

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP
ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES
DEPARTEMENT DU GENIE
ELECTROMECHANIQUE



Gm.0121

PROJET DE FIN D'ETUDES

(En vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur de Conception)

Titre: Conception et Réalisation d'un appareil de
mesure de diffusivité thermique

Auteur: SOULEYMANE FOFANA

Directeur interne: FADEL NIANG

Co-Directeur interne: SALIF GAYE

Juillet 1999

HOMMAGE ,

A tous les jambars tombés aux champs d'honneur

Que DIEU le tout puissant leurs accorde sa miséricorde

ALFATIHA - ONZE LIKHLASS

« A LA NATION L'INGENIERIE ET LA DEFENSE »

REMERCIEMENT

Nous tenons à remercier cordialement et avec le plus grand respect tous ceux qui de près ou de loin ont participé à la réalisation de ce travail en particulier

--Monsieur FADEL NIANG chargé de cours à L' ESP, notre directeur interne d'avoir bien voulu proposer le sujet, et de son encadrement sans faille

--Monsieur SALIF G AYE chargé de cours à L'ESP, notre co-directeur interne qui n'a ménagé aucun effort pour le bon déroulement du projet. Tout au long de l'étude il nous a apporté un soutien documentaire et une assistance technique riches et soutenus

SOMMAIRE

Depuis quelques années des tentatives sont faites pour utiliser des matériaux allégés dans le bâtiment (béton légers).Les avantages principaux sont :

- La facilité de manutation
- l'allègement des fondations
- Les bonnes qualités isolantes des parois
- Réduction de la pollution

Pour le type de béton que nous étudions, il a ses propriétés thermophysiques internes (conductivité thermique, la chaleur massique ,et la diffusivité thermique) qui demeurent inconnues . La finalité de ce projet est de concevoir et de réaliser un appareil permettant la mesure de la diffusivité thermique des matériaux.

Ce présent rapport est composé de **trois** chapitres dont le premier relate l'étude bibliographique faite sur la notion de diffusivité thermique et de l'appareil d'une manière générale. Le second traite des concepts fondamentaux relatifs à la température de surface et enfin le troisième est consacré au dimensionnement de l'appareil.

TABLES DES MATIERES

	Page
Hommage	I
Remerciement	II
Sommaire	III
Tables des matières	III
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	2
I.1 : Les différents modes de transfert de chaleur.....	2
I.2 : Méthode sinusoïdale.....	5
I.2.1 : Méthode sinusoïdale électrothermique.....	5
I.2.2 : Méthode sinusoïdale photothermique.....	6
I.3 : Méthode impulsionnelle ou flash.....	7
I.3.1 : Modèle PARKER.....	8
I.3.2 : Modèle de DEGIOVA NNI.....	8
I.3.3 : Modèle de YEZOU.....	11
I.4 : Schéma générale de la méthode flash.....	12
CHAPITRE II : RAPPELS DES NOTIONS FONDAMENTALES SUR	
LES TEMPERATURES DE SURFACE.....	13
II.1 : Complexité de la surface.....	13
II.2 : Définition de la température de surface.....	13
II.3 : Principe de mesure d'une température de surface.....	14
II.4 : Sensibilité et inertie.....	15
II.5 : Principaux phénomènes thermométriques.....	16
II.5.1 : Mesure par contact.....	17
II.5.2 : Mesure sans contact.....	17
II.6 : Interaction avec l'environnement.....	17

II.7 : Impératifs conditionnant le choix d'un capteur.....	18
II.8 : Différents types de mesure par contact.....	20
II.8.1 : Procédés de mesure directe.....	20
II.8.2 : Procédés de mesure indirecte.....	21
II.8.3 : Source d'erreur dans les mesures par contact.....	21
II.8.3.1 : Position du problème.....	22
II.8.3.2 : Description du modèle.....	24
II.9 : Modélisation de l'erreur en régime transitoire.....	27
II.9.1 : Evaluation du coefficient d'erreur K.....	30
II.10 : Techniques de mise en œuvre des dispositifs.....	33
II.10.1 : Couples thermométriques montés sur la surface.....	34
II.10.2. Couples thermométriques montés sous la surface.....	36
CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT DE L'APPAREIL	38
III.1 : Hypotèses de dimensionnement.....	38
III.2 : Source d'énergie.....	38
III.3 : Enceinte.....	39
III.3.1 : Calcul des dimensions du cône.....	39
III.3.2 : Calcul des dimensions de la boîte.....	41
III.4 : Capteur de température.....	41
III.4.1 : Définitions et caractéristiques.....	42
III.4.2 : Types de capteurs de mesure directe.....	43
III.5 : Système de commande.....	48
III.6 : Système d'acquisition de données.....	50
III.6.1 . Convertisseur de signal.....	50
III.6.2 : Amplificateur	51
III.6.3. : Filtre.....	52

III.6.4 : Echantillonneur- bloqueur.....	52
III.6.5 : Convertisseur Analogique Numérique.....	53
III.6.6 : Convertisseur Numérique Analogique.....	54
III.6.7 : Présentation de la carte de simulation.....	57
III.6.8 : Présentation du logiciel.....	64
Conclusion et Recommandations.....	69
Listes des figures.....	A
Listes des tableaux.....	B
Listes des annexes.....	C
Bibliographique.....	D

LISTES DES FIGURES

figure	page
1.1 Représentation de l'élément dV dans le repère x,y,z.....	4
1.2 Chauffage périodique.....	6
1.3 Principe de la radiométrie photothermique modulée.....	7
1.4 Thermogramme de la face non irradiée.....	10
2.1 Réponse du système à un échelon de température.....	16
2.2 Procédés de mesure directe.....	21
2.3 Procédés de mesure indirecte.....	21
2.4 Transfert de chaleur parasite du milieu vers le capteur ,et vers l'extérieur.....	23
2.5 Description du modèle.....	25
2.6 Stylisation des transferts superficiels.....	25
2.7 Effet de macrostriction au sein du milieu.....	28
2.8 Effet de résistance de contact.....	29
2.9 Utilisation d'un disque de contact de bonne conductivité thermique.....	31
2.10 Couples thermoélectriques montés perpendiculairement sur la surface.....	35
2.11 Couples thermoélectriques montés parallèlement sur la surface.....	36
2.12 Couples thermoélectriques montés sous la surface.....	37
3.1 Lampe à incandescence.....	39
3.2 Schéma cone- échantillon.....	40'
3.3 Dessin de l'enceinte.....	41'
3.4 Représentation de la grandeur mesurée.....	42
3.5 Courbe d'étalonnage d'un capteur.....	43
3.6 Mesure de la force électromotrice e par le biais de T1.....	44
3.7 Caractéristiques thermoélectriques des principaux couples thermoélectriques.....	37
3.8 Schéma de base.....	46

3.9	Mesure de la tension au borne d'un capteur dans un montage potentiométrique.....	48
3.10	Schéma électrique du système de commande.....	48'
3.11	Chaine d'acquisition de donnés.....	50'
3.12	Tension en mode commun.....	52
3.13	Echantillonneur - bloqueur.....	53
3.14	Convertisseur Analogique Numérique.....	54
3.15	Convertisseur Numérique analogique.....	55
3.16	La carte PCL 812.....	58
3.17	Schéma synoptique de la carte.....	64
3.18	Atelas des menus de NOTEBOOK version 7.0.....	65
3.19	Exemples d'utilisation d'icônes.....	67

LISTES DES TABLEAUX

Tableau		page
2.1	Principaux phénomènes thermométriques	16
3.1	Valeurs des coefficients a_0, a_1, a_2, a_3 pour l'étalonnage.....	46
3.2	Différentes valeurs de R_2 et de C_1	49
3.3	Sélection de l'adresse de base.....	59
3.4	Sélection de niveau d'attente.....	60
3.5	Sélection de la tension d'entrée.....	60
3.6	Menus blocks.....	66

LISTES DES ANNEXES

	Annexes	page
A-1	Capteur de température : thermocouple à visser.....	A1
A-2	Convertisseur.....	A2
B-1	Caractéristiques des composants du PCL 812.....	B1
B-2	Caractéristiques des composants du PCL 812.....	B2
B-3	Adresse des portes d'entrée/ sortie.....	B3
C-1	Schéma détaillé de la minuterie 555.....	C1

INTRODUCTION

L'Association des Chercheurs Sénégalais travaille depuis quelques années sur les procédés de recyclage des déchets plastiques qui constituent un grand danger pour notre environnement de par son caractère polluant. L'idée d'utiliser le béton de polymère comme matériau de construction est entrain d'être étudié ,en effet l'équipe de génie civil a obtenu de très bons résultats au cours des essais mécaniques et a procédé également à la modélisation en éléments finis du béton de polymère mais ses propriétés thermophysiques demeurent inconnues.

Le but de ce projet est de concevoir et de réaliser un appareil de mesure de diffusivité thermique des matériaux , ensuite de procéder à une application au béton léger de plastique recyclé.

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Le phénomène de conduction fût l'objet d'étude de plusieurs auteurs au cours du siècle passé notamment JOSEPH FOURIER ET ANTRÖM .Cependant il met en jeu les propriétés thermophysiques internes des matériaux comme la conductivité thermique, la chaleur massique, et la diffusivité thermique, les procédés de mesure de cette dernière propriété en régime transitoire ne datent que d'une cinquantaine d'années. Parmi ces procédés on peut citer : la méthode en régime sinusoïdale et celle en régime impulsionnel. Mais avant de parler de ces méthodes de mesure rappelons les différents modes de transfert de chaleur.

I.1) LES DIFFERENTS MODES DE TRANSFERTS DE CHALEUR

Soit un corps S se trouvant dans un environnement donné, peut être soumis à trois types d'échange de chaleur :

--**Echange par conduction** : il se passe au sein du corps, c'est le transfert d'un flux de chaleur d'une face vers une autre face de l'échantillon. Elle se caractérise par un paramètre appelé conductivité thermique λ et gradient thermique entre les deux faces.

--**Echange par convection** : il se passe entre le corps et le fluide qui se trouve dans le milieu environnant, et se caractérise par un coefficient h d'échange par convection et un gradient thermique entre la surface du corps et le fluide

--**Echange par rayonnement** : Deux corps solides en regard échangent lorsque leurs températures sont différentes une quantité de chaleur par rayonnement. Ce flux thermique échangé est fonction de l'émissivité ϵ et du gradient thermique des deux entre les deux corps. Dans le cadre de notre étude c'est le premier type d'échange qui fait allusion à la diffusivité thermique

Equation fondamentale de la conduction en régime transitoire

hypothèses (valables pour tout le reste de l'étude)

--corps isotrope : ses propriétés thermiques sont indépendantes des directions

--corps homogène : masse volumique ρ constante : donc indépendante de la température

--chaleur massique à pression constante C indépendant de la température

--conductivité thermique λ indépendant de la température

--pas de dégagement ou d'absorption de chaleur dans la masse

Découpons un petit élément de volume de cotés dx, dy, dz et de volume

$dv = dx dy dz$ (voir fig1.1)

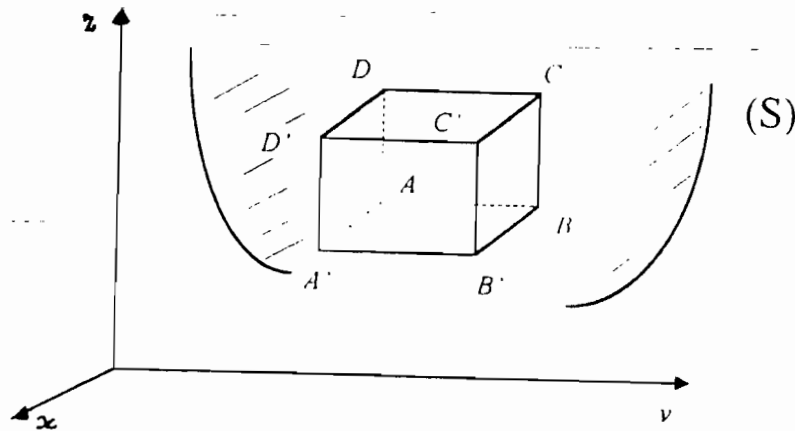


fig 1.1 . Représentation de l'élément dV dans le repère x,y,z

Faisons le bilan d'énergie relatif au corps dans les trois axes du repère pendant le temps dt en utilisant la loi de FOURIER.

$$dQ_x = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} dx dy dz dt \quad (1.1)$$

dQ_x flux de chaleur échangé dans la direction des x

$$dQ_y = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} dx dy dz dt \quad (1.2)$$

dQ_y flux de chaleur échangé dans la direction des y

$$dQ_z = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} dx dy dz dt \quad (1.3)$$

dQ_z flux de chaleur échangé dans la direction des z

dQ le flux de chaleur total échangé est :

$$dQ = dQ_x + dQ_y + dQ_z = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) dx \cdot dy \cdot dz \cdot dt \quad (1.4)$$

$$\text{d'autre part } dQ = \rho C dx \cdot dy \cdot dz \cdot dT \quad (1.5)$$

(la chaleur dQ absorbée par le volume élémentaire correspondant à une variation de température dT pendant un temps dt)

$$(1.4)=(1.5) \Rightarrow \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) dt = \rho C \cdot dT \quad (1.6)$$

$$\text{et } dT = \frac{\partial T}{\partial t} dt + \frac{\partial T}{\partial x} dx + \frac{\partial T}{\partial y} dy + \frac{\partial T}{\partial z} dz$$

$$\text{si le corps est immobile alors } dx=dy=dz=0 \Rightarrow dT = \frac{\partial T}{\partial t} dt \quad (1.7)$$

$$(16) \text{ et } (1.7) \Rightarrow \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) dt = \rho C \frac{\partial T}{\partial t} dt$$

sachant que $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \text{laplacien de } T = \Delta T$, on a $\frac{\lambda}{\rho C} \Delta T = \frac{\partial T}{\partial t}$, on note

