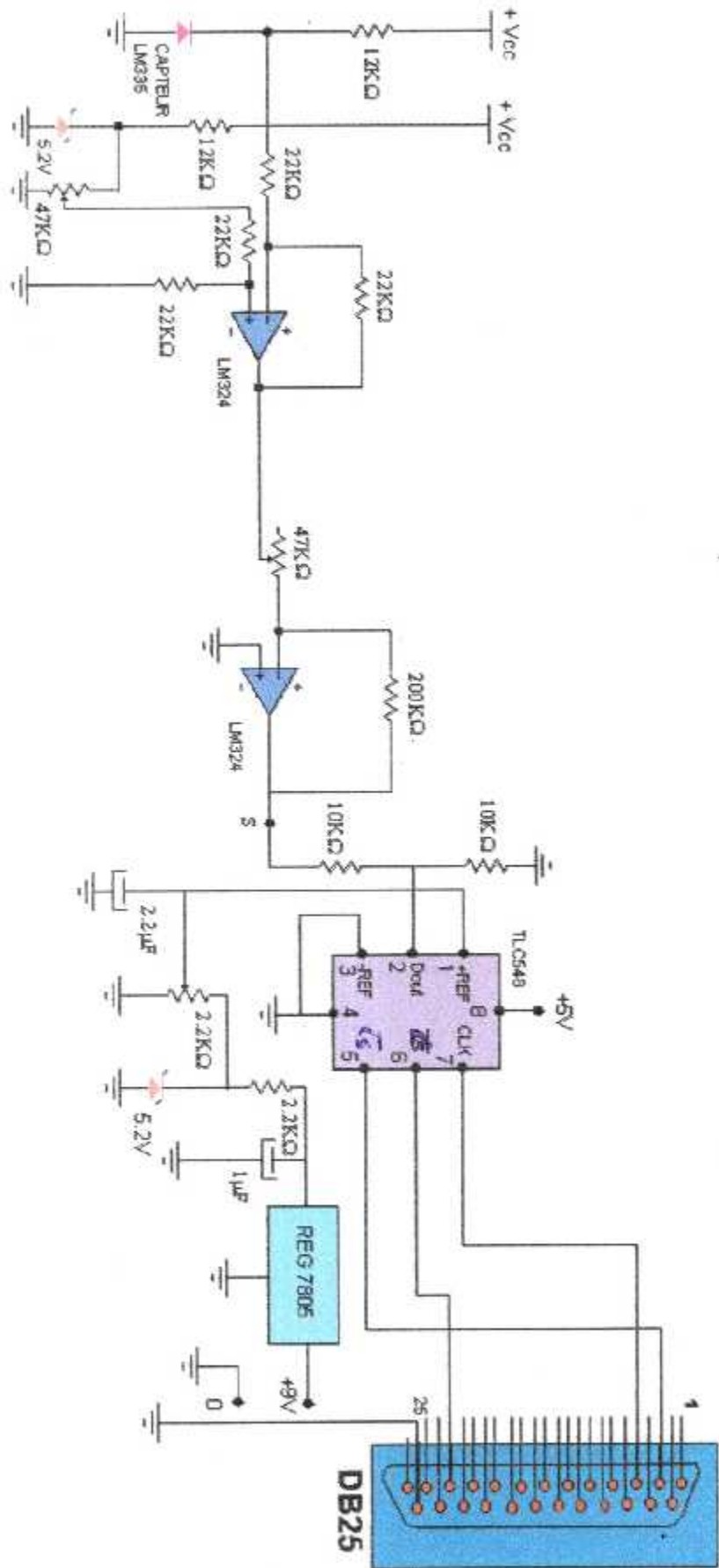


Figure n°42 : Circuit électrique détaillé .

## 2. Circuit de mesures :

La mesure s`effectue par un capteur de température , le LM335,comme il est indiqué si dessus .

### 2.1. Présentation de LM335 :

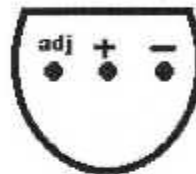


Figure n°44 :vue de dessous .

Le LM335 est un capteur de température qui délivre entre ses bornes une tension proportionnelle à la température absolue. Pour cela, il doit être traversé par un courant dont l'intensité soit :

$$400 \mu\text{A} < I < 5 \text{ mA.}$$

Le LM335 appartient à une famille de capteurs qui se distinguent par leurs plages d'utilisation:

$$\text{LM135 : } - 55 \text{ }^{\circ}\text{C} < T < +150 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

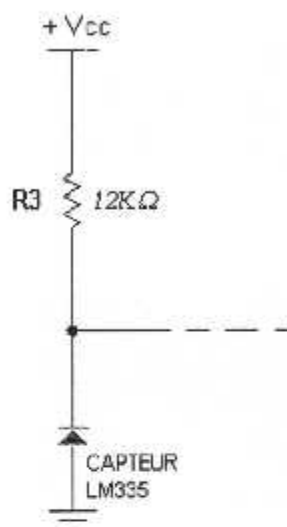
$$\text{LM235 : } - 47 \text{ }^{\circ}\text{C} < T < +125 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{LM335 : } - 40 \text{ }^{\circ}\text{C} < T < +100 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

### 2.2. Etage du capteur LM335 :

Avec un LM 335, une variation de température de 10 °C se traduit à la sortie du capteur par une variation de tension de 10 mV, ce qui nécessite la présence d'un soustracteur.





**Figure n°45** :Etage du capteur LM335

Cet étage assure une alimentation de 15V maximum. Une résistance placée à l'entrée du capteur à pour but de réduire l'intensité du courant vue la plage où fonctionne le capteur qui ne dépasse pas 5 mA .

### **3. Circuit de mise en forme :**

Il contient , un diviseur de tension, un amplificateur soustracteur et un amplificateur inverseur .

#### **3.1. La tension de référence :**

Afin de fixer la tension de sortie à 5,2v, l'utilisation d'une diode Zéner s'avère primordiale(voir figure n°46) .

- **Utilisation des diodes Zéner** : stabilisation de tension, (la tension inverse de la diode varie peu lorsque le courant inverse qui la traverse évolue notablement ) .

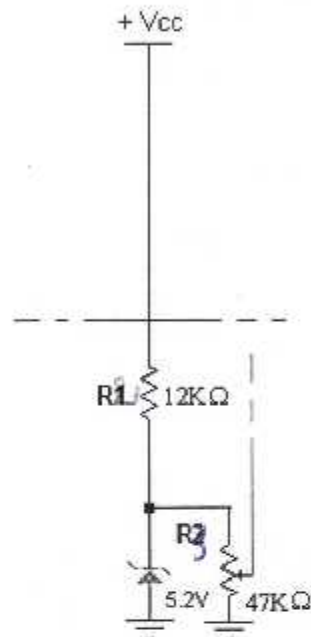


Figure n°46 : Tension de référence.

La tension de référence est obtenue par le réglage de la résistance variable R2.

### 3.2. Circuit soustracteur :

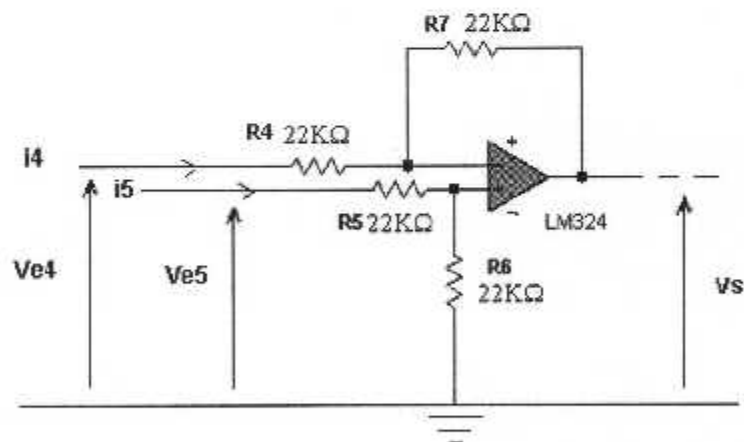


Figure n°47: Circuit soustracteur.

L'opération de soustraction d'un signal à un autre est une fonction très utilisée en électronique. Le circuit soustracteur de la figure n°47 peut assurer le rôle de circuit soustracteur de signaux

analogiques. L'hypothèse de circuit idéal pour l'amplificateur opérationnel est bien entendu conservée. On a:

$$V_{e4} = R_4 \times i_4 + R_6 \times i_5$$

$$V_{e5} = (R_4 + R_6) \times i_5$$

$$V_s = -R_7 \times i_4 + R_6 \times i_5$$

$$i_5 = V_{e5} / (R_5 + R_6)$$

$$i_4 = [ V_{e4} / R_4 - R_6 \times V_{e5} / R_4 \times (R_5 + R_6) ]$$

Donc:

$$V_s = -R_7 / R_4 \times V_{e4} + [ R_6 / R_4 \times (R_5 + R_6) ] \times (R_7 + R_4) \times V_{e5}$$

Dans le cas où :  $R_4 = R_5 = R_6 = R_7 = R$

$$V_s = V_{e5} - V_{e4}$$

### 3.3. Circuit Amplificateur inverseur :

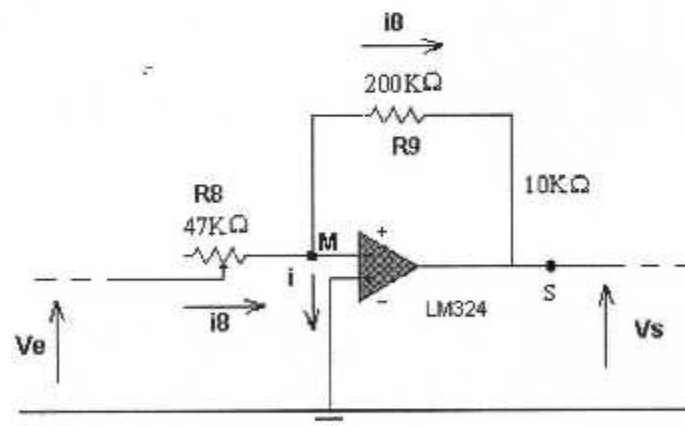


Figure n°48 : Circuit amplificateur inverseur .

L'amplificateur inverseur est schématisé par le circuit de la figure n°48.

L'attaque en tension est effectuée sur l'entrée inverseuse (-) de l'amplificateur opérationnel.

Dans le souci de simplifier les calculs, on considère que l'amplificateur opérationnel est idéal (gain en boucle ouverte infini, résistance d'entrée différentielle infinie, résistance de sortie nulle etc...). Cette considération n'est pas loin de la réalité pratique des amplificateurs opérationnels.

En prenant en compte ces hypothèses, le point **M** peut être considéré comme une masse virtuelle. Le courant **i** est nul à cause de la valeur infinie de la résistance différentielle.

**On a :**

$$i=0 ; V_{e8} = R8 \times i_g .$$

$$V_s = -R_8 \times i_g .$$

$$V_s/V_e = - R9/R8 .$$

Le gain du montage amplificateur inverseur est égal à:

$$A = - R9/R8 .$$

On remarque l'inversion de phase du signal de sortie par rapport à celui de l'entrée . C'est pourquoi on appelle ce circuit "Amplificateur inverseur".

### **3. Etage de conversion:**

La figure n°49 représente l'étage de conversion en utilisant le TLC548.

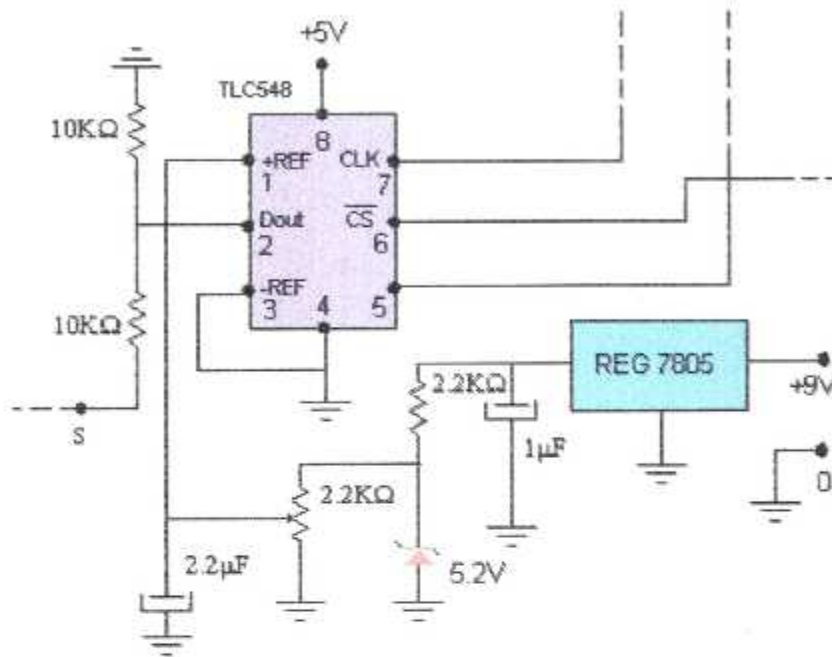


Figure n°49 : Schéma de conversion .

Le TLC548 est un convertisseur analogique numérique à approximations successives s'exprimant par un mot de 8 bits .L'acquisition de ce mot binaire s'obtient par les étapes qui suivent :

- L'entrée analogique **Dout** (pin 2) ne doit pas recevoir une tension supérieure à 5 volt d'où l'utilisation d'un étage de mise en forme de la tension qui a pour principal composant le régulateur (REG7805) et un condensateur.
- Le pin 5 (chip select) reçoit un signal qui permet d'activer le Dout pour la lecture des informations. A ce moment le signal est bas ( 0 volt).
- Le pin 7 (CLK) reçoit le signal d'horloge qui cadence la lecture des bits D0 à D7.



**5. Mise au point :**

Avant toute chose , il faut que le capteur soit étanche à l'eau et l'humidité ou tout liquide ( Alternation de la mesure ).

Plusieurs possibilités sont offertes :

- Mettre le capteur dans un tube de stylo, laissé dépassé le haut du capteur et enduire de résine le circuit électrique.
- Tremper le bas du capteur avec ses pattes dans du vernis supportant la haute température .
- Choix à l'imagination avec toujours le me principe de base .

**Réglage en 0 °C :**

- Prendre du bac de l'eau + de la glace dont la température est homogène .Tremper le capteur dans le mélange « eau + glace ».
- Placer le voltmètre au point Ampèremètre et régler le potentiomètre R2 afin d'obtenir 0V à la sortie de l'amplificateur opérationnel .

**Réglage à 100°C :**

- Mettre à bouillir de l'eau au niveau de la mer.
- Mettre le capteur dans l'eau en ébullition et régler le potentiomètre Rg afin d'obtenir une tension de 10V à la sortie du deuxième Ampli -opérationnel.

# Conclusion

Le sujet sur le quel on a travaillé répond à beaucoup de besoin dans le domaine industriel.

