

## ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : **Electronique**

# PROJET DE FIN D'ETUDES

### SUJET

**Thermometre Numérique**  
**16 voies pour thermocouple**

Proposé par :  
**INERBA**

Etudié par :  
**GUEMIDI Lahcène**  
**BOUKHTACHE Tayeb**

Dirigé par :  
**Mr F. GUESSOM**  
**Mr FARAH**



PROMOTION : **Juin 1984**



## Dedicaces

je dedie ce travail à :

- ma mère
- ma grande-mère
- ma nation

Lahcène Guemidi

je dedie ce travail à :

- ma mère
- mon père
- mes frères et sœurs.
- Tous mes amis

Tayeb Boukhtache

## Remerciements.

Nous tenons à remercier monsieur GUESSOUM pour nous avoir proposé ce sujet et de l'aide dont il a fait preuve pour la réalisation de ce projet.

Nos remerciements vont à messieurs Farah, Boudraâ, Berkani ainsi qu'à M<sup>re</sup> IBthiouène pour leurs Conseils.

Que tous ceux qui ont contribué à notre formation trouvent ici nos sincères remerciements.

## Remerciements.

Nous tenons à remercier monsieur GUESSOUM pour nous avoir proposé ce sujet et de l'aide dont il a fait preuve pour la réalisation de ce projet.

Nos remerciements vont à messieurs Farah, Boudraâ, Berkani ainsi qu'à M<sup>re</sup> IBthiouène pour leurs Conseils.

Que tous ceux qui ont contribué à notre formation trouvent ici nos sincères remerciements.

# TABLE des MATIERES

I Introduction

II Theorie des capteurs

A - Differentes types de capteurs

B - Presentation des thermocouples

C - Methode de mesure

III Traitement du signal

A - Compensation de soudure froide

B - Amplification

IV Temporisation et Multiplexage

V Conversion Analogique-Numerique  
et affichage.

VI Conclusion

## I. Introduction

Assurer des mesures de températures est une nécessité dans des domaines d'activité aussi divers que les études fondamentales, les recherches et contrôles industrielles. La température est un paramètre susceptible de caractériser le niveau énergétique. Dans le domaine de la recherche, l'institut national d'études et de recherches en bâtiment étudie les caractéristiques mécaniques et physiques des matériaux de construction. Notre projet qui consiste en la réalisation d'un appareil de mesure de température va permettre la mesure des caractéristiques physiques ou plus précisément la conductivité thermique  $\lambda$  d'un matériau. Ceci nécessite un relevé de température au même instant et en plusieurs endroits d'une salle. Cette opération doit se répéter à des intervalles de temps prédéterminés.

Les charges dont doit répondre notre appareil seront :

Mesure de la température en plusieurs points dont le nombre est fixé à seize

Une marche automatique ce qui nécessite une temporisation compte-tenu du séquencement des mesures. Cette marche automatique est imposée

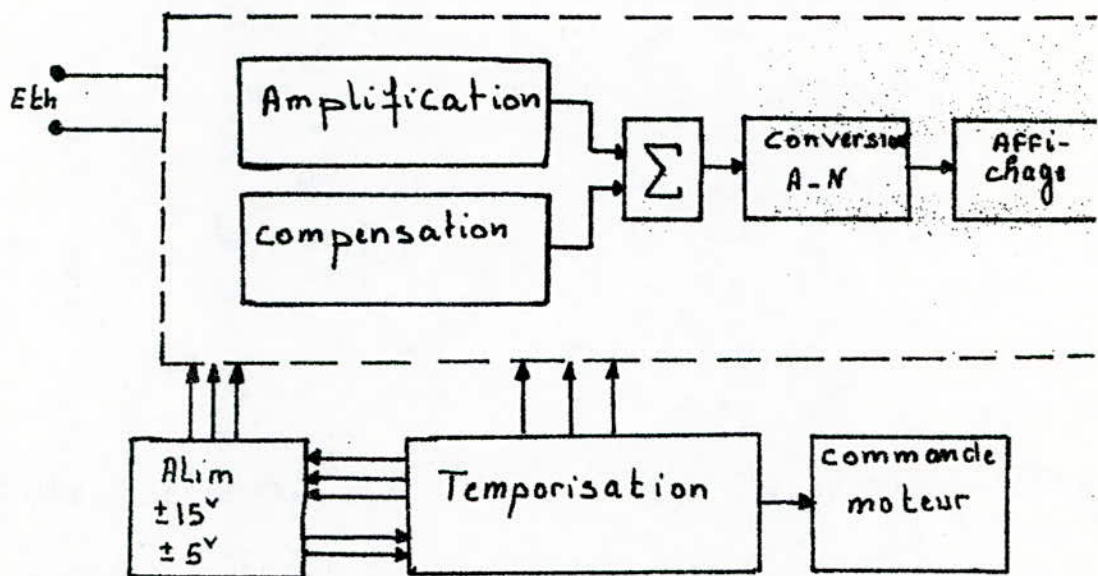
pour les mesures de nuit afin d'éviter l'intervention d'un operateur toutes les heures par exemple

. Affichage des mesures

L'une des principales difficultés de mesure de la temperature est que la temperature n'est pas une grandeur mesurable mais reperable sur une échelle prise pour reference. Il existe une diversité d'échelle de temperature (celcius, Fahreint...) La mesure de temperature va etre faite grâce à des thermocouples (couvrant la gamme de temperature de 0 à 70°C) qui sont des capteurs thermiques generateurs. La tension prelevée aux bornes du thermocouple va etre amplifiée et soustrait avec une tension dite de reference ou compensation de soudure froide.

La temporisation va permettre une marche automatique du systeme et permettra de declencher dans un premier temps les alimentations et dans un deuxieme temps la serie de mesure. Le temps d'une mesure (une voie) est réglé à 5 secondes pour permettre à l'utilisateur de relever les valeurs affichées. Ce relevé va être fait par une camera asservie par un moteur qui sera declenché par la temporisation.

Chaque serie de mesure durera 80 secondes.  
 Les series de mesures vont se repeter à des periodes  
 des fixées par l'utilisateur (15 min, 30 min, 60  
 minutes). De ces charges on peut deduire un  
 synoptique de l'appareil qui va etre conçu





## II. Theorie des Capteurs

Dans la plus part des cas, la mesure d'une grandeur non électrique se ramène à sa transformation en une grandeur électrique qui en dépend d'une façon univoque et dont la mesure permet de déterminer la valeur de la grandeur non électrique à mesurer

L'élément de l'appareil de mesure ayant pour fonction d'effectuer cette transformation porte le nom de capteur (dans notre cas capteur thermique)

### A - Différents types de capteurs

On distingue deux sortes de capteurs

1. Les capteurs paramétriques qui font correspondre à la grandeur non électrique une variation de  $r$ ,  $L$  ou  $C$  du circuit électrique

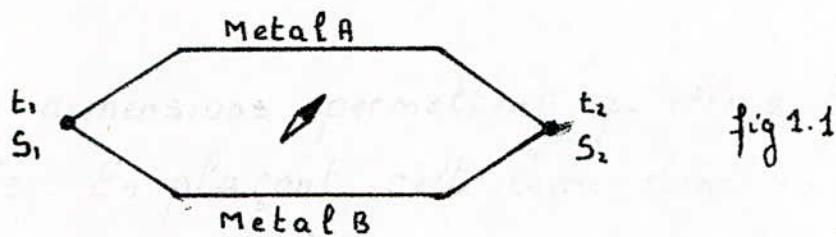
Les capteurs générateurs qui transforment la grandeur non électrique en une f.e.m. c'est à la 2<sup>ème</sup> catégorie que notre sujet s'est fait; ce sont des capteurs énergétiques et on distingue deux sortes

. Des capteurs à effet piézo-électrique, c'est à dire l'apparition d'une f.e.m. dans certains cristaux soumis à l'action des forces mécaniques. L'élément sensible est constitué par une lame de quar

dont les dimensions permettent qu'elle soit thermodeformable. En plaçant cette lame dans un circuit oscillant, on a une fréquence propre qui dépend de la température. Le coût est élevé.

### b Capteurs à thermocouples

Le capteur est constitué par deux fils métalliques réunis à chacune de leur extrémité pour former un circuit fermé. Une différence de température entre les deux jonctions provoque la circulation d'un courant. L'effet thermoélectrique a été mis en évidence par SEEBECK en 1821



Il a constaté que lorsque les températures  $t_1$  et  $t_2$  des deux jonctions sont égales il ne se passe rien. Une aiguille aimantée disposée au centre de la boucle a gardé sa direction initiale (voir fig 1.1). Par contre il a remarqué que lorsque la température  $t_1$  est différente de la température  $t_2$ , il y avait la circulation d'un faible courant mis en évidence par la déviation de l'aiguille aimantée car il y a création d'un champ magnétique.

Pour des mesures faites avec des métaux homogènes l'intensité de courant dépend :

1. de la nature des matériaux en présence
2. de la différence des températures
3. du niveau moyen des températures atteintes

### B. Présentation des thermocouples

Les fils du thermocouple vont par paire et sont sélectionnés suivant l'emploi car la faculté de donner un courant plus fort pour une température donnée varie d'un couple à un autre.

Les différents thermocouples sont affectés de couleurs pour être différenciés (voir tableau 1)

Types de thermocouples	Symbole	Norme des conducteurs		Couleurs		
		positif	Négatif	Extérieur	positif	négatif
Fer-constantan	J	Fer	constantan	marron	blanc	rouge
nickel-chromel	T	nickel	"	"	bleu	rouge
chromel-Alumel	K	chromel	Alumel	"	jaune	rouge
chromel-constantan	E	chromel	constantan	"	violet	rouge

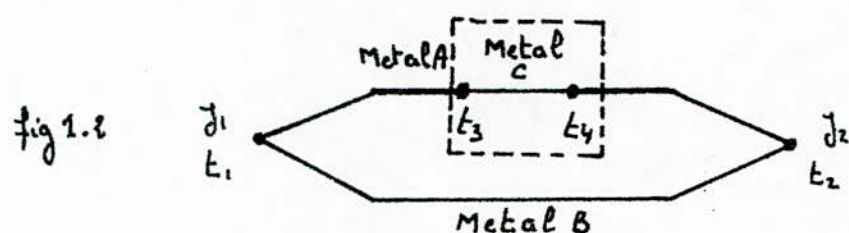
Tableau 1 - Thermocouples sous forme de câble bifilaire

On remarque que le premier nom cité représente le pôle positif, c'est à dire, lorsque la soudure froide est à  $t_1$ , une température  $t_2 > t_1$  mesurée par la

Soudure chaude donnera une tension positive.  
 Les conducteurs du thermocouple sont isolés  
 séparément, mis côte à côte et emprisonnés dans  
 une même gain

Lois régissant les thermocouples

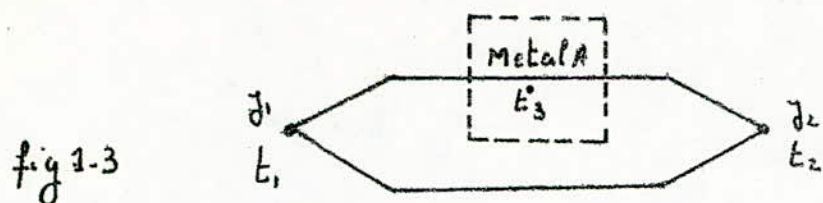
1<sup>ère</sup> Loi : Loi des métaux intermédiaires



On peut insérer dans n'importe quelle partie du circuit thermoélectrique un troisième métal homogène (fig). Ceci ne change rien à l'effet fondamental à condition que les bornes de raccordement soient à la même température. Cette loi est importante car elle va nous permettre d'insérer dans le circuit des appareils de mesure.

2<sup>ème</sup> Loi : Loi des métaux homogènes

Entre les jonctions  $J_1$  et  $J_2$  les conducteurs peuvent traverser des zones dont les températures peuvent être quelconques. Si les matériaux utilisés sont homogènes, il n'y a aucune influence sur le courant observé.  
 (Voir fig 1.3)

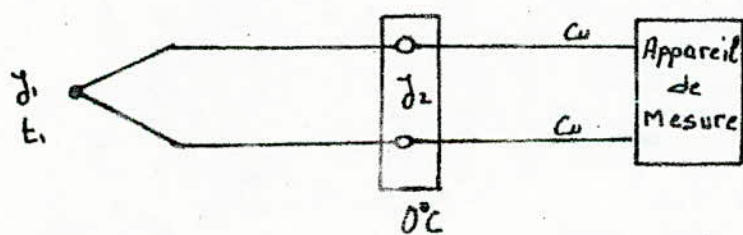


### C. Methode de mesure

En fixant la temperature d'une jonction à une valeur connue et stable (soudure froide), la f.e.m. thermo-electrique est uniquement fonction de la temperature de l'autre jonction (soudure chaude).

On appelle soudure froide la jonction de reference qui sera maintenue à la temperature connue. La soudure chaude sera le point de mesure ou jonction de mesure.

Il existe des tables numeriques qui donnent la temperature de la soudure chaude en fonction de la d.d.p. lorsque la soudure froide est à 0°C



La jonction de reference est maintenue à 0°C à l'interieur d'une enceinte thermostatée contenant de la glace fondante. Le raccordement à l'instrument de mesure est effectué à l'aide de fil de cuivre. Entre les points de raccordements situés à 0°C on a donc appliqué la loi des metaux intermediaires

Procédés d'installation des thermocouples pour la mesure des températures des solides

\* / A la surface des corps solides

i / Cas du support métallique: On croise les deux conducteurs pour former le point chaud et on effectue une soudure électrique sur la pièce en essai. Parfois ce procédé entraîne des micro-fissures dans la pièce ce qui perturbe la mesure. Pour des matériaux bons conducteurs ce procédé n'est pas conseillé.

On pratique aussi le sertissage du point chaud, au moyen d'une encoche sur la surface, ou bien on réalise le maintien par une vis

ii / Cas du support non métallique: l'utilisateur se débrouille

\* Etude du capteur utilisé

Le thermocouple mis à notre disposition est du type T "Cuivre - Constantan". Son domaine de température est  $-190^{\circ}\text{C}$  à  $350^{\circ}\text{C}$ . Il est limité à  $350^{\circ}\text{C}$  à cause de l'oxydation rapide du cuivre aux hautes températures

- La sensibilité est environ de  $40\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$

- L'erreur relative dans la gamme  $-59^{\circ}\text{C}$  à  $93^{\circ}\text{C}$  est  $\pm 0,6 - 0,3\%$

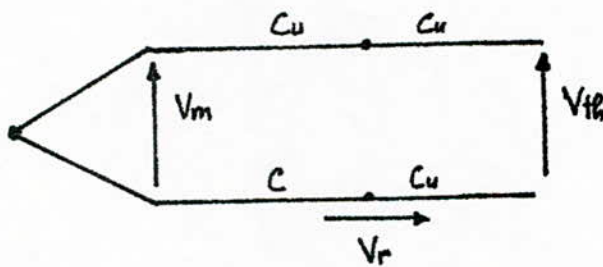
## \* Réponse du thermocouple.

$T^{\circ}\text{C}$	0	10	20	30	40	50	58	60	70	80	81	90	91	100
Tension normalisée	0	0,39	0,78	1,19	1,61	2,03	-	2,46	2,9	3,57	-	3,81	-	4,27
Tension expérimentale	0	0,4	0,8	1,2	1,6	1,9	2,4	-	-	-	3,5	-	3,9	4,2

## Principes de mesure

Vu que les signaux délivrés par le thermocouple sont très faibles, ceci nécessite une amplification bien étudiée car les différents bruits vont perturber les mesures donc la partie analogique doit être précise.