$\frac{\lambda}{\rho C} = \text{diffusivité thermique } a$, qui caractérise la vitesse de propagation de l'onde

thermique dans un corps, on en tire aisément l'équation classique de transmission de chaleur :

$$\mathbf{a} \Delta T = \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1.8)$$

I.2 : METHODE SINUSOÏDALE

I.2.1 Méthode sinusoïdale électrothermique

Le principe de la mesure consiste à chauffer périodiquement l'une des extrémités de l'échantillon de longueur semi- infinie (suffisamment long) à l'aide d'une résistance

thermique fourni à l'extrémité d'abscisse $x=0$. La valeur des températures absolues T_1 et T_2 respectivement aux points X_1 et X_2 permet de déterminer la diffusivité thermique a en m^2/s par la formule suivante :

$$a = \frac{\omega(X_2 - X_1)^2}{2 \times \left(\ln \frac{T_1}{T_2} \right)^2} \quad \text{où}$$

ω = la pulsation (rad/s) ,

T = température absolue ($^{\circ}k$)

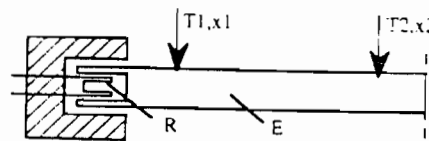


fig 1.2 : Chauffage périodique avec résistance chauffante

X_1 et X_2 les abscisses (m)

1.2.2 : Méthode sinusoïdale photothermique (radiométrie)

Le principe et le résultat sont les mêmes, la seule différence est que la source d'excitation thermique est cette fois-ci un rayonnement électromagnétique ou un faisceau d'électrons qui traversent un modulateur avant d'arriver à l'échantillon. La fiabilité de ces deux méthodes précitées suppose des hypothèses difficilement réalisables, c'est ce qui constitue d'ailleurs leurs grands inconvénients.

--Réaliser une onde thermique sinusoïdale.

--Forme, fréquence, et amplitude du signal doivent rester constantes

--La longueur d'onde doit être inférieure au rayon moyen r_0 de la section droite de

l'échantillon pour éviter les effets de bords (pertes latérales)

--Echantillon très long donc encombrant.

--La longueur d'onde doit être inférieure au rayon moyen r_0 de la section droite de l'échantillon pour éviter les effets de bords (pertes latérales)

--Echantillon très long donc encombrant.

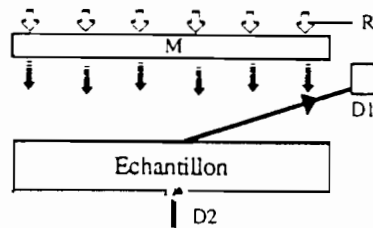
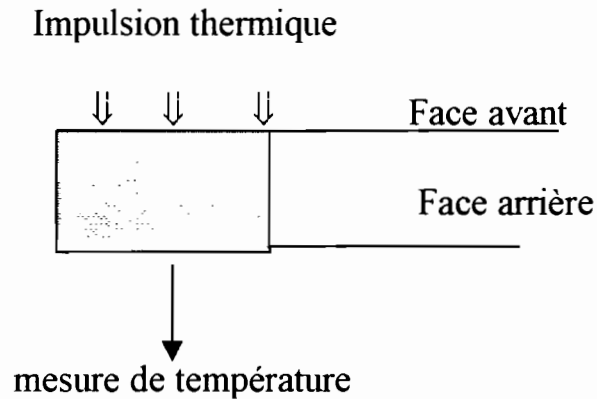


Fig1.3 :Principe de la radiométrie photothermique modulée

I3: METHODE IMPULSIONNELLE OU FLASH

Elle représente l'une des options de la « **méthode des boîtes** » qui permet la mesure simultanée des trois propriétés caractéristiques des matériaux λ, C, a , en peu de temps (3h environ). Contrairement à la méthode de la plaque chaude gardée faisant appel à un appareillage très lourd et qui permet la mesure d'une seule propriété, pendant toute une journée (24 h environ).

Le principe de la méthode consiste à produire une impulsion thermique de courte durée (t_0) sur une face de l'échantillon parfaitement isolée de la périphérie et à observer la réponse à ce signal sur l'autre face.(face non irradiée)



Trois modèles de calcul existent pour la méthode flash.

I.3.1 Modèle PARKER.

Dans ce modèle la valeur de la diffusivité thermique a (m^2/s) est obtenue par la relation suivante :

$$a = \frac{1,38 \times e^2}{\pi \times t_{1/2}} \quad \text{où}$$

e = épaisseur de l'échantillon (m)

$t_{1/2}$ = temps au bout duquel $T = T_{max}/2$ pour la face non irradiée. Il faut noter que ce modèle de calcul est très imprécis car il ne tient pas compte des fuites latérales et de la durée de l'impulsion qui n'est jamais infiniment brève.

I.3.2 : Modèle de DEGIONVANNI

Ce modèle est plus précis que le premier en effet il tient compte que des fuites latérales et donne comme valeur de diffusivité la moyenne de celles mesurées en quatre points différents déterminés sur le thermogramme et calculées comme suit :

$$a_1 = \frac{e^2}{t_{2,5}^2} (1,15 \times t_{5,6} - 1,25 \times t_{2,3})$$

$$a_2 = \frac{e^2}{t_{2,5}^2} (0,761 \times t_{5,6} - 0,925 \times t_{1,3})$$

$$a_3 = \frac{e^2}{t_{2,5}^2} (0,617 \times t_{5,6} - 0,862 \times t_{1,3})$$

$$a_4 = \frac{e^2}{t_{2,5}^2} (1,2 \times S_0 - 1,9)$$

S_0 = surface hachurée sur le thermogramme de la face non irradiée

$$a = \frac{\sum_{i=1}^4 a_i}{4}$$

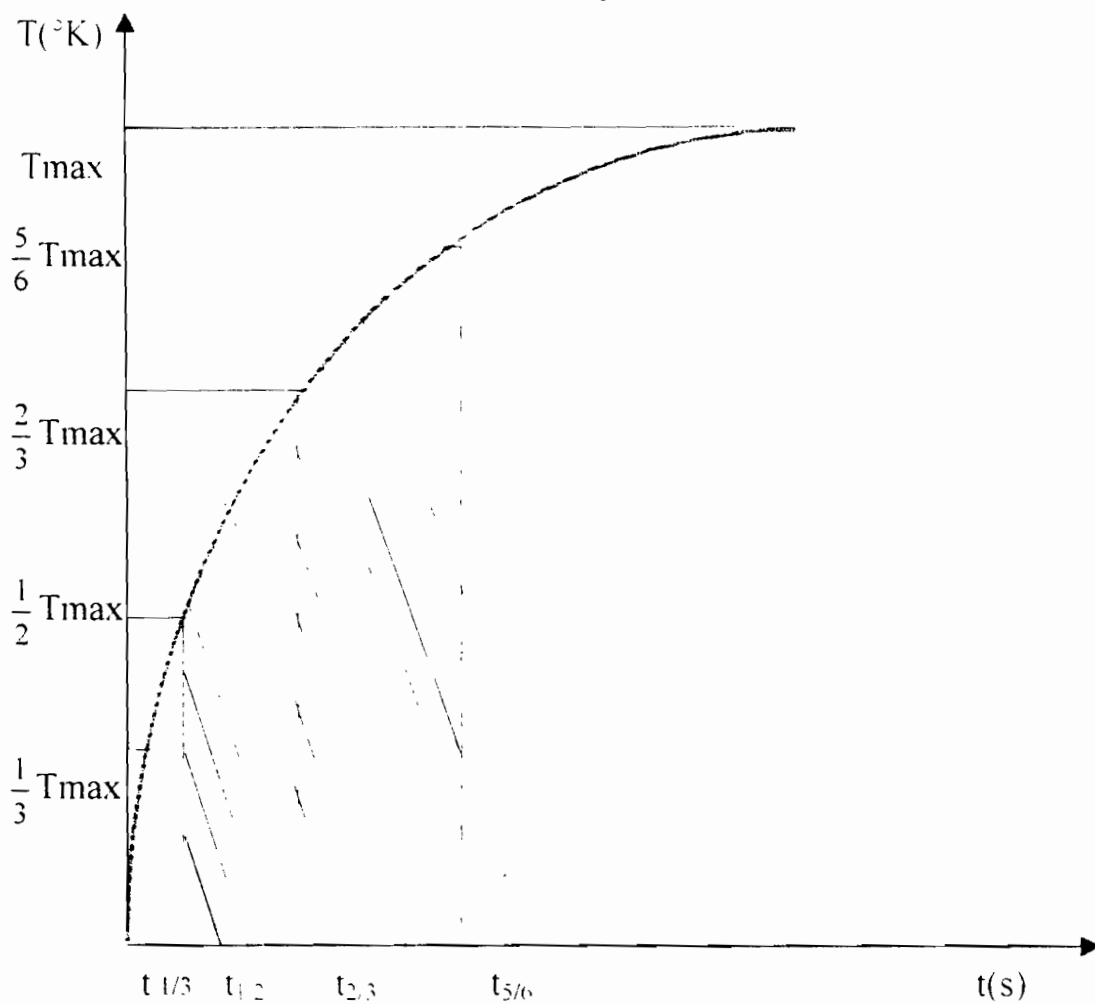


fig 1.4 : THERMOGRAMME DE FACE NON IRRADIEE

I.3.3 Modèle de YEZOU

Ce modèle tient compte de t_0 (durée de l'impulsion) qui n'est pas infiniment brève et pas des fuites latérales. Il propose comme valeur de diffusivité la moyenne de ces deux valeurs.

$$a_1 = \frac{e^2}{t_{5/6} - 0,5 \times t_0} \left[0,713 \times \left(\frac{t_{1/2} - 0,5t_0^2}{t_{5/6} - 0,5t_0^2} \right)^2 - 1,82 \times \left(\frac{t_{1/2} + 0,5t_0^2}{t_{5/6} - 0,5t_0^2} \right) + 1,067 \right]$$

$$a_2 = \frac{e^2}{t_{5/6} - 0,5 \times t_0} \left[-0,403 \times \left(\frac{t_{1/2} - 0,5t_0^2}{t_{5/6} - 0,5t_0^2} \right)^2 + 0,11 \times \left(\frac{t_{1/2} + 0,5t_0^2}{t_{5/6} - 0,5t_0^2} \right) + 0,202 \right]$$

$$a = \frac{a_1 + a_2}{2}$$

En conclusion on retient comme méthode de mesure la méthode flash car elle requiert un temps très court (dix à vingt minutes) par rapport à la méthode du régime permanent et en plus ne nécessite pas de matériels sophistiqués (comme source d'excitation sinusoïdale, laser, potentiomètre).

En ce qui concerne les modèles de calcul, celui de DEGIOVANNI sera retenu du fait qu'il calcule la valeur de la diffusivité en quatre points différents. Donc sa valeur moyenne sera plus proche de la valeur exacte, à la différence du modèle de YEZOU qui calcule la diffusivité avec deux points.

I.4: SCHEMA GENERAL SUR LA METHODE FLASH

La méthode flash est l'un des procédés expérimentaux les plus simples à réaliser et donnant des résultats assez satisfaisants. On peut toute fois rappeler son principe qui consiste à exciter la face avant de l'échantillon par une source lumineuse et de suivre la variation thermique de la face arrière .Et enfin de tracer le thermogramme correspondant dont l'exploitation nous donne la valeur de la diffusivité thermique

'a'. L'appareil peut être schématisé comme ci dessous, et chaque partie sera l'objet d'une étude détaillée au chapitre III.