Sa principe caractéristique est la sensibilité à la moindre variation de température qui simule par le phénomène du chaud et du froid . Dans un moteur d'avion, la surveillance s'effectue à l'aide de transmetteurs placés aux différents endroits du circuit lubrificateur et qui permettent la lecture permanente de la valeur affichée.

Pour cela , nous avons pu réaliser une carte électronique qui, à travers deux circuit d'interface et d'acquisition, donne l'information de la température au PC dans le but d'une visualisation sur une fenêtre du DELPHI.

On vous fait savoir que le programme n'est pas encore prêt car on a trouvé des difficultés au niveau de sa mise au point, faute d'une durée de formation très lente et l'utilisation du DELPHI; (un langage de programmation qu'on a jamais usité auparavant) mais ça ne sera que partie remise.

Cela dit, on a comme appris énormément malgré que le travail ne soit incomplet.

On espère que ce travail suscitera la curiosité des futurs promotion.

# Bibliographie

## Les ouvrages

- ❖ Principes et Pratique de l'électronique Tome 1.  
Calcul des circuits et fonctions.  
AUTEUR(S) : François de Dieuleveult & Hervé Fanet.  
Edition DUNOD 1997.
  
- ❖ Principes et Pratique de l'électronique Tome 2.  
Fonctions numériques et mixtes.  
AUTEUR(S) : François de Dieuleveult & Hervé Fanet.  
Edition DUNOD 1997.
  
- ❖ Manuel de l'étudiant DELPHI.  
Langage de base et Applications.  
AUTEUR : M. Berdou.  
BERTI Editions 2000.
  
- ❖ Manuel des interfaces.  
AUTEUR : Steve Leisbon.  
Edition DUNOD.
  
- ❖ Training Manual CFM56\_7B.  
LINE MAINTENANCE TRAINING COURSE.  
-Electronique Pratique.  
AUTEUR(S) : J.M.Fouchet & A. Perez-Mas.  
Edition DUNOD 1999.
  
- ❖ Les amplificateurs opérationnels.  
Fonctionnement et applications.  
ENAG EDITIONS 1994.



## Les Thèses

- ❖ Visualisation graphique des barres de tendances tangage et roulis à l'aide d'un PC.  
Réalisée par : Khelladi Abdelnour.  
Ben Cherif Nouredine.  
Encadrée par : Mr A .Benouared.  
Mr A .Belmechri.  
Promotion:2000-2001.
  
- ❖ Système de surveillance d'un circuit de graissage.  
Réalisée par : Brahmi Mourad.  
Touaïbia AbdelGhani.  
Encadrée par : Mr A .Benouared.  
Promotion:2000-2001.
  
- ❖ Régulateur et Affichage d'une température s une cabine d'avion.  
Présentée par :Ben Della AbdelAziz.  
Djeziri Nourdine.  
Encadrée par : Mr A .Benouared.  
Promotion:Juin 1990.
  
- ❖ Testeur de jonction RS232.  
Proposé par : Mr Meliani . Med.  
Dirigé par : Mr Alioua Nabil.  
Présenté par : Belkheroubia Ramdane.  
Oualid Samir.  
Session : 1996-1997.
  
- ❖ Etude et réalisation d'une carte 8 entrées pilotée par « PC ».  
Dirigé par : M . Merrouche Lazhar.  
Présenté par :Mlle.Chentir.  
Promotion : Juin 2000.

## Réseau Internet

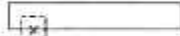
Recherches effectuées avec un moteur de recherche assez courant et très fructueux. En voici quelques sites web :



<http://www.labinal.com/>  
<http://www.messier-bugatti.com/>  
<http://www.techspace-aero.be/>  
<http://www.sofrance.com/>  
<http://www.turbomeca.com/>  
<http://www.hurel-hispano.com/>  
<http://www.cinch.com/>

[http://www.snecma.com/fr/group/markets/aero\\_civil/aircraft\\_equipment/index.php](http://www.snecma.com/fr/group/markets/aero_civil/aircraft_equipment/index.php) - top  
[http://www.snecma.com/fr/group/markets/aero\\_civil/aircraft\\_equipment/index.php](http://www.snecma.com/fr/group/markets/aero_civil/aircraft_equipment/index.php) - top

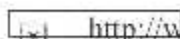
<http://www.hispano-suiza-sa.com/>  
<http://www.techspace-aero.be/>  
<http://www.hurel-hispano.com/>  
<http://www.www.snecma-moteurs.com/>  
<http://www.messier-bugatti.com/>



<http://www.hispano-suiza-sa.com/>  
<http://www.messier-bugatti.com/>  
[http://www.snecma.com/fr/group/markets/helicopters/engine\\_equipment/index.php](http://www.snecma.com/fr/group/markets/helicopters/engine_equipment/index.php) - top  
[http://www.snecma.com/fr/group/markets/helicopters/engine\\_equipment/index.php](http://www.snecma.com/fr/group/markets/helicopters/engine_equipment/index.php) - top

<http://www.snecma-services.com/>  
[http://www.techspace-aero.be](http://www.techspace-aero.be/)  
<http://www.messier-dowty.com/>  
<http://www.messier-bugatti.com/>  
<http://www.messierservices.com/>  
<http://www.messier-dowty.com/>  
<http://www.messier-bugatti.com/>  
<http://www.labinal.com/>  
<http://www.messierservices.com/>

[http://www.snecma.com/fr/group/markets/aero\\_civil/landing\\_systems/index.php](http://www.snecma.com/fr/group/markets/aero_civil/landing_systems/index.php) - top  
<http://www.snecma-services.com/>  
<http://www.techspace-aero.be/>



[http://www.snecma.com/fr/group/markets/aero\\_civil/engine\\_services/index.php](http://www.snecma.com/fr/group/markets/aero_civil/engine_services/index.php) - top  
[http://www.snecma.com/fr/group/markets/aero\\_civil/engine\\_services/index.php](http://www.snecma.com/fr/group/markets/aero_civil/engine_services/index.php) - top

# Annexes

# Annexe 1

## Explication du circuit d'huile du CFM56 (chapitre I)

<b>Anglais</b>	<b>Français</b>
Oil tank	réservoir d'huile
Antileakage valve	valve anti-fuite
Oil supply pump	pompe de refoulement
Supply oil filter	filtre de refoulement
By-pass valve	soupape de colmatage
Pop out indicator	indicateur visuel
Pressure relief valve	soupape de protection
Scavenge oil pump	pompe d'aspiration
Check valve	valve de contrôle
Chip detector	détecteur de limaille
Lubrication unit	unité de lubrification
Scavenge oil filter	filtre d'aspiration
Rear sump	palier arrière
Forward sump	palier avant
TGB	boite de transfert
AGB	boite de commande d'accessoires
Differential pressure switch	interrupteur à pression différentielle
Heat exchanger	échangeur de chaleur principal
Servo fuel heater	réchauffeur de carburant d'asservissement
Supply circuit	circuit de refoulement
Scavenge circuit	circuit d'aspiration
vent circuit	circuit de dégazage



## Glossaire

Asservissement: relation entre deux grandeurs physiques dont l'une impose ses variations à l'autre sans être influencée par elle.

Asynchrone: tout ce qui se produit dans des intervalles de temps différents.

Aspiration: action d'aspirer, attire de l'air dans une voie de transmission.

Bande passante: gamme de fréquence sur laquelle le message peut être transmis.

Canal: agent ou moyen de transmission.

Commande: instruction.

Centronics: constructeur d'imprimante.

Dégazage: action de dégazer, éliminer l'air ou le gaz occlus dans un liquide.

Détecteur de limaille: (chip detector), il empêche les bouts de métaux ferreux et non ferreux de passer aux pompes.

Echangeur de chaleur: il utilise le carburant par processus de convection forcé (transfert de chaleur) pour diminuer la température de l'huile et le refroidir.

FEM :force électromotrice.

Fibre optique: filament ou fibre en matière diélectrique destinée à guider les ondes électromagnétiques dans les domaines du visible ou de l'infrarouge.

Filtre de refoulement: il a pour rôle d'enlever et de garder les matériaux désirés du circuit d'alimentation, ainsi il protège l'écoulement aval d'une éventuelle contamination.

Interface: jonction entre deux éléments d'un système informatique permettant un transfert d'informations.

Ordinateur: calculateur permettant d'effectuer des ensembles complexes d'opérations mathématiques ou logiques.

Processeur: partie d'un ordinateur qui interprète et exécute les instructions.

Refoulement: action de refouler, faire reculer, repousser.

Reservoir: il a pour rôle de garder une quantité suffisante d'huile et d'alimenter continuellement le circuit de distribution (cependant on peut effectuer un remplissage si nécessaire).

Soupape anti-fuite: elle a pour rôle d'éviter une fuite totale (vidange du reservoir). Elle agit par effet de pression, elle est retenue par un ressort de rappel. Quand le moteur est en marche, la pompe refoule l'huile sous pression, un pick-up de la conduite de refoulement des paliers t avant et arrière est dirigé vers la soupape anti-fuite pour actionner l'ouverture de la valve sous pression. A l'arrêt, la pression n'a pas d'effet sur la valve d'ou l'utilité du ressort qui ramene la valve sur la position fermée.

Transducteur : dispositif qui transforme une grandeur physique en une autre grandeur physique l'un en fonction de l'autre.

Transmetteur : indicateur.

Unité de lubrification: elle a pour rôle de pomper l'huile sous pression vers les paliers et le récupere pour une réutilisation.

## Abréviations

AGB:boîte de commande d'accessoires.

ARINC : Organisme de Gestion des systèmes.

ASCII: American standard code for Information Interchange (code américain standard pour l'échange ).

CAN:convertisseur analogique numérique.

CNA: convertisseur numérique analogique.

DNL: erreur de linéarité différentielle.

DUE:unité d'affichage électronique .

EEC : Electronic Engine Control(système de régulation électronique numérique à pleine autorité).

EPP: exchanged parallel port.

ECP: exchanged capabilities port.

FEM:force électromotrice.

INL.: erreur de linéarité intégrale.

LBU: unité de lubrification

LPT: Line print.

LSB: least significant bit;bit de poids faible.

$A_i$ :Bits d'entrées.

C : Condensateur.

$D_i$  : diodes.

$e(t)$  :Tension analogique .

$e^*(t)$  :Tension numérique .

$F_e$  :Fréquence d'échantillonnage.

$F_{\max}$  : Fréquence maximum.

H :Horloge.

$K_i$  :Intérupteurs.

N :Nombre d'impulsions.

n:Nombre de bits.

Q :Pas de quantification (quantum).

$R_i$  :Résistances.

RAZ :Remise à zéro.

S(t) :Tension numérisée.

$S_i$  :Bits de sortie.

$t_i$  :Temps.

$V_i$  :Tensions internes du schéma électrique.

$V_e$  : Tension d'entrée.

$V_s$  :Tension de sortie.

$V_{\max}$  :Tension maximale.

$\pm V_{\max}$  : Plage de la tension d'emploi.

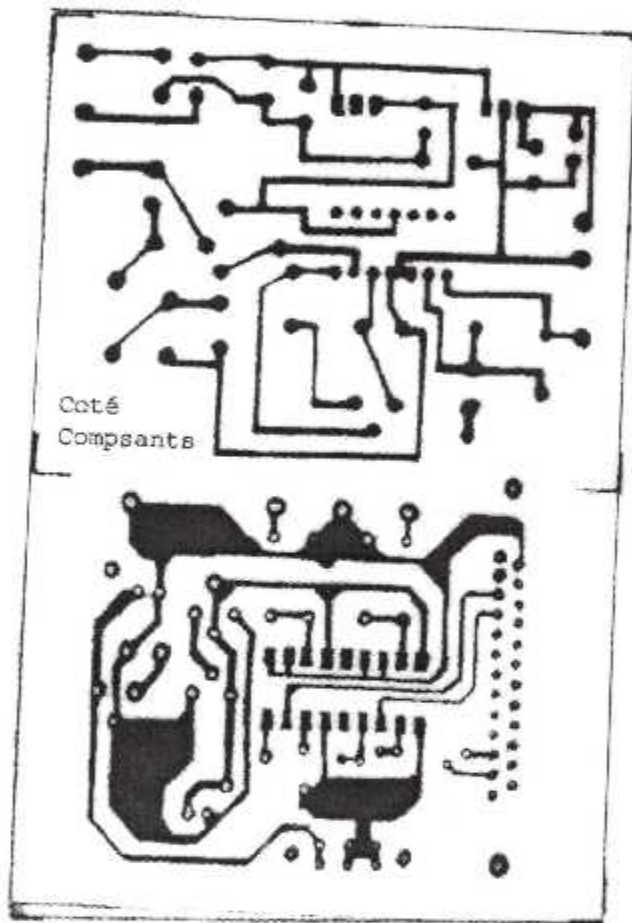
$\hat{\delta}$  :Période d'une impulsion.

# Annexe 2





**Vue de dessus de la carte**



Circuit imprimé de la carte réalisée ( côté composants ).

# NOMENCLATURE

## Resistances :

2.2K $\Omega$	1
10K $\Omega$	2
12K $\Omega$	2
22K $\Omega$	4
47K $\Omega$	2
200K $\Omega$	1

## Potentiomètres:

2.2K $\Omega$	1
470K $\Omega$	1

## Diode Zener:

5.2V	2
------	---

## Condensateurs :

1 $\mu$ F	1
22 $\mu$ F	1
220 $\mu$ F	2
470 $\mu$ F	1
33 $\eta$ F	1

Connecteur male DB25

Transformateur

## Convertisseur A/N :

TLC 548	1
---------	---

## Capteur de température :

LM335

## Les regulateurs de tension :

REG 7805	1
REG 7809	1
REG 7815	1
Ponts de diode	
AL154	1
B250C	1

# Annexe 3

# Grandeurs électriques et unités de mesure

## Généralités:

La mesure joue un rôle de premier plan en électronique et, pourrait-on ajouter, un rôle de plus en plus important, à tel point qu'elle constitue désormais une discipline à part entière.

On mesure avec pour but:

- La **vérification expérimentale** d'un circuit,
- La **modélisation**, la **mise au point** ou le **dépannage** d'un montage,
- La **certification** d'un procédé ou d'un produit, dans le domaine industriel...

Plusieurs types d'appareils de mesure sont utilisés par l'électronicien, notamment:

- Le **voltmètre**, pour mesurer des tensions,
- L'**ampèremètre**, pour mesurer des intensités,
- L'**ohmmètre**, pour mesurer la valeur des résistances.

Ces trois appareils sont souvent regroupés en un seul, qu'on appelle le **multimètre**.

Le multimètre possède en outre, dans la plupart des cas, un testeur de diodes et un testeur de continuité. Certains modèles sont de plus dotés d'un testeur de transistors (pétamètre), d'un capacimètre (pour mesurer la capacité des condensateurs), etc.

Parmi les autres appareils de mesure couramment utilisés en électronique, on doit encore mentionner:

L'**oscilloscope**, qui permet de visualiser la forme d'une onde et d'obtenir de nombreux renseignements (amplitude, période, etc.).