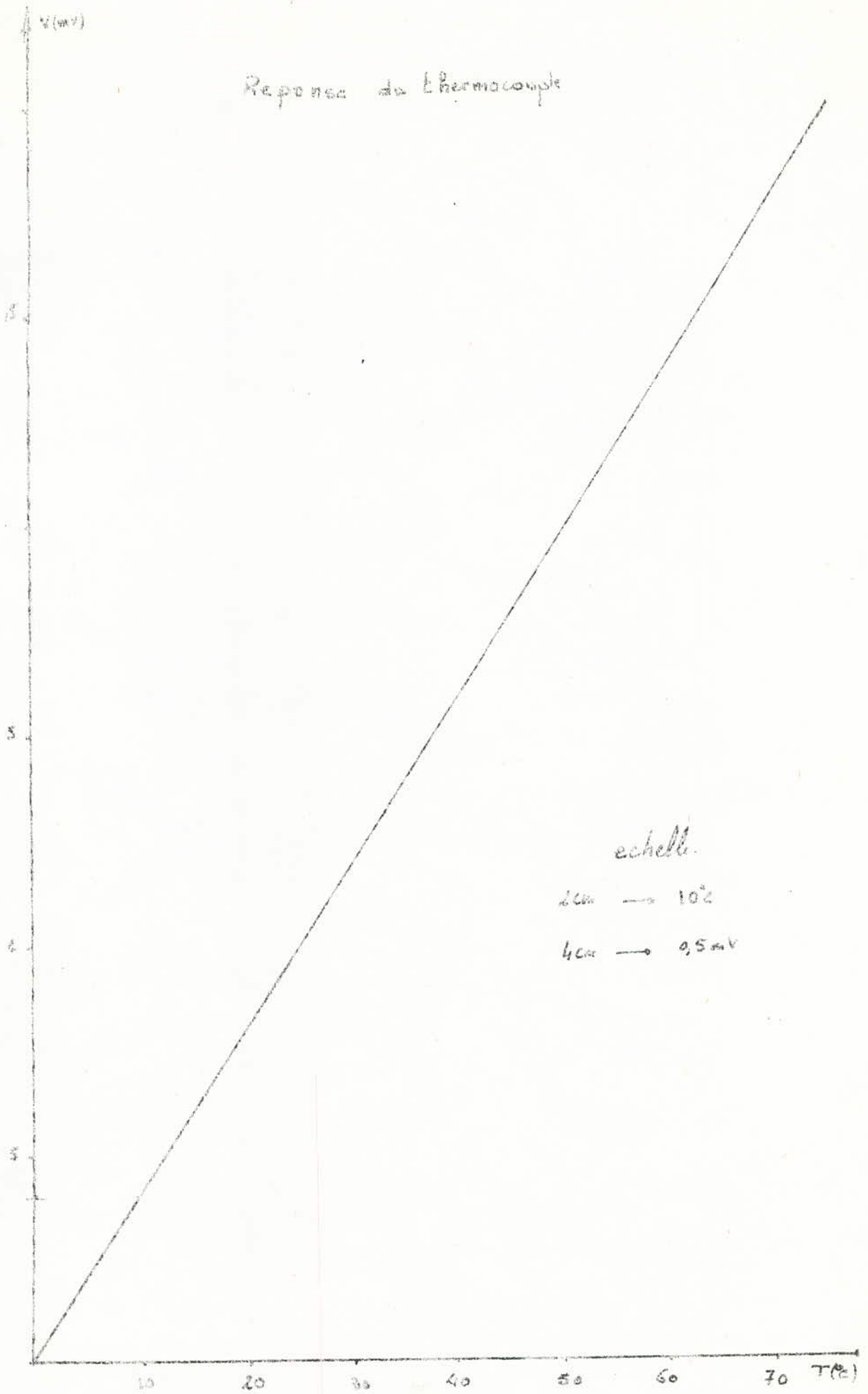
La mesure affichée est la somme de la tension délivrée par le thermocouple (soudure chaude) et la tension délivrée par la soudure froide.



$$V_{th} = V_m - V_r$$

$V_{th}$  est donné par le thermocouple ; pour connaître  $V_m$  il faut évaluer  $V_r$  d'où notion de compensation de soudure froide.

Reponse du Thermocouple





### III Traitement du Signal

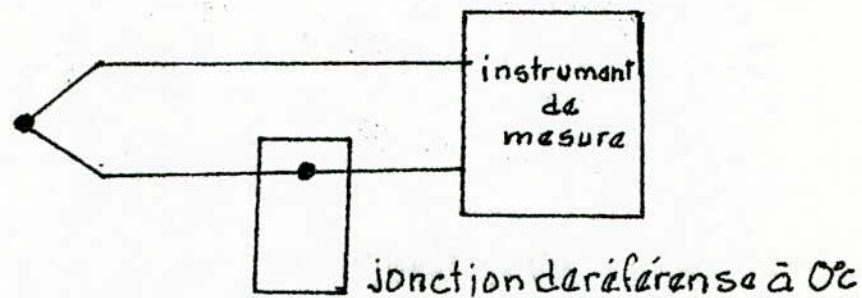
issu du capteur

## A/ Compensation de soudure froide

### 1) Methodes de compensation

Dans la pratique, la méthode utilisée pour la compensation consiste à maintenir la jonction de référence à une température constante, la tension délivrée par le thermocouple ne serait fonction que de la température de la jonction de mesure.

Une méthode classique consiste à maintenir la jonction de référence à  $0^{\circ}\text{C}$ , la sortie du thermocouple est reliée à un instrument de mesure par l'intermédiaire de fils de cuivre comme le montre la figure ci-dessous.



Ce montage est souvent utilisé en laboratoire, la soudure froide peut être soit matérialisée par un vase Dewar contenant de la glace fondante qu'il faut recharger souvent, soit par une enceinte thermostatée.

Ils existent d'autres méthodes de compensation dans lesquelles le vase Dewar ou l'enceinte thermostatée qui matérialisent physiquement la référence à  $0^{\circ}\text{C}$  sont remplacées par un circuit électronique dont le rôle est d'injecter dans le circuit pyrométrique

une tension égale à la f.e.m que fournirait le thermocouple à la température de raccordement.

· Methode utilisée

La methode qu'on a adopté et dont on va decuire est différentes que celles décrites précédemment.

Dans notre cas, il s'agit de générer une tension qui varie linéairement avec la température de la soudure froide

Soit  $V_s$  cette tension, elle s'écrit :

$V_s = k_1 T_f + V_{s0}$  où  $T_f$ : température de la soudure froide

la tension délivrée par le thermocouple étant proportionnelle à la différence de Température des deux Soudures chaudes et froide

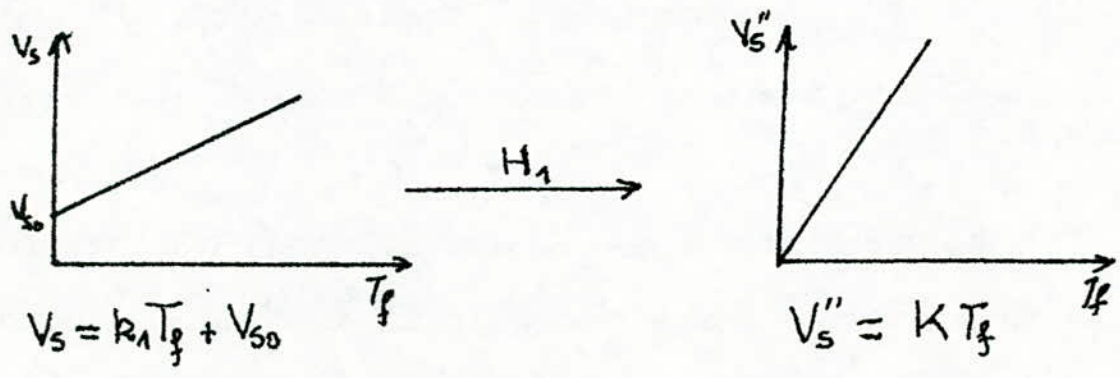
on a :  $V_{th} = k_2 (T_m - T_f)$

$V_{th}$ : tension délivrée par le thermocouple

$T_m$ : Température de la jonction de mesure.

Par des transformations nous ramenons Les pentes  $k_1$  et  $k_2$  à une meme pente  $K$

Soient  $H_1$  et  $H_2$ , les transformations subit respectivement par  $V_s$  et  $V_{th}$ , ce qui se traduit par les courbes suivantes



une tension égale à la f.e.m que fournirait le thermocouple à la température de raccordement.

## 2) Méthode utilisée

La méthode qu'on a adoptée et on va décrire est différente celles décrites précédemment.

Dans notre cas, il s'agit de générer une tension qui varie linéairement avec la température de la soudure froide.

Soit  $V_s$  cette tension, elle s'écrit :

$$V_s = k_1 T_f + V_{s0} \quad \text{où } T_f: \text{température de la soudure froide}$$

la tension délivrée par le thermocouple étant proportionnelle à la différence de température des deux soudures chaudes et froide

$$\text{on a : } V_{th} = k_2 (T_m - T_f)$$

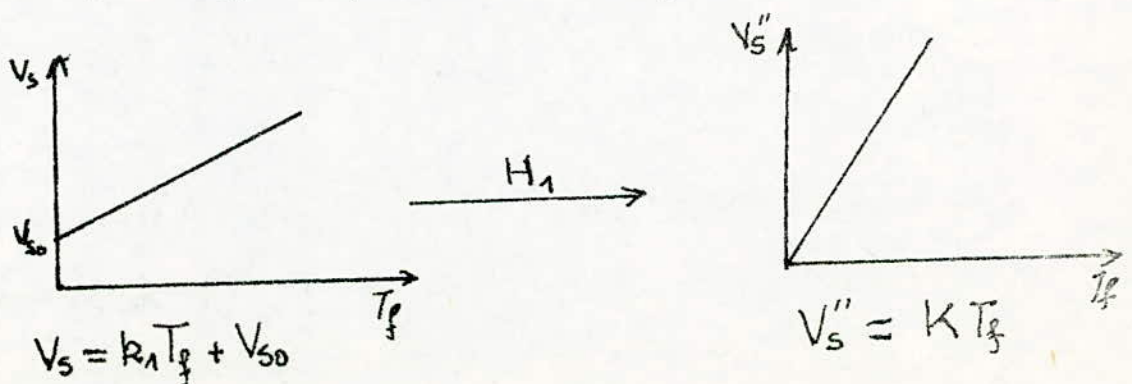
$V_{th}$  : tension délivrée par le thermocouple

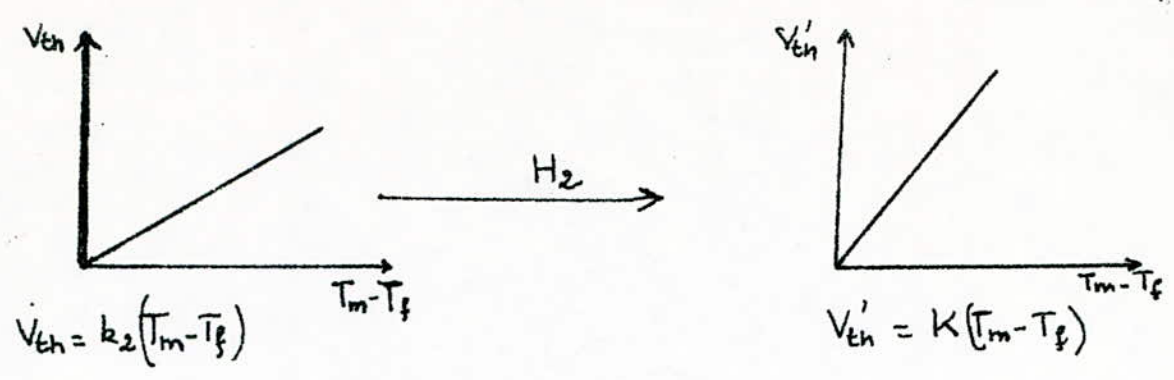
$T_m$  : Température de la jonction de mesure.

Par des transformations nous ramenons les pentes

$k_1$  et  $k_2$  à une même pente  $K$

Soient  $H_1$  et  $H_2$ , des transformations subi. respectivement par  $V_s$  et  $V_{th}$ , ce qui se traduit par les courbes suivantes





Si on fait la somme  $V'_s + V_{th}$  on aura:

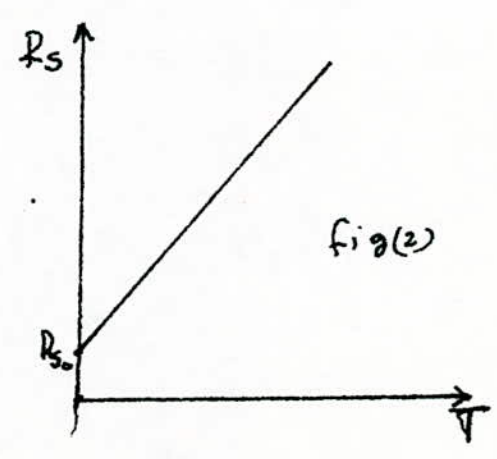
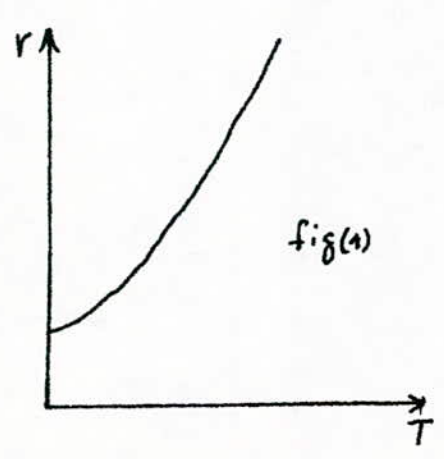
$$V'_m = V'_{th} + V'_s = K(T_m - T_f) + K T_f = K T_m.$$

$$V'_m = K T_m.$$

La tension  $V'_m$  est directement proportionnelle à la température à mesurer.

### Génération de la tension $V_s$

On dispose d'une sonde au nickel dont la résistance  $r$  varie en fonction de la température. La figure (1) donne d'ailleurs des variations de  $r$  en fonction de la température. Un moyen de linéarisation de cette courbe sera détaillé par la suite. Signalons simplement qu'après la linéarisation, on aura une résistance  $R_s$  qui varie linéairement avec la température, figure (2).



soit  $R_s = aT + R_{s0}$

En faisant parcourir cette résistance par un courant constant  $I_L$  on aura bien une tension qui varie linéairement avec la température

soit  $V_s = R_s I_L = a I_L T + R_{s0} I_L$

ou  $V_s = k_1 T + V_{s0}$  avec  $k_1 = a I_L$

$V_{s0} = R_{s0} I_L$ .

Remarque: La résistance  $R_s$  serait intercalée au niveau de la soudure froide afin qu'elle ait la même température, on a donc au niveau de la soudure froide:  $V_s = k_1 T_f + V_{s0}$ .

Caractéristiques de la sonde et précautions d'utilisation  
 y) caractéristiques

La sonde est une résistance sensible aux variations de la température. Les métaux constituant les sondes sont le platine, le nickel, et le cuivre.

z) précautions d'utilisation

\* sensibilité: La sonde est sensible aux déformations il faudra donc éviter de la placer dans une zone soumise à des déformations.

\* stabilité: le nickel est très stable dans la gamme  $-195$  à  $260^\circ\text{C}$ , cependant s'il est exposé à des températures hors de cette gamme, il y aura une légère dérive du zéro et de la pente.

\* effet Joule: afin d'éviter les erreurs dues à l'effet Joule, on alimentera la sonde par un faible courant.

Linearisation de la réponse de la sonde.

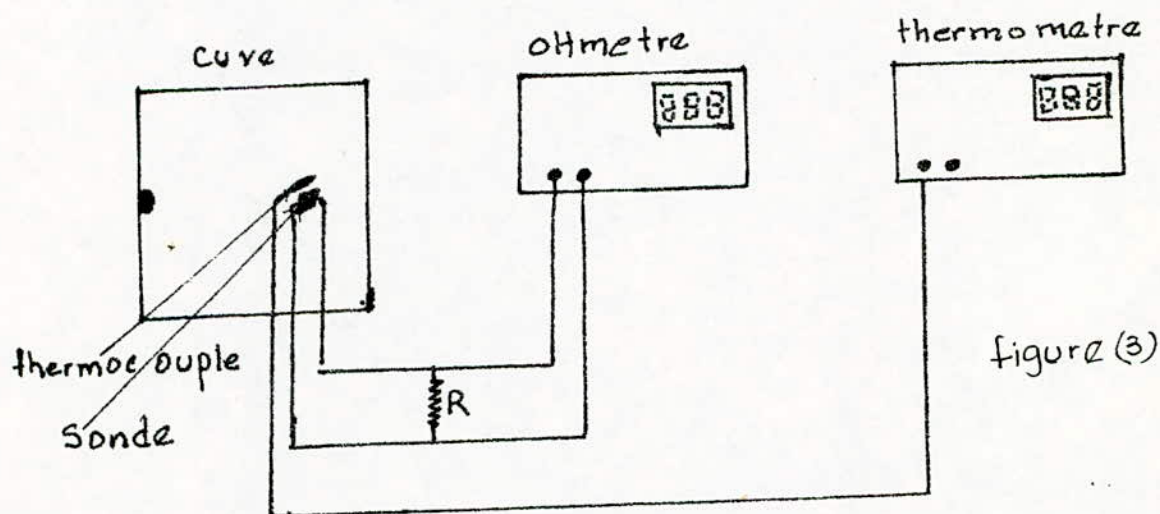
La méthode proposée par le constructeur et que nous avons vérifiée, consiste à mettre en parallèle avec la sonde une résistance  $R$  dont la valeur est trois fois celle de la sonde à  $23,9^\circ\text{C}$ ,  $R = 3r(23,9^\circ\text{C})$

Comme  $r(23,9^\circ\text{C}) = 50\ \Omega \Rightarrow R = 150\ \Omega$ .