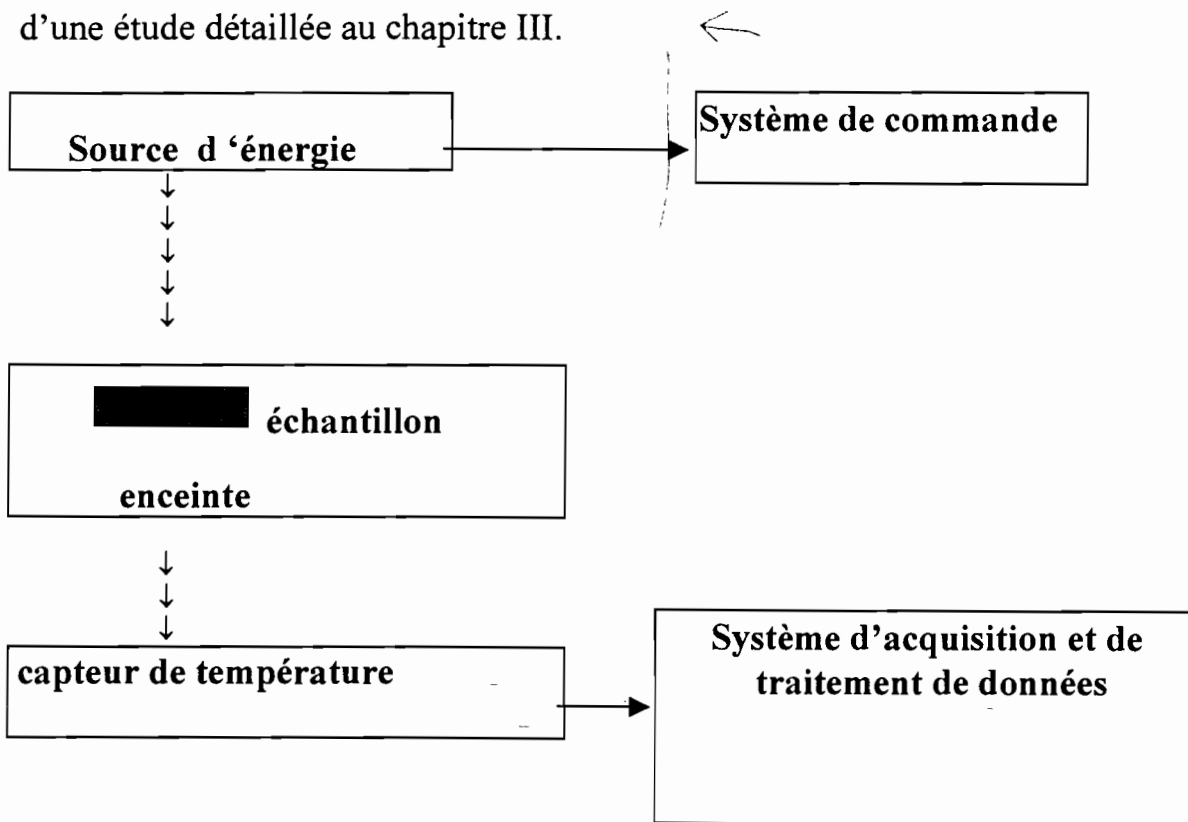


Fig 1.5 : Schéma général de la méthode flash

CHAPITRE II : RAPPELS DES NOTIONS FONDAMENTALES

SUR LES TEMPERATURES DE SURFACE

II.1) COMPLEXITE DE LA SURFACE :

Elle est multiple. Tout d'abord la microgéométrie de la surface est souvent tourmentée (rugosité plus ou moins importante et de pente plus ou moins abrupte par rapport à la ligne moyenne). Elle ne coïncide jamais avec la surface géométrique régulière qui nous sert schématiquement à la décrire, et qui en constitue l'enveloppe moyenne. De plus la surface présente des couches d'oxyde, des dépôts, des salissures qui peuvent affecter les mesures. Pour les solides non homogènes ou supposés homogènes pour simplifier les calculs (cas du béton léger), la complexité de la surface est encore plus grande et celle-ci est mal définie

II.2) DEFINITION DE TEMPERATURE DE SURFACE

Parler de la température en un point du milieu matériel signifie en fait qu'il s'agit de la température d'un petit élément de volume entourant ce point, suffisamment petit à l'échelle de notre observation pour être considéré comme un point ; mais encore suffisamment grand pour contenir un grand nombre de particules afin que la notion de moyenne ait un sens. Cependant parler de la température en un point de la surface considérée comme entité géométrique sans

épaisseur n'a pas de sens. La température de surface ne peut représenter en fait que celle d'un petit élément de matière immédiatement sous-jacent à l'élément d'aire dS de faible épaisseur centrée en ce point et appartenant à la frontière immatérielle, le milieu extérieur.

II.3) PRINCIPES DE LA MESURE D'UNE TEMPERATURE DE SURFACE :

Différents types et méthodes.

Comme nous venons de le souligner, il s'agit de déterminer la température du petit élément de matière infiniment mince sous-jacent à l'élément dS . On utilise pour cela un capteur thermométrique en interaction avec cet élément. Selon la nature de l'interaction on peut citer diverses méthodes.

-- Si l'interaction se fait par contact direct capteur-surface on dit qu'on a affaire à une **méthode par contact** . Dans ce type de méthode le capteur tend à se mettre en équilibre thermique local avec l'élément. Le plus souvent pour permettre la lecture de la grandeur thermométrique f , il est nécessaire de prévoir des fils de raccordement mais qui pourront être la cause d'erreurs importantes.

--Si l'interaction se fait sans contact direct, le capteur pourrait être très éloigné de la surface (capteur de rayonnement par exemple),on dit qu'il s'agit d'une

méthode sans contact . Tout en restant en interaction avec l'élément de surface dS , le capteur n'est plus en équilibre thermique avec lui, mais la grandeur thermométrique qu'il mesure dépend de son état thermique.

II.4) SENSIBILITE ET INERTIE

Quel que soit le type de méthode, elle sera d'autant plus sensible que la variation de la grandeur thermométrique f avec la température de la surface sera grande. on définit la sensibilité par : S

$$S = \frac{1}{f} \times \frac{df}{dT} \quad (2.1)$$

Si l'on veut suivre l'évolution de la température, le capteur devra présenter des caractéristiques telles que l'interaction capteur-élément de surface atteigne l'équilibre en un temps suffisamment petit pour que les variations de température du milieu pendant ce temps soient négligeables. On caractérise ainsi l'inertie du dispositif par un temps caractéristique t^* qui est soit la constante de temps τ , soit le temps de réponse t_r . Pour le définir on analyse la réponse du système à un échelon de température.

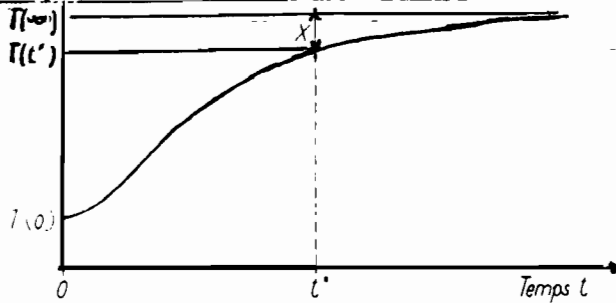


fig 2.1 : Réponse du système à un échelon de température

Si $T(0)$, $T(t^*)$, $T(\infty)$ désignent respectivement les températures mesurées à l'instant initial, où débute l'interaction, à l'instant t^* ($t^* = \tau$), et lorsque l'interaction a atteint son équilibre.

$$\frac{T(t^*) - T(\infty)}{T(0) - T(\infty)} = X = \frac{1}{2,718} \quad (2.2)$$

En d'autres termes t^* est le temps au bout duquel le système atteint 63% de sa température d'équilibre. $T(\infty)$

II.5) PRINCIPAUX PHENOMENES THERMOMETRIQUES

On donne dans le tableau suivant (tab2.1) les principaux phénomènes thermométriques pouvant être utilisés lors de la mesure de température de surface, ainsi que leurs domaines de température où ils peuvent être envisagés.

Noms de phénomènes	Domaine de température - °C	Type de la méthode
<ul style="list-style-type: none"> • effet Seebeck • effet Peltier • effet Thomson • effet Nernst • effet Ettingshausen 	<ul style="list-style-type: none"> 200 à 1000 200 à 2000 200 à 1000 20 à 1000 20 à 1000 	<ul style="list-style-type: none"> par contact avec l'aide d'un matériau pour la mesure de température à distance sans contact
<ul style="list-style-type: none"> • rayonnement thermique • effet Seebeck (sans contact) • pyrométrie optique • effet Seebeck (sans contact) 	<ul style="list-style-type: none"> 20 à 200 200 à 1000 	<ul style="list-style-type: none"> sans contact à distance sans contact de mesure de distance
<ul style="list-style-type: none"> • pyrométrie • pyrométrie optique • couleur • effet Seebeck • effet Peltier • effet Thomson • effet Nernst • effet Ettingshausen 	<ul style="list-style-type: none"> 200 à 1000 200 à 1000 20 à 1000 20 à 1000 20 à 1000 20 à 1000 20 à 1000 20 à 1000 	<ul style="list-style-type: none"> par contact avec l'aide d'un matériau pour la mesure de température

Tableau 2.1 : Principaux phénomènes thermométriques (cf. annexe plus claire)

II.5.1) MESURES PAR CONTACT

Les phénomènes envisagés comprennent tous ceux qui sont utilisés pour mesurer les températures au sein du milieu, et tous ceux qui peuvent être mis en œuvre en raison de l'accessibilité de la surface à une observation.

II. 5.2) MESURES SANS CONTACT

Les phénomènes thermométriques envisagés sont essentiellement ceux qui trouvent leur fonctionnement dans l'émission spontanée de rayonnement thermique superficiel des corps opaques .On sait que cette émission pour une longueur d'onde donnée dépend de la température de la surface, mais aussi d'un facteur caractéristique de celle-ci qui est son émissivité monochromatique.

II.6) INTERACTION AVEC L'ENVIRONNEMENT

La surface est en général soumise à différentes interactions avec le milieu qui l'environne. Ces interactions de nature thermique, électrique, chimique, mécanique etc...peuvent être modifiées par la mise en œuvre du capteur. C'est ainsi que l'application d'un capteur sur la surface peut modifier les transferts thermiques par convection ou par rayonnement que l'élément dS avait avec l'extérieur. La température superficielle s'en trouve modifiée d'autant. Le capteur lui même soumis aux actions diverses du milieu extérieur, peut prendre une température

d'équilibre très différente de celle de la surface qu'il est censé mesurer. Exemple le cas d'un capteur exposé à un rayonnement extérieur et qui ne présente pas les mêmes caractéristiques radiatives que la surface.

II.7 IMPÉRATIFS CONDITIONNANT LE CHOIX D'UNE MÉTHODE

Ceux-ci sont liés à la nature du champ thermique à observer, au type et au but de la mesure, à l'accessibilité de la surface, enfin à l'agressivité de l'environnement.

-- Nature du champs thermique

Il s'agit du domaine de température (basse, moyenne, haute), du type de régime (champ permanent, variable, rapidement variable), de l'importance des gradients superficiels et sous-jacents (le signe du dernier selon la direction normale revêt d'une grande importance).

-- Type et but de mesure

Ils peuvent être très diverses selon qu'il s'agit d'une mesure ponctuelle, ou moyenne sur une grande étendue, selon que cette mesure est permanente, intermittente ou occasionnelle, selon enfin le but assigné à la mesure : s'agit-il d'une simple mesure de contrôle, d'une mesure comparative pour laquelle seule la reproductibilité a une importance, ou bien d'une mesure de précision ?

--Accessibilité à la surface

La surface n'est pas toujours accessible à une observation directe; la fixation ou l'insertion d'un capteur superficiel n'est pas toujours enviable. Le choix de la méthode dépend donc des contraintes.

--Agressivité de l'environnement

Nous avons déjà indiqué les diverses interactions avec le milieu extérieur. Certaines de celles-ci d'origine thermique (influence d'un rayonnement extérieur), mécanique (accélération, vibration), chimique (corrosion), électrique peuvent avoir une influence si néfaste sur certaines méthodes qu'elles conduisent à les éliminer.

Quelle que soit la méthode retenue ; il faut savoir qu'elle s'accompagne d'effets parasites qui doivent être bien connus. Les erreurs qui en résultent peuvent être classées en deux catégories.

1) Les unes sont liées directement au phénomène thermométrique choisi ; elles correspondent à l'imprécision sur la mesure du paramètre Thermosensible et aux effets parasites attachés à ce phénomène.

2) Les autres sont liées au fait que l'interaction capteur - surface provoque une perturbation locale du champ de température que l'on souhaite mesurer ; la température de la surface n'est plus celle qui régnait avant la mise en œuvre du

Sachant que l'échantillon dont on veut mesurer la température est accessible, en plus les thermocouples disponibles au laboratoire ont une plage de température qui couvre bien notre domaine de mesure (minimum 30° température ambiante et au maximum 500°c température de fusion du filament de la lampe) et ils seront utilisés dans un environnement non agressif pour faire des mesures de précision, alors on choisit la méthode de mesure par contact pour la conception de notre appareil.

II.8 DIFFÉRENTS TYPES DE MESURE PAR CONTACT :

Deux types de procédés peuvent être envisagés selon que cette détermination de la température est directe ou indirecte

II.8.1 PROCÉDÉS DE MESURE DIRECTE :

Ils consistent à déterminer la température de la surface en appliquant directement l'élément thermométrique sur celle-ci (fig2.2.a) ou bien en insérant lorsque ceci est possible, l'élément thermométrique de faible épaisseur dans la couche superficielle (fig2.2.b) et il est nécessaire qu'ils soient en contact le plus intime possible avec le milieu (cela n'est pas toujours réalisé).

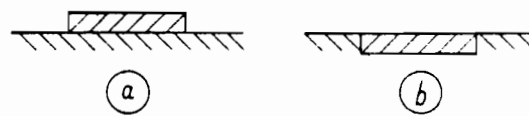


fig 2.2 : Procédé de mesure directe

II.8.2) PROCÉDÉS DE MESURE INDIRECTE :

On place des éléments thermométriques (au moins 3) au sein du milieu et à différentes profondeurs de manière à connaître l'évolution du champ de température selon la normale n à la surface. L'extrapolation de ce champ donne en principe la température T_s de la surface. Cette extrapolation suppose que l'on connaisse localement la forme de la loi théorique d'évolution de la température dans la couche sous-jacente ou que l'on sache la déterminer de manière approchée.