Le **fréquencemètre**, qui permet de déterminer la fréquence, et donc la période, d'un signal périodique.

Le **générateur de fonctions**, s'il n'est pas à proprement parler un instrument de mesure, fait cependant partie, lui aussi, des appareils qu'on trouve dans tout bon laboratoire d'électronique.

## Pourquoi mesurer ?

Il est important de prendre la bonne habitude de relever systématiquement le plus grand nombre de mesures sur un montage, même très simple, et de comparer ces valeurs aux valeurs théoriques, obtenues par le calcul.



La mesure reste en effet, bien souvent, le seul moyen de vérifier le fonctionnement ou les performances d'un dispositif et, en outre, de comprendre la cause d'un dysfonctionnement ou d'une panne éventuelle. C'est aussi un moyen quasi incontournable lorsque l'on désire améliorer les performances d'un montage.

On ne doit pas non plus négliger son aspect purement pédagogique, la mesure étant devenue, aussi bien dans les laboratoires de recherche que dans l'industrie, une activité de plus en plus importante et complexe, grâce notamment à l'informatique.

Nous n'évoquerons ici (et encore, très succinctement!) que les plus élémentaires des mesures, à la portée d'un débutant. Il faut savoir que les laboratoires disposent maintenant d'appareils extrêmement sophistiqués, pilotés par ordinateurs. On peut ainsi, par exemple, mesurer simultanément plusieurs paramètres d'un véhicule en marche à l'aide d'une centrale d'acquisition reliée à un ordinateur.

### Les grandeurs électriques:

Les principales grandeurs électriques qu'un électronicien est amené à mesurer sont les suivantes:

- la tension, ou la d.d.p. entre deux points,
- l'intensité d'un courant,
- la résistance d'un récepteur,

la puissance dissipée.

### Les unités de mesure:

Le **volt** (V) est la différence de potentiel (d.d.p.) entre deux points d'un circuit lorsqu'une quantité de courant égale à 1 coulomb perd entre ces deux points une énergie de 1 joule. (La quantité de courant est définie comme le produit de l'intensité par le temps.) On utilise fréquemment des sous-multiples du volt: le millivolt (mV) et le microvolt ( $\mu$ V), respectivement un millième et un millionième de volt.

L'**ampère** (A) mesure l'intensité d'un courant. Par comparaison, il sera l'équivalent du litre/seconde pour un liquide. Sa définition scientifique exacte est sensiblement plus complexe et dépasse de loin le cadre de cet ouvrage. On peut cependant ajouter qu'un courant de 1 ampère produit une d.d.p. de 1 volt aux bornes d'une résistance de 1 ohm.

L'**ohm** mesure la résistance d'un récepteur, c'est-à-dire la propriété de ce dernier de s'opposer au passage du courant. La loi d'Ohm établit une relation très remarquable entre la tension  $U$ , l'intensité  $I$  et la résistance  $R$ , puisque la résistance est égale au quotient de  $U$  par  $I$ . Il s'agit là d'une loi fondamentale en électronique. Connaissant deux des termes de l'équation, il devient très facile d'en déduire le troisième.

Le **farad** (F) est défini comme la capacité d'un condensateur lorsqu'il contient une quantité de courant (on dit: une charge) de 1 coulomb et que la tension à ses bornes est de 1 volt. Dans la pratique, on n'utilise que des sous-multiples du farad: le microfarad ( $\mu F$ ), le nanofarad (nF) et le picofarad (pF), correspondant à 10 puissance -6, -9 et -12, respectivement, d'un farad. Il est à noter qu'on n'utilise jamais, pour le farad, le sous-multiple milli (un millième).

Le **watt** (W) exprime la puissance, c'est-à-dire la quantité d'énergie dégagée, sous forme de chaleur, par un récepteur en un temps donné, plus précisément une quantité d'énergie de 1 joule pendant 1 seconde. On voit que la puissance a partie liée avec la différence de potentiel et, grâce à la loi d'Ohm, on peut dire que la puissance  $P$  est égale au quotient du carré de la tension  $U$  par la résistance  $R$ , ou encore au produit de la résistance  $R$  par le carré de l'intensité  $I$ . Ajoutons que, d'un point de vue pratique, le calcul de  $P$  est très important pour déterminer les caractéristiques d'un composant. De la même manière qu'un tuyau d'une canalisation hydraulique doit être capable de supporter les pressions auxquelles il sera soumis, sous peine d'éclater, une banale résistance doit pouvoir "supporter" la puissance qu'elle véhiculera.

La **fréquence** ( $f$ ) d'un signal périodique est le nombre de cycles qui se répètent en 1 seconde, un cycle, ou **période** ( $t$ ), étant l'intervalle qui sépare deux points consécutifs pour lesquels la valeur et le sens de la variation sont identiques. Dans le cas d'un courant alternatif de forme sinusoïdale, par exemple le 230 V du secteur, la cycle correspond à l'alternance positive et à l'alternance négative. Ce cycle se reproduisant à l'identique 50 fois par secondes, la fréquence est donc de 50 Hz et la période de 1/50ème de seconde, ou 0,02 s, soit 20 ms.

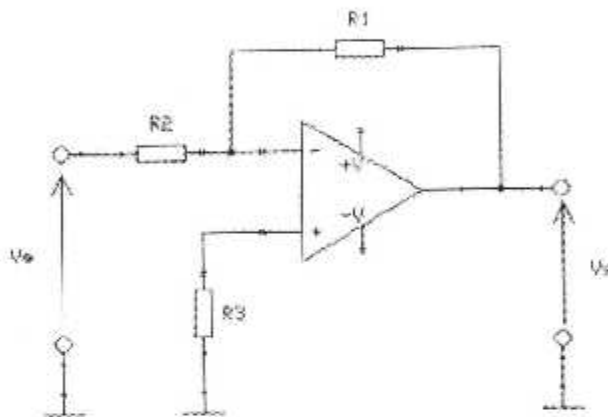
GRANDEUR	symbole	UNITE	symbole
Tension	U	volt	V
Force électromotrice	E	volt	V
Intensité	I	ampère	A
Résistance	R	ohm	$\Omega$
Impédance	Z	ohm	$\Omega$
Puissance	P	watt	W
Puissance apparente	S	volt-ampère	VA
Capacité	C	farad	F
Quantité d'électricité	Q	coulomb	C
Inductance	L	henry	H
Période	t	seconde	s
Fréquence	f	hertz	Hz
Température	T	degré Celsius	$^{\circ}C$
Quantité de chaleur	Q	joule	J
Force	F	newton	N
Pression	P	pascal	Pa
Intensité lumineuse	I	candela	cd
Eclairement	E	lux	lx

préfixe	giga	méga	kilo	milli	micro	nano	pico
symbole	G	M	k	m	$\mu$	n	p
multiplicateur	$10^9$	$10^6$	$10^3$	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$	$10^{-12}$

# Annexe4

# Schémas de base d'applications des amplificateurs opérationnels

## Amplificateur Inverseur

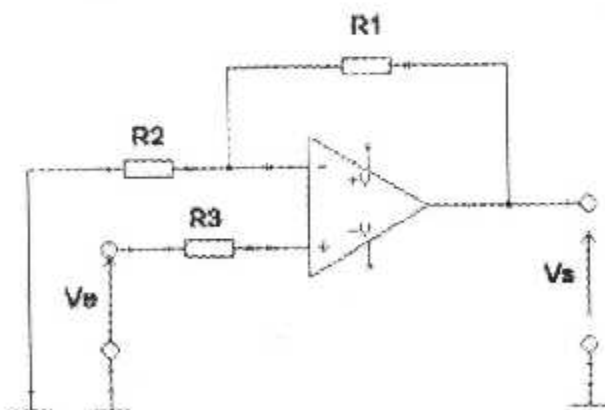


La résistance d'entrée est égale à  $R2$

$$\text{Gain : } \frac{Vs}{Ve} = -\frac{R1}{R2}$$

$$\text{Valeur de } R3 : \frac{R1.R2}{R1 + R2}$$

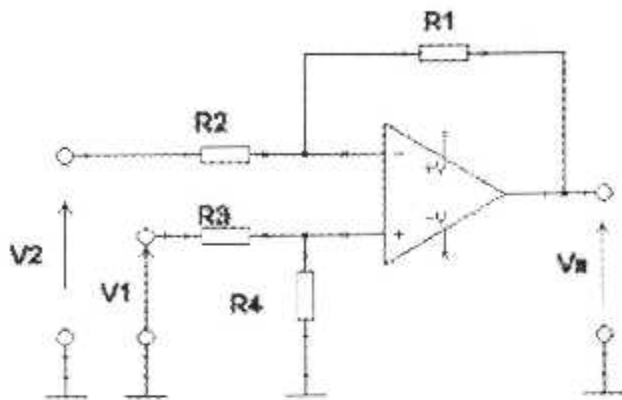
## Amplificateur non Inverseur



$$\text{Gain : } \frac{Vs}{Ve} = \frac{R1 + R2}{R2}$$

$$\text{Valeur de } R3 : \frac{R1.R2}{R1 + R2}$$

## Amplificateur Différentiel



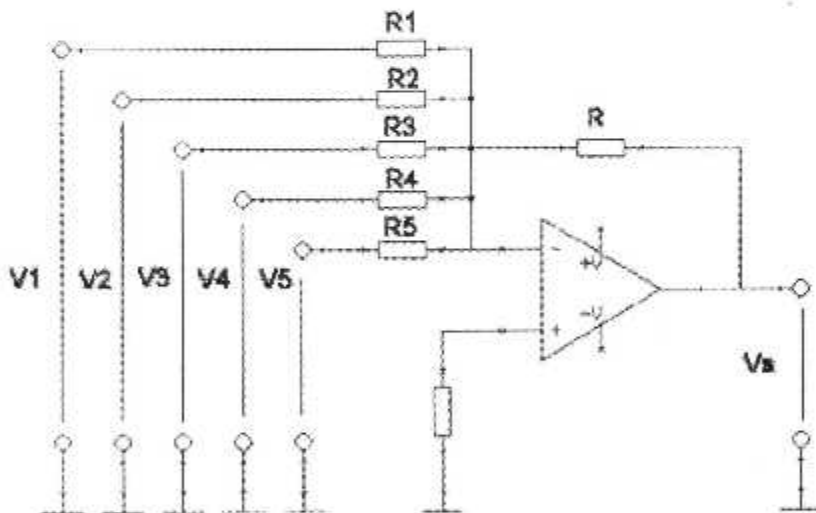
on respecte la condition

$$\frac{R2}{R1} = \frac{R3}{R4}$$

on aura alors :

$$Vs = \frac{R1}{R2}(V1 - V2)$$

## Amplificateur Additionneur



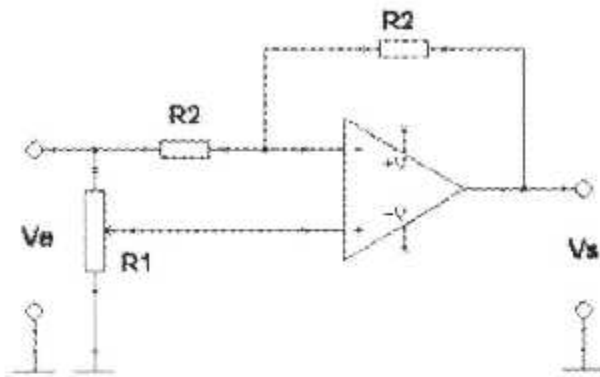
Valeur de la tension de sortie

$$Vs = -R \sum_{i=1}^n \frac{Vi}{Ri}$$

---

Inverseur / non inverseur



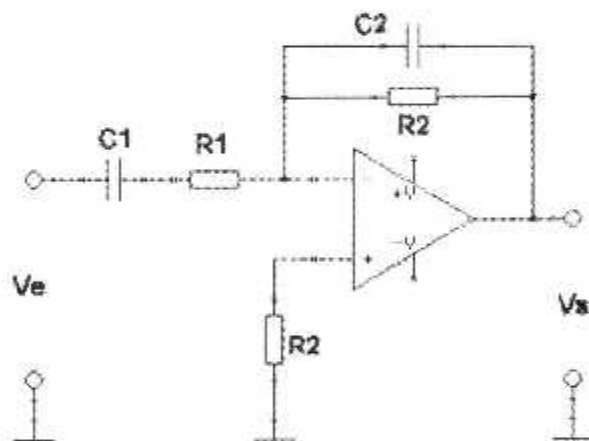


Le gain du montage est compris entre -1 et 1, selon le réglage du potentiomètre.

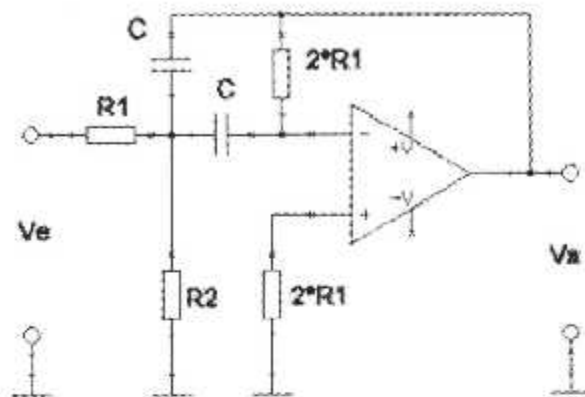
$$\text{Gain : } \frac{V_s}{V_e} = 2x - 1$$

x est la position du curseur, comprise entre 0 et 1.

### Filtre passe-bande à faible surtension



### Filtre passe-bande à forte surtension



Il arrive fréquemment d'oublier des formules de base, ou de chercher le montage qui pourrait solutionner un problème donné. Nous vous proposons un patchwork de rubriques dans lesquelles vous pourrez trouver ce qui vous manque. Mais surtout pas d'emballer, il y a beaucoup de travail pour arriver à constituer une petite base digne de ce nom.

### L'ART DE L'AMPLI OPERATIONNEL

Dans les montages où le transistor tenait autrefois le premier rôle, l'amplificateur opérationnel occupe maintenant une place capitale. Ce livre traite des informations nécessaires pour comprendre le fonctionnement de ce composant et pour concevoir ses montages. Le composant et ses principales utilisations, 200 schémas, graphiques et exercices

### CONCEPTION DES MONTAGES ELECTRONIQUES A AMPLIS OP

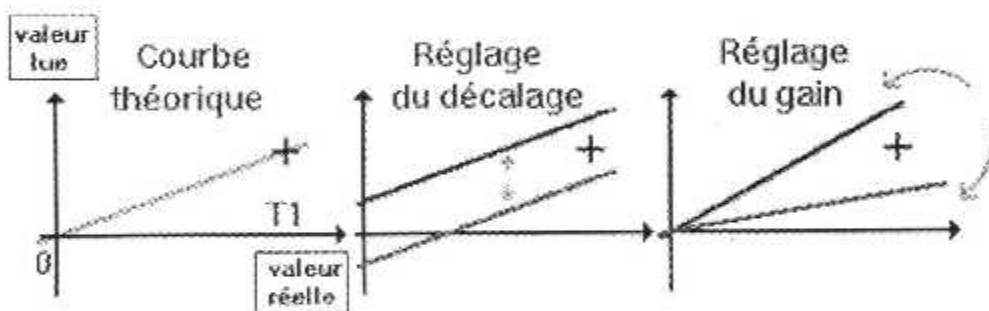
L'amplificateur opérationnel est le composant de base grâce auquel tout est permis. Ce nouveau cours dit tout ce qu'il faut savoir, donne de nombreux trucs, explique les finesses des montages de base, qu'il aborde par leurs fondations théoriques et pratiques, rappelle les caractéristiques les plus importantes des amplificateurs opérationnels, et reprend, avec l'oeil du praticien, le comparateur, le trigger de Schmitt, les sommateurs, soustracteurs, amplificateurs, etc.