La résistance équivalente de la sonde est  $R_s = r // R$

Remarque: La réponse de la sonde est différente selon qu'elle est collée sur l'acier ou l'aluminium

La figure (3) donne le montage qu'on a utilisé pour vérifier la linéarité de  $R_s$  en fonction de la température (la sonde étant collée sur l'aluminium)



On fixe le thermocouple et la sonde sur un même point afin d'avoir un bon étalonnage et une bonne précision car la température <sup>de</sup> l'étuve n'est pas la même en tous les points

nous avons ainsi relevé le tableau de valeurs donnant

$$R_s = f(T)$$

Tableau donnant  $R_s = f(T)$

$T(^{\circ}C)$	16	20,5	25	31,5	35,5	40	43,2
$R_s(\Omega)$	37	37,61	38,3	39,29	39,89	40,60	41,05

Generateur de courant

La resistance equivalente  $R_s$  de la sonde varie lineairement avec la temperature. Pour avoir une tension qui varie de la même maniere aux bornes de celle-ci, il faut donc qu'elle soit parcourue par un courant constant. La figure (A) donne le schema d'un generateur de courant constant.

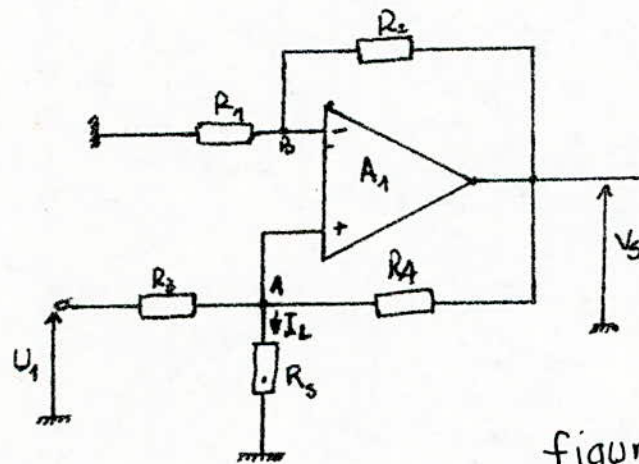


figure (A)

calcul du courant  $I_L$

$$V_A = V_B = V$$

$$V = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_s$$

$$V_s = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V \quad (1)$$

$$I_L = \frac{V_s - V}{R_4} + \frac{U_1 - V}{R_3}$$

$$I_L = \frac{V_s}{R_4} + \frac{U_1}{R_3} - V \left( \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) \quad (2)$$



En combinant (1) et (2)

$$I_L = \frac{U_1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \left( \frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) V - V \left( \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right)$$

$$I_L = \frac{U_1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) V - \frac{V}{R_4} \left( 1 + \frac{R_4}{R_3} \right)$$

$$I_L = \frac{U_1}{R_3} + \frac{V}{R_4} \left( \frac{R_2}{R_1} - \frac{R_4}{R_3} \right)$$

En faisant  $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$  il vient :

$$I_L = \frac{U_1}{R_3} \quad \text{indépendant de la charge } R_3.$$

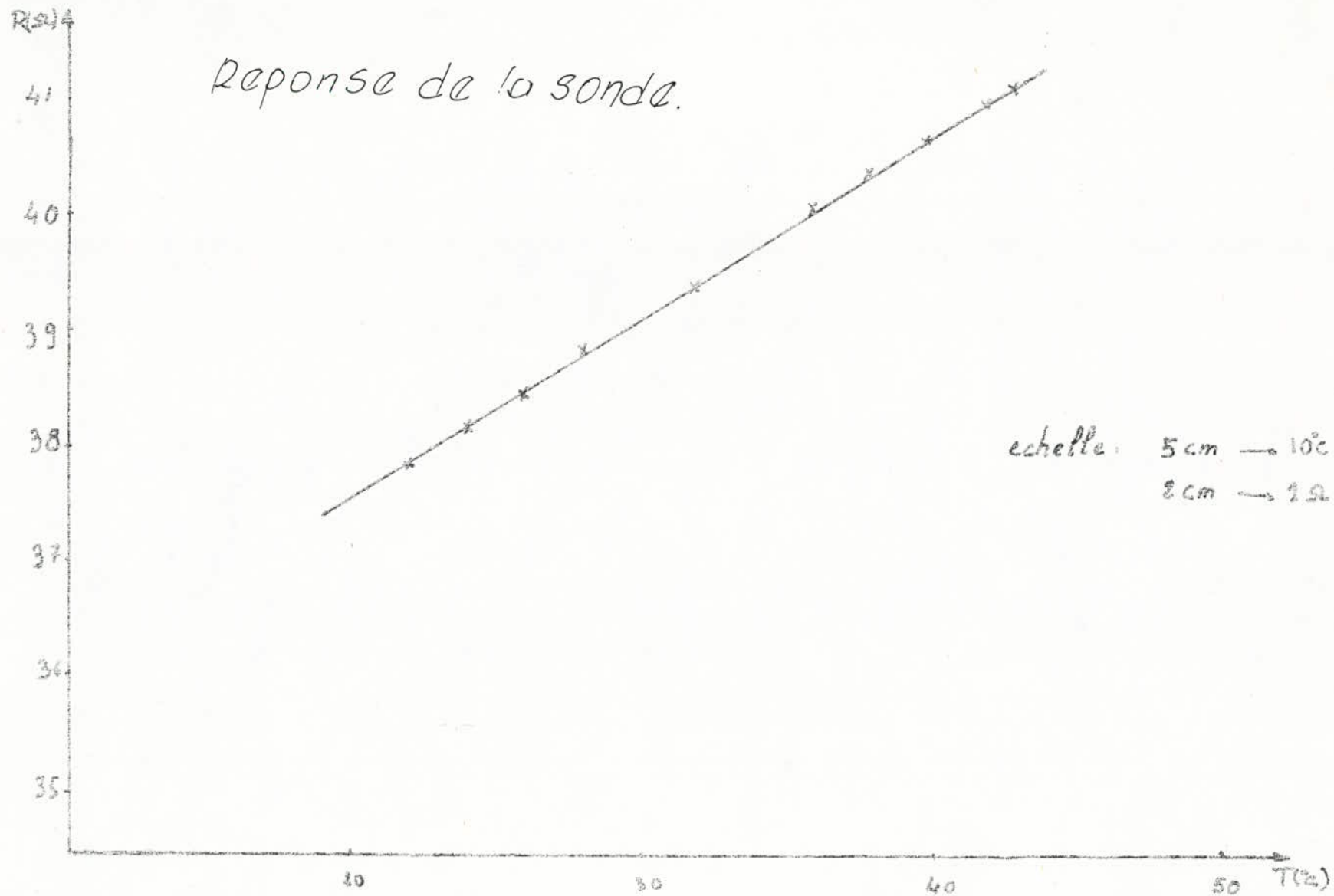
Plus  $I_L$  est faible, plus les erreurs dues à l'effet joule sont négligeables, on choisit  $U_1$  et  $R_3$  de sorte à avoir un faible courant  $I_L$

On prend  $U_1 = 5V$  et  $R_3 = 100k\Omega$ .

$$I_L = 50\mu A$$

Remarque : Pour la notation des courants et tensions utilisée dans cette partie, nous prions le lecteur de se référer au schéma général du bloc analogique page (26)

Reponse de la sonde.

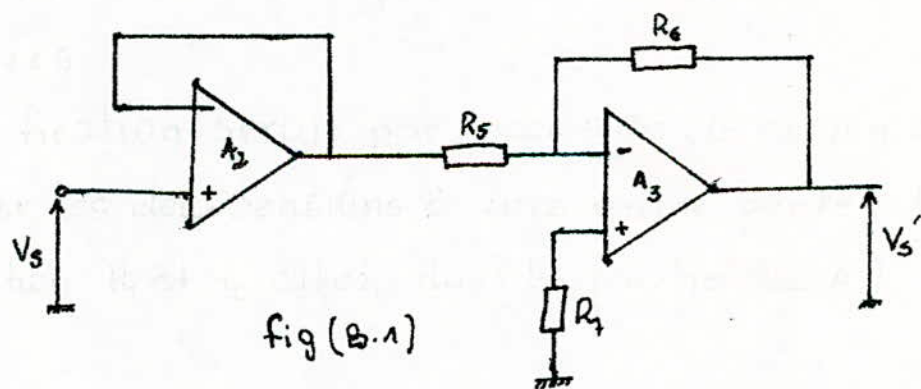


Les tensions  $V_s$  générée aux bornes de la sonde ( $R_s$ ) et  $V_{th}$  délivrée par le thermocouple sont très faibles et nécessitent une amplification afin d'être bien exploitées.

L'amplification serait par l'occasion, le moyen de ramener les deux tensions à une même pente (transformation  $H_1$  et  $H_2$  cités dans la partie III.A)

1) Amplification de la tension générée aux bornes de la sonde.

Le courant traversant la sonde ( $R_s$ ) étant très faible, la tension développée aux bornes de celle-ci est aussi faible. Pour pouvoir l'amplifier, il est nécessaire d'utiliser un amplificateur de haute impédance d'entrée. Le montage utilisé est celui de la figure (B.1)



calcul du gain

$$\frac{V_s'}{V_s} = \frac{\alpha A}{1 - \beta A}$$

$$\text{avec } \alpha = \frac{R_6}{R_5 + R_6} \text{ et } \beta = \frac{R_5}{R_5 + R_6}$$

$$\frac{V_s'}{V_s} = \frac{-R_6 A}{R_5(1+A) + R_6}$$

qui peut s'écrire: 
$$\frac{V'_s}{V_s} = - \frac{R_6}{R_5} \frac{1}{1 + \frac{1}{\beta A}}$$

$\beta A \gg 1$  on aura 
$$\frac{V'_s}{V_s} = - \frac{R_6}{R_5} = G_1 \quad G_1 < 0.$$

La courbe représentative des variations de la résistance équivalente de la sonde  $R_s$  est une droite qui ne passe pas par l'origine, il en serait de même pour la tension  $V_s$

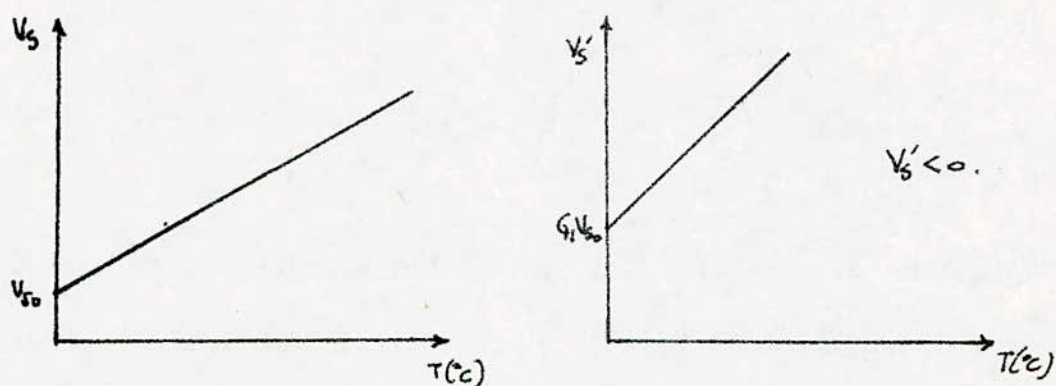
on a: 
$$R_s = \alpha T + R_{s0} \quad (1.1)$$

$$V_s = R_s I_L = \alpha I_L T + R_{s0} I_L = k_1 T + V_{s0} \quad (1.2)$$

$$V'_s = G_1 V_s = G_1 k_1 T + G_1 V_{s0}$$

$$V'_s = G_1 k_1 T + G_1 V_{s0} \quad (1.3)$$

Les courbes ci dessous donnent l'allure de  $V_s$  et  $V'_s$  en fonction de la température.



Pour que  $V'_s$  passe par l'origine, il faut donc lui ajouter une tension  $V_2$  positive de sorte qu'à  $T = 0^\circ\text{C}$  on aura  $V'_s + V_2 = 0$  Soit d'après (1.3) 
$$V_2 = -G_1 V_{s0} \quad (1.4)$$

Le montage utilisé pour cette fin est celui de la figure (B.2)

Pour ce montage on a la relation suivante.

$$V''_s = - \frac{R_9}{R_8} V'_s + \frac{R_8 + R_9}{R_8} \cdot \frac{R_{11}}{R_{10} + R_{11}} (-V_2).$$

Pour  $R_8 = R_9 = R_{10} = R_{11}$

$$\text{on a } V_s'' = -V_s' - V_z$$

on prend  $R_8 = R_9 = R_{10} = R_{11} = 10 \text{ k}\Omega$

En tenant compte de (1.3) il vient :

$$V_s'' = -G_1 k_1 T - G_1 V_{s0} - V_z \quad (1.5)$$

En remplaçant  $V_z$  par sa valeur (relation 1.4) on aura

$$V_s'' = -G_1 k_1 T \quad (1.6)$$

$$V_s'' = \frac{R_6}{R_5} k_1 T \quad \text{ou} \quad V_s'' = KT \quad \text{donc } K = k_1 \frac{R_6}{R_5} \quad (1.7)$$

$V_s''$  passe donc par l'origine.

Calcul du rapport  $\frac{R_6}{R_5}$  :

à partir du graphe donnant  $R_5 = 34,6 \Omega$  on tire  $R_{s0} = 34,6 \Omega$

On prenant une diode zener de  $2,1 \text{ V}$ , il vient d'après (1.4)

$$|G_1| = \frac{R_6}{R_5} = \frac{V_z}{V_{s0}} \quad \text{avec } V_{s0} = R_{s0} I_L.$$

$$|G_1| = \frac{2,1}{34,6 \times 50 \cdot 10^{-6}}$$

$$|G_1| = 1387.$$

on prend  $R_5 = 100 \Omega$

$$R_6 = 138,7 \text{ k}\Omega.$$

$$R_7 = R_5 \parallel R_6 = 100 \Omega.$$

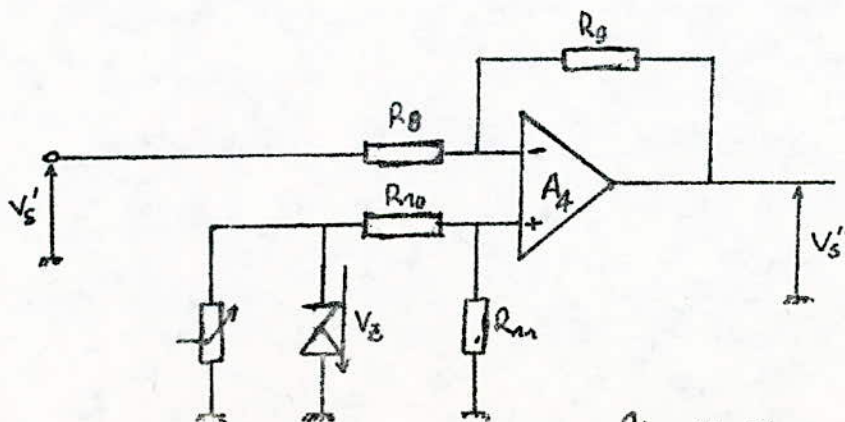


fig (B.2)

Conclusion:

cette partie a été réalisée, et on dira que l'emploi d'un  $\mu A741$  pour  $A_1$  (Générateur de courant) nous a permis d'avoir un courant indépendant de la charge et répondant à la formule.

Pour ce qui est de l'amplification on a aussi utilisé des  $\mu A741$  pour  $A_2$ ,  $A_3$  et  $A_4$  et les résultats trouvés paraissent acceptables.

2) amplification de la tension délivrée par le thermocouple.

Etant donné que le thermocouple délivre une tension  $V_{th}$  très faible, on a besoin pour l'amplifier d'un amplificateur de très haute impédance d'entrée dont l'offset doit pouvoir s'ajuster très précisément.