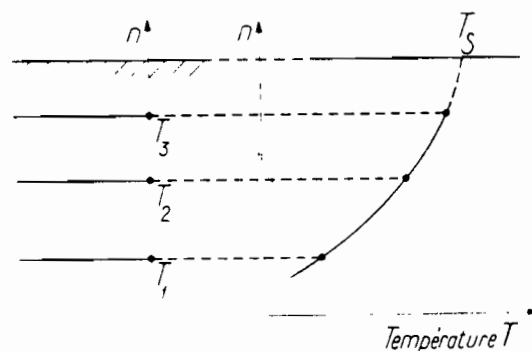


fig 2.3 : Procédé de mesure indirecte

II.8.3 : SOURCES D'ERREUR DANS LES MESURES PAR CONTACT

Les sources d'erreurs peuvent être classées en deux catégories :

- Les erreurs liées à la mesure du phénomène thermométrique
- Les erreurs liées à la perturbation du champ thermique que provoque l'application du capteur

Les premières sont relatives à l'imprécision sur la mesure du paramètre

thermométrique f , et aux effets parasites inhérents au phénomène thermométrique choisi.

Les erreurs de la seconde catégorie liées à la perturbation du champ thermique que provoque l'application du capteur, constituent souvent dans les méthodes par contact, les erreurs les plus importantes. Ainsi nous allons les analyser plus finement.

II.8 : ERREURS LIÉES AUX TRANSFERTS PARASITES DANS LES MESURES DIRECTES

II. 8.1 : POSITION DU PROBLÈME

Les transferts de chaleur qui se produisent par convection et rayonnement à la surface du solide sont modifiés par l'application du capteur. Tout d'abord sa surface n'a pas les mêmes propriétés radiatives et s'il fait saillie sur la surface, la convection peut y être intense. Il en résulte un transfert de chaleur parasite du milieu vers le capteur et du capteur vers l'extérieur et il est encore accru s'il existe une liaison matérielle qui relie le capteur et l'extérieur. Il s'effectue par conduction au sein du

milieu vers le capteur, puis par convection et rayonnement le long de la liaison matérielle

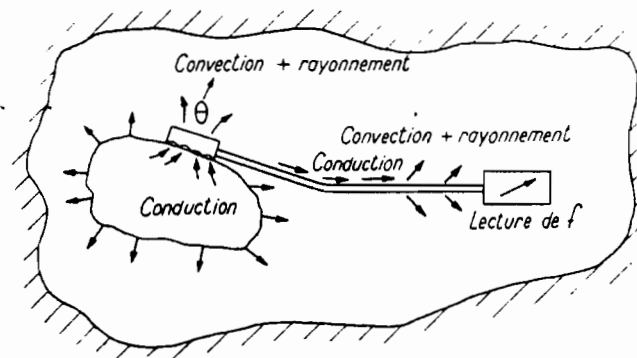


fig 2.4 . Transferts de chaleur parasites du vers le capteur. et du capteur vers l'extérieur.

Tous ces transferts parasites provoquent, à l'endroit même de la mesure, une perturbation locale du champ de température. La température de surface n'est plus T mais T_p (température perturbée). De plus la température du capteur θ . n'est en général pas égale à T_p car les conditions de contact du capteur avec la surface toujours imparfaites, font que sa température θ diffère d'autant plus de T_p que la résistance thermique de contact est grande et que le flux de chaleur traversant l'interface est grand.

L'étude des erreurs qui résultent de ces transferts parasites nécessite donc la résolution de problème de transferts thermiques complexes et variés. Nous nous proposons ici de présenter un modèle schématique mais typique qui va permettre de

de bien mettre en lumière les rôles respectifs de la conduction au sein du milieu , de l'imperfection du contact entre le capteur et la surface, enfin des échanges avec l'environnement.

Mais auparavant il nous faut décrire le modèle sur lequel nous allons travailler.

II.8.2 : DESCRIPTION DU MODÈLE

On considère un milieu de grande dimension, limité d'un coté par une surface plane à température T (fig.2.5). Le capteur que nous supposons infiniment mince est en contact imparfait (résistance de contact R_C par unité de surface apparente) avec la face plane selon un cercle de rayon y . Les liaisons avec l'extérieur sont réalisées par une barre de caractéristiques connues de rayon y_B excepté au niveau de la section $x=0$, supposée circulaire et de rayon y . Le milieu extérieur est assimilé à une enceinte fermée contenant un fluide à température T_f que nous supposons transparent aux radiations thermiques.

Dans le but de simplification on suppose aussi que la paroi de l'enceinte est assimilable à une surface noire (émissivité $\varepsilon=1$) à température T_{pe} voisine de T .

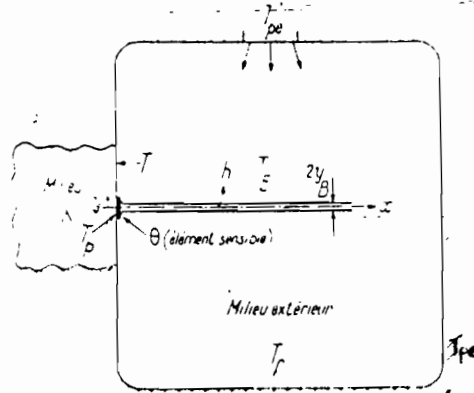


fig 2.5 : Description du modèle. (cf. annexes plus claire)

STYLISATION DU TRANSFERT SUPERFICIEL

Les transferts de chaleur entre un élément de surface dS appartenant au capteur et l'extérieur s'effectuent par convection et rayonnement.

Dans le cadre de notre modèle, il est possible de styliser simplement les transferts en introduisant les notions classiques de coefficient global de transfert et de température équivalente.

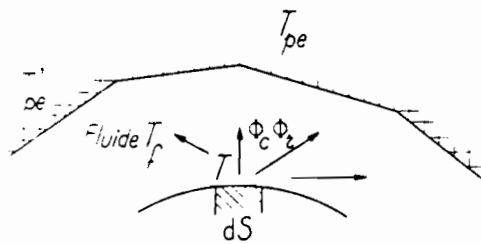


fig.2.6 . Stylisation des transferts superficiels

****Le flux transféré par convection**

$$\phi_c = h_c \times (T - T_f) dS \tag{2.3}$$

T est la température de la surface sur laquelle est fixé le capteur en °C

T_f est la température du milieu extérieur assimilé à un fluide °C

h_c étant le coefficient local de convection en $W/m^2 \text{ } ^\circ C$

**** Le flux transféré par rayonnement**

Il dépend de l'émissivité (ϵ) de la paroi (c'est à dire l'enceinte qui est à la température T_{pe}) en regard avec l'élément de surface dS (qui est à la température T) et le facteur de forme entre eux

$$\phi_r = \epsilon \times F \times \sigma \times (T^4 - T_{pe}^4) dS = h_r (T - T_{pe}) \times dS , \text{ après linéarisation on a}$$

$$\phi_r = h_r (T - T_{pe}) dS \quad \text{où} \quad (2.4)$$

σ est constante de STÉFAN= $5.68.10^{E-8} \text{ w/m}^2\text{k}$

$$h_r \text{ est coefficient de rayonnement} = 4\epsilon\sigma F \overline{T_p^3}$$

T_p est une température intermédiaire entre T et T_{pe} que nous supposons constante

F est un facteur de forme entre l'élément de surface dS et l'enceinte

Le flux de chaleur total transfère de l'élément de surface dS vers l'extérieur peut alors s'écrire :

$$\phi = \phi_c + \phi_r = [h_c \times (T - T_f) + h_r (T - T_{pe})] dS$$

soit encore $h = h_r + h_c$

$$\phi = h (T - T_E) \text{ avec} \quad (2.5)$$

$$T_E = \frac{h_c \times T_f + h_r \times T_{pe}}{h} \quad \text{où}$$

h est le coefficient global de transfert

T_E est température équivalente.

Il est à noter que lorsque l'élément de surface dS est le siège d'une dissipation d'énergie $\phi_E = \varphi_E dS$ par effet JOULE ou par effet PELTIER et en plus si elle absorbe une densité de flux φ' rayonnée par une source à haute température T_{pe} alors

$$T_E = \frac{h_c \times T_f + h_r \times T_{pe} + \varphi' + \varphi_E}{h} \quad (2.6)$$

$h = h_c + h_r$ inchangé

II.9.4 : MODÉLISATION DE L'ERREUR EN RÉGIME TRANSITOIRE

Dans le cas de notre expérience le milieu dont on veut déterminer la température est un isolant (béton de plastique recyclé) et en plus se trouve dans un environnement d'air calme. C'est ainsi qu'on néglige les transferts de chaleur entre la surface de l'échantillon et l'environnement. La présence du capteur perturbe le champ thermique, et la température mesurée θ au point d'abscisse $x=0$ est tâchée d'une erreur $\delta\theta = T - \theta$ résultant de la conjonction de trois effets.

a) Effet de macrostriction au sein du milieu

Il est provoqué (fig. 2.7) par la convergence des lignes de courant thermique vers la zone de mesure ($\pi \times y^2$)

Il en résulte qu'au niveau de cette zone la température perturbée T_p est reliée à la température au loin T par la relation

$$T - T_p = r_M \times \phi \quad \text{où} \quad (2.7)$$

r_M = la résistance de macrostriction

elle est due à la convergence des lignes de flux vers le cercle de contact

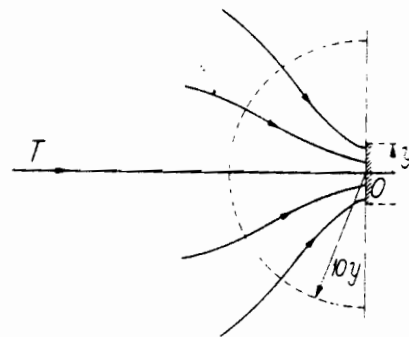


fig 2.7 : Effet de macrostriction au sein du milieu

b) Effet de résistance de contact à l'interface milieu-capteur

Il est responsable de la chute de température $T_p - \theta$ entre la température perturbée et la température mesurée on a :

$$T_p - \theta = r_C \phi \quad \text{où} \quad (2.8)$$

r_C = résistance thermique de contact.

Cet effet est lié à l'imperfection du contact qui résulte des irrégularités des surfaces.

surfaces.

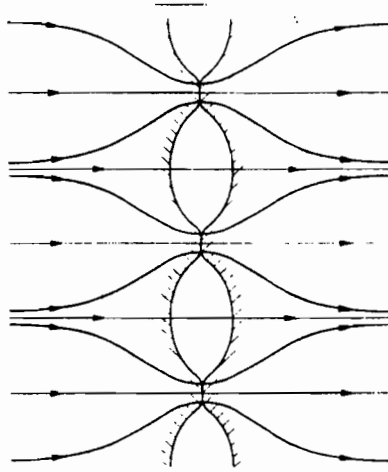


fig 2.8 : Effet de la résistance de contact à l'interface milieu-capteur

c)Effet d'ailette :

Il est responsable des échanges de chaleur entre la partie extérieure du capteur et le milieu ambiant : quelle soit la forme de cette partie, le flux de chaleur ϕ transféré entre la section d'abscisse $x = 0$ et le milieu extérieur est relié à l'écart de température de la surface (θ) et la température extérieure équivalente (T_E) par :

$$\theta - T_E = r_E \phi \quad \text{où} \quad (2.9)$$

r_E = la résistance thermique globale entre la section d'abscisse $x=0$ et le milieu extérieur. Elle fixe globalement les échanges avec le milieu extérieur.

d) Conjonction de ces trois effets :

Le flux de chaleur étant uniforme selon tous les niveaux, des relations (2.7), (2.8), (2.9) on en déduit que :

$$\phi = \frac{\theta - T_E}{r_M} = \frac{T_P - \theta}{r_C} = \frac{T - T_P}{r_M} = \frac{T - T_E}{r_C + r_M + r_M} \quad (2.10)$$

et l'erreur de mesure $\delta\theta = K (T - T_E)$ avec

$$K = \frac{1}{1 + \frac{r_E}{r_C + r_M}} \quad \text{ou} \quad K = \frac{T - \theta}{T - T_E} \quad \text{avec} \quad (2.11)$$

K est l'erreur relative, ou coefficient d'erreur

L'erreur commise est donc proportionnelle à l'écart de température à mesurer et la température extérieure équivalente ; le coefficient d'erreur K est d'autant plus faible que la somme des résistances de macrostriction r_M et de contact r_C est faible devant la résistance extérieur r_E .

REMARQUES IMPORTANTES

1) Tout d'abord même pour des conditions de contact parfait $r_C = 0$, il y a une erreur qui dépend du rapport r_E / r_M

2) Si la mesure est effectuée sur **un bon conducteur** de chaleur (λ très grand), la

résistance de macroconstitution $r_M = \frac{1}{4\lambda y}$ va être en générale petite devant r_C et

l'erreur sera surtout déterminée par r_C .

Il faudra veiller à ce que r_C soit le plus faible possible et reste stable

3) Pour des mesures sur **un isolant** (λ faible) r_M est grande et en général très

supérieure à r_C . L'effet de macrostriction va avoir un rôle supérieur sur l'erreur. On pourra le réduire en augmentant le rayon y du cercle de contact en utilisant à cet effet un disque de contact de bonne conductivité thermique.