## Généralités :

La mesure de la température est une opération relativement complexe : la démarche habituelle consiste à utiliser un capteur analogique, qui délivre une grandeur électrique (courant, tension) proportionnelle à la température ; il existe plusieurs solutions possibles : thermocouple, jonction d'une diode alimentée à courant constant, thermistance (mais avec un problème de linéarité), circuit spécialisé tel que le célèbre LM335 ou son cousin le LM35 ; le capteur est le plus souvent suivi d'un dispositif de mise en forme (amplification, offset, correction de la linéarité).

Sauf dans le cas d'un affichage analogique (galvanomètre), il est la plupart du temps nécessaire de le faire suivre par un convertisseur analogique / numérique (qui peut d'ailleurs être très rudimentaire), l'information obtenue étant destinée à un système informatique au sens large (PC, microcontrôleur, etc.).

Il reste ensuite un autre aspect assez délicat à envisager, l'étalonnage du dispositif. Cela revient à ajuster deux paramètres :



- le réglage du zéro : l'utilisateur impose au capteur une première température de référence (le plus simple :  $0^{\circ}\text{C}$ ) et ajuste un décalage (auquel on ne touchera plus par la suite) de manière à faire coïncider la valeur théorique et la valeur affichée.
- le gain du dispositif amplificateur (ou atténuateur) : on impose alors une seconde température de référence et l'on ajuste la sensibilité du système pour que la nouvelle valeur affichée corresponde à la seconde référence. À une variation de  $n$  degrés du capteur, correspondra une variation de  $n$  degrés de la valeur affichée.

Si le système est bien linéaire, le réglage est terminé, mais il aura fallu pour cela disposer d'un thermomètre étalon précis ce qui n'est pas toujours le cas. À défaut de ce dernier, on peut utiliser deux températures de références universelles : la glace fondante ( $0^{\circ}\text{C}$ ) et l'eau bouillante ( $100^{\circ}\text{C}$ ) ; cela présuppose alors que l'on se trouve approximativement au niveau de la mer, avec une pression atmosphérique dite "standard".

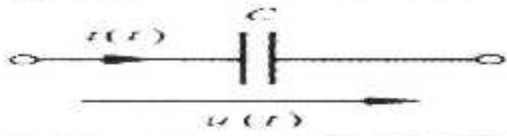
La réalisation de la partie analogique devra être soignée ; cette dernière impose d'ailleurs certaines contraintes : résistances et amplificateurs opérationnels de précision, présence d'une alimentation symétrique, étalonnages réguliers, etc.

# Annexe 5



# LES CONDENSATEURS

Selon la *Méthode d'analyse*, M. J. NEUENSCHWANDER

SYMBOLE*	
FONCTION*	<p>La fonction générique d'un condensateur est celle d'un réservoir de tension électrique après lui avoir déplacé les électrons de ses électrodes métalliques. Ce qui signifie que la tension aux bornes du condensateur varie en fonction du courant de charge ou de décharge qui lui est imposé. Si aucun courant ne circule, le condensateur conserve la tension à ses bornes au moment de l'arrêt.</p>
SPECIFICATIONS TYPES*	<p>Capacité nominale <math>C</math> [F], Tension de service [V], Tolérance [%], Facteur de pertes <math>\text{tg}\delta</math> et coefficient de températures [1/K].</p>
TECHNOLOGIE	<p>Il est composé de deux électrodes métalliques séparées par un isolant. Ce système est réalisé soit par des feuilles enroulées, empilées ou placées de manière tubulaire. Une métallisation d'une plaquette de céramique est également une technique utilisée.</p> <p>Ils sont protégés des influences extérieures par une couche de vernis, un enrobage de masse isolante (résine) ou un boîtier d'aluminium.</p>
UTILISATIONS	<p>Dans les alimentations comme condensateurs de filtrage.</p> <p>Ils servent également de liaisons ou de découplages pour bloquer une composante continue et favoriser le passage de la composante alternative (ou signal) d'une tension.</p> <p>Ils composent les circuits résonnants associés aux bobines.</p> <p>Peuvent encore déparasiter, compenser une charge inductive ou servir au démarrage de moteurs.</p>
METHODE DE CONTRÔLE*	<p>A l'ohmmètre, seul les condensateurs de grandes valeurs peuvent laisser apparaître le courant initial, sinon uniquement un court-circuit peut être identifié.</p> <p>A l'oscilloscope, le suivi d'un signal peut indiquer une défaillance d'un condensateur. Sinon, seuls les capacimètres donnent une valeur en Farad pour vérifier le composant.</p>

## Condensateur - capacité :

Lorsque deux surfaces conductrices sont placées l'une vers l'autre et soumises à une tension électrique, nous constatons une accumulation de charges électriques dans l'espace isolant qui les séparent. Tout composant qui présente une telle propriété est un condensateur.



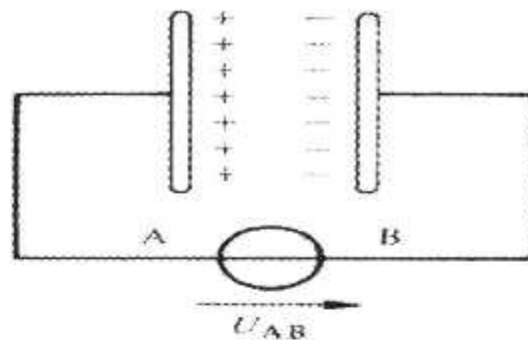


Fig. 2.4

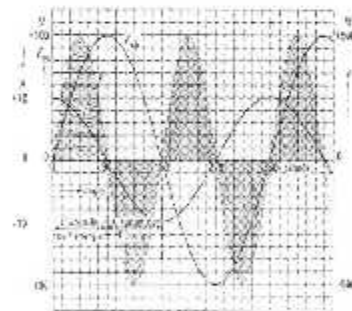
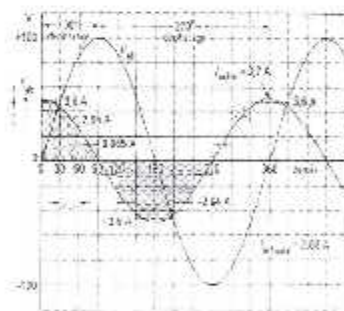
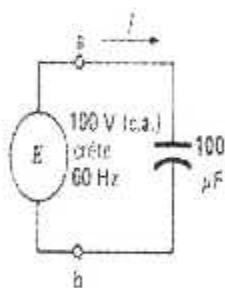
Nous pouvons dire également qu'un condensateur est caractérisé par la propriété de conserver une tension à ses bornes après avoir déplacé une certaine quantité de charges électriques présentes dans les électrodes, soit:

$$\text{Capacité} = \frac{\text{Quantité d'électricité déplacée}}{\text{Tension à ses bornes}} = \frac{Q}{U} = \frac{I \times t}{U}$$

---- [F = As/V]

Un condensateur qui présente une tension de 1 volt à ses bornes après lui avoir fait déplacé un courant de 1 ampère pendant 1 seconde possède une capacité de 1 Farad.

Ce phénomène est une accumulation locale d'énergie qui n'est pas dissipée en chaleur comme dans une résistance, mais qui peut au contraire être restituée.



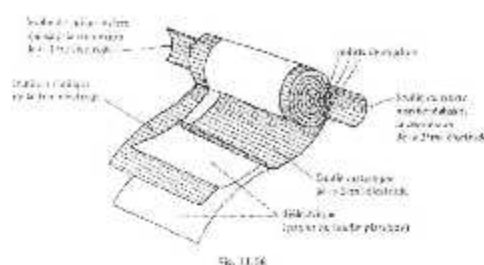
Cliquer sur le bouton droit de la souris pour afficher l'agrandissement de l'image.

La valeur nominale de la capacité dépend essentiellement des dimensions des surfaces, de la distance les séparant ainsi que de la nature du matériau isolant (diélectrique) utilisé.

La permittivité relative exprime en fait de combien de fois le phénomène de capacité est meilleur (ou plus grand) que le vide d'air ou l'air libre. Une

permittivité relative de  $\epsilon_r = 8$  pour un diélectrique signifie que l'on obtient une capacité 8 fois plus grande, pour les mêmes dimensions, que si les électrodes n'étaient séparées que par de l'air.

Pour obtenir des condensateurs de grande capacité, il est indispensable de disposer d'une grande surface commune aux deux électrodes avec une faible distance entre elles et d'un diélectrique à haute permittivité relative.



Ce qui pose des contraintes de résistance à l'isolation (rigidité diélectrique) et d'encombrement.

De plus, le diélectrique doit posséder des performances en stabilité vis-à-vis de la température, du vieillissement ou de la fiabilité (variation de capacité en %).

De manière générale, la durée de vie d'un condensateur diminue avec l'accroissement de la tension appliquée et de la température ambiante.

### Tension de service

Un condensateur est prévu pour fonctionner de manière permanente avec une tension relativement précise. La tension de service est une caractéristique aussi importante que la valeur nominale de capacité et est toujours indiquées sur le composant.

La valeur indiquée sur le boîtier représente généralement la valeur maximale en régime permanent pour laquelle les spécifications du condensateurs restent valables. La pratique nous montre que les valeurs mesurées dans les circuits électroniques sont situées aux alentours de 60% de la tension de service.

### Résistance d'isolement et facteur de pertes

Tout diélectrique utilisé pour la réalisation de condensateurs ne peut avoir des caractéristiques idéales. Un léger courant de fuite est inévitable si une tension est appliquée et nous pouvons parler de résistance d'isolement du diélectrique (donné en méga ohm). Cette résistance d'isolement diminue avec le vieillissement, il peut également dépendre des conditions climatiques. D'autre part, lorsque le condensateur est utilisé en alternatif, l'énergie nécessaires aux molécules du diélectrique pour suivre le changement de sens du champ électrique entraîne une puissance moyenne consommée et perdue. Ces pertes, appelées "par hystérésis électrique", sont à peu près proportionnelles à la fréquence.

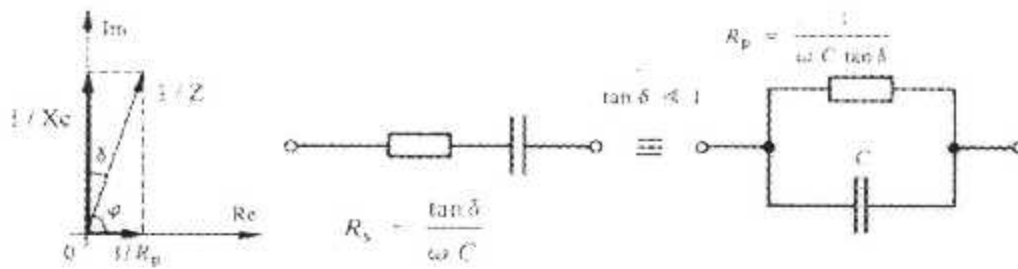


Fig. 11.14

L'ensemble des pertes par courant de fuite et par hystérésis peut être symbolisée par une résistance et imaginée soit en série  $R_s$ , soit en parallèle  $R_p$ . Les fabricants nous donnent le facteur de pertes qui est en fait le rapport de la puissance perdue avec la puissance réactive idéale.

Le facteur de pertes est important en régime alternatif et peut s'exprimer par le rapport trigonométrique des vecteurs de tensions comme illustrés sur l'image ci-dessus.

### Schéma équivalent :

Si nous observons d'un peu plus près le comportement d'un condensateur dans un circuit électronique, nous obtenons un schéma équivalent plus complet.

Comme pour les résistances, le mode de fabrication et la présence inévitable des fils de connexions entraînent l'apparition d'une composante inductive, appelée inductivité propre  $L$ .

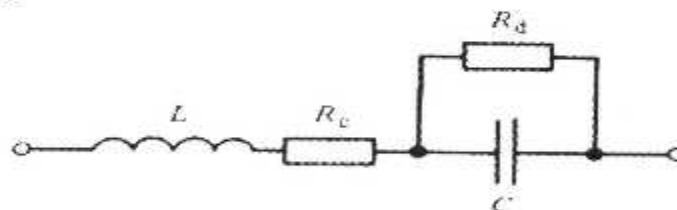


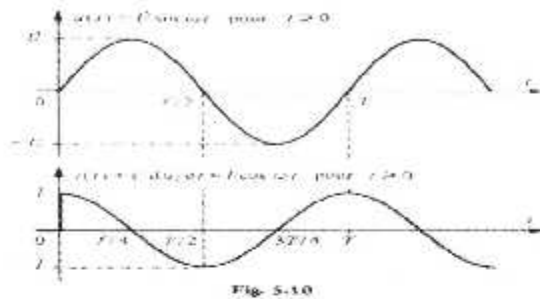
Fig. 11.15

La résistance  $R_c$  représente les résistances des connexions, la résistance  $R_d$  la valeur équivalente due aux pertes dans le diélectrique et  $C$  la valeur de la capacité admise idéale.

### En régime permanent (sinusoïdal) :

Lorsque nous voulons connaître le comportement d'un composant en alternatif, nous pouvons aisément le mesurer à l'aide d'appareils électroniques simples: Générateurs de signaux, oscilloscopes, multimètres.

Le régime permanent le plus pratique pour l'analyse en alternatif est obtenu avec un signal sinusoïdal. Nous pouvons nous attendre à ce que le condensateur ait un comportement similaire avec un signal usuel (audio, vidéo, data,...).



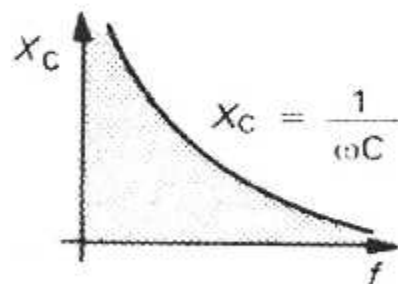
Nous constatons que la tension et le courant ont la même forme mais sont décalés l'un par rapport à l'autre de 90 degrés ou d'un quart de période. Le courant dans le condensateur est en avance sur la tension à ses bornes lorsqu'il est alimenté en alternatif.