$V_{th}$  est la différence de deux tensions comme le montre la figure (B.3). On utilisera donc pour l'amp. l'amplifier un amplificateur différentiel constitué autour de deux LF356 et un  $\mu A 741$  selon la figure (B.4)

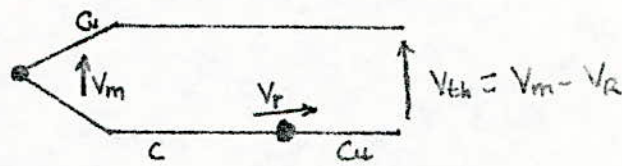


fig (B.3)

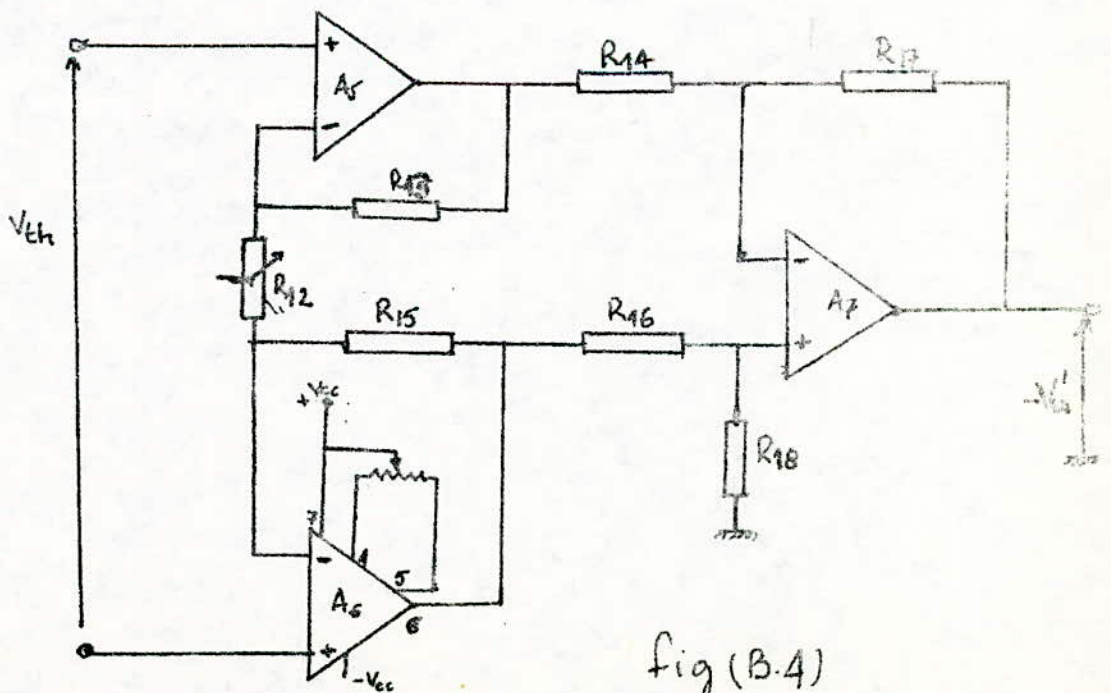


fig (B.4)

calcul du gain de l'amplificateur de la figure (B.4)

on a :

$$V'_{th} = \frac{R_{17}}{R_{14}} \left( \frac{2R_{13}}{R_{12}} + 1 \right) V_{th} \quad \text{pour } \begin{array}{l} R_{13} = R_{15} \\ R_{14} = R_{16} \\ \text{et } R_{17} = R_{18} \end{array}$$

$$\text{Soit : } V'_{th} = G_2 V_{th} = K (T_m - T_f) \quad (2.1)$$

$$\text{avec } V_{th} = k_2 (T_m - T_f). \quad (2.2)$$

En combinant 2.1 et 2.2 il vient

$$G_2 = \frac{K}{k_2}$$

calcul de K :

d'après la relation (17) on a  $K = \frac{R_6}{25} k_1 = 1387 k_1$

La relation 1.2 donne  $k_1 = a I_L$  où  $a$  est la pente de la droite représentative de  $R_s = f(T)$

$$\text{on tire du graphe } a = \frac{39,25 - 37,65}{31,5 - 20,75} = 0,1488 \text{ } \mu\text{V}/^\circ\text{C}$$

$$I_L = 50 \mu\text{A}$$

$$\text{d'où } k_1 = 0,1488 \times 50 \times 10^{-6}$$

$$\text{et finalement } K = 1387 \times 0,1488 \times 50 = 10,3 \text{ mV}/^\circ\text{C}$$

$k_2$  étant la pente de la droite représentative de  $V_{th} = f(T)$  et vaut d'après le graphe  $39,8 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ .

d'où :

$$G_2 = \frac{K}{k_2} = \frac{10,3}{39,8} \times 10^3 = 259,3$$

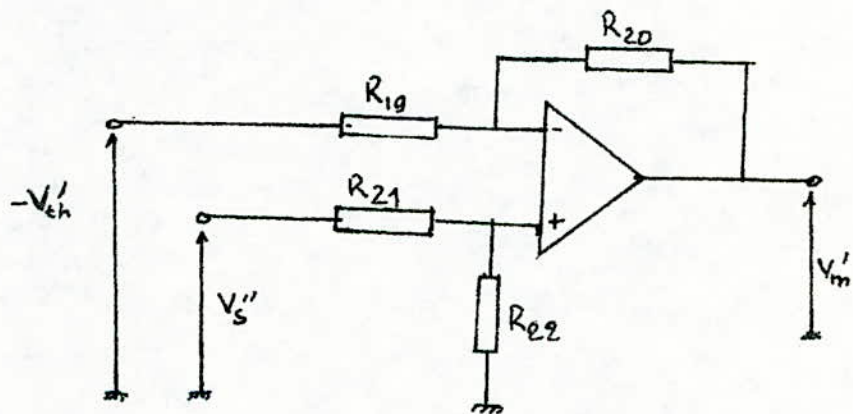
$$G_2 = \frac{R_{17}}{R_{14}} \left( 1 + \frac{2R_{13}}{R_{12}} \right)$$

$$\text{on prend : } \left( 1 + \frac{2R_{13}}{R_{12}} \right) = 10 \quad \text{et } \frac{R_{17}}{R_{14}} = 25,9$$



On prend :  $R_{12} = 488 \text{ K}$  (Potentiometre  $500 \Omega$ )  
 $R_{13} = 2,2 \text{ K}\Omega$   
 $R_{17} = 26 \text{ K}\Omega$  ( $1 \text{ K}\Omega + 25 \text{ K}\Omega$  valeurs normalisées)  
 $R_{14} = 1 \text{ K}\Omega$ .

Le dernier etage d'amplification est celui donnant la tension  $V_m' = V_s'' + V_{th}'$  qui est directement proportionnelle à la température de la jonction de mesure ou la température à mesurer. Le circuit réalisant une telle fonction est celui de la figure (B.5)



Le gain de cette amplificateur est donné par :

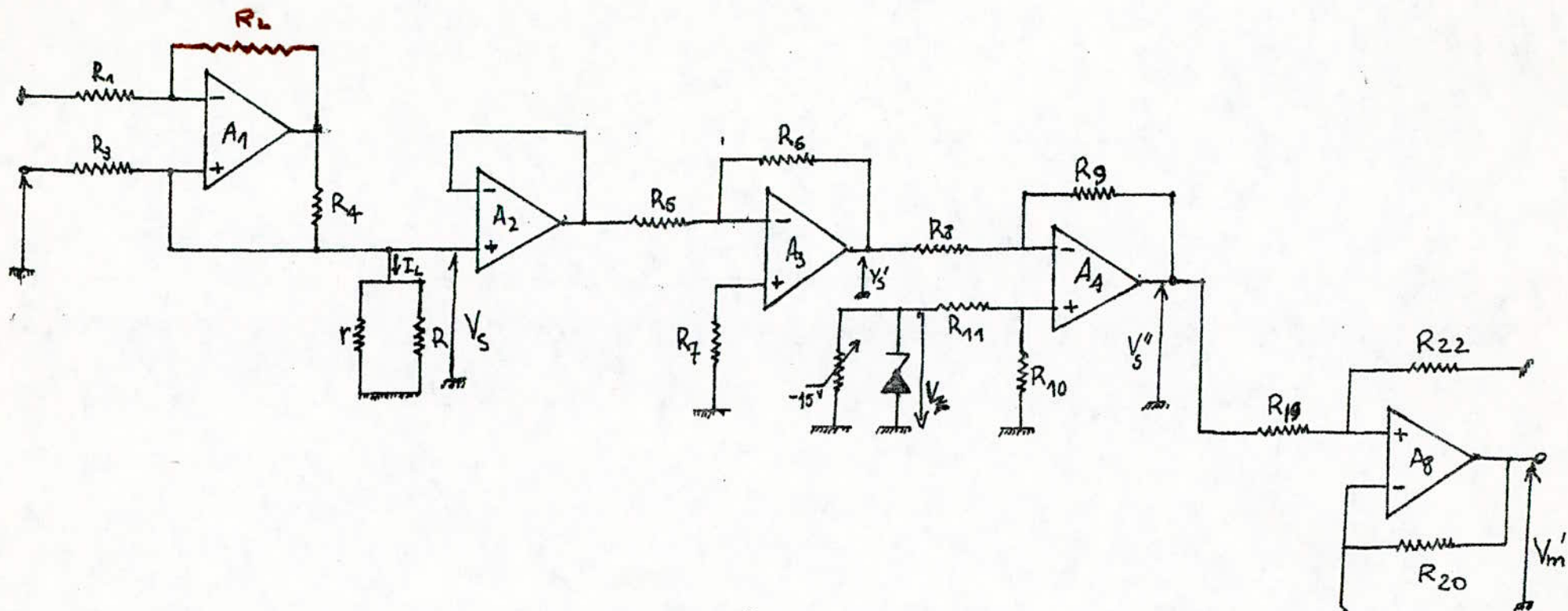
$$V_m' = \frac{R_{20}}{R_{19}} V_{th}' + \frac{R_{19} + R_{20}}{R_{19}} \cdot \frac{R_{22}}{R_{21} + R_{22}} V_s''$$

En prenant  $R_{19} = R_{21}$  et  $R_{20} = R_{22}$

il vient 
$$V_m' = \frac{R_{20}}{R_{19}} (V_s'' + V_{th}')$$

Le gain de ce dernier étage dépend de la pente choisit pour  $V_m$  afin d'afficher numériquement la température et sera déterminé par la suite.

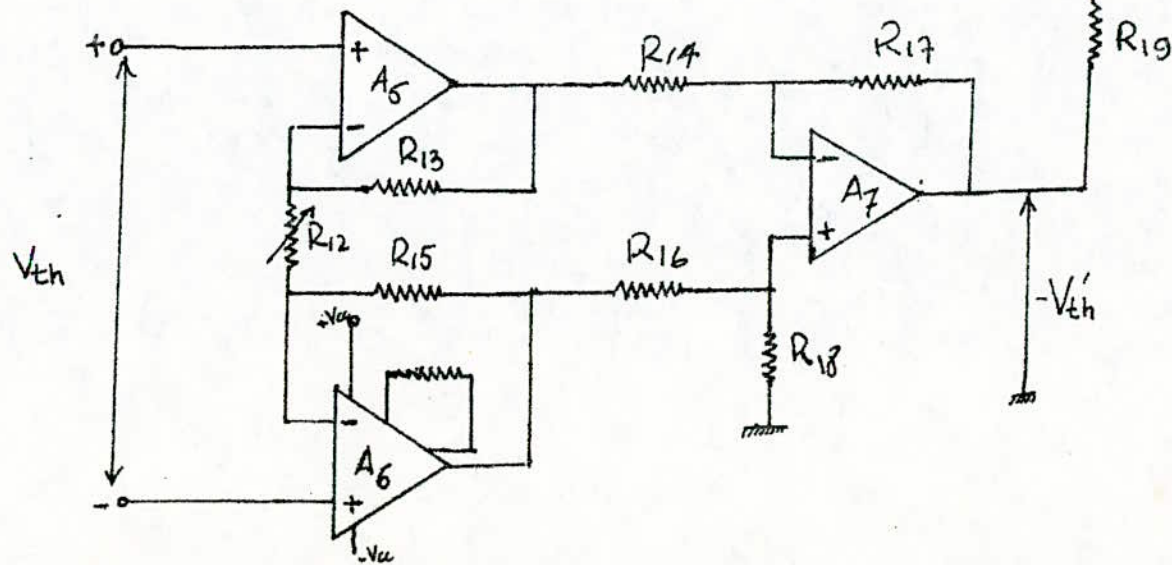
En conclusion de cette partie, on peut dire que l'utilisation des LF 356 (Amplificateurs opérationnels à entrée FET) nous a permis d'avoir des résultats où des mesures proches à celles qu'on aurait du avoir théoriquement.



Schema general du  
bloc analogique

$A_5, A_6$  : LF 356

$A_1, A_2, A_3, A_4, A_7, A_8$  :  $\mu A 741$



## IV Temporisation et Multiplexage.

### A. Temporisation.

Notre appareil devant permettre la mesure à des intervalles de temps réguliers fixés par l'utilisateur (15 min, 30 min, 60 min), l'emploi d'un circuit de temporisation s'avère nécessaire et utile pour déclencher le système en temps voulu. Cette temporisation est réalisée grâce à un astable (Horloge NE555) commandant deux monostables fig 4.1.

Le premier monostable sert à déclencher l'alimentation et le deuxième monostable sert à déclencher le système avec un retard de déclenchement par rapport au premier monostable. Cet interval de temps permet au système de se stabiliser. L'emploi de monostable pour déclencher l'alimentation est d'ordre économique.

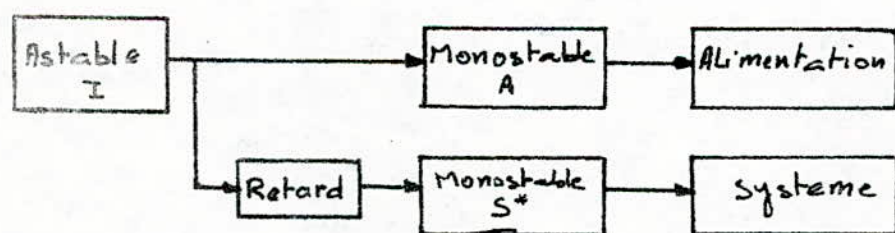


fig 4.1.

\* Remarque : Le monostable servant à déclencher le système est composé de deux monostables en vérité (SN74121 et NE555) pour une raison qui sera expliquée ultérieurement.

### 1.1 Astable I

C'est une horloge à signaux rectangulaire. L'intervalle de temps entre deux séries de mesures est réglé manuellement par l'utilisateur, cet interval est l'état haut de l'horloge. Cet astable est réalisé avec un NE555 qui est auto-déclenchable et de ce fait entraîne une complication dans la suite de la circuiterie de temporisation au niveau du déclenchement.

### 1.2 Schema et calcul

Pour le brochage du NE555 voir fig 4.2. Pour son brochage en astable voir fig 4.4

L'intervalle de temps entre deux séries de mesures sera de 15 min, 30 min, ou 60 min (càd, 900 s, 1800 s, ou 3600 s). Les équations régissant les états de l'horloge sont:

$$T_B = 0,693 R_B C$$

$$T_A = 0,693 (R_A + R_B) C$$

$$T = T_A + T_B = 0,693 (R_A + 2R_B) C$$

$$f = \frac{1,44}{(R_A + 2R_B) C}$$



Ces formules sont valables pour une gamme de fréquence allant de 0,1 Hz à 100 kHz (voir fig 4.5). Dans

notre cas la fréquence maximale  $f$  est de l'ordre du MHz. En essayant d'appliquer les formules ci dessus ( pour le temps  $T_A$  ) on a remarqué que le temps  $T_A$  mesuré ne correspondait pas au temps  $T_A$  calculé et une différence importante existait. Alors on a eu l'idée de tracer la courbe  $T_A = f(R_A)$  Pour différentes valeurs de  $R_A$ , on a reperé sur l'axe des ordonnées les temps  $T_A$  correspondants et par extrapolation on a tiré les valeurs des résistances  $R_A$  convenant aux durées 900  $\mu$ s, 1800  $\mu$ s et 3600  $\mu$ s. La méthode s'est avérée assez précise et elle a permis de réaliser l'astable souhaité