4) Quelque soit le type de mesure la résistance de liaison r_E devra être maximale : la section, la conductivité (λ) et le coefficient latéral global de transfert (h) de cette liaison seront choisis le plus faibles possibles : faible émissivité de la surface, liaison à l'abri des sources de haute température

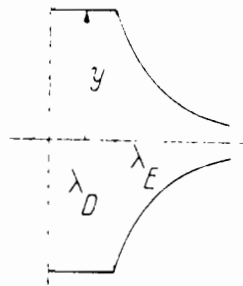


fig 2.9 utilisation d'un disque de contact de bonne conductivité thermique

II.9.1 : ÉVALUATION DU COEFFICIENT D'ERREUR K :

Nous avons vu que le coefficient d'erreur K ou erreur relative s'exprime par la relation suivante :

$$K = \frac{T - \theta}{T - T_E} \quad \text{ou} \quad K = \frac{1}{1 + \frac{r_E}{r_C + r_M}}$$

Cependant il y a deux façon d'évaluer K :

- Soit à l'aide de la première relation, par mesure de températures sur un montage

annexe (mesure directe)

- Soit à l'aide de la seconde relation, en estimant les différentes résistances r_M , r_E , r_c

La première méthode nécessite trois mesures simultanées, une paroi étalon de même nature que la surface, et un équipement assez lourd. Cela nous pousse à choisir la deuxième méthode qui consiste à déterminer approximativement les résistances.

** La résistance de macrostriction :

On suppose que le contact entre la surface et le capteur se fait suivant un cercle de rayon y , et

$$r_M = \frac{1}{4\lambda y} \quad \text{où} \quad (2.12)$$

λ = conductivité thermique du milieu (qui n'est pas connue pour notre modèle, donc on n'essaie pas de donner la valeur exacte de r_M mais de l'estimer)

En première approximation on prend $\lambda \sim 0,2 \text{ w/m}^\circ\text{K}$ la valeur correspondante à la plus part des matériaux plastiques utilisés en construction []

** La résistance de liaison extérieure

$$r_E = \frac{1}{\pi y_B \sqrt{2h\lambda_B y_B}} \quad \text{où} \quad (2.13)$$

y_B = rayon du fil (ou capteur)

λ_B = conductivité thermique du fil (ou du capteur)

h = coefficient de transfert global entre le fil (ou capteur) et le milieu extérieur

****La résistance de contact :**

Le milieu interstitiel (entre le capteur et la surface) est relativement conducteur (colle, mastic, huile etc. ...) alors :

$$r_C = \frac{R_C}{S} = \frac{e_c}{\lambda_c \pi y^2} \quad (2.14)$$

R_C est résistance de contact par unité de surface

e_c est épaisseur de la couche

λ_c est conductivité

y = rayon du cercle de contact entre le capteur et la surface.

II.10 : TECHNIQUES DE MISE EN ŒUVRE DES DISPOSITIFS :

L'opération de jonction entre le capteur et la surface mérite une attention particulière car si elle est mal faite les mesures peuvent être tâchées d'erreurs. En effet on distingue des dispositifs fixes ou semi-fixes mais leurs inconvénients majeurs sont de nécessiter une certaine destruction des surfaces mesurées par soudage, collage, rainurage etc. Et d'avoir une mise en œuvre parfois délicate. Mais leurs avantages constituent un moyen peu coûteux pour des mesures continues ou intermittentes . Les couples thermoélectriques peuvent être montés soit sur la

surface, soit sous la surface selon l'accessibilité de cette dernière, l'épaisseur des matériaux et l'agressivité de l'environnement

II.10.1 COUPLES THERMOÉLECTRIQUES MONTES SUR LA SURFACE

Suivant l'accessibilité de la surface, on a deux possibilités d'installation pour les fils des couples thermoélectriques.

- fils perpendiculaires à la surface : si l'accessibilité est mauvaise, et les risques d'erreurs sont importantes.
- fils parallèles à la surface : si l'accessibilité est bonne, et les mesures sont plus sûres.

a) Fils perpendiculaires à la surface

La façon la plus simple consiste en un couple thermoélectrique dont les deux fils sont soudés et qui est attaché sur la surface par soudage, collage ou simple pression (fig.2.10. a). Ce dispositif n'est envisagé que pour des mesures de contrôle ou de comparaison. Pour des mesures plus précises on est conduit à utiliser un disque conducteur pour accroître la surface de contact (fig.2.10.b) b) afin de réduire les résistances r_M et r_C . La fixation du disque peut se faire par soudage, collage au ciment ou à la résine.

Il est à noter au passage une autre version qui consiste à utiliser les deux fils du couple thermoélectrique séparément (conducteurs séparées fig.2.10.d) : Cela est

utilisé en général pour la détermination de la température des surfaces métalliques.

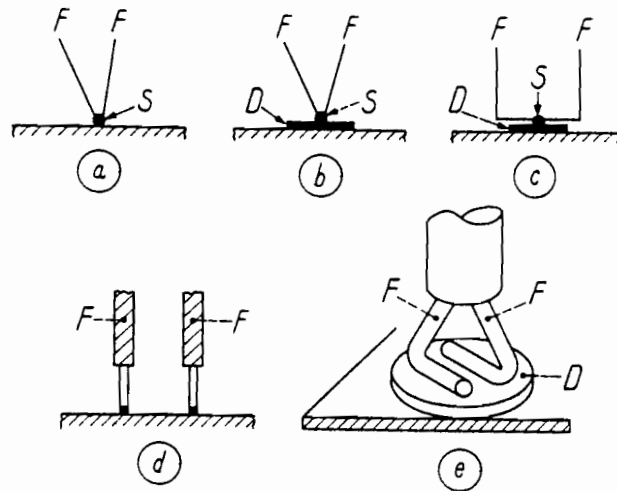


Fig.2.10 : Couples thermoélectriques montés sur la surface (fils perpendiculaires)

b)Fils parallèles à la surface:

Lorsque l'accessibilité de la surface le permet : on a intérêt à placer les fils de couple thermoélectriques parallèles à cette dernière de manière à leur faire suivre des chemins isothermes et à réduire ainsi les erreurs liées aux transferts de chaleur parasites (fig.2.11)

Compte tenu des raisons ci-dessus , notre modèle expérimental, les fils seront fixés parallèlement à la surface comme le conseil WERLING [2] Il évalue même les erreurs engendrées par rapport à la méthode de mesure inverse qui est supposée quasi parfaite.

Fixation : Ruban adhésif 5*5mm

Protection contre le rayonnement à coutes longueur d'onde:Peinture blanche

Position des fils de liaison : Deux fils gaines longeant l'échantillon (non collés)

Erreur absolue par rapport à la méthode inverse $\Delta T = 0,31$ K

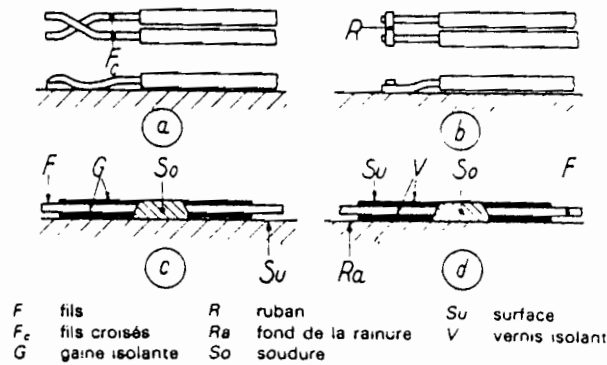


fig.2.11 couples thermométriques montés sur la surface (fils parallèles)

Fixation	Précaution contre le rayonnement C.T.O	Position des fils de liaison	ΔT (K)			
			0 W m ⁻²		200 W m ⁻²	
			C.H.	C.F.	C.H.	C.F.
Pont de colle Alufix 5	Sans	2 fils gainés collés au M.S.T.	-0,28	+0,32	-0,16	+0,48
Ruban adhésif carré 5 x 5 mm	Aluminium très réfléchissant	2 fils gainés longeant le M.S.T. (non collés)	-0,20	+0,06	-0,18	+0,08
Ruban adhésif carré 5 x 5 mm	Peinture blanche	2 fils gainés longeant le M.S.T. (non collés)	-0,31	+0,21	-0,27	+0,22
Pont de pâte au silicone Caf 4	Pâte au silicone blanche Caf 4	2 fils gainés longeant le M.S.T. (non collés)	-0,30	+0,19	-0,20	+0,18
Ruban adhésif carré 5 x 5 mm	Papier blanc	2 fils gainés longeant le M.S.T. (non collés)	-0,43	+0,34	-0,40	+0,38
Ruban adhésif carré 5 x 5 mm	Ruban adhésif semi-transparent	2 fils gainés longeant le M.S.T. (non collés)	-0,40	+0,28	-0,33	+0,37
Ruban adhésif carré 5 x 5 mm	Peinture noire	2 fils gainés longeant le M.S.T. (non collés)	-0,25	+0,28	+0,38	+1,14

ΔT = écart de température entre la température extrapolée à partir de la méthode inverse et la température mesurée

C.H. = conditions hivernales - le capteur est du côté froid

C.F. = conditions estivales - le capteur est du côté chaud.

Tableau 2.2 Résultats de quelques essais réalisés avec les thermocouples **K** (Cf. annexes; plus claire)

II.5.2 : COUPLES THERMOÉLECTRIQUES MONTÉS SOUS LA

SURFACE :

Comme au paragraphe précédent, le montage du couple peut être parallèle à la surface ou perpendiculaire. La différence est que le couple thermoelectrique est placé dans un trou percé normalement à la surface (cas de fils perpendiculaires)

(trou borgne), ou parallèles à la surface : cas de fils montés en parallèles (rainure)

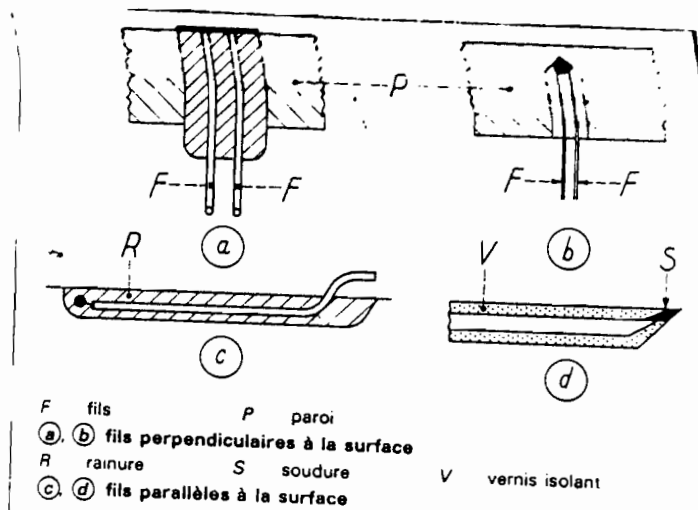


fig 2.12 : couples thermométriques montés sous la surface

CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT DE L'APPAREIL

III.1 HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT

- La source lumineuse est ponctuelle et envoie le flux suivant un cône
- L'éclairage de l'échantillon est de 10 000 Lux (cf norme française pour les travaux exceptionnels) uniforme sur toute la face de l'échantillon.
- Pour des raisons de fabrication l'angle au sommet du cône (α) est 60°
- Les pertes thermiques totales sont estimées à 10 % et tout le reste de la puissance est absorbée par l'échantillon.
- L'échantillon est considéré comme un matériau homogène (ce qui permet d'utiliser les modèles de calcul précités).

III.2: Source d'énergie

La face avant de l'échantillon est soumise à un rayonnement thermique d'une lampe à incandescence de puissance 1000w sous 220v alternative. La durée de l'impulsion varie selon les matériaux et leur composition, elle est de l'ordre des dizaines de secondes à une minute.

La lampe a les caractéristiques suivantes :

- Tension de fonctionnement : 220v alternative
- Puissance nominale : 1000w et $\cos \varphi \cong 1$

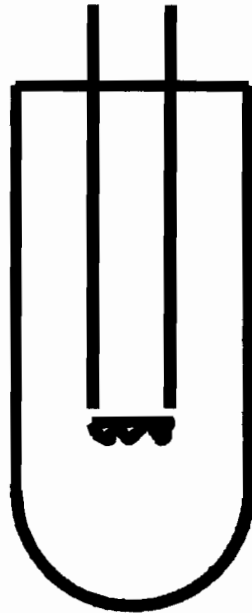


fig.3.1: Lampe à incandescence

III.3 : ENCEINTE

Elle doit être conçue de sorte que les pertes thermiques soient minimisées .Le flux de chaleur est guidé par un cône en papier (bon isolant thermique) ayant sa face intérieure recouverte d'une surface réfléchissante, et cet ensemble est incorporé dans un contre plaqué de grande épaisseur .

III.31 : CALCUL DES DIMENSIONS DU CÔNE

Le calcul d'éclairage est donné par la formule suivante

$$E = \frac{dF}{dapp} \text{ où } [4] \quad (3.1)$$

E= éclairage en Lm

dF= quantité élémentaire de flux qui arrive sur l'échantillon en(w)

d_{app} = projection orthogonale suivant la normale au rayon lumineux de l'élément de surface considéré (m^2)

$$d_{app} = da \cos\theta, \text{ or } dA = 2\pi r dr \text{ et } \cos\theta = \frac{h}{\sqrt{(h^2 + r^2)}} = \frac{1}{\sqrt{(1 + r^2/h^2)}}$$

$$= \frac{2\pi r dr}{\sqrt{(1 + r^2/h^2)}} = \frac{h^2 \pi d(r^2/h^2)}{\sqrt{(1 + r^2/h^2)}} \text{ en posant } r/h = x = \text{tg}\theta, \text{ alors}$$

$$= \frac{h^2 \pi dx}{\sqrt{(1 + x^2)}}$$

sachant que $E = \frac{dF}{d_{app}}$, et qu'il est constant sur toute la surface de l'échantillon on

peux faire une intégration à variables séparées

$$E \int d_{app} = \int dF = F = (\varepsilon + \eta) \times P, \text{ tg } \alpha/2 = \text{tg}30^\circ = 0,577$$

$$E h^2 \pi \int_0^{0,577} \frac{dx}{\sqrt{(1 + x^2)}} = E h^2 \pi \times \left[\ln(\sqrt{1 + x^2} + x) \right]_0^{0,577} = F = (2\% + 5\%) \times 1000 = 900$$

Il vient alors que

$$\text{d'où} \quad \mathbf{h=21cm \text{ et } R=12cm}$$

P = puissance en w, η = pertes au niveau de la source 5%, ε = pertes au sein du cône 5%, r = variable définissant rayon de l'échantillon.