Il faut noter que si nous avons l'impression qu'un courant traverse le condensateur, il s'agit en fait du déplacement des électrons des électrodes métalliques et qu'il n'y a bien sûr aucun courant dans le diélectrique.

### B2.7 Réactance capacitive

Le comportement du condensateur en fonction de la fréquence amène une grande variation du rapport tension-courant. Lorsque la fréquence tend vers zéro, l'amplitude du courant est pratiquement nul et la capacité se comporte comme un circuit ouvert.

A l'inverse, lorsque la fréquence est élevée, c'est l'amplitude de la tension qui tend vers zéro et la capacité se comporte comme un court-circuit.

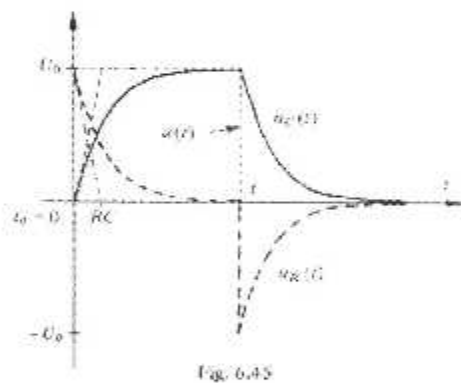
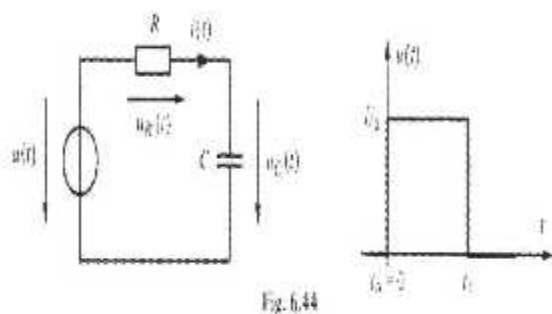


Nous parlons de réactance capacitive  $X_C$  exprimé en ohm  $[\Omega]$  pour illustrer le comportement du condensateur en fonction de la fréquence. Cette propriété va permettre de réaliser des circuits électroniques qui sauront trier des fréquences ou empêcher une plage de fréquence de passer, comme dans le cas des filtres passe-haut par exemple.

## B2.8 Régime impulsionnel

Il est utile de connaître (ou d'analyser) le comportement d'un condensateur en régime impulsionnel lorsqu'il est utilisé avec des signaux digitaux et également pour étudier ce qui se passe au moment de l'enclenchement (parfois au moment du déclenchement).

Nous parlons de phénomènes transitoires et pouvons les mesurer avec un signal de "saut à l'unité", ou simplement en situation de ON -OFF. Considérons le circuit simplifié ci-dessous et observons son comportement par la forme des diverses tensions et du courant dans le circuit.



La forme du courant dans le circuit est identique à la tension aux bornes de la résistance car la loi d'ohm reste valable  $i(t) = u_R(t) / R$ . Notons que la tension sur la résistance change de polarité selon que le condensateur est en régime de charge ou de décharge. Cette propriété est utilisée pour réaliser des circuits électroniques capables de détecter une différence de tension (différenciateurs) ou pour déclencher des systèmes.

La vitesse du phénomène transitoire visible dépend de la constante de temps du circuit donné par le produit de  $R$  et  $C$ , exprimé par la lettre grecque Tau:  $\tau = R \times C$  [s].



## B2.9 Circuit oscillant

Les condensateurs sont souvent associés aux bobines dans les circuits électroniques. Ils peuvent être couplés soit en série soit en parallèle, le résultat est le même. Chacun de ces composants emmagasine de l'énergie l'un sous forme électrostatique et l'autre électromagnétique.

Le condensateur et la bobine emmagasinent l'énergie à tour de rôle; ces deux composants s'échangent mutuellement de l'énergie électrique en jeux. Cet échange se fait à une vitesse bien précise. Elle dépend de la valeur des composants L et C.

Si nous regardons l'évolution du courant dans le circuit série dès l'enclenchement de l'alimentation nous constatons que l'échange est de forme sinusoïdale dont la fréquence se calcule d'après la formule  $\omega^2 \times L \times C = 1$ , avec  $\omega = 2 \times \pi \times f$ . Elle est appelée fréquence d'oscillation  $f_0$  ou fréquence de résonance  $f_r$ .

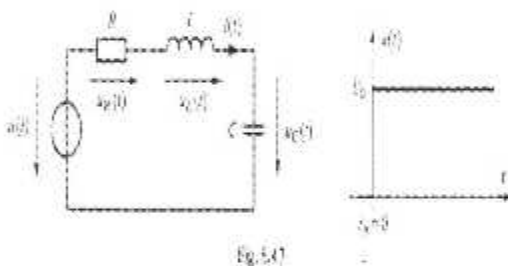


Fig. 5.47

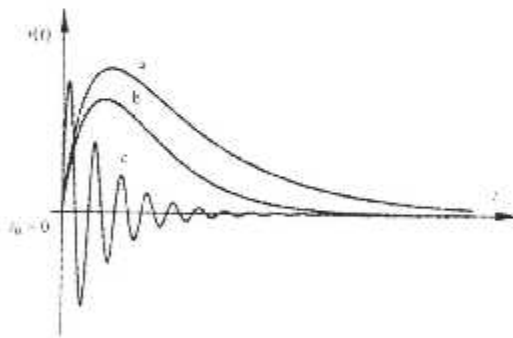
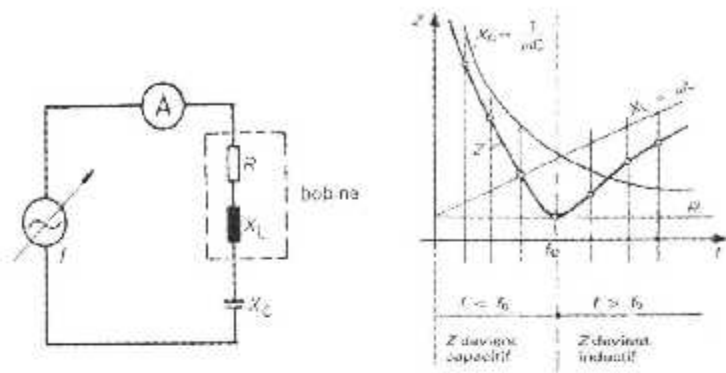


Fig. 5.48

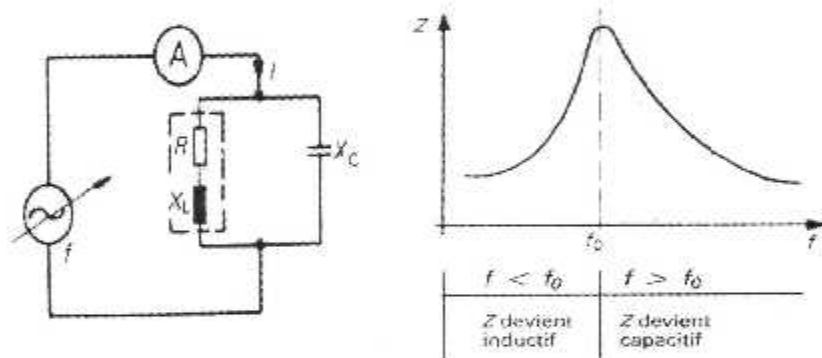
Un circuit oscillant, appelé également circuit RLC, est le siège d'oscillations dites amorties si la valeur de la résistance totale du circuit ne dépasse pas une valeur critique. Pour la courbe a le circuit est appelé sur-critique, la courbe b critique et la courbe c oscillation amorties.

Cette propriété oscillante en fait des circuits qui varient d'impédance apparente en fonction de la fréquence.

Un circuit oscillant série présente une petite impédance à la fréquence d'oscillation et une grande impédance pour toutes les autres fréquences.



Un circuit oscillant parallèle présente une grande impédance à la fréquence d'oscillation et une petite impédance pour toutes les autres fréquences.

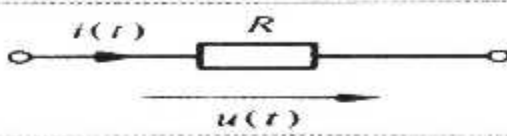


Les circuits oscillants peuvent donc choisir une fréquence parmi d'autres ce qui est énormément utilisé en électronique de télécommunication.

# Annexe 6

# LES RESISTANCES

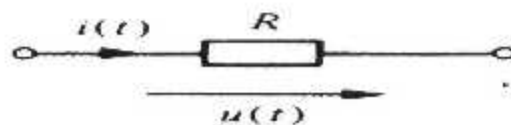
Première approche :

Selon la <i>Méthode d'analyse</i> , M. J. NEUENSCHWANDER	
SYMBOL E*	
FONCTION*	La fonction dominante d'une résistance est de s'opposer au passage des électrons, donc au passage du courant. Une résistance obéit en général assez fidèlement à la loi d'ohm, ce qui signifie que la tension aux bornes varie proportionnellement au courant qui la traverse, soit $u(t) = f(i(t))$ .
SPECIFICATIONS TYPES*	Résistance nominale R [W]. Tolérance [%] et Puissance maximale P [W]. D'autres caractéristiques peuvent être exigées, comme une stabilité en température, par exemple.
TECHNOLOGIE	La résistance nominale est obtenue par le choix du matériau résistant, par sa quantité et par sa géométrie. Le matériau résistant peut être soit bobiné, soit aggloméré ou soit déposé en couche sur un support isolant. Le choix dépend des conditions d'utilisation du composant.
UTILISATIONS	Pour obtenir un échauffement (corps de chauffe) ou <u>en série</u> : limite le courant ou crée une chute de tension et <u>en parallèle</u> : divise le courant ou représente une charge (Rch).
METHODE DE CONTRÔLE*	La mesure à l'ohmmètre donne bien sûr la valeur nominale à condition qu'elle soit effectuée lorsque le composant est mesuré seul et non relié au circuit, sans quoi le résultat ne correspond pas à la résistance mesurée. La mesure de la tension à ses bornes permet de calculer le courant la traversant. En comparant avec d'autres résistances qui lui sont liées, nous pouvons en déduire sa valeur nominale.

## Caractéristiques générales :

Par définition l'effet principal d'une résistance est son opposition au courant électrique ce qui entraîne obligatoirement une chute de tension à ses bornes. Nous pouvons dire que la résistance est un bipôle pour lequel la relation entre la tension et le courant est du type :

$$u(t) = R \times i(t) \quad \text{où}$$



$u(t)$  est la valeur instantanée de la tension aux bornes du composant et  $i(t)$  est la valeur instantanée du courant traversant le composant.

### Résistance linéaire :

Si le facteur  $R$  est constant quelque soit la tension ou le courant, nous parlons de résistance linéaire.[1]

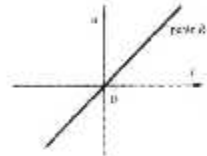


Fig. 5.1

En pratique, une résistance est stable dans une plage de fonctionnement définie à l'avance. Un fabricant d'appareils choisira tel ou tel type de composants en fonction de diverses contraintes. Par exemple la température ambiante est importante pour la conception d'un autoradio comparé à un appareil d'appartement. Les composants spéciaux qui sont conçus pour varier en fonction d'une autre grandeurs sont appelés varistances et sont présentées sur une autre page du site.

### Résistance non-linéaire :

Pour une résistance non linéaire, il peut être important de définir deux valeurs de résistances spécifiques. Une valeur dite statique et une autre dynamique.

La résistance statique est obtenue en effectuant le rapport  $U / I$  pour un point de fonctionnement donné, noté  $(U, I)$  sur le graphe ci-contre. La résistance dynamique est obtenue en effectuant le rapport des différences de tension et courants  $(\Delta u, \Delta i)$  autour du point de fonctionnement (souvent noté  $Q$ ).

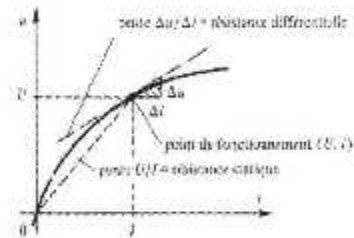


Fig. 5.3

### Puissance et énergie dissipée :

La puissance dissipée par une résistance est proportionnelle au carré du courant qui la traverse. L'énergie est dissipée en chaleur ce qui amène des problèmes de stabilités pour le composant.



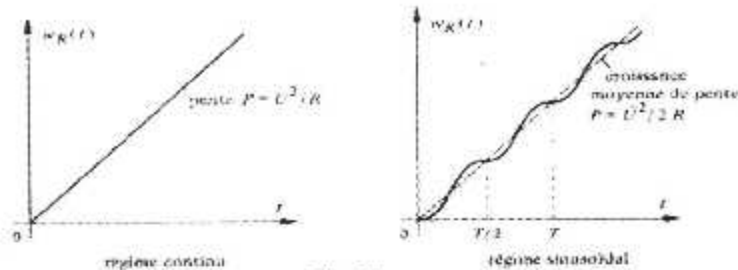


Fig. 5.7

Le graphique ci-dessus indique toutefois l'évolution de l'énergie moyenne consommée par une résistance ne variant pas de valeur nominale ( $R = \text{constant}$ ) en fonction du temps d'utilisation. Nous parlons de régime continu ou de régime permanent lorsqu'il est alimenté avec un signal sinusoïdal.

### Puissance maximale admissible :

Toute résistance parcourue par un courant est le siège d'une dissipation thermique donné par la loi de Joule.[1] La dissipation thermique peut s'imaginer par l'agitation des atomes qui se transmet de proche en proche. Ce flux de chaleur se transmet entièrement à l'environnement jusqu'à l'équilibre entre l'énergie produite et l'énergie évacuée. Pour une température de surface donnée, le flux de chaleur évacué est sensiblement proportionnel à la surface de composant considéré.[1]

De ce fait, la puissance maximale admissible d'une résistance dépendra essentiellement de sa surface d'évacuation ou des moyens de refroidissements utilisés en aide.

### Comportement avec la température :

A température ambiante, admise à 20 degrés Celsius, la valeur nominale d'une résistance dépend avant tout du matériau résistif utilisé pour sa fabrication. S'agissant souvent d'un fil ou d'une couche cylindrique, la formule impliquant la résistance spécifique du matériau, autrement dit sa résistivité  $\rho$ , et de ses dimensions est valable. Soit :

$$R = \rho \times l / A \quad [\Omega]$$

avec:  $R$  : Résistance du conducteur ou du matériau résistant  $[\Omega]$   
 $\rho$  : Résistance spécifique du matériau résistant  $[\Omega m]$   
 $l$  : Longueur du matériau résistant  $[m]$   
 $A$  : Section ou surface de conduction du matériau résistant  $[m^2]$

Toutefois, tout matériau utilisé en électricité présente une variation de sa résistance spécifique en fonction de la température. Cette variation est donnée par le coefficient de température  $\alpha$ , donné pour la température ambiante, qui **exprime** approximativement de combien varie la valeur spécifique par degré d'élévation de température.