Tableau des mesures

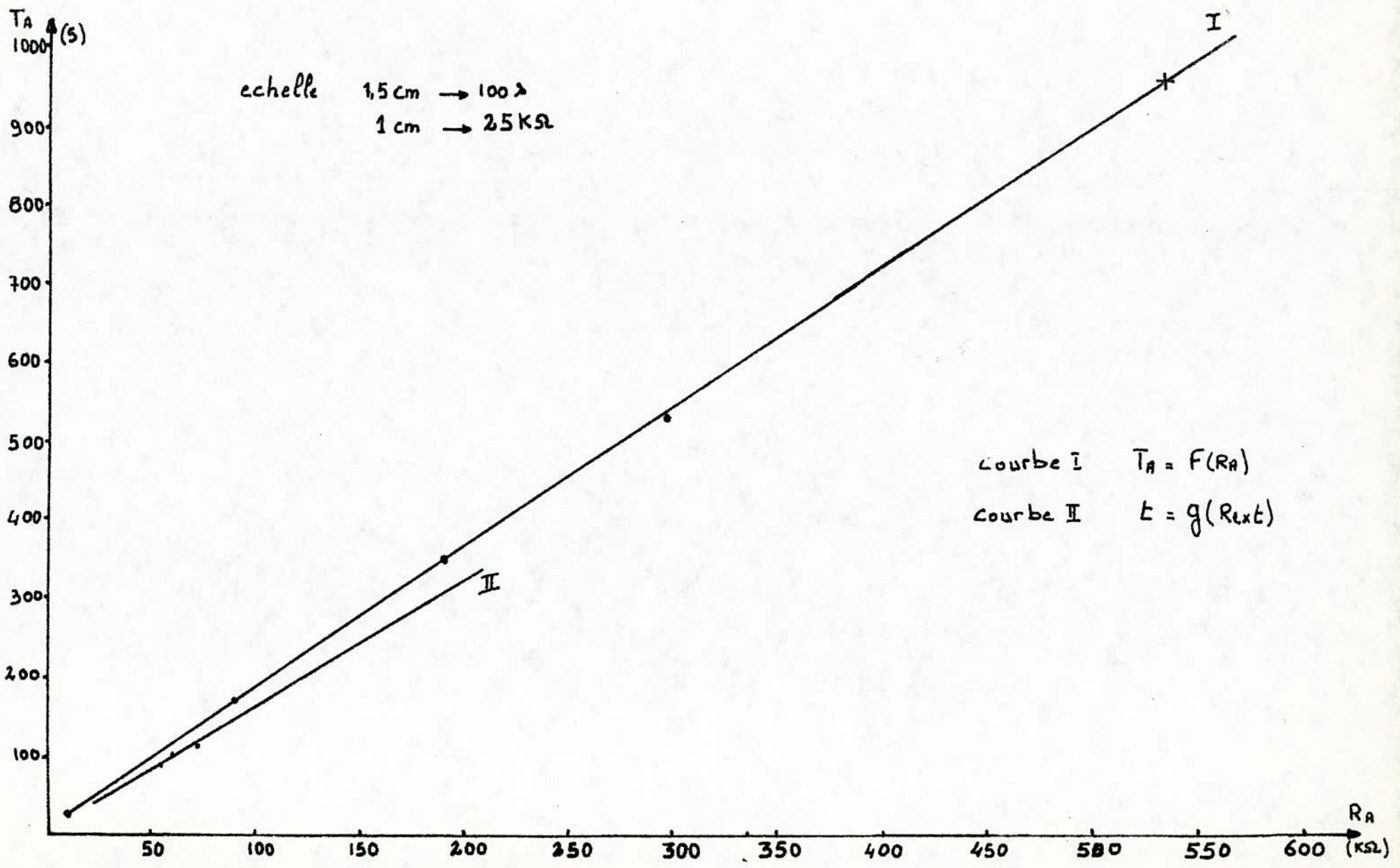
$R_A^*$ (k $\Omega$ )	9,28	90,61	190,21	334,375	532,34
$T_A$ (s)	26	169	346	600	15'59"

Voir courbe I page suivante

\* Valeur utilisées pour l'appareil

$T_A$ (s)	$R_A$ (k $\Omega$ )
959s	46,74 + 485,6
1800	1002,68
3600	2008,266

\* Les résistances  $R_A$  utilisées ont été mesurées avec précision



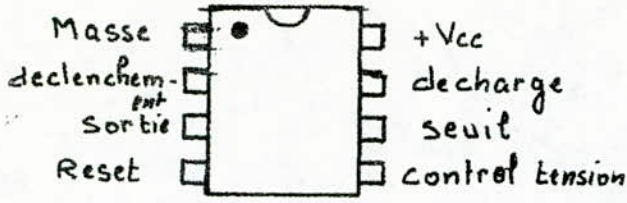


fig 4.2

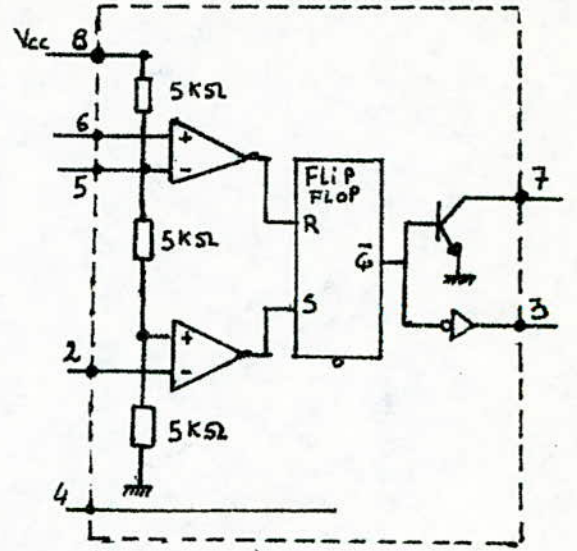


fig 4.3  
schema interne  
du NE555

Brochage du NE555 en Astable

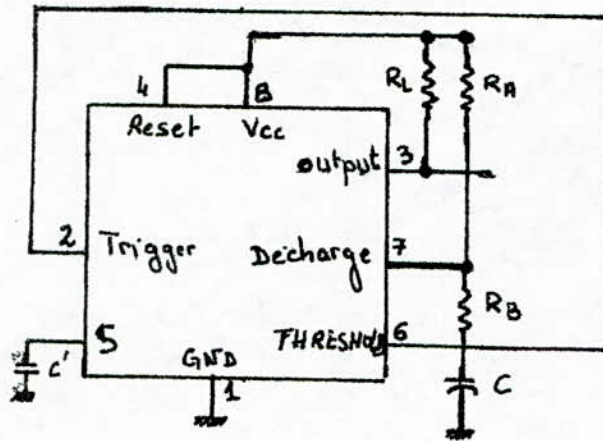
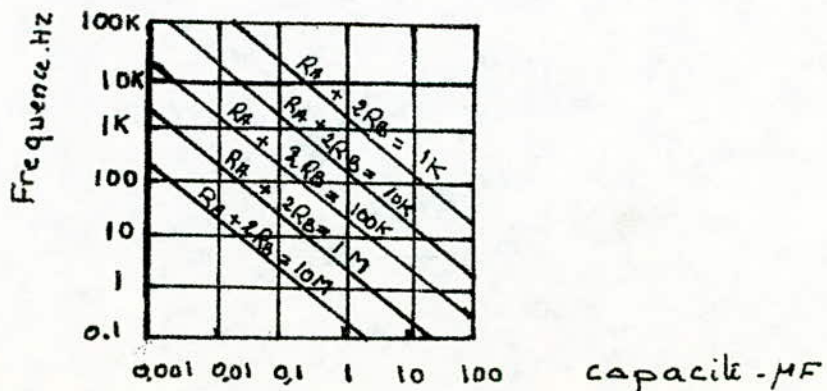


fig 4.4

La broche 5 peut être ouverte ou découplée avec une capacité à la masse. La capacité est évaluée suivant l'appli

fig 4.5





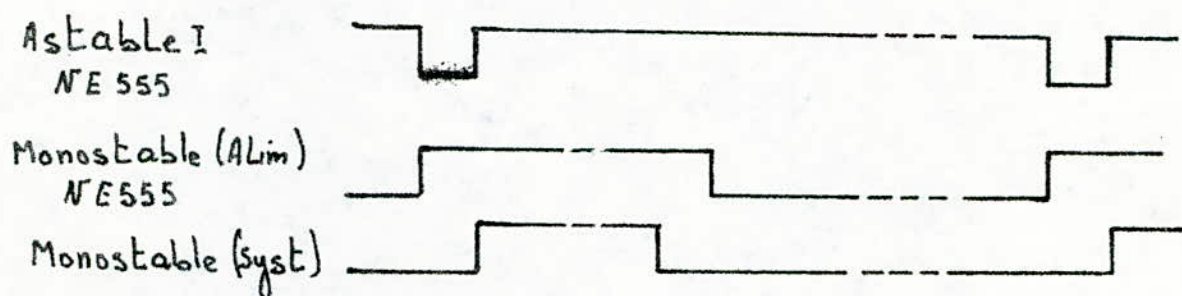
Pour le temps  $T_B$ , la formule donnée est précise et on a choisi cette durée  $T_B$  comme étant le temps qui sépare les deux déclenchements. Le premier monostable se déclenche au front descendant du signal délivré par l'astable I et le deuxième monostable se déclenche au front montant de ce même signal (voir chronogramme 1 ci-dessous)

$$T_B = 0,693 R_B C = 5 \mu s$$

$$\text{si } C = 2200 \mu F \quad \Rightarrow R_B = 3,3 \text{ k}\Omega$$

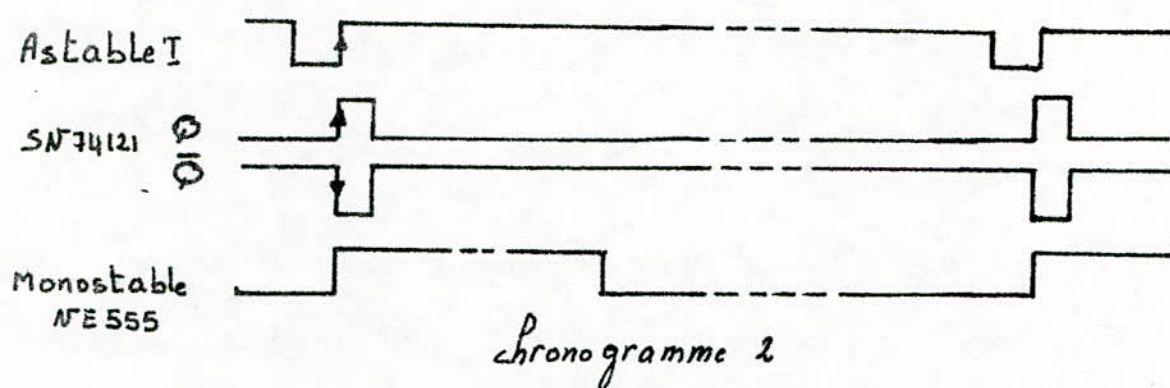
$$R_{B \text{ mesurée}} = 4,249 \text{ k}\Omega$$

$$T_{B \text{ mesurée}} = 6,5 \mu s$$



2. Monostables déclenchant le système de mesure  
Le système de mesure se déclenche quand l'horloge passe de l'état bas à l'état haut c-à-d au front montant. Le SN74121 vient à l'esprit car il réagit au front montant mais il y a un compromis, la durée maximale de son impulsion de sortie est de  $21 \mu s$ , alors que nous avons fixé la durée d'une mesure à 5 secondes, ce qui fait

80 secondes pour une série de mesure (16 voies).  
 On a eu recours au NE555 comme monostable (Voir son brochage fig 4.6) reagissant au front montant du signal délivré par l'horloge par l'intermédiaire du SN74121 monté en monostable dont l'impulsion de sortie sera brève de façon qu'elle disparait lorsque la période du monostable s'achève. On attaque le NE555 par la sortie  $\bar{Q}$  du SN74121 voir chronogramme 2)



### \* Calcul

a/ SN74121 (Voir son brochage en monostable fig 4.8)  
 On a choisi l'impulsion de sortie ayant pour durée 3 secondes

$$t = 0,7 RC = 3s.$$

$$C = 1000 \mu F \quad \Rightarrow \quad R = 4,285 K\Omega$$

$$R_{normalis} = 4,7 K\Omega$$

$$\Rightarrow t = 3,29 \text{ sec}$$

b/ Monostable NE 555

La largeur de l'impulsion de sortie du NE 555 monté en monostable. fig 4.6 va durer 80 secondes ( $16 \times 5s$ )  
 En regardant la courbe donnant la largeur de l'impulsion de sortie en fonction de la capacité externe on remarque qu'on est au dessus de la gamme fig 4.7  
 La méthode employée pour réaliser ce monostable a été la même que celle employée pour l'astable I  
 On a tracé la courbe  $t = f(R_{ext})$  (voir courbe page 30) et par interpolation on a déduit la résistance qu'il faut pour avoir les 80 secondes

Dans la gamme de temps figurant dans la courbe de la fig 4.7, la formule est

$$t = 1,1 R_{ext} C_{ext}$$

Tableau des valeurs

$R_{ka}$	561,479	61,41	71,479	57,5	125
$t$	187	100	118	93	200

Ce monostable va commander le système et donc permettre les 16 mesures dont chacune d'elle dure cinq secondes et ceci est réglé par une horloge de période 5 secondes et un compteur 4 bits pour compter les voies et un démultiplexeur 4 vers 16 permettant d'afficher la voie de mesure à l'aide

# Brochage du NE555 en monostable

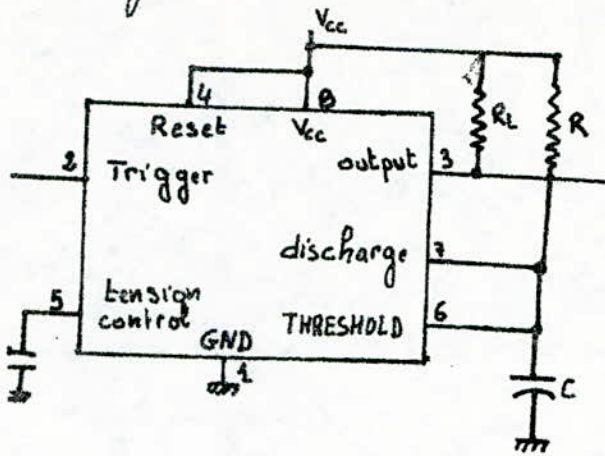


fig 4.6

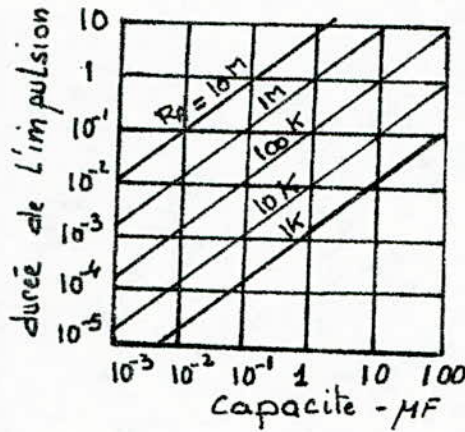


fig 4.7

# \* Brochage du SN74121

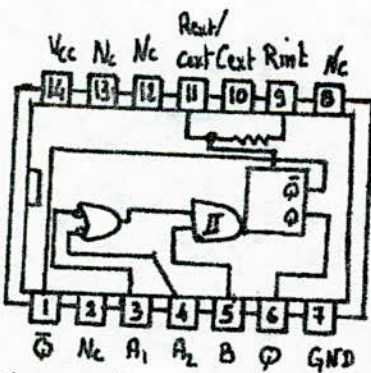
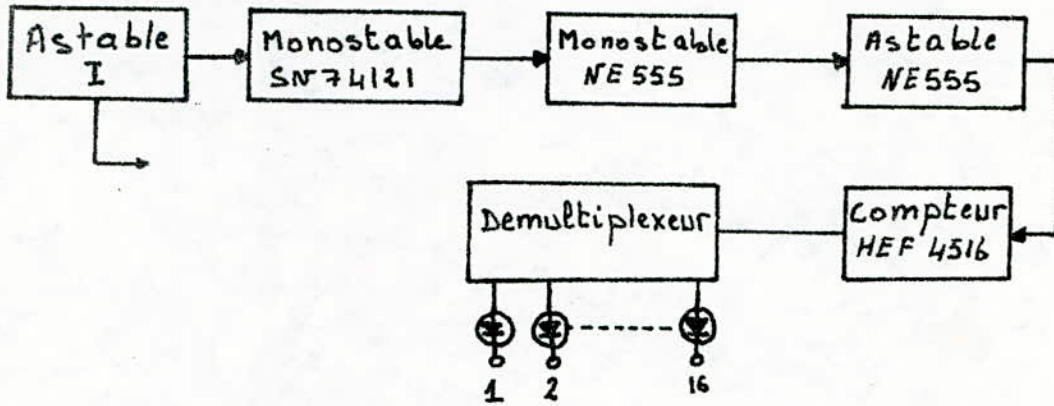


fig 4.8

input			outputs	
A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B	Q	Q̄
L	X	H	L	H
X	L	H	L	H
X	X	L	L	H
H	H	X	L	H
H	↓	H	⏏	⏏
↓	H	H	⏏	⏏
↓	↓	H	⏏	⏏
L	X	↑	⏏	⏏
X	L	↑	⏏	⏏