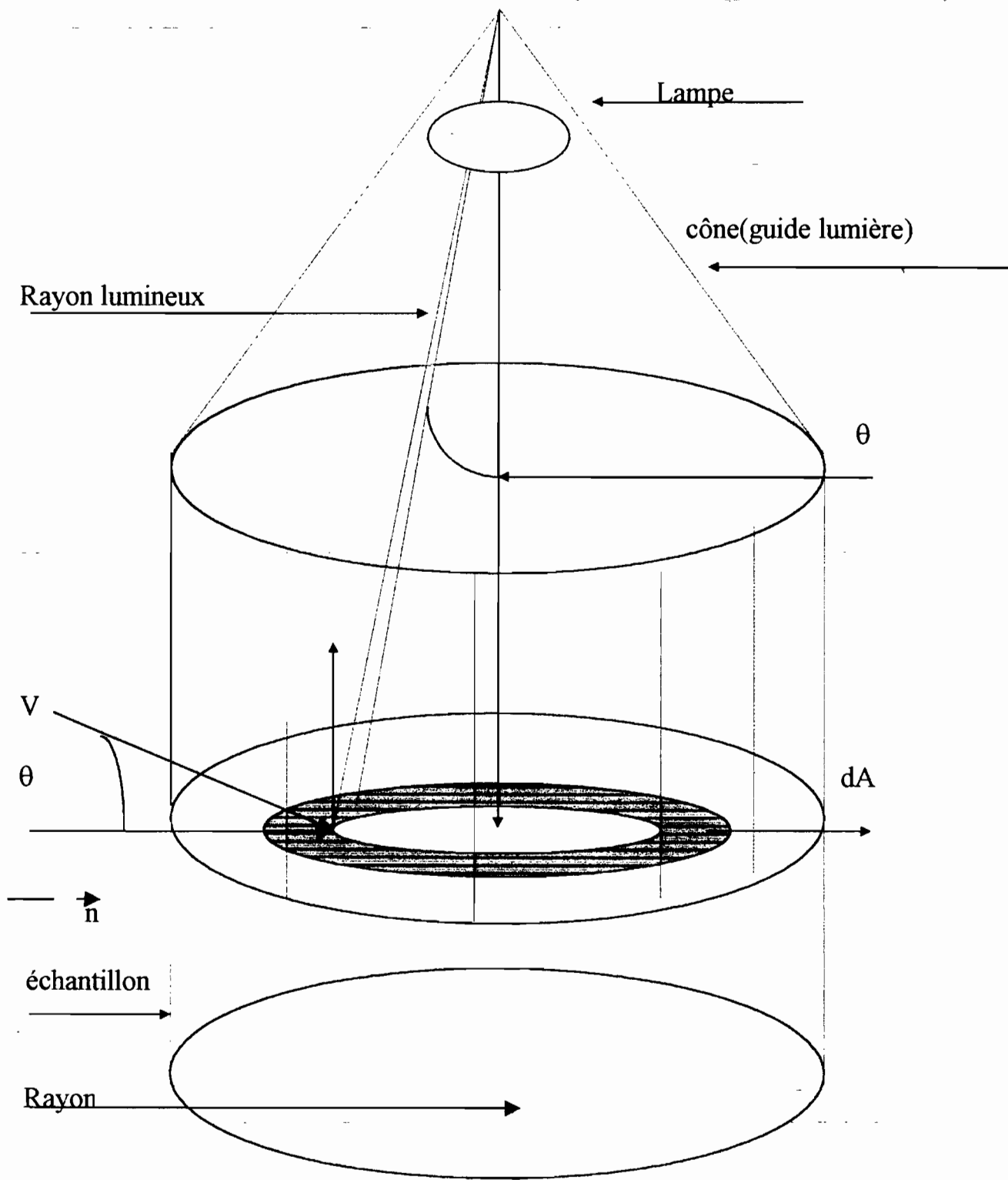


Fig3.2 schéma cône-échantillon

III.32 CALCUL DES DIMENSIONS DE LA BOITE

Pour des raisons de montage et de démontage du cône et de la lampe on laisse 5cm entre la base du cône et les périphériques de la boite. Pour bien introduire la boite dans la rainure de la table ,et en même temps avoir le cône qui effleure l'échantillon, on va ajouter 5cm à la hauteur théorique du cône pour la hauteur de la boite . Les dimensions de la boite seront les suivantes :

$$\text{base carrée de côté} = 12*2+5*2= 34\text{cm}$$

$$\text{hauteur} = 21+5\text{cm}=26\text{cm}$$

III.4 : CAPTEUR DE TEMPERATURE

Au chapitre II nous avons déjà retenu la méthode de mesure per contact, cependant il en existe deux types de procédés :

- Procédé de mesure directe (qui nécessite un seul capteur monté soudé à la surface ,et la température lue a une précision acceptable à la dimension de nos recherches
- Procédé de mesure indirecte(qui nécessite au moins trois capteurs et un calcul d'extrapolation pas du tout simple, mais donne quand même des résultats très précis) Il nous semble évident qu'à précision égale le procédé de mesure directe est plus simple à mettre en œuvre et plus économique à réaliser, donc nous allons le conserver dans la suite de notre étude.

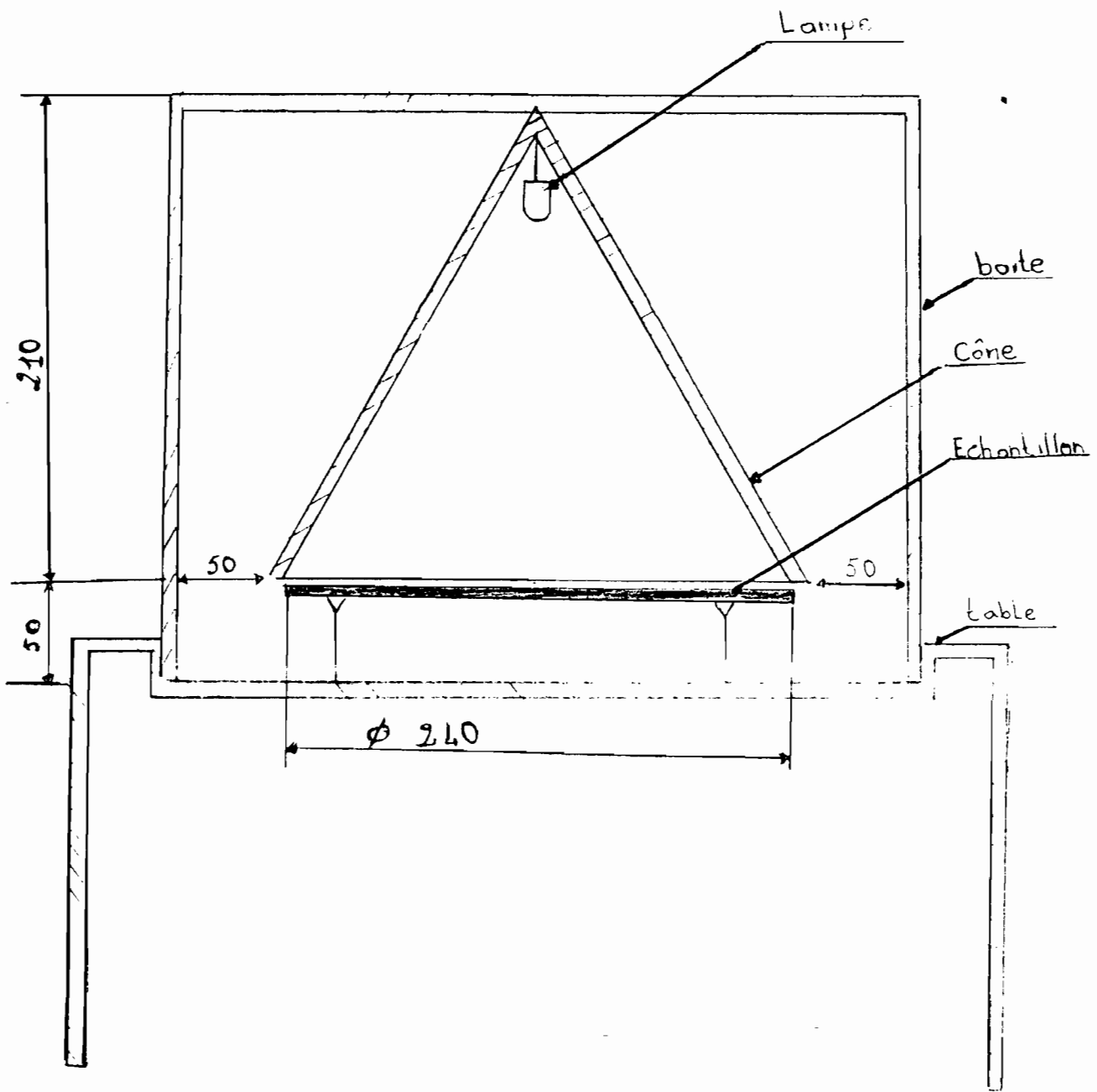


Fig3-3 Dessin de L'enceinte

III.4.1 :DEFINITIONS ET CARACTERISTIQUES

La grandeur physique, objet de la mesure pour notre cas est la température est désignée comme mesurande et représenté par m . Lorsque le mesurage utilise des moyens électroniques de traitement de signal, il est nécessaire de produire à partir du mesurande une grandeur électrique qui en soit une représentation aussi exacte que possible : ceci signifie que la grandeur électrique et ses variations apportent toute l'information nécessaire à la connaissance du mesurande. Cependant on appelle **capteur** un dispositif qui, soumis à l'action d'un mesurande non électrique présente une caractéristique de nature électrique (tension,courant,impédance...) désigné par S et qui est fonction du mesurande.

$$S=f(m)$$

S : grandeur de sortie ou réponse du capteur

m : grandeur d'entrée ou excitation

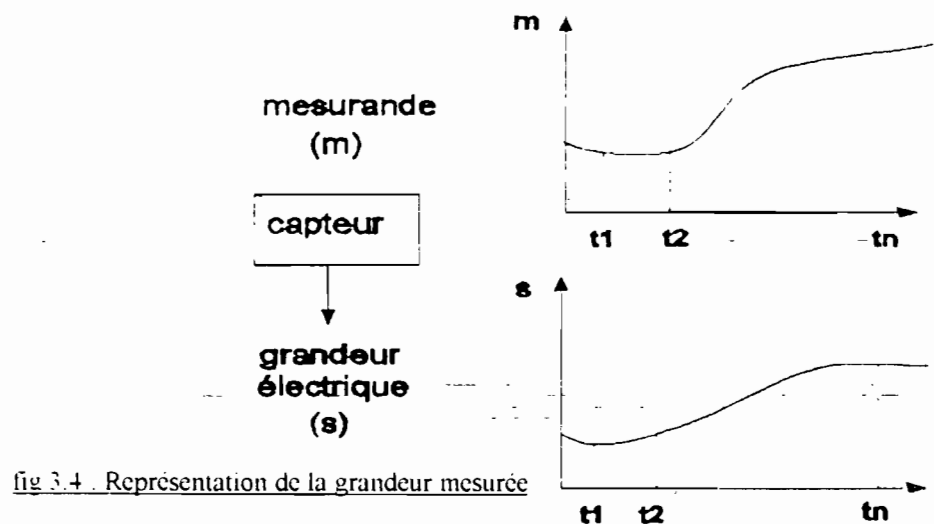


fig 3.4 . Représentation de la grandeur mesurée

Pour tout capteur la relation $S = f(m)$ sous forme numérique exploitable est explicitée par un étalonnage : pour un ensemble de valeurs de m connues avec précision on mesure les valeurs correspondantes de S , ce qui permet de tracer la courbe d'étalonnage

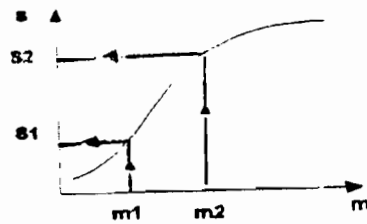


fig 3.5. Courbe d'étalonnage d'un capteur, son établissement.

Pour des raisons de facilité d'exploitation, on s'efforce à utiliser des capteurs dont la relation $S = f(m)$ est la plus linéaire possible

$$dS = S' dm \text{ où} \tag{3.2}$$

S' est le pouvoir thermométrique ($v/^{\circ}k$)

III.4.2 : TYPES DE CAPTEURS DE MESURE DIRECTE

Il existe des capteurs de toute nature. cependant seuls les capteurs produisant des informations électriques sont associables à une instrumentation électronique analogique ou numérique. parmi ces capteurs on peut distinguer deux catégories :

- Les capteurs actifs
- Les capteur passifs

a) LES CAPTEURS ACTIFS

Fonctionnant en générateur ,un capteur actif est généralement fondé dans son principe sur un effet physique qui assure la conversion en énergie électrique de la forme énergie propre au mesurande :énergie thermique ,mécanique, ou de rayonnement. Les capteurs actifs les plus utilisés sont les couples thermoélectriques.