Soit:

$$\text{avec: } RJ : \text{ Résistance à une température donnée } [W]$$

R20 : Résistance à 20 degrés [W]

$R_T = R_{20} \times (1 + a \times \Delta T)$        $a$  : Coefficient de température [1/K]  
et       $\Delta T$  : Variation de température à partir de 20 degrés [Celsius]

$\Delta T = T - 20$        $T$  : Température donnée [Celsius]

Le coefficient de température pour les métaux pur est d'environ 0,004 ainsi que pour le cuivre et l'aluminium utilisé en électronique. Il est beaucoup plus faible pour les alliages tels que le constantan ou la manganine.

Tous les semiconducteurs et le carbone ont un coefficient négatif, ce qui signifie que leur résistance spécifique diminue quand la température augmente.

### Schéma équivalent :

Les concepteurs de circuits doivent tenir compte de contraintes de tout ordre déjà cité plus haut sous les caractéristiques générales. Toutefois, il est utile de repérer quelques influences des diverses technologies sur la valeur nominale. Le mode de fabrication et la présence inévitable des fils de connexions entraînent l'apparition d'une composante inductive, appelée inductivité propre  $L$ .

Chaque paire de conducteurs auxquels est appliqué une différence de potentiel présente des courants capacitifs. Cet effet parasite est plus prononcé dans les bobinages et se nomme capacité propre  $C$ .

Le schéma équivalent ci-dessus peut être complété avec un générateur de tension de souffle, ou tension de bruit donnée en mV/V. Ce générateur est branché en parallèle avec  $C$ , lorsque de très faibles signaux sont en jeux.

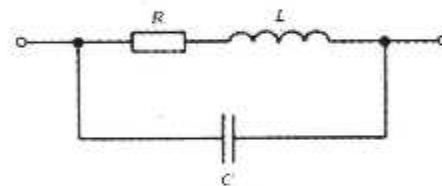



Fig. 11.6

# Annexe 7

# LES DIODES ZENER

## ou diodes stabilisatrices

Scelon la *Méthode d'analyse*, M. J. Neuschwander

SYMBOLE*	Anode  Cathode
FONCTION*	La fonction principale d'une diode zener est de maintenir une tension constante à ses bornes. Ce sont des diodes stabilisatrices de tension.
SPECIFICATIONS TYPES*	Puissance nominale PZ NOM. [W]. Tension inverse nominale UZ [V] et Courant zener maximal IZ MAX. [A].
TECHNOLOGIE	Toutes les diodes zener sont réalisées à l'aide de silicium. Les zener les plus courantes ont une PZ NOM. = 450mW
UTILISATIONS	La grosse majorité des zener sont utilisés dans des circuits de commande à peu de consommation. Egalement comme circuit de limitation ou écrêtage.
METHODE DE CONTRÔLE*	Ohmiquement, on mesure uniquement l'état de la jonction PN (ouvert ou court-circuit). Pour mesurer les valeurs principales de sa caractéristique tension-courant, il faut veiller à limiter les courants maximum admissibles.

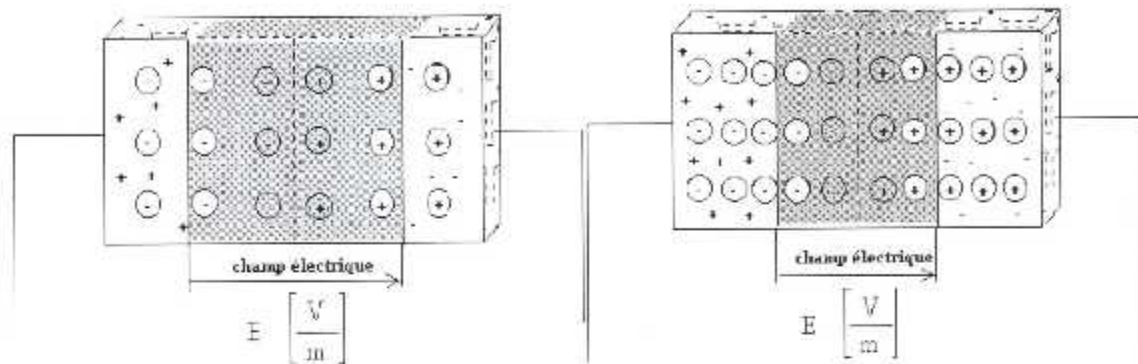
Il n'est peut-être pas inutile de préciser ici qu'un bon praticien professionnel a besoin de connaître "par cœur" les indications suivies de l'astérisque \* pour une pratique efficace du dépannage des circuits électronique

### De la diode conventionnelle à la diode zener :

Plus fortement dopée que les diodes conventionnelles, un champ électrique relativement faible devient déjà suffisamment intense pour que les liaisons de covalence s'affaiblissent et se rompent. Les porteurs de charges (des éléments de



dopage) ainsi libérés sont assez nombreux pour que le courant augmente brutalement et pour que la tension aux bornes de la diode ne varie pratiquement pas. C'est ce qui est appelé l'effet zener.



Pour d'autres diodes zener, il est possible que sous l'action du champ électrique interne, les porteurs de charges minoritaires (du silicium) de la zone isolante acquièrent une énergie telle qu'il puisse y avoir ionisation par choc, et, par effet d'avalanche, le courant croît extrêmement vite. La tension aux bornes de la diode ne varie pratiquement pas non plus. C'est ce qui est appelé effet d'avalanche.

La caractéristique tension-courant  $I_Z = f(U_Z)$  d'une diode zener résume ces phénomènes :

Dans le sens direct : (positif à l'anode)

La diode zener se comporte comme une diode conventionnelle.

**Dans le sens inverse :** (positif à la cathode)

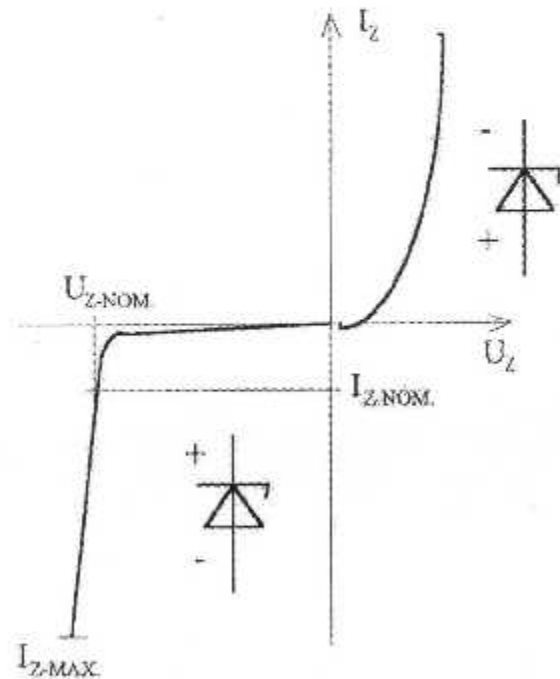
La diode présente une résistance très petite dès que la tension de claquage, ou tension zener, pour laquelle elle est construite est atteinte.

La diode est dans ce cas en conduction inverse, et il est impératif de limiter le courant par une résistance en série avec la diode, par exemple.

Retenons encore que si la tension inverse redescend en dessous de la valeur zener, la diode se bloque à nouveau.

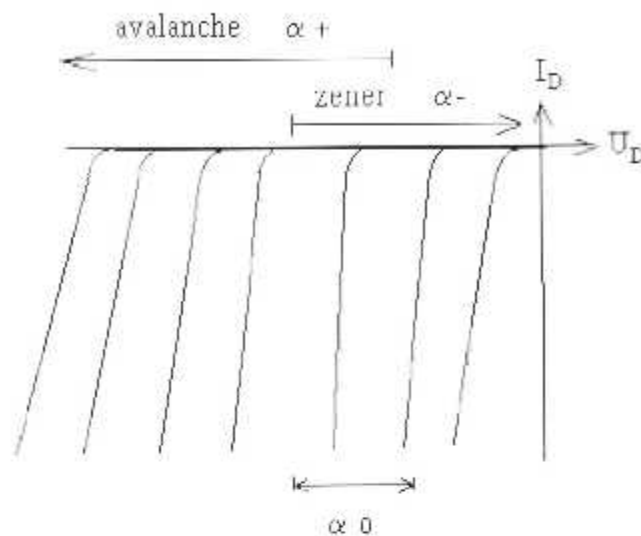
**Valeurs pratiques des tensions zener :**

En pratique, pour les diodes dont la tension zener dépasse 10V, seul l'effet d'avalanche est possible. Ce qui a pour conséquence que la caractéristique de la diode est moins franche (la pente est plus grande), et le coefficient de température est positif.





Les diodes dont la tension zener est inférieure à 5V ont une jonction très mince et seul l'effet zener peut avoir lieu, ce qui entraîne que la caractéristique de la diode est très raide et, de plus, ces diodes ont un coefficient de température négatif.



Entre 5V et 10V, les deux effets peuvent se combiner, et la caractéristique est la plus raide ainsi que le coefficient de température qui peut être proche de zéro. Ce qui signifie que les diodes zener prévues pour un fonctionnement inverse compris entre 5V et 10V seront utilisées pour un fonctionnement très stable.

Selon l'extrait d'un data-book, nous constatons qu'il est possible de rencontrer divers symboles pour la diode zener. Nous retiendrons pour notre part le symbole normalisé CEI représenté **ci-dessus**.

### Principales caractéristiques des diodes zener :

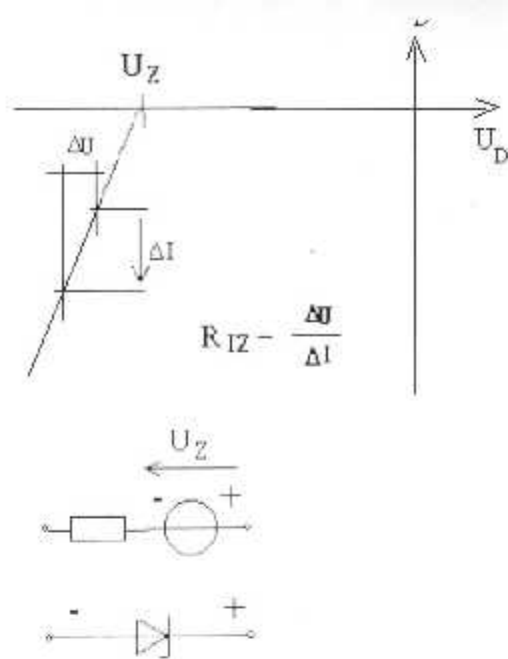
Nous pouvons repérer le fonctionnement de la diode, avec ses limites, sur la courbe caractéristique  $I_Z = f(U_Z)$  de la diode zener.

Tout d'abord, nous avons vu que la valeur zener nominale  $U_Z \text{ NOM}$  est donnée pour un courant zener nominal  $I_Z \text{ NOM}$ .

Ensuite, la diode zener présente une valeur de résistance interne dynamique très faible dans la zone de fonctionnement. En d'autres termes, pour une petite variation de la tension  $DU_Z$ , la diode modifie fortement le courant  $D_{I_Z}$  :

$$D_{I_Z} = \Delta U_Z / \Delta I_Z = 0.1 \Omega \text{ à } 1 \Omega.$$

Enfin, en connaissant la puissance maximale que peut dissiper la diode, de part ses dimensions, nous pouvons calculer le courant zener maximal qui peut traverser la diode.

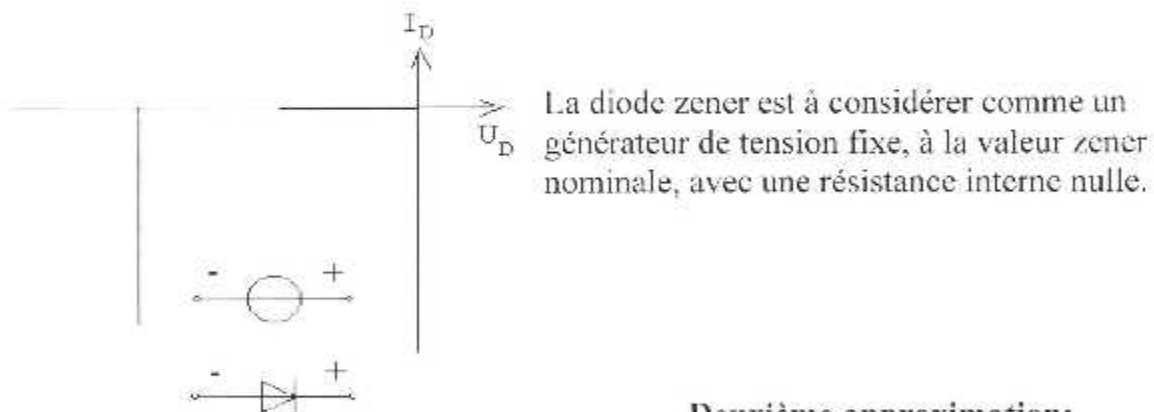


De la puissance maximale  $P_Z \text{ MAX.}$  nous tirons le courant zener maximum  $I_Z \text{ MAX.}$  .

De plus, il est possible de déterminer, comme pour les diodes conventionnelles, une valeur de résistance interne de la diode, soit de manière statique  $R_{IZ\_STAT.}$  , soit de manière dynamique  $R_{IZ\_DYN.}$  , en fonction des besoins.

Ce dernier point nous amène à considérer la diode zener selon la même technique d'approximation utilisée pour les diodes conventionnelles:

### Diode zener idéale:



### Deuxième approximation:

La diode zener est considérée comme stabilisatrice de tension, mais avec une très légère variation de tension à ces bornes.

Sa résistance interne n'étant plus tout à fait nulle, la tension (inverse) aux bornes de la diode varie légèrement.

Plus le courant qui la traverse est grand, plus la tension (inverse) à ses bornes augmente très légèrement.

En technique de dépannage, il peut être suffisant de considérer la diode zener dans un circuit comme une diode zener idéale.

Par contre, dans la conception et le calcul de circuits électroniques, il est souvent nécessaire de prendre en compte la valeur de la résistance interne  $R_{iz}$ .

### **Principales utilisations :**

Les diodes zener sont utilisées principalement pour leur propriété de maintenir une tension constante à leurs bornes :

### **Les circuits de stabilisation de tension ou "régulateur zener"**

Ces circuits permettent d'obtenir une tension de sortie constante malgré une variation de la consommation ou de la tension d'entrée.

### **Les circuits générateurs de tension de référence**

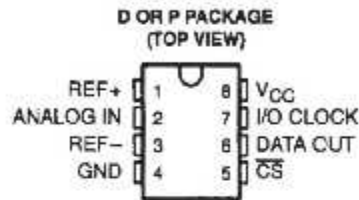
Ces circuits permettent d'obtenir, à un endroit précis, une tension qui ne change pas et qui devient une tension de référence, car elle reste fixe malgré une variation de plusieurs phénomènes comme la température, la consommation de courant, ...