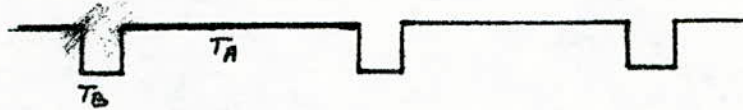
fig 4.9

d'une led. Le synoptique de cette partie se présente comme suit fig 4.10



c/ Horloge NE555

La période de cette horloge a été fixée à 5 secondes; pour permettre à une camera de photographier la valeur affichée. Cette camera est commandée par un moteur qui fait 3 secondes pour déclencher la camera



$$T_A = 0,693 (R_A + R_B) C$$

$$T_B = 0,693 R_B C$$

$$f = \frac{1,44}{(R_A + 2R_B)C}$$

$$T_B = 0,693 R_B C = 1 \text{ s.}$$

on a fixé  $C$  à  $100 \mu\text{F}$

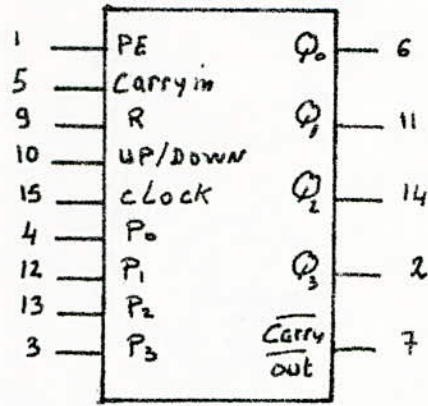
$$\Rightarrow R_B = 14,430 \text{ k}\Omega$$

$$R_B \text{ normalisée} = 12 \text{ k} + 2,2 \text{ k} + 0,220 = 14,420 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow T_B = 0,999 \text{ sec}$$

# Compteur binaire 4 bits HEF4516

fig 4.12



Vcc broche 16  
Masse broche 8

## \* Brochage du compteur dans le montage

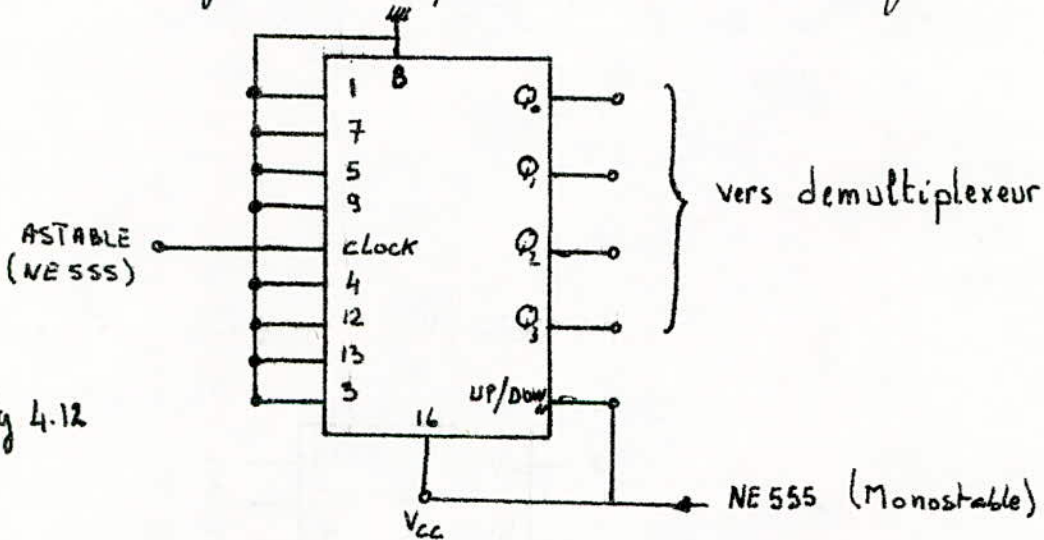


fig 4.12

## \* Différents emplois du compteur

Carry in	UP/DOWN	PRESET ENABLE	RESET	Action
1	X	0	0	No count
0	1	0	0	Count UP
0	0	0	0	Count DOWN
X	X	1	0	PRESET
X	X	X	1	RESET

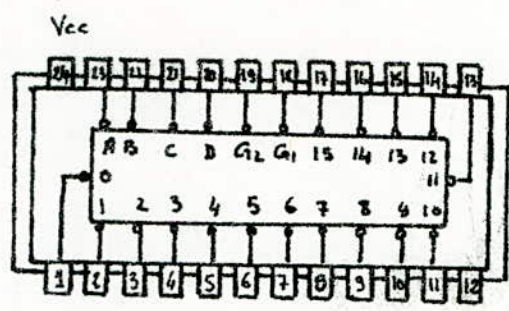


fig 4.13 Demultiplexeur SN74154

input		output																				
G <sub>2</sub>	G <sub>1</sub>	D	C	B	A	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	L	H	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	L	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	H	L	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	H	H	L	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	H	H	H	L	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	H	L	H	L	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	H	H	L	L	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H
L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H
L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H
L	H	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
H	H	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H

fig 4.14

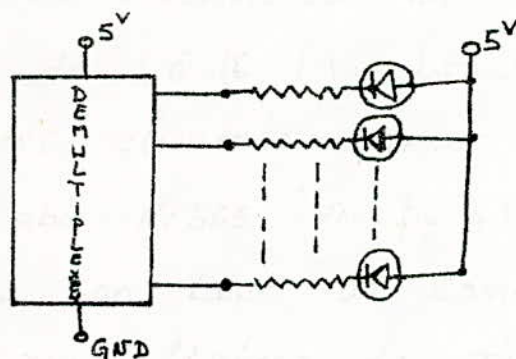
$$T_A = 4 \mu\text{s} = 0,693(R_A + R_B)C$$

$$\text{on trouve } R_A = 43,304 \text{ k}\Omega$$

cette horloge va commander un compteur qui va compter de 1 à 16 (Voir brochage fig 4.11)  
Le compteur est alimenté comme l'horloge à partir du monostable NE555 (Voir fig 4.12)

Le compteur à son tour va commander le demultiplexeur qui affichera la voie de mesure à l'aide de leds chaque fois que le compteur s'incrémente. Le demultiplexeur est alimenté comme l'horloge et le compteur

Le demultiplexeur, fonctionne en logique négative c'à d que la sortie du demultiplexeur est à l'état bas lorsqu'il affiche (fig 4.14), donc pour afficher on emploie le schéma suivant.

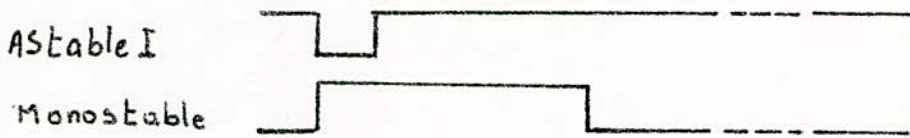


### 3 Monostable déclenchant l'alimentation NE555

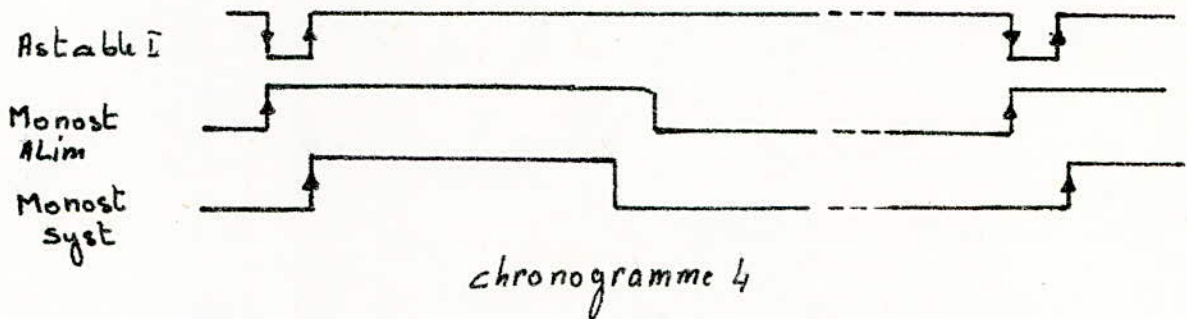
Pour éviter des erreurs dans les mesures dues à la stabilisation du système, on a opté pour un déclenchement avancé de 6 secondes par rapport au



au système. Ce déclenchement se fait au front descendant du signal délivré par l'astable I



Pour éviter aussi une erreur à la fin de la dernière mesure, on a laissé un temps de sécurité après la fin des mesures voir chronogramme 4.



La largeur de l'impulsion de sortie du monostable déclenchant l'alimentation a été fixée à 93 secondes

$$t = 1,1 R.C$$

La résistance  $R$  a été déduite de la courbe précédemment

on a pris  $C = 1000 \mu F$

on a déduit  $R =$

La commande de déclenchement des alimentations est réalisée grâce à des relais

La commande des relais est régie par l'impulsion de sortie du monostable (voir fig 4.14) Ces relais restent fermés pendant la durée de cette impulsion

Les relais utilisés sont du type 881 Reed DIL. Pour les alimentations  $+5^V$  et  $-5^V$  on a des relais à un seul contact, et pour les alimentations  $+15^V$  et  $-15^V$  on a un relais à double contact (voir fig. 4.15)

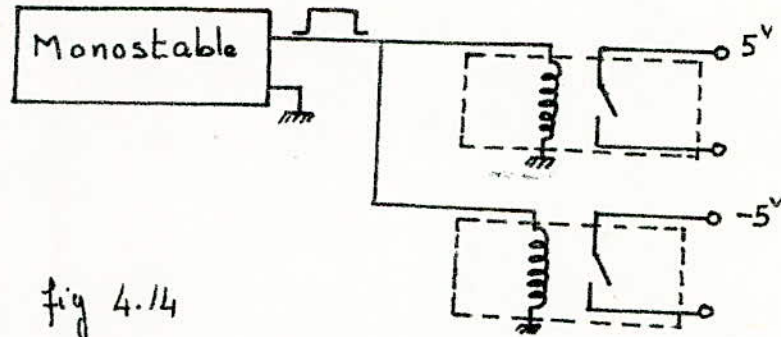


fig 4.14

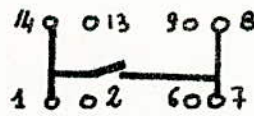
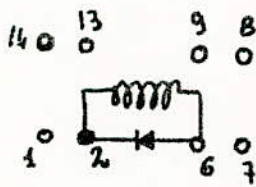
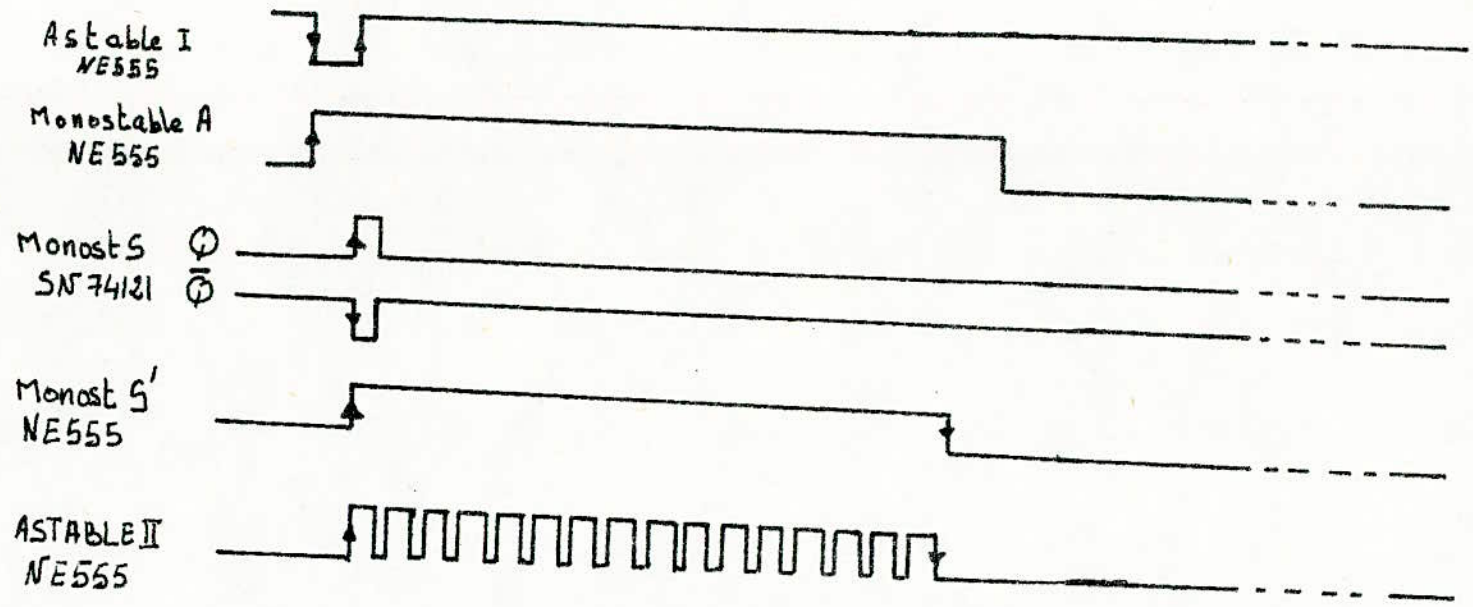


fig 4.15. brochage des relais



chronogramme de la Temporisation

## B. Multiplexage.

Le multiplexeur est un circuit qui permet de sélectionner une ligne d'entrée par une adresse et de faire apparaître à la sortie l'état de cette ligne. Les entrées du multiplexeur peuvent être prises par rapport à la masse ou différentielles.

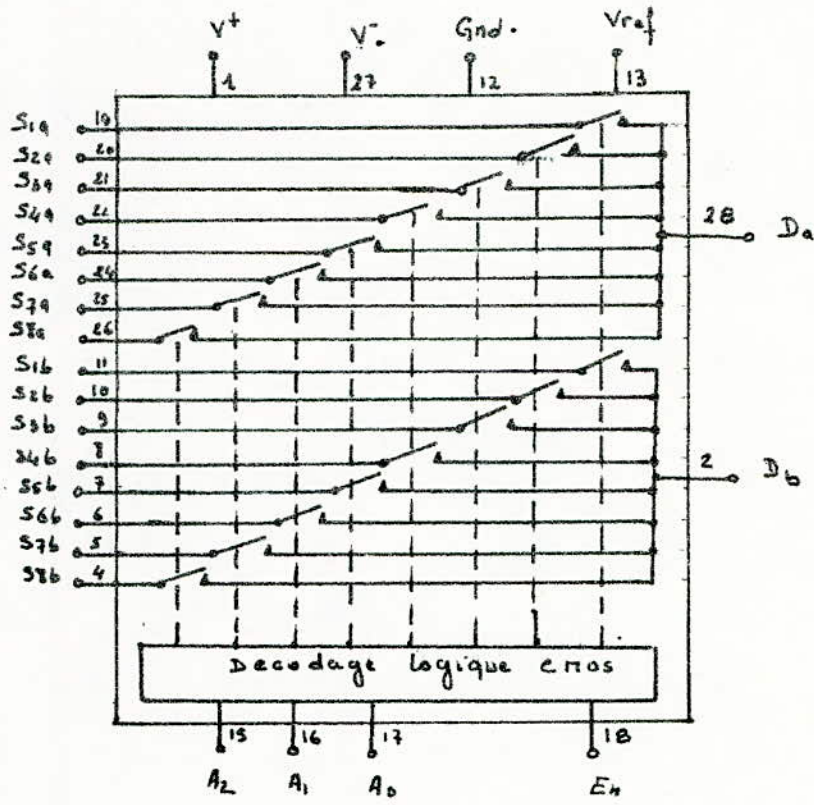
Dans le cas où on a des signaux faibles, l'entrée en différentiel est conseillée car elle permet d'éliminer les parasites. Le DG507 est un multiplexeur différentiel à 8 canaux. Comme on a 16 voies dans notre appareil, on emploie deux multiplexeurs du type DG507. La sélection des voies est réalisée par le compteur qui compte de 1 à 16.

Ce type de multiplexeur a une entrée de validation (Enable), elle va permettre de passer du 1<sup>er</sup> multiplexeur au 2<sup>ème</sup> multiplexeur quand on passe de la huitième voie à la neuvième.

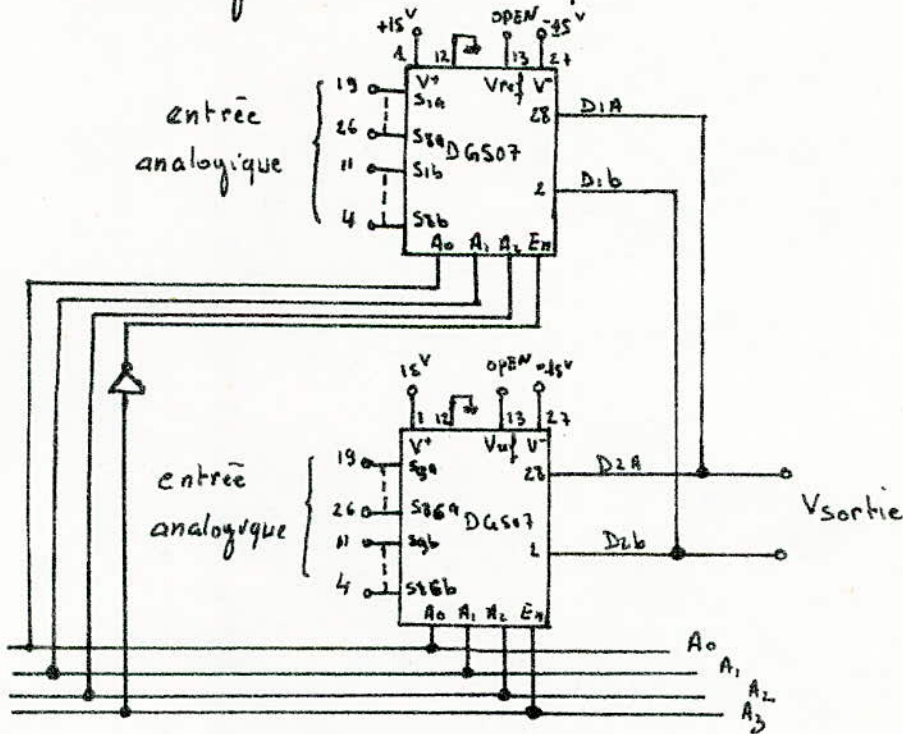
### Caractéristique du DG507.