*** Les couples thermoélectriques**

C'est un élément du circuit électrique général constitué de deux conducteurs de nature chimique différentes dont les jonctions sont à des températures T (soudure chaude) et T_0 (soudure froide).Lorsque la température de source chaude varie il y a création d'une force électromotrice e (effet SEEBECK)

M : Matériau

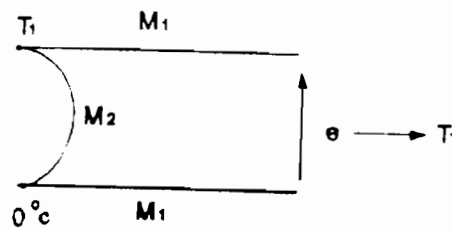


fig.3.6 La mesure de e permet de retrouver T_1

Les couples métaux les plus courants sont :

- * Chromel-Constantan : type E
- * fer- Constantan : type J
- * Chromel-Alumel : type K
- * Platine-platine rhodié : types R et S suivant le pourcentage de platine dans la platine rhodié.

* Cuivre- constantan : type T

La figure ci dessous donne la force électromotrice (f.e.m) par degré d'écart ou la f.e.m en fonction de la température, pour les différents types de couples thermoélectriques. On remarque que le type K fournit une f.e.m pratiquement constante (de l'ordre de $40\mu\text{V/K}$) dans un large domaine de température.

cette valeur relativement élevée par rapport à celles fournies par les couples thermoélectriques de type R et S, et le fait qu'il soit disponible au laboratoire de l'école sont des arguments solides de choix pour ce couple thermoélectrique quand on travaille dans une plage comprise entre de 0° à 500°C .

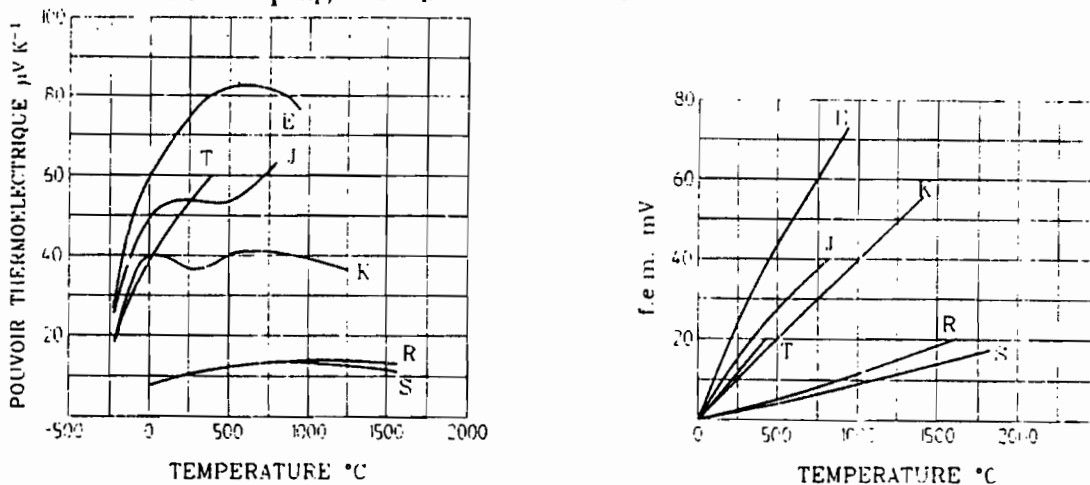


fig3.7 : Caractéristiques thermoélectriques des principaux couples thermoélectriques

a température θ est donné à partir d'un polynôme de la forme

$$\theta = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 \quad \text{où} \quad (3.3)$$

x : la f.e.m du couple thermoélectrique

a_n sont des coefficients propres à chaque thermocouples, dont la détermination est but de l'étalonnage. Le tableau suivant donne les domaines d'utilisation des couples thermoélectriques est les valeurs des coefficients a_0, a_1, a_2, a_3 .

	E	J	K	R	S	T
	→ 100 °C	→ 200 °C à 760 °C	→ 200 °C à 1 200 °C	0 °C à 1 000 °C	0 °C à 1 700 °C	→ 1 600 °C à 400 °C
a_0	0,1049672	→ 0,0488682	0,2265846	0,2636329	0,9257637	0,1008609
a_1	17 189,4528	19 873,1450	24 152,1090	179 075,490	169 526,515	25 727,944
a_2	-282 639,085	→ 218 614,535	67 233,425	-48 840 341,37	→ 31 568 363,94	→ 767 345,830
a_3	12 695 339,5	11 569 199,78	2 210 340,68	$1,9 \cdot 10^{10}$	8 990 730 663	78 025 595,81

Tableau 3.1: tableau des coefficients a_0, a_1, a_2, a_3

Ces températures sont en faite des valeurs différentielles entre celle de la source chaude T et une température de référence T_0

$$\theta = T - T_0 \tag{3.4}$$

Cette température de référence peut être celle de la glace fondante ou point triple de l'eau ou celle d'un block de référence.

On peut aussi utiliser des appareils de mesure pourvus d'un dispositif de compensation de soudure froide [cf annexes]

Pour le schéma sans block de référence il est nécessaire que les bornes + et - de l'appareil soient parfaitement isothermes, sinon il y a création d'une f.e.m parasite

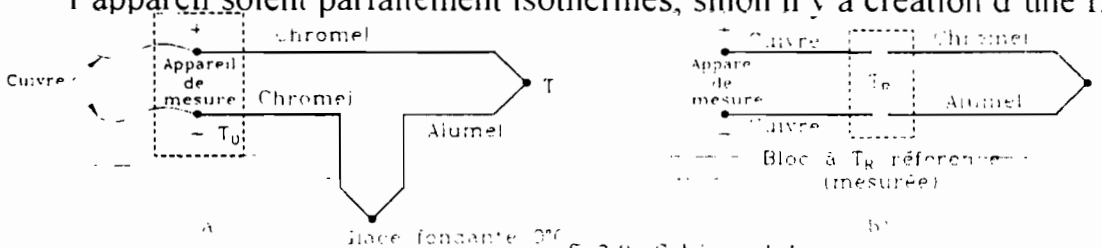


fig3.8 Schémas de base

C'est surtout l'utilisation de la glace fondante qui sera retenue pour faire notre expérience du fait de sa disponibilité.

b) LES CAPTEURS PASSIFS

Il s'agit d'impédances dont l'un des paramètres déterminants est sensible au mesurande. Dans l'expression littérale d'une impédance sont présents les termes liés d'une part à la géométrie et aux dimensions, et d'autre part aux propriétés électriques des matériaux (comme la résistivité, perméabilité magnétique, constante diélectrique etc..)

Il faut noter que l'impédance d'un thermocouple passif et ses variations ne sont mesurables qu'en intégrant le capteur dans un circuit électrique, par ailleurs alimenté et qui est son conditionneur. On peut citer deux genres de conditionneurs les plus courants :

- **Montage potentiométrique** : association en série d'une source, d'un capteur, et d'une impédance qui peut être ou non du même type.

- **Le pont d'impédance** : dont l'équilibre permet la détermination de l'impédance du capteur ou dont le déséquilibre est une mesure de la variation d'impédance.

$$v_m = e_s \times \frac{R_c R_d}{R_c (R_s + R_1) + R_d (R_s + R_1 + R_c)} \quad (3.5)$$

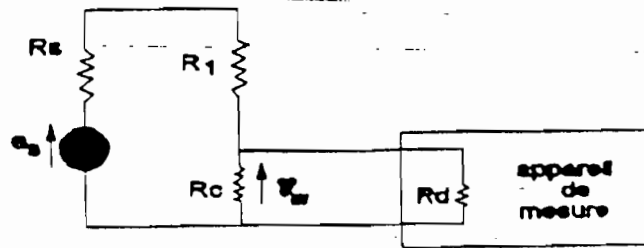


fig.3.8 . Mesure de tension aux bornes d'un capteur dans un montage potentiométrique

Les caractéristiques du couple thermoélectrique choisi au paragraphe précédant sont :

<u>TYPE</u>	K
<u>MATIERE</u> :	ALUMEL - CROMEL
<u>POUVOIR THERMOELECTRIQUE</u> :	40 μ v/ °k
<u>DIAMETRE</u> :	0,2 mm

III.5:SYSTEME DE COMMANDE :

Il s'agit essentiellement d'un dispositif composé de minuterie 555 utilisé en monostable, d'un transistor en amplification (T), d'une source de tension continue S (5Và 24VDC), d'un relais électromecanique et d'une résistance et un condensateur variables.

*** Principe de fonctionnement**

Quand la source de tension envoie une impulsion à la minuterie 555 à travers la résistance R₁, le condensateur se met à se charger à travers la résistance R₂. Et c'est ce temps de charge qui définit la durée d'allumage t₀ de la lampe à incandescence

$$t_0 = 1,1.R_2.C_1 \quad (3.6)$$

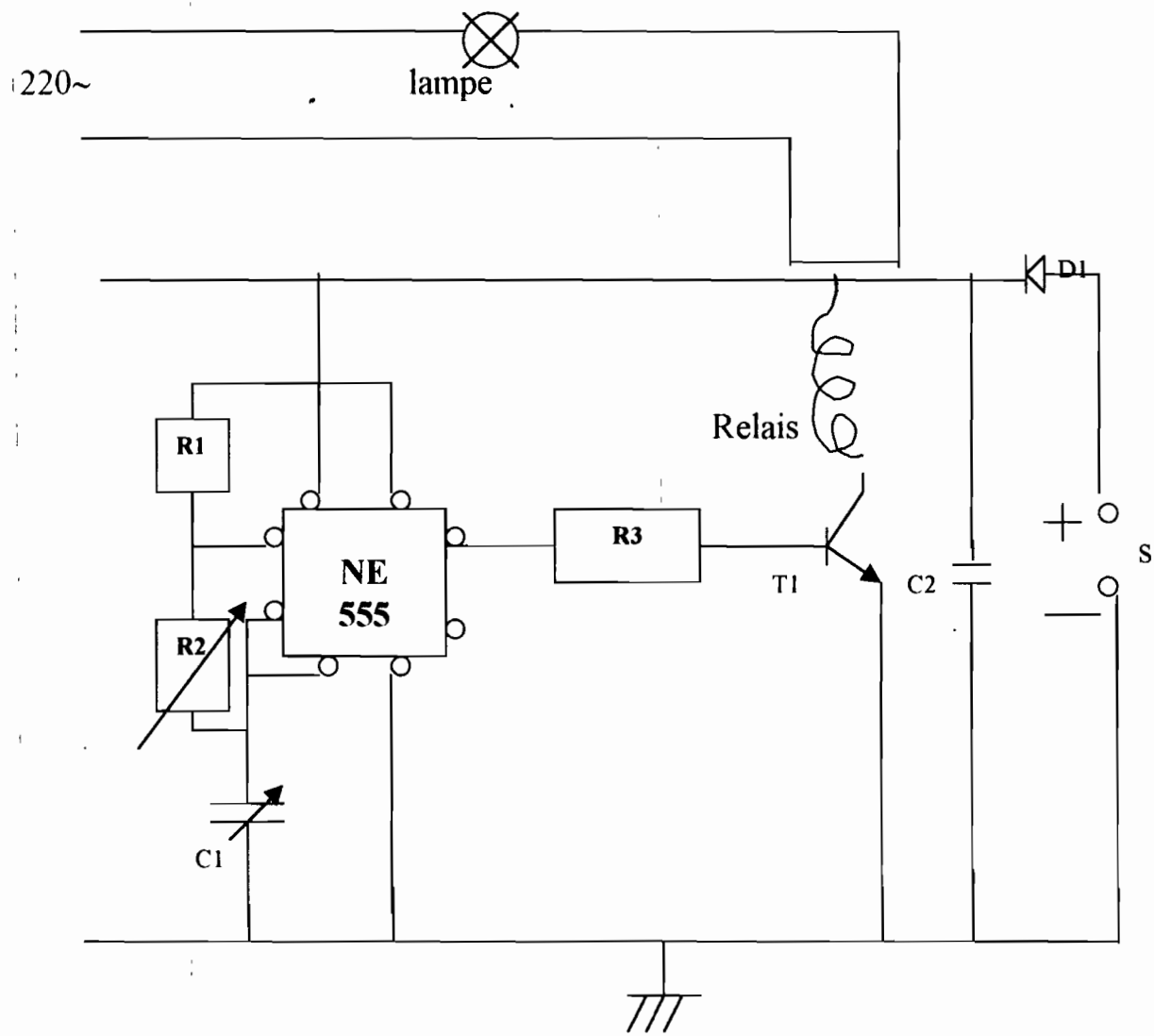


fig 3.10 Schéma électrique du système de commande

Pendant cette même période le signal sortant de la 555 est amplifié par le transistor T pour qu'il puisse actionner la bobine du relais ,qui à son tour ferme le circuit de haute tension (220V) et la lampe s'allume. Quand le condensateur finit de se charger, il se décharge instantanément , la 555 n'envoyant plus de signal au relais pour assurer la fermeture du circuit de haute tension , ce dernier s'ouvre obligatoirement et la lampe s'éteint. Le système reste dans cette état jusqu'à la prochaine impulsion de la source. Etant donné que nous ne savons pas le temps optimal de la durée de l'allumage de la lampe, on fera en sorte que la minuterie puisse être réglée sur six valeurs: 5s, 15s, 25s, 33s,45s,55s. Dans le tableau suivant figurent les différentes valeurs de R_2 et C_1 correspondant aux temps précités.