# Annexes

## TLC548C, TLC548I, TLC549C, TLC549I 8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS WITH SERIAL CONTROL

SLAS067A - NOVEMBER 1983 - REVISED MARCH 1995

- Microprocessor Peripheral or Stand-Alone Operation
- 8-Bit Resolution A/D Converter
- Differential Reference Input Voltages
- Conversion Time . . . 17  $\mu$ s Max
- Total Access and Conversion Cycles Per Second
  - TLC548 . . . up to 45,500
  - TLC549 . . . up to 40,000
- On-Chip Software-Controllable Sample-and-Hold
- Total Unadjusted Error . . .  $\pm 0.5$  LSB Max
- 4-MHz Typical Internal System Clock
- Wide Supply Range . . . 3 V to 6 V
- Low Power Consumption . . . 15 mW Max
- Ideal for Cost-Effective, High-Performance Applications Including Battery-Operated Portable Instrumentation
- Pinout and Control Signals Compatible With the TLC540 and TLC545 8-Bit A/D Converters and with the TLC1540 10-Bit A/D Converter
- CMOS Technology



### description

The TLC548 and TLC549 are CMOS analog-to-digital converter integrated circuits built around an 8-bit switched-capacitor successive-approximation ADC. They are designed for serial interface with a microprocessor or peripheral through a 3-state data output and an analog input. The TLC548 and TLC549 use only the input/output clock (I/O CLOCK) input along with the chip select (CS) input for data control. The maximum I/O CLOCK input frequency of the TLC548 is 2.048 MHz, and the I/O CLOCK input frequency of the TLC549 is specified up to 1.1 MHz. Detailed information on interfacing to most popular microprocessors is readily available from the factory.

Operation of the TLC548 and the TLC549 is very similar to that of the more complex TLC540 and TLC541 devices; however, the TLC548 and TLC549 provide an on-chip system clock that operates typically at 4 MHz and requires no external components. The on-chip system clock allows internal device operation to proceed independently of serial input/output data timing and permits manipulation of the TLC548 and TLC549 as desired for a wide range of software and hardware requirements. The I/O CLOCK together with the internal system clock allow high-speed data transfer and conversion rates of 45,500 conversions per second for the TLC548, and 40,000 conversions per second for the TLC549.

#### AVAILABLE OPTIONS

T <sub>A</sub>	PACKAGE	
	SMALL OUTLINE (D)	PLASTIC DIP (P)
0°C to 70°C	TLC548CD TLC549CD	TLC548CP TLC549CP
-40°C to 85°C	TLC548ID TLC549ID	TLC548IP TLC549IP

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



Copyright © 1995, Texas Instruments Incorporated



**TLC548C, TLC548I, TLC549C, TLC549I**  
**8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS**  
**WITH SERIAL CONTROL**

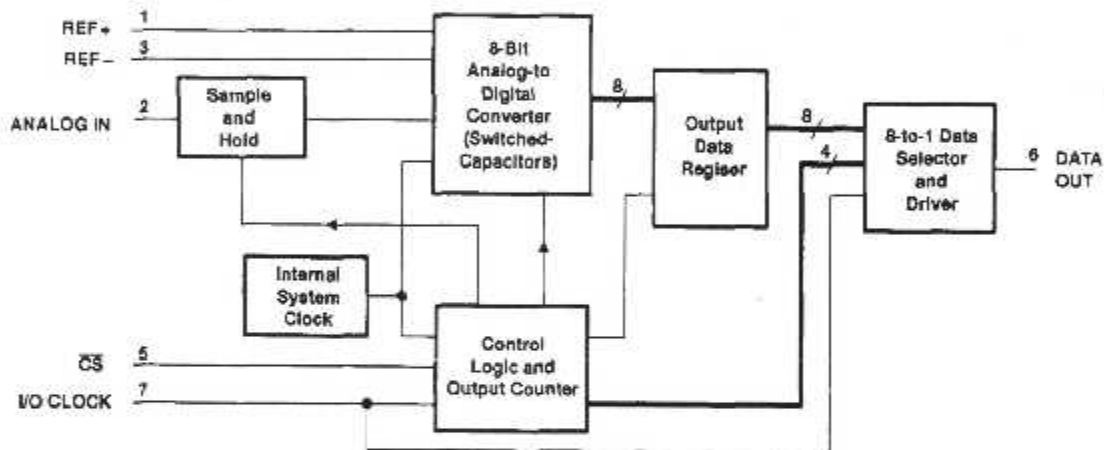
SLAS067A - NOVEMBER 1983 - REVISED MARCH 1985

**description (Continued)**

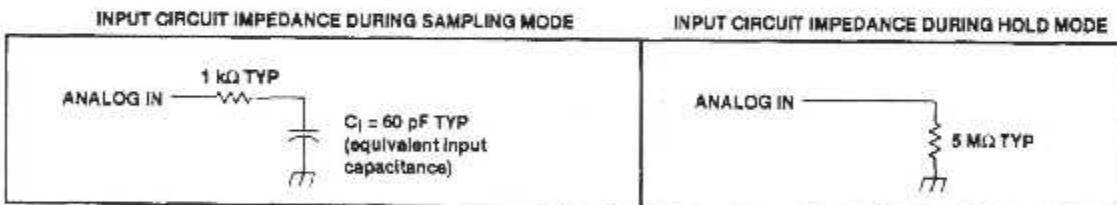
Additional TLC548 and TLC549 features include versatile control logic, an on-chip sample-and-hold circuit that can operate automatically or under microprocessor control, and a high-speed converter with differential high-impedance reference voltage inputs that ease ratiometric conversion, scaling, and circuit isolation from logic and supply noises. Design of the totally switched-capacitor successive-approximation converter circuit allows conversion with a maximum total error of  $\pm 0.5$  least significant bit (LSB) in less than  $17 \mu\text{s}$ .

The TLC548C and TLC549C are characterized for operation from  $0^\circ\text{C}$  to  $70^\circ\text{C}$ . The TLC548I and TLC549I are characterized for operation from  $-40^\circ\text{C}$  to  $85^\circ\text{C}$ .

**functional block diagram**



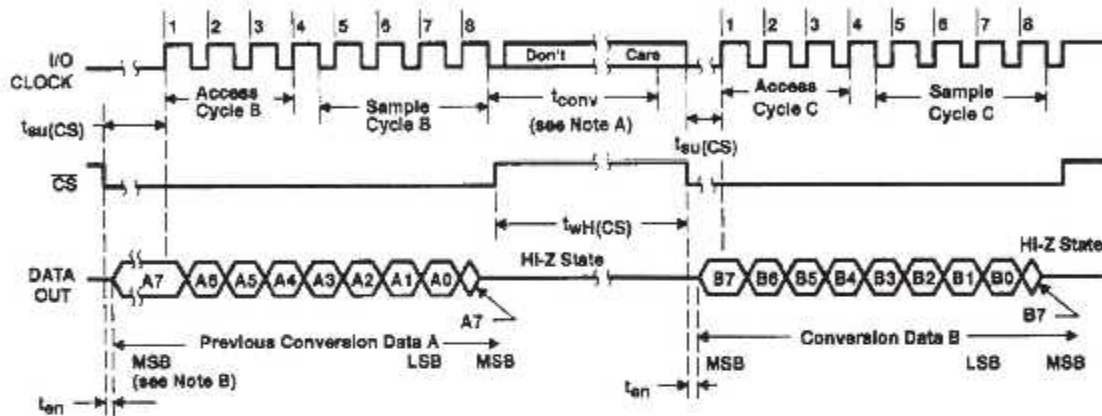
**typical equivalent inputs**



**TLC548C, TLC548I, TLC549C, TLC549I**  
**8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS**  
**WITH SERIAL CONTROL**

SLAS067A - NOVEMBER 1983 - REVISED MARCH 1995

**operating sequence**



- NOTES: A. The conversion cycle, which requires 36 internal system clock periods (17  $\mu$ s maximum), is initiated with the eighth I/O clock pulse trailing edge after  $\overline{CS}$  goes low for the channel whose address exists in memory at the time.  
 B. The most significant bit (A7) will automatically be placed on the DATA OUT bus after  $\overline{CS}$  is brought low. The remaining seven bits (A6-A0) will be clocked out on the first seven I/O clock falling edges. B7-B0 will follow in the same manner.

**absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)**

Supply voltage, $V_{CC}$ (see Note 1)	6.5 V
Input voltage range at any input	-0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Output voltage range	-0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Peak input current range (any input)	$\pm 10$ mA
Peak total input current range (all inputs)	$\pm 30$ mA
Operating free-air temperature range, $T_A$ (see Note 2):	TLC548C, TLC549C 0°C to 70°C
	TLC548I, TLC549I -40°C to 85°C
Storage temperature range, $T_{stg}$	-65°C to 150°C
Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C

- NOTES: 1. All voltage values are with respect to the network ground terminal with the REF- and GND terminals connected together, unless otherwise noted.  
 2. The D package is not recommended below -40°C.

**TLC548C, TLC548I, TLC549C, TLC549I**  
**8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS**  
**WITH SERIAL CONTROL**

SLA6067A - NOVEMBER 1983 - REVISED MARCH 1986

**recommended operating conditions**

	TLC548			TLC549			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, $V_{CC}$	3	5	6	3	5	6	V
Positive reference voltage, $V_{ref+}$ (see Note 3)	2.5	$V_{CC}$	$V_{CC}+0.1$	2.5	$V_{CC}$	$V_{CC}+0.1$	V
Negative reference voltage, $V_{ref-}$ (see Note 3)	-0.1	0	2.5	-0.1	0	2.5	V
Differential reference voltage, $V_{ref+}$ , $V_{ref-}$ (see Note 3)	1	$V_{CC}$	$V_{CC}+0.2$	1	$V_{CC}$	$V_{CC}+0.2$	V
Analog input voltage (see Note 3)	0		$V_{CC}$	0		$V_{CC}$	V
High-level control input voltage, $V_{IH}$ (for $V_{CC} = 4.75$ V to 5.5 V)	2			2			V
Low-level control input voltage, $V_{IL}$ (for $V_{CC} = 4.75$ V to 5.5 V)			0.8			0.8	V
Input/output clock frequency, $f_{clock(I/O)}$ (for $V_{CC} = 4.75$ V to 5.5 V)	0		2.048	0		1.1	MHz
Input/output clock high, $t_{WH(I/O)}$ (for $V_{CC} = 4.75$ V to 5.5 V)	200			404			ns
Input/output clock low, $t_{WL(I/O)}$ (for $V_{CC} = 4.75$ V to 5.5 V)	200			404			ns
Input/output clock transition time, $t_{f(I/O)}$ (see Note 4) (for $V_{CC} = 4.75$ V to 5.5 V)			100			100	ns
Duration of $\overline{CS}$ input high state during conversion, $t_{WH(CS)}$ (for $V_{CC} = 4.75$ V to 5.5 V)	17			17			$\mu$ s
Setup time, $\overline{CS}$ low before first I/O CLOCK, $t_{su(CS)}$ (for $V_{CC} = 4.75$ V to 5.5 V) (see Note 5)	1.4			1.4			$\mu$ s
Operating free-air temperature, $T_A$	TLC548C, TLC549C		0	70	TLC548I, TLC549I		70
			-40	85			85
							$^{\circ}$ C

- NOTES: 3. Analog input voltages greater than that applied to REF+ convert to all ones (11111111), while input voltages less than that applied to REF- convert to all zeros (00000000). For proper operation, the positive reference voltage  $V_{ref+}$  must be at least 1 V greater than the negative reference voltage  $V_{ref-}$ . In addition, unadjusted errors may increase as the differential reference voltage  $V_{ref+} - V_{ref-}$  falls below 4.75 V.
4. This is the time required for the input/output clock input signal to fall from  $V_{IH}$  min to  $V_{IL}$  max or to rise from  $V_{IL}$  max to  $V_{IH}$  min. In the vicinity of normal room temperature, the devices function with input clock transition time as slow as 2  $\mu$ s for remote data acquisition applications in which the sensor and the ADC are placed several feet away from the controlling microprocessor.
5. To minimize errors caused by noise at the  $\overline{CS}$  input, the internal circuitry waits for two rising edges and one falling edge of internal system clock after  $\overline{CS}$  before responding to control input signals. This  $\overline{CS}$  set-up time is given by the  $t_{on}$  and  $t_{su(CS)}$  specifications.

**TLC548C, TLC548I, TLC549C, TLC549I**  
**8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS**  
**WITH SERIAL CONTROL**

SLA3067A - NOVEMBER 1983 - REVISED MARCH 1986

**electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range,**  
 $V_{CC} = V_{ref+} = 4.75\text{ V to } 5.5\text{ V}$ ,  $f_{clock(I/O)} = 2.048\text{ MHz for TLC548 or } 1.1\text{ MHz for TLC549}$   
 (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
$V_{OH}$	High-level output voltage	$V_{CC} = 4.75\text{ V}$ , $I_{OH} = -360\text{ }\mu\text{A}$	2.4			V
$V_{OL}$	Low-level output voltage	$V_{CC} = 4.75\text{ V}$ , $I_{OL} = 3.2\text{ mA}$			0.4	V
$I_{OZ}$	Off-state (high-impedance state) output current	$V_O = V_{CC}$ , $\overline{CS}$ at $V_{CC}$			10	$\mu\text{A}$
		$V_O = 0$ , $\overline{CS}$ at $V_{CC}$			-10	
$I_{IH}$	High-level input current, control inputs	$V_I = V_{CC}$		0.005	2.5	$\mu\text{A}$
$I_{IL}$	Low-level input current, control inputs	$V_I = 0$		-0.005	-2.5	$\mu\text{A}$
$I_{(on)}$	Analog channel on-state input current during sample cycle	Analog input at $V_{CC}$		0.4	1	$\mu\text{A}$
		Analog input at 0 V		-0.4	-1	
$I_{CC}$	Operating supply current	$\overline{CS}$ at 0 V		1.8	2.5	mA
$I_{CC} + I_{ref}$	Supply and reference current	$V_{ref+} = V_{CC}$		1.9	3	mA
$C_i$	Input capacitance	Analog inputs			7	pF
		Control inputs			5	

**operating characteristics over recommended operating free-air temperature range,**  
 $V_{CC} = V_{ref+} = 4.75\text{ V to } 5.5\text{ V}$ ,  $f_{clock(I/O)} = 2.048\text{ MHz for TLC548 or } 1.1\text{ MHz for TLC549}$   
 (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TLC548			TLC549			UNIT	
		MIN	TYP†	MAX	MIN	TYP†	MAX		
$E_L$	Linearity error	See Note 6			$\pm 0.5$			LSB	
$E_{ZS}$	Zero-scale error	See Note 7			$\pm 0.5$			LSB	
$E_{FS}$	Full-scale error	See Note 7			$\pm 0.5$			LSB	
	Total unadjusted error	See Note 8			$\pm 0.5$			LSB	
$t_{conv}$	Conversion time	See Operating Sequence			8	17	12	17	$\mu\text{s}$
	Total access and conversion time	See Operating Sequence			12	22	19	25	$\mu\text{s}$
$t_a$	Channel acquisition time (sample cycle)	See Operating Sequence				4		4	I/O clock cycles
$t_v$	Time output data remains valid after I/O CLOCK↓				10		10		ns
$t_d$	Delay time to data output valid	I/O CLOCK↓				2000		400	ns
$t_{en}$	Output enable time					1.4		1.4	$\mu\text{s}$
$t_{dis}$	Output disable time					150		150	ns
$t_{r(bus)}$	Data bus rise time	See Parameter Measurement Information				300		300	ns
$t_{f(bus)}$	Data bus fall time	See Parameter Measurement Information				300		300	ns