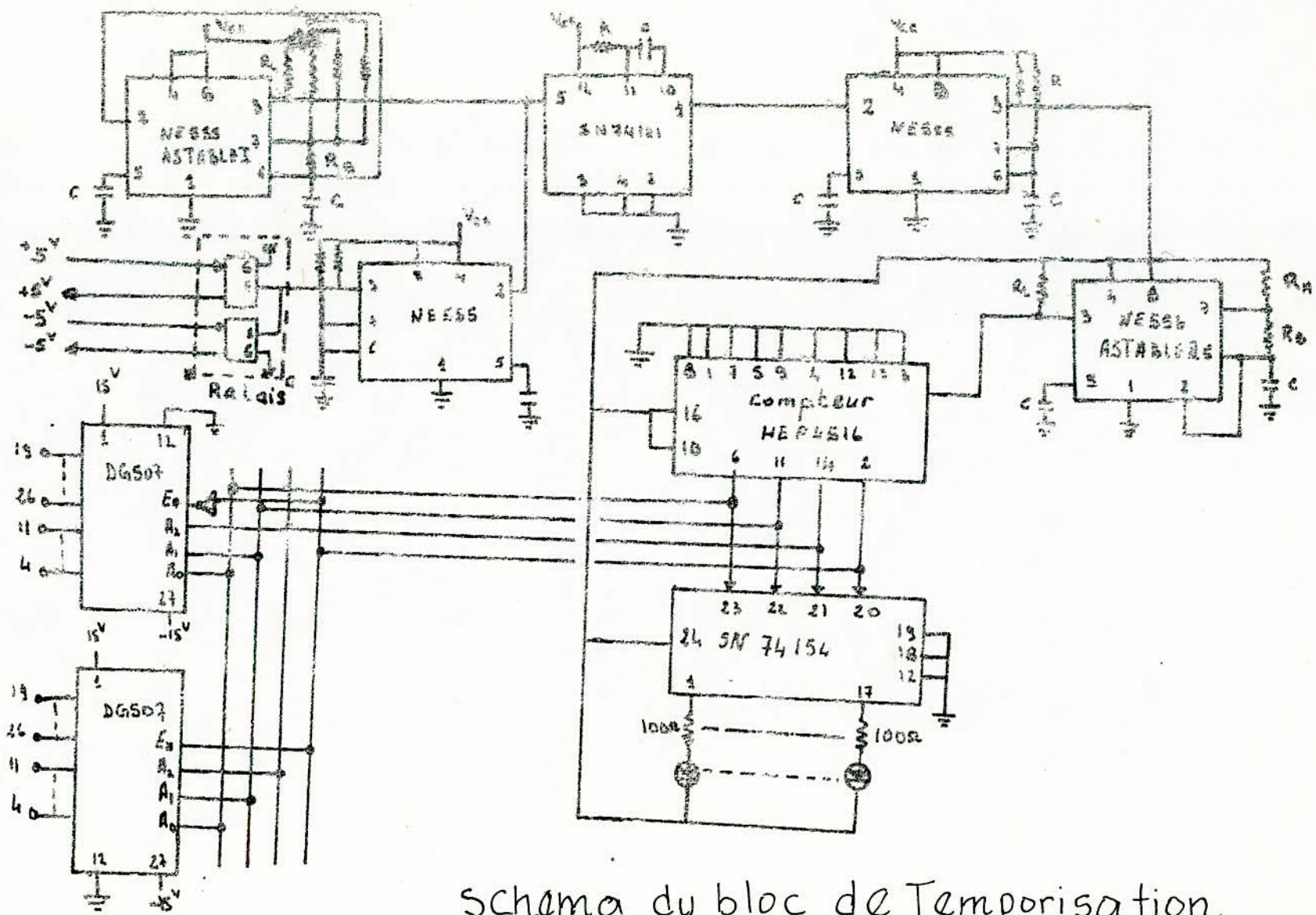
- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| * Tensions d'entrées $A_i$ , $V_{ref}$ et $E_n$ | $-0,3V$ , $V^+$                  |
| par rapport à la masse                          |                                  |
| * $V^+$ par rapport à la masse                  | $16V$                            |
| * $V^-$ . . . . .                               | $-16V$                           |
| * gamme de température                          | $-65^{\circ}C \div 150^{\circ}C$ |

\* Bloc diagramme du DG507



\* Brochage des 2 multiplexeurs





Schema du bloc de Temporisation

## Conversion Analogique-Numerique et Affichage

I Dans tous les appareils contemporains, l'affichage numérique des mesures faites est une technique importante car elle permet d'éliminer l'erreur de lecture qui résulte de l'utilisation des appareils à aiguille.

Pour afficher, il faut procéder à la transformation du signal analogique au moyen d'un convertisseur analogique numérique (C.A.N) en une série de niveaux haut ou bas exprimant dans un code convenu un nombre représentant l'amplitude du signal analogique. Ce signal codé est appliqué à un organe d'affichage permettant la lecture de cette amplitude.

### II Conversion numérique analogique:

1) La conversion analogique - numérique fait correspondre une suite de nombres  $\{a_n\}$  au signal d'entrée  $x(t)$ , chaque nombre correspond au fait à l'amplitude d'un échantillon du signal  $x^*(t)$ .

$x^*(t)$  est la suite de valeurs discrètes de ce signal prélevées à des intervalles de temps réguliers de période  $T_e$ .

#### 2) Rappels Théoriques

a) échantillonnage : Échantillonner une fonction, c'est prélever la valeur de cette fonction pendant

un certain intervalle de temps de manière périodique. On substitue une autre fonction discontinue, obtenue à partir de la fonction continue par découpage de cette dernière. Cette opération (échantillonnage) sera possible s'il existe une relation entre la fréquence d'échantillonnage  $F_e$  et la fréquence maximale  $F_{max}$  du spectre du signal analogique. Cette relation porte le nom de théorème d'échantillonnage ou théorème de Shannon qu'on peut énoncer ainsi : « Un signal  $x(t)$  dont le spectre est limité à la fréquence  $F_{max}$  est entièrement déterminé par la suite complète de ses échantillons prélevés à des intervalles de temps réguliers de valeurs  $T = \frac{1}{2F_{max}}$  »

b/ Quantification : L'information numérique est un message de longueur définie. Ainsi dans une base  $b$ ,  $n$  chiffres permettent de coder  $N = b^n$  valeurs distinctes. On ne pourra donc coder c'est à dire reconnaître que  $N$  valeurs bien définies de la grandeur analogique. L'opération qui consiste à remplacer la valeur exacte du signal par une valeur choisie parmi les  $N$  valeurs quantifiées est la quantification.

3°) Technique de conversion analogique numérique :

Sur le plan pratique, quatre techniques sont très utilisées  
a) convertisseur à double rampe

Il est utilisé en instrumentation, ses caractéristiques essentielles sont :



- convertisseur lent (dizaine de ms).
- faible sensibilité au bruit.
- Précision de conversion indépendante des composants utilisés et de la fréquence d'horloge.
- résolution typique : 10, 12, 13 bits.

b/ convertisseur à comptage.

C'est un convertisseur très voisin de celui à rampe, de réalisation simple mais présentant le désavantage d'un temps de conversion long pour une résolution donnée.

c/ convertisseur parallèle.

C'est le type de convertisseur le plus rapide, le temps de conversion se limitant aux temps de commutation des comparateurs et de propagation à travers les portes de transcodage.

d/ convertisseur à approximations successives

C'est ce type de convertisseur qu'on a utilisé, ses avantages sont : une bonne résolution et une grande rapidité (figure V1).

Principe : On compare en permanence le signal d'entrée  $V_a$  à une tension analogique précise générée par un convertisseur numérique-analogique (CNA).

Le processus de conversion est similaire à celui de la pesée à l'aide d'une balance à plateaux : on essaie les poids par valeurs décroissantes tant que le poids de l'objet n'est pas équilibré on garde tous les poids utilisés jusqu'à créer le déséquilibre. A ce moment on retire le poids ayant provoqué le déséquilibre et l'on essaie

celui immédiatement inférieur jusqu'à trouver l'équilibre.  
 fonctionnement : la tension analogique  $V_e$  est comparée par le CNA au bit de plus haut poids (MSB), ce qui situe immédiatement  $V_e$  par rapport à la demi échelle ( $\frac{V_{ref}}{2}$ ).  
 Si  $V_e > \frac{V_{ref}}{2}$ , on garde le MSB à 1 dans le registre de sortie et le bit de rang immédiatement inférieur est essayé.  
 Si  $V_e < \frac{V_{ref}}{2}$  (MSB), on garde le MSB à 0 dans la position correspondante du registre de sortie et le bit suivant est essayé.  
 Si l'apport du second bit est insuffisant par rapport à  $V_e$ , on essaye le troisième bit, etc. Après avoir essayé tous les bits, le registre de sortie contient la représentation binaire d'un signal analogique le plus proche de  $V_e$ .  
 Il est supposé que le signal d'entrée ne change quasiment pas durant la conversion, sous peine d'imprécision notable.

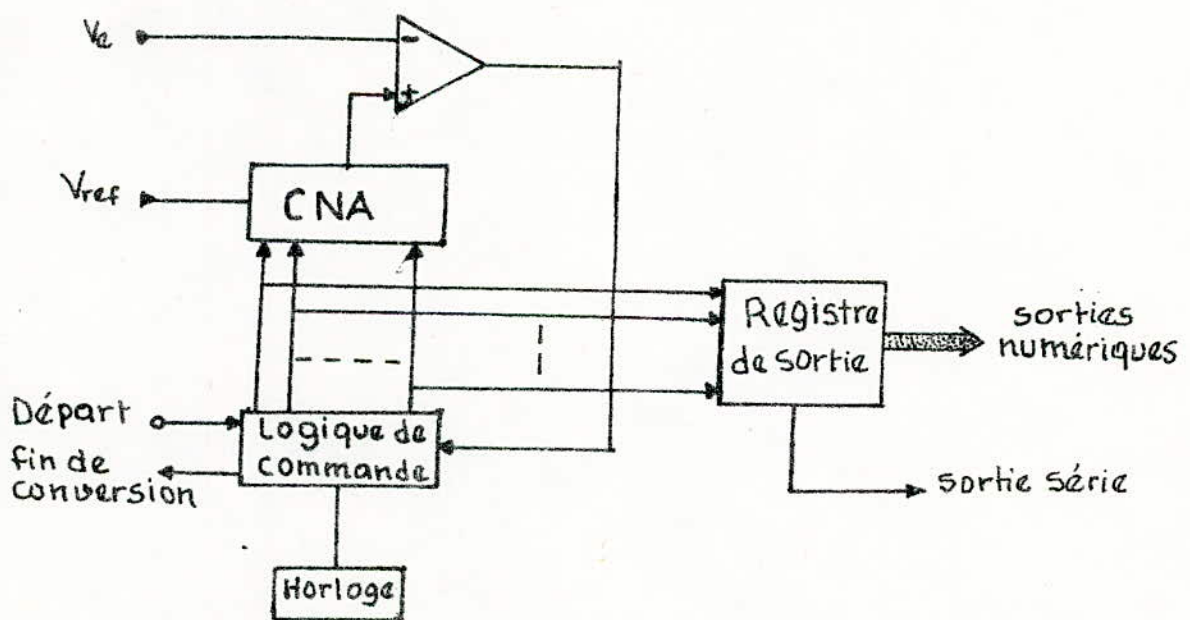


figure V.1 : schéma de principe du convertisseur à approximations successives

#### 4° Paramètres caractéristiques d'un C.A.N.

a) Résolution: fixée par le nombre de bits fournis par le convertisseur; la résolution définit la plus petite variation de la tension que le convertisseur peut coder et indiquer; compte tenu du nombre de bits.

b) temps de conversion: c'est le temps nécessaire pour obtenir en sortie un signal numérique correspondant au signal d'entrée analogique avec la précision désirée

c) Précision: elle se définit comme étant l'écart existant entre la valeur théorique de  $E_{nominate}$  fournissant un certain mot  $N$  en sortie et la valeur réelle de  $A$  fournissant effectivement ce mot. Cet écart est l'erreur absolue.

d) Rejection des signaux de perturbation: On définit un facteur de rejection  $S(\omega)$  de tension de perturbation, comme le rapport du bruit d'entrée normalisé  $A(\text{bruit})/U_{ref}$  au bruit de sortie normalisé  $N(\text{bruit})$

$$S(\omega) = \frac{\frac{A(\text{bruit})}{U_{ref}}}{N(\text{bruit})}$$

Ce facteur est important dans les C.A.N à faible vitesse car les parasites secteur peuvent produire des erreurs importantes

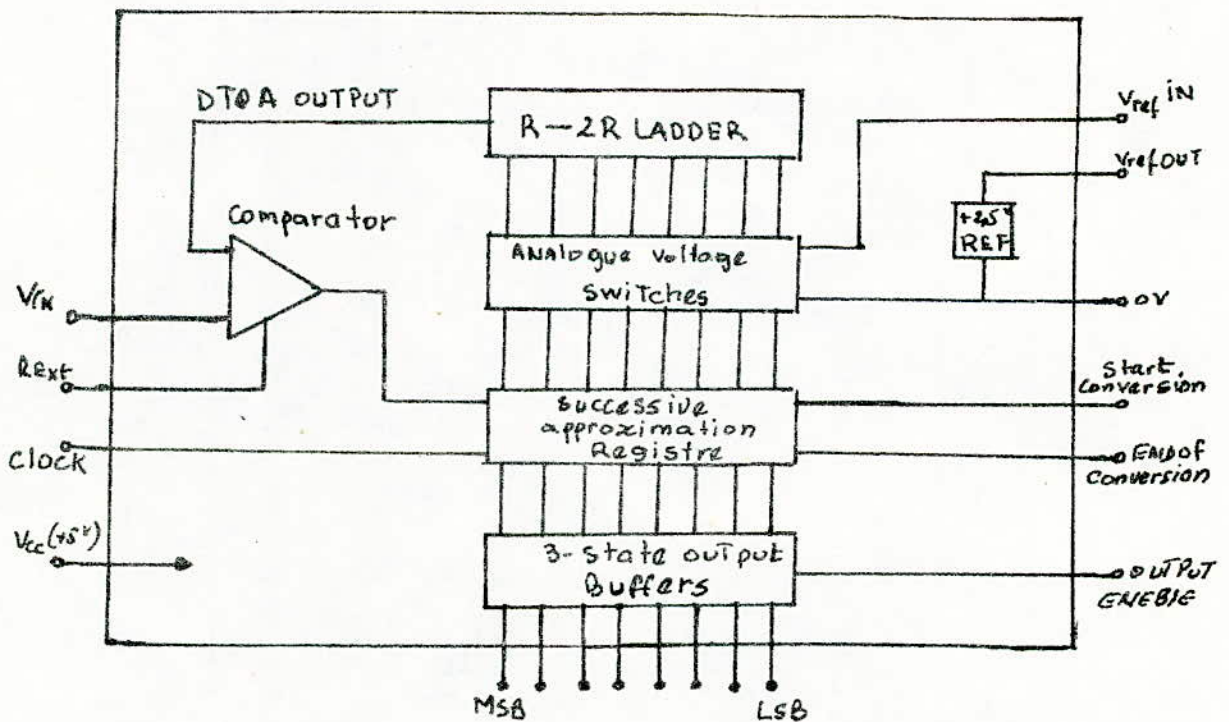
### 5° Etude du C.A.N utilisé

Le C.A.N qu'on a utilisé est un RS427, c'est un convertisseur à approximations successives.

#### a/ caractéristiques du RS427.

- Resolution 8bits
- tension d'alimentation max  $V_{cc} = +7V$
- gamme de température  $0^{\circ}C - 70^{\circ}C$ .
- référence interne et externe
- temps de conversion 10 périodes d'horloge.
- fréquence d'horloge maximale 900 KHz
- fréquence d'horloge minimale 600 KHz.
- sortie à 3 états.