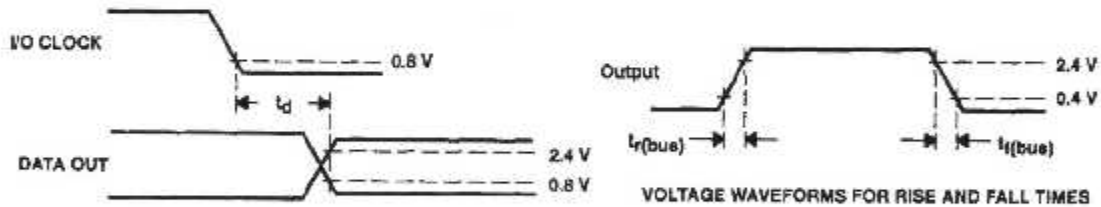
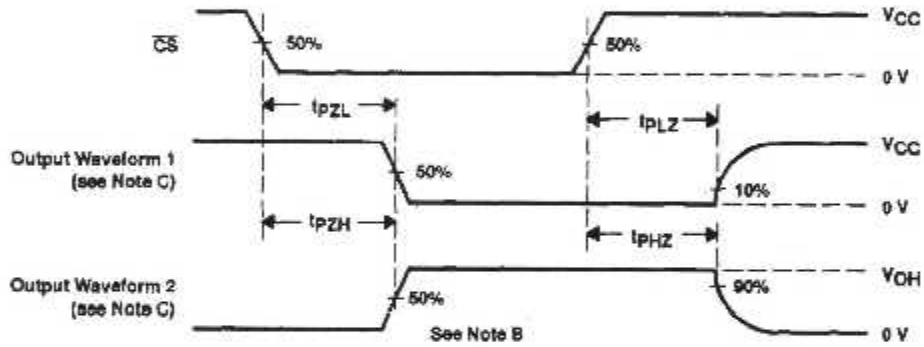
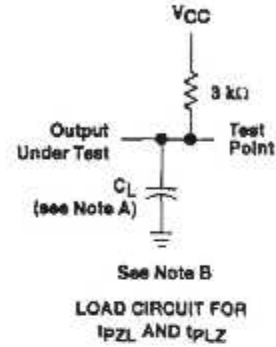
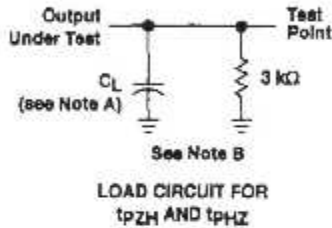
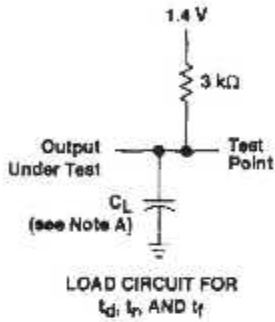
† All typicals are at  $V_{CC} = 5\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .

- NOTES: 6. Linearity error is the deviation from the best straight line through the A/D transfer characteristics.  
 7. Zero-scale error is the difference between 00000000 and the converted output for zero input voltage; full-scale error is the difference between 11111111 and the converted output for full-scale input voltage.  
 8. Total unadjusted error is the sum of linearity, zero-scale, and full-scale errors.

**TLC548C, TLC548I, TLC549C, TLC549I**  
**8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS**  
**WITH SERIAL CONTROL**

SLAS067A - NOVEMBER 1983 - REVISED MARCH 1985

**PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION**



- NOTES: A.  $C_L = 50$  pF for TLC548 and 100 pF for TLC549;  $C_L$  includes jig capacitance.  
 B.  $t_{en} = t_{pZH}$  or  $t_{pZL}$ ,  $t_{dis} = t_{pHZ}$  or  $t_{pLZ}$ .  
 C. Waveform 1 is for an output with internal conditions such that the output is low except when disabled by the output control. Waveform 2 is for an output with internal conditions such that the output is high except when disabled by the output control.



**TLC548C, TLC548I, TLC549C, TLC549I**  
**8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS**  
**WITH SERIAL CONTROL**

SLAS067A - NOVEMBER 1983 - REVISED MARCH 1995

**APPLICATIONS INFORMATION**

**simplified analog input analysis**

Using the equivalent circuit in Figure 1, the time required to charge the analog input capacitance from 0 to  $V_S$  within 1/2 LSB can be derived as follows:

The capacitance charging voltage is given by

$$V_C = V_S (1 - e^{-t_c/R_t C_1}) \quad (1)$$

where

$$R_t = R_s + r_i$$

The final voltage to 1/2 LSB is given by

$$V_C (1/2 \text{ LSB}) = V_S - (V_S/512) \quad (2)$$

Equating equation 1 to equation 2 and solving for time  $t_c$  gives

$$V_S - (V_S/512) = V_S (1 - e^{-t_c/R_t C_1}) \quad (3)$$

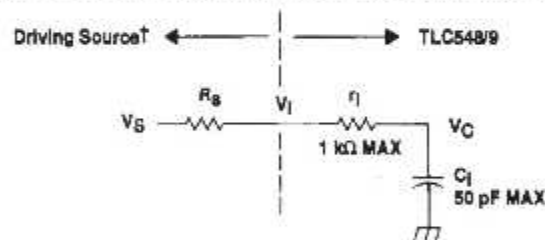
and

$$t_c (1/2 \text{ LSB}) = R_t \times C_1 \times \ln(512) \quad (4)$$

Therefore, with the values given the time for the analog input signal to settle is

$$t_c (1/2 \text{ LSB}) = (R_s + 1 \text{ k}\Omega) \times 60 \text{ pF} \times \ln(512) \quad (5)$$

This time must be less than the converter sample time shown in the timing diagrams.



$V_i$  = Input Voltage at ANALOG IN  
 $V_S$  = External Driving Source Voltage  
 $R_s$  = Source Resistance  
 $r_i$  = Input Resistance  
 $C_1$  = Input Capacitance

† Driving source requirements:

- Noise and distortion for the source must be equivalent to the resolution of the converter.
- $R_s$  must be real at the input frequency.

**Figure 1. Equivalent Input Circuit Including the Driving Source**

## TLC548C, TLC548I, TLC549C, TLC549I 8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS WITH SERIAL CONTROL

SLAS067A - NOVEMBER 1983 - REVISED MARCH 1985

### PRINCIPLES OF OPERATION

The TLC548 and TLC549 are each complete data acquisition systems on a single chip. Each contains an internal system clock, sample and hold, 8-bit A/D converter, data register, and control logic circuitry. For flexibility and access speed, there are two control inputs: I/O CLOCK and chip select ( $\overline{CS}$ ). These control inputs and a TTL-compatible 3-state output facilitate serial communications with a microprocessor or minicomputer. A conversion can be completed in 17  $\mu$ s or less, while complete input-conversion-output cycles can be repeated in 22  $\mu$ s for the TLC548 and in 25  $\mu$ s for the TLC549.

The internal system clock and I/O CLOCK are used independently and do not require any special speed or phase relationships between them. This independence simplifies the hardware and software control tasks for the device. Due to this independence and the internal generation of the system clock, the control hardware and software need only be concerned with reading the previous conversion result and starting the conversion by using the I/O clock. In this manner, the internal system clock drives the "conversion crunching" circuitry so that the control hardware and software need not be concerned with this task.

When  $\overline{CS}$  is high, DATA OUT is in a high-impedance condition and I/O CLOCK is disabled. This  $\overline{CS}$  control function allows I/O CLOCK to share the same control logic point with its counterpart terminal when additional TLC548 and TLC549 devices are used. This also serves to minimize the required control logic terminals when using multiple TLC548 and TLC549 devices.

The control sequence has been designed to minimize the time and effort required to initiate conversion and obtain the conversion result. A normal control sequence is:

1.  $\overline{CS}$  is brought low. To minimize errors caused by noise at  $\overline{CS}$ , the internal circuitry waits for two rising edges and then a falling edge of the internal system clock after a  $\overline{CS}\downarrow$  before the transition is recognized. However, upon a  $\overline{CS}$  rising edge, DATA OUT will go to a high-impedance state within the  $t_{dis}$  specification even though the rest of the integrated circuitry will not recognize the transition until the  $t_{su}(\overline{CS})$  specification has elapsed. This technique is used to protect the device against noise when used in a noisy environment. The most significant bit (MSB) of the previous conversion result will initially appear on DATA OUT when  $\overline{CS}$  goes low.
2. The falling edges of the first four I/O CLOCK cycles shift out the second, third, fourth, and fifth most significant bits of the previous conversion result. The on-chip sample and hold begins sampling the analog input after the fourth high-to-low transition of I/O CLOCK. The sampling operation basically involves the charging of internal capacitors to the level of the analog input voltage.
3. Three more I/O CLOCK cycles are then applied to the I/O CLOCK terminal and the sixth, seventh, and eighth conversion bits are shifted out on the falling edges of these clock cycles.
4. The final, (the eighth), clock cycle is applied to I/O CLOCK. The on-chip sample and hold begins the hold function upon the high-to-low transition of this clock cycle. The hold function will continue for the next four internal system clock cycles, after which the holding function terminates and the conversion is performed during the next 32 system clock cycles, giving a total of 36 cycles. After the eighth I/O CLOCK cycle,  $\overline{CS}$  must go high or the I/O clock must remain low for at least 36 internal system clock cycles to allow for the completion of the hold and conversion functions.  $\overline{CS}$  can be kept low during periods of multiple conversion. When keeping  $\overline{CS}$  low during periods of multiple conversion, special care must be exercised to prevent noise glitches on the I/O CLOCK line. If glitches occur on I/O CLOCK, the I/O sequence between the microprocessor/controller and the device will lose synchronization. If  $\overline{CS}$  is taken high, it must remain high until the end of conversion. Otherwise, a valid high-to-low transition of  $\overline{CS}$  will cause a reset condition, which will abort the conversion in progress.

A new conversion may be started and the ongoing conversion simultaneously aborted by performing steps 1 through 4 before the 36 internal system clock cycles occur. Such action will yield the conversion result of the previous conversion and not the ongoing conversion.

**TLC548C, TLC548I, TLC549C, TLC549I**  
**8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS**  
**WITH SERIAL CONTROL**

SLAS067A - NOVEMBER 1983 - REVISED MARCH 1986

---

**PRINCIPLES OF OPERATION**

For certain applications, such as strobing applications, it is necessary to start conversion at a specific point in time. This device will accommodate these applications. Although the on-chip sample and hold begins sampling upon the high-to-low transition of the fourth I/O CLOCK cycle, the hold function does not begin until the high-to-low transition of the eighth I/O CLOCK cycle, which should occur at the moment when the analog signal must be converted. The TLC548 and TLC549 will continue sampling the analog input until the high-to-low transition of the 8th I/O CLOCK pulse. The control circuitry or software will then immediately lower I/O CLOCK and start the holding function to hold the analog signal at the desired point in time and start conversion.

Detailed information on interfacing to the most popular microprocessor is readily available from Texas Instruments.

# Liste des tableaux et figures

## 1. Les tableaux :

- Tableau n°01 : Les différentes combinaisons des thermocouples.
- Tableau n°02 : Domaine d'emploi de certains capteurs à résistance métallique.
- Tableau n°03 : Table de vérité du circuit combinatoire.
- Tableau n°04 : Désignation de broches des connecteurs RS232C..
- Tableau n°05 : Les adresses du port imprimante.
- Tableau n°06 : Désignation des broches de port parallèle DB25.

## 2. Les figures :

- Figure n°01: Circuit d'huile du CFM56\_7B.
- Figure n°02: Principe d'un capteur.
- Figure n°03: Exemple de linéarisation des caractéristiques.
- Figure n°04: Thermocouples.
- Figure n°05: Sonde de platine.
- Figure n°06: Thermistances.
- Figure n°07: Exemple de thermistance disque et thermistance perle.
- Figure n°08: Divers types de présentations de capteurs intégrés de température.
- Figure n°09: Représentation des signaux analogique et numérique.
- Figure n°10: Schéma synoptique d'un convertisseur analogique/numérique.
- Figure n°11: Allure d'un signal échantillonné.
- Figure n°12: Association d'un bloqueur à l'échantillonneur.
- Figure n°13: Caractéristiques (entrée-sortie) d'un CAN.
- Figure n°14: Erreur d'offset du CAN.
- Figure n°15: Erreur de gain du CAN.
- Figure n°16: Erreur de linéarité différentielle (DNL) du CAN.
- Figure n°17: Erreur de linéarité intégrale (INL) du CAN.
- Figure n°18: Erreur totale du CAN.
- Figure n°19: Erreur de monotonie du CAN.
- Figure n°20: Convertisseur analogique /numérique parallèle .
- Figure n°21: Convertisseur parallèle, chronogramme .
- Figure n°22: Convertisseur à approximations successives .
- Figure n°23: Convertisseur simple rampe.
- Figure n°24: Diagramme des temps d'un convertisseur simple rampe .
- Figure n°25: Convertisseur double rampe.
- Figure n°26: Croissance et décroissance de VI pendant les deux étapes de la Conversion et sortie numérique correspondante.
- Figure n°27 : Transmission d'un message .

- Figure n°28 : Transmission série.
- Figure n°29: Chronogramme de l'interface RS232C.
- Figure n°30: Message du signal d'horloge.
- Figure n°31: Message de données asynchrone.
- Figure n°32: Liaison simplex.
- Figure n°33: Liaison half-duplex.
- Figure n°34: Liaison full-duplex.
- Figure n°35: Transmission parallèle.
- Figure n°36: Circuit d'interface d'entrée parallèle à un fil d'asservissement.
- Figure n°37: Circuit d'interface de sortie parallèle à un fil d'asservissement
- Figure n°38: Chronogramme de l'interface de sortie parallèle à un fil d'asservissement.
- Figure n°39 : DB25 (femelle de face).
- Figure n°40 : Centronics (mâle de face).
- Figure n°41 : Circuit général.
- Figure n°42 : Circuit électrique détaillé.
- Figure n°43 : Etage d'alimentation.
- Figure n°44 : Vue de dessous du LM335.
- Figure n°45 : Etage du capteur LM335.
- Figure n°46 : Tension de référence.
- Figure n°47 : Circuit soustracteur.
- Figure n°48 : Circuit amplificateur inverseur.
- Figure n°49 : Schéma de conversion.