#### b/ Block diagramme.

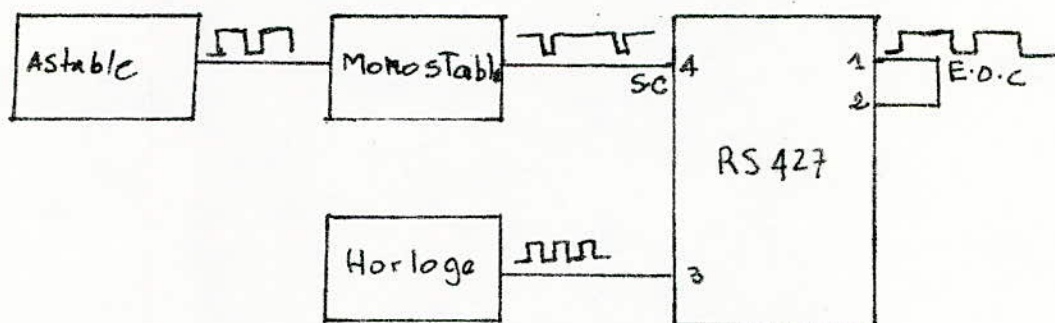


#### c/ signaux de commande.

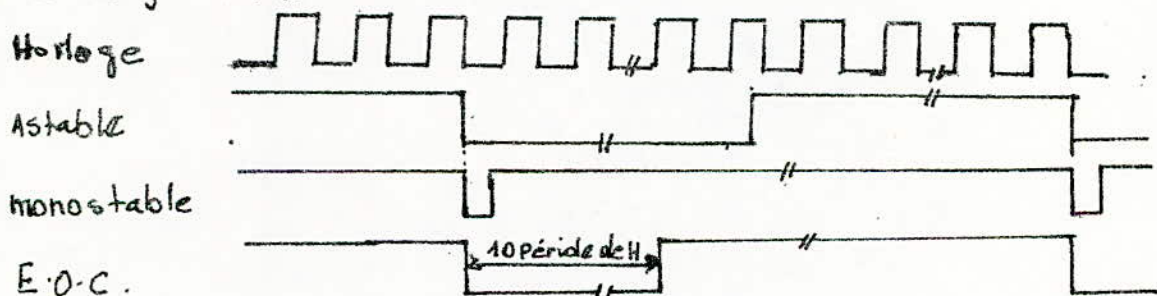
Pour fonctionner le C.A.N RS427 nécessite une horloge dans la fréquence minimale est de 600 KHz

ainsi qu'une impulsion de début de conversion appliquée à la broche 4. La conversion se fait en 10 périodes d'horloge puis un signal de fin de conversion est généré au niveau du circuit (passage de l'état bas "0" à l'état haut "1" de E.O.C broche 1). L'information est présente en sortie si la broche 2 est validée à 1.

On a donc le synoptique suivant.

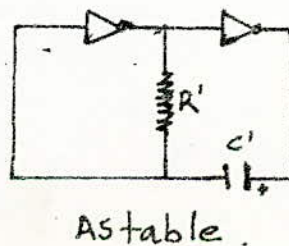
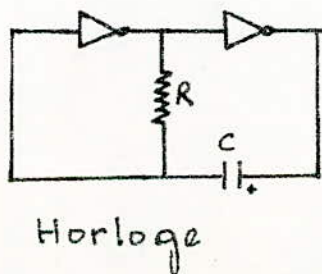


Chronogramme.



Schémas et calcul.

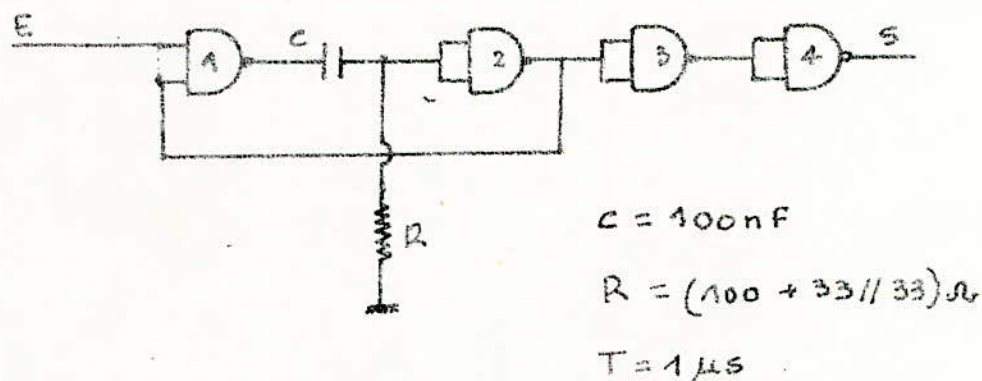
L'horloge et l'astable sont réalisés avec des inverseurs comme l'indiquent les figures ci-dessous.



Pour l'horloge on a  $R = 1,8 \text{ k}\Omega$   $C = 470 \text{ pF}$   $T =$

Pour l'astable on a  $R' = 3,08 \text{ k}\Omega$   $C' = 10 \text{ nF}$   $T' =$

le monostable est réalisé à l'aide de portes NAND selon le schéma suivant



La porte 3 sert de mise en forme et la porte 4 d'inversion / calibrage :

La tension de référence étant de  $2,5 \text{ V}$  (référence interne du RS427) donc la plus petite valeur qui peut être codée sera  $\frac{U_{ref}}{2^8}$  (quantum) soit  $q = \frac{2,5}{256} = 9,8 \text{ mV}$  ceci correspond au bit de poids le plus faible (LSB)

Pour un affichage direct de la température en degré celsius, il faut que la tension à l'entrée du C.A.N varie comme  $V = 9,8 T$ .

La tension à la sortie du bloc analogique varie comme  $V_m = 10,3 \text{ mV}$  pour un rapport  $\frac{R_{20}}{R_{19}} = 1$  (voir page 24)

En appliquant directement cette tension à l'entrée du convertisseur, on affiche directement la température mais avec une erreur dont on évaluera la valeur par la suite.

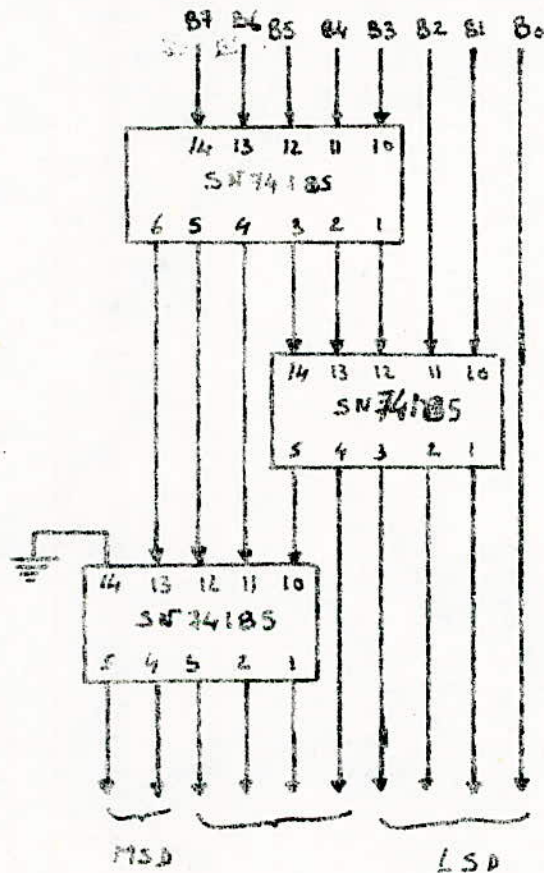
donc pour le dernier étage d'amplification on prend  $\frac{R_{20}}{R_{19}} = 1$  soit  $R_{20} = R_{19}$ , on prend  $R_{19} = R_{20} = 10 \text{ k}\Omega$ .

## Affichage

L'information présente à la sortie du convertisseur est en binaire. L'affichage de cette information nécessite deux transformations :

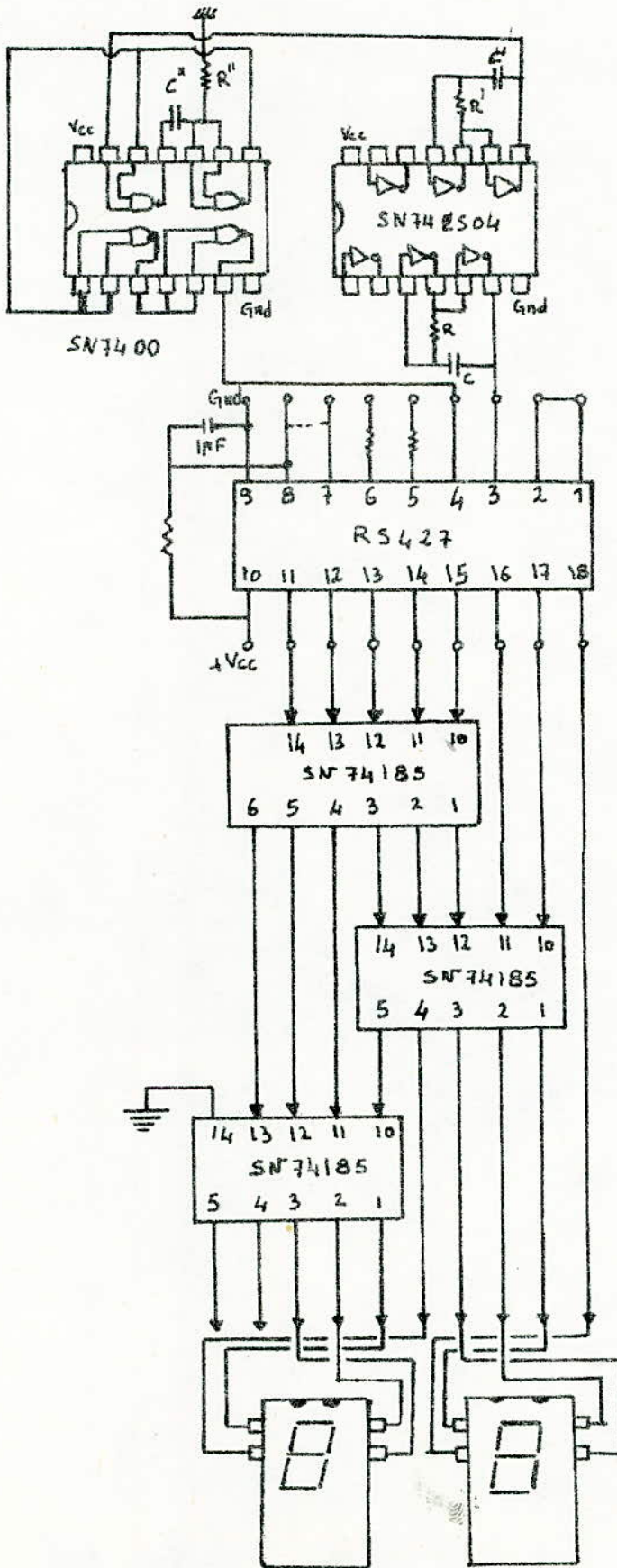
1. Transcodage binaire-BCD
2. Decodage BCD vers sept segments et affichage

La première transformation est assurée par trois transcodeurs SN74185 selon le schéma suivant



La deuxième transformation est réalisée grâce aux afficheurs hexadécimaux TIL311 qui possèdent un Driver et un decodage BCD vers sept segments incorporés (voir schéma de brochage à la fin du polycopé.)

# Schema de conversion et d'affichage





## Evaluation de l'erreur.

Nous ne pouvons donner la valeur exacte de l'erreur commise dans l'utilisation de cet appareil, car celle-ci ne peut être déterminée qu'après une série de mesures faites et comparées à celles données par un appareil étalon. Néanmoins nous donnerons les origines :

- de premier est le circuit d'amplification : l'utilisation d'amplificateur dans l'offset ne peut se régler précisément donne lieu à une erreur de mesure. celle-ci est d'autant plus faible que la température à mesurer est grande.

La seconde est le convertisseur analogique numérique. à ce niveau l'erreur est due au fait qu'on a considéré que la tension à l'entrée du C.A.N varie comme  $V_e = 9,8T$  alors qu'elle varie comme  $10,3T$

Ce qui donnera une erreur de 5%.

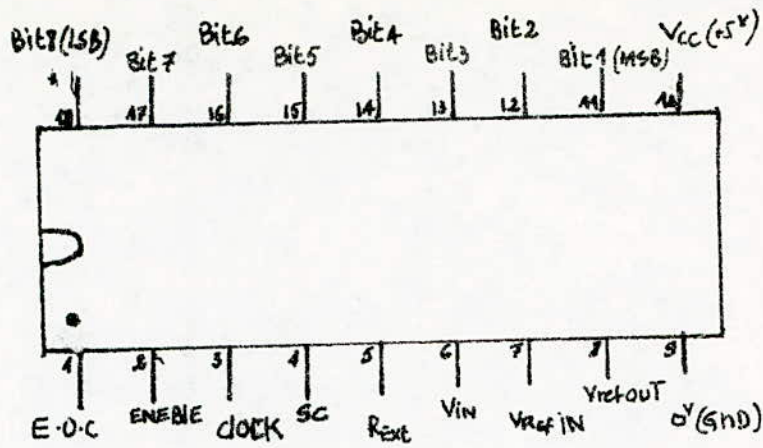
à ce même niveau l'erreur due à la non linéarité du C.A.N est aussi à considérer, celle-ci est de  $\frac{1}{2}$  LSB

## Conclusion :

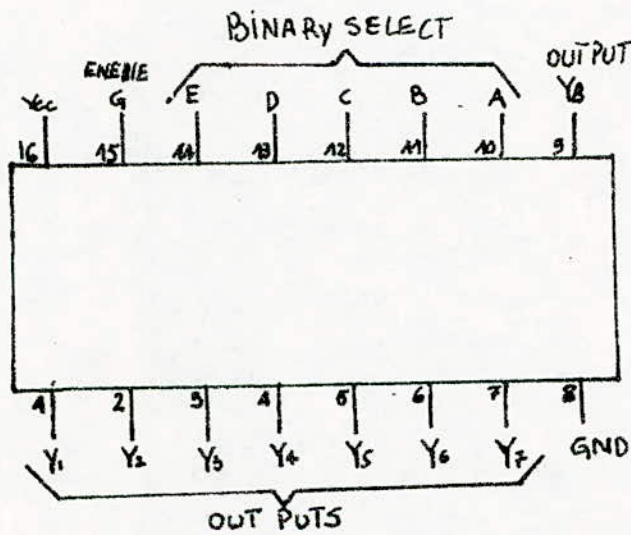
Par les remarques ci-dessous, nous donnons quelques suggestions en vue d'une amélioration de cet appareil.

- Seul le thermocouple est approprié à la mesure de température dans ces conditions, car il présente l'avantage d'être placé loin de l'appareil.
- L'emploi d'amplificateur d'instrumentation présentant des amplificateurs appariés à JFET est souhaitable.
- Au niveau de la temporisation il serait souhaitable d'utiliser une temporisation programmable qui affichera l'heure.
- Puisque le facteur temps n'intervient pas, le nombre de voies peut être augmenté à volonté.
- Un convertisseur dix bits est aussi souhaité afin d'afficher le dixième. Le convertisseur sera calibré de sorte qu'à  $0,1^{\circ}\text{C}$  corresponde un quantum.

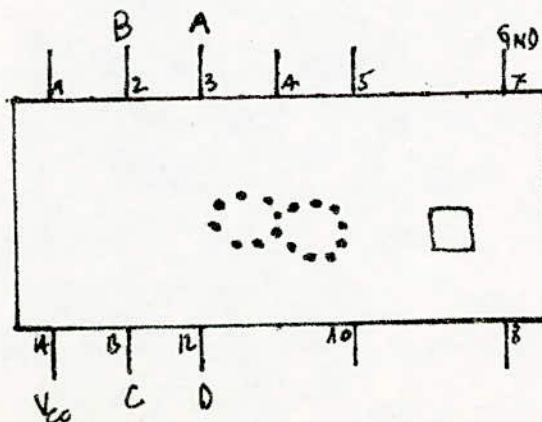
# Brochage du C.A.N RS427



# Brochage du transcodeur SN74185 Binaire au BCD



# Brochage du T.I.L 311 : Afficheur.



## Bibliographie

- Mesure des Températures E<sup>d</sup> Radio
- Technique d'impulsion DONVAL
- DATA BOOK TTL
- CMOS MOTOROLA
- L'Amplificateur opérationnel et ses applications J-C MARCHAIS
- microprocesseurs : du 6800 au 6809 modes d'interfaçage Gérard REVELLIN