Durée de l'impulsion	Valeur de R_2 (Mohms)	Valeur de C_1 (μ F)
5	0,0909	50
15	0,4545	50
25	0,2727	50
33	0,2727	110
45	0,2727	150
55	0,4545	110

Tableau 3.2 :Différentes valeurs de R_2 et de C_1

III.6. SYSTEME D ' ACQUISITION DE DONNEES

L'acquisition sera effectuée à l'aide d'un micro-ordinateur dans lequel on installera la carte d'acquisition disponible au laboratoire électrotechnique (type PCL 812) ,et le logiciel qui y est compatible (LABTECH).

Les informations provenant du système qui fait l'objet de notre étude sont du type analogique. Elles sont disponibles à la sortie des différents capteurs et sont généralement des grandeurs électriques (résistances, courant, tension). La chaîne de mesure analogique d'un micro-ordinateur connecté à un système est destiné à rassembler des signaux, à les mettre en forme et à en donner la valeur sous forme d'un nombre binaire.

Le capteur représente le premier maillon de la chaîne de mesure, et donc la justesse et la fidélité des mesures dépendent de cet élément et l'organe central d'une telle chaîne est le convertisseur analogique numérique (CAN). Pour effectuer les mesures dans de bonnes conditions il est nécessaire parfois de faire une amplification, ainsi on est amené dans ce chapitre à décomposer la chaîne de mesure en divers éléments.

III.6.1) CONVERTISSEUR DE SIGNAL

Il peut être un simple voltmètre à cadran avec une grande sensibilité .Son rôle est de mesurer la tension au borne du capteur

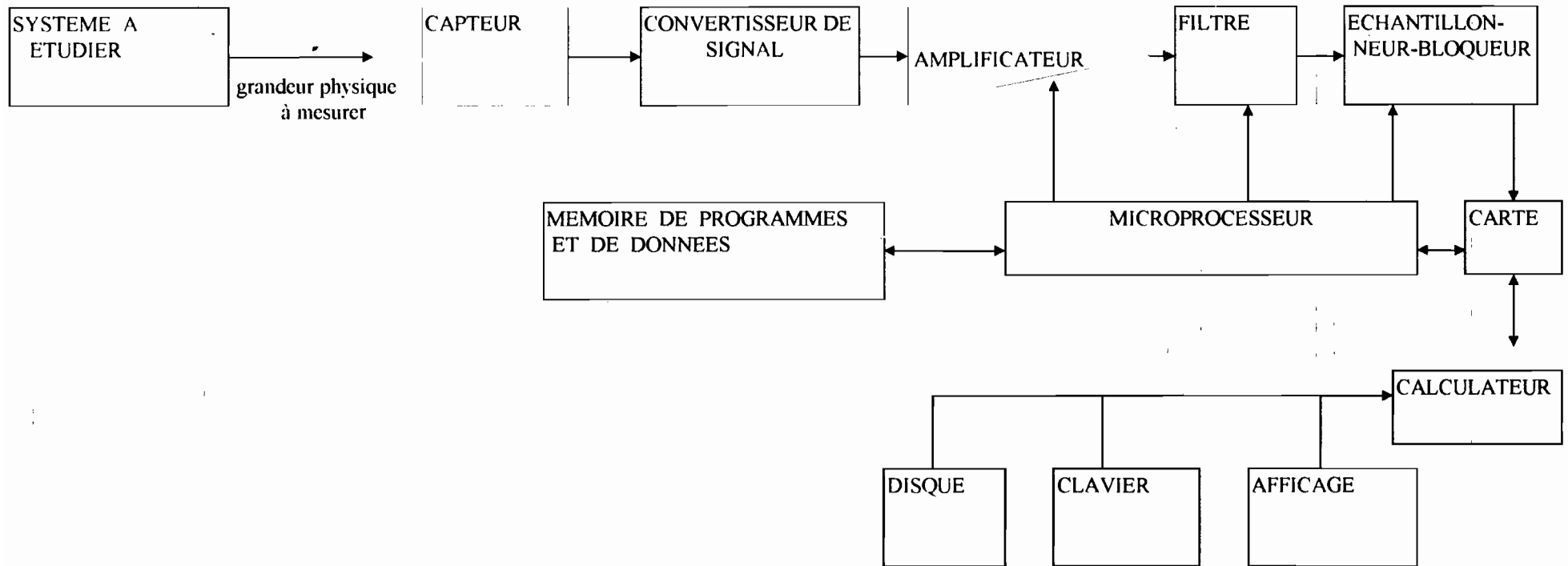


Fig 3.11 Chaîne d'acquisition de données

III.6.2) AMPLIFICATEUR

Il adapte les signaux à mesurer à l'échelle du convertisseur, et cette adaptation se fait sur plusieurs points :

- **adaptation de niveau** : les convertisseurs analogiques - numériques ont souvent une échelle de 0 à 10V, exceptionnellement 0 à 1V . Pour certains signaux ayant une échelle de 0 à 1mV voire moins, une amplification importante est nécessaire. Par ailleurs certains capteurs des signaux de polarité négative qu'il faudra inverser
- **adaptation d'impédance** : Certains convertisseurs présentent de faible impédance d'entrée, ce qui risque de perturber la source des signaux, on est obligé alors d'intercaler un amplificateur à haute impédance d'entrée réciproquement, d'autres convertisseurs de signal requierent une faible impédance de source, ce qui n'est pas toujours le cas avec les capteurs courants. Il sera alors utiliser un adaptateur d'impédance ,à faible impédance de sortie.
- **réjection en mode commun** : Il consiste à éliminer (à rejeter) la différence de potentiel entre la masse du capteur et la masse de la chaîne d'acquisition .Cette fonction est assurée par un amplificateur différentiel à entrée flottante qui peut être portée par rapport à la masse du système à une tension de mode commun V_{MC} (fig 3.12)

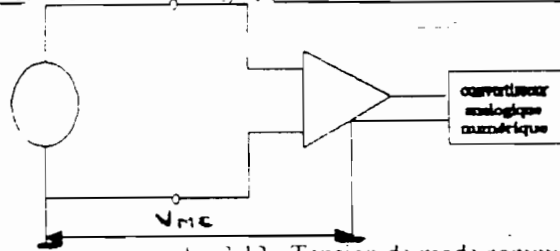


fig 3.12 . Tension de mode commun

III.6.3) FILTRAGE

Pour effectuer un échantillonnage correct du signal analogique , on se doit de respecter le théorème de SHANNON : « pour que le message contenu dans un signal soit récupérable après échantillonnage ,il faut que ce dernier opère à une cadence au moins double de la composante fréquentielle la plus élevée du signal ».

Cependant cette fréquence maximale varie avec le signal, et est mathématiquement infinie. Ainsi pour remédier a cela ,il sera procédé à un filtrage des signaux par un filtre passe bas de fréquence de cassure imposée, qui, coupe à une même fréquence tous les signaux qui arrivent

III.6.4) ECHANTILLONNEURS- BLOQUEURS

Lorsque le signal à mesurer varie très rapidement, il est possible que l'amplitude de sa variation pendant la durée de la conversion soit supérieure à la précision du convertisseur analogique - numérique, auquel cas il existe une incertitude sur la validité sur résultat. Pour pallier à cet inconvénient on a été amené à imaginer un dispositif capable de suivre les variations du signal, et d'en garder la valeur à un instant donné. Ce dispositif qui porte le nom d'un échantillonneur- bloqueur est généralement réalisé à l'aide d'un condensateur

instant donné. Ce dispositif qui porte le nom d'un échantillonneur- bloqueur est généralement réalisé à l'aide d'un condensateur

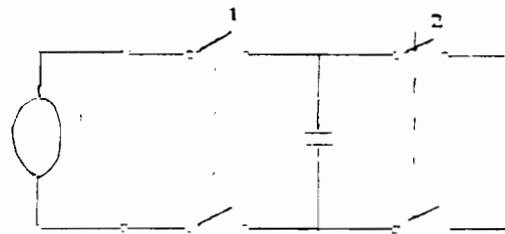


fig. 3.13 : Echantillonneur- bloqueur

Il fonctionne de la façon suivante :

- Le condensateur étant déchargé, et les contacts ouverts, le contact 1 est fermé pendant un temps suffisant pour que le condensateur puisse se charger à la valeur de la tension du signal (période de poursuite) ;
- au moment de la conversion, le contact 1 est ouvert, et le condensateur reste chargé à la valeur du signal au moment de la commutation.
- Le contact 2 est alors fermé, et la tension aux bornes du condensateur est présentée au convertisseur (période d'échantillonnage)

III.6.5) CONVERTISSEUR ANALOGIQUE-NUMERIQUE

Le signal a été adapté, filtré, amplifié et éventuellement échantillonné, et il est prêt à être converti sous forme numérique.

***Principe**

Il existe de nombreux principes de fonctionnement du convertisseur analogique-numérique mais le plus courant est le suivant :

Le signal à mesurer V_x , est comparé à la tension élaborée par un convertisseur numérique-analogique. Une logique de commande fait évoluer l'état de ce dernier jusqu'à ce que l'égalité soit obtenue ; la mesure sous forme numérique du signal est alors disponible

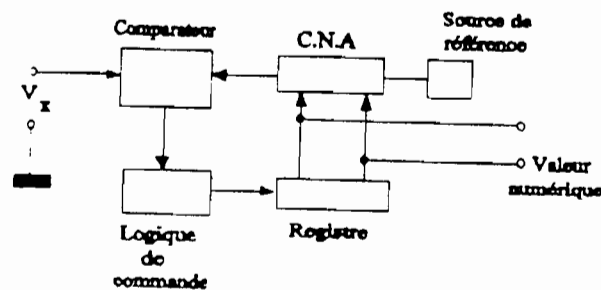


fig3.14 : Convertisseur analogique- numérique . Schéma fonctionnel

L'ensemble comprend donc :

- un comparateur de tension
- un convertisseur numérique - analogique décrit ci-dessous.
- une logique de commande qui peut être réalisée sous différentes formes :
- un registre qui contiendra le résultat de la mesure. (détails cf annexes)

III.6.6) CONVERTISSEUR NUMERIQUE -ANALOGIQUE

Le convertisseur numérique - analogique est un organe qui transforme un nombre exprimé en code binaire en un signal « tension électrique » dont la valeur est proportionnelle au nombre considéré. Il existe plusieurs méthodes et circuits pour

matérialiser la conversion numérique - analogique que l'on vient de décrire. Cependant nous pouvons nous limiter à une des méthodes élémentaires (fig.3.15) qui nous donne une idée des principes utilisés.

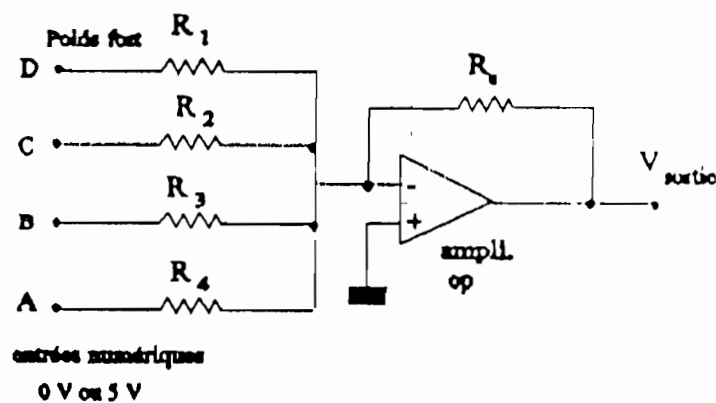


Fig 3.15 Convertisseur numérique-analogique à 4 bit, avec Ampli.Op de sommation.

L'amplificateur opérationnel est employé comme amplificateur de sommation dont la sortie à la somme pondérée des tensions. La tension de sortie, pour chaque branche de l'amplificateur de sommation est donnée par la relation suivante

$$V_{\text{sortie}} = -\frac{R_f}{R_i} V_i \quad i = 1,2,3$$

Ainsi nous en déduisons la tension de sortie totale :

$$V_{\text{sortie}} = - \left(\frac{R_s}{R_1} V_1 + \frac{R_s}{R_2} V_2 + \frac{R_s}{R_3} V_3 + \frac{R_s}{R_4} V_4 \right) \quad (3.7)$$

Il y a lieu d'insister ici sur les fonctions multiples et importantes du calculateur qui peuvent être groupées en deux rubriques :

- gestion de l'acquisition d'une part,
- traitement du signal requis par la précision et la nature de l'information cherchée d'autre part.

Le calculateur est chef d'orchestre de la chaîne d'acquisition ; il délivre les séquences de signaux de commande activant de façon ordonnée, les divers dispositifs participant à l'obtention de la valeur du mesurande, dont la connaissance est nécessaire au bon déroulement de l'application.

- fixation du gain de l'amplificateur,
- échantillonnage puis blocage du signal,
- déclenchement de la conversion analogique - numérique,
- lecture de la donnée numérique à la réception du signal de fin conversion

délivré par le convertisseur analogique-numérique.

En aval de la chaîne d'acquisition, le calculateur gère les périphériques classiques d'entrée- sortie :

- clavier permettant l'introduction, pour la prise en compte par la chaîne, d'ordres et de modifications de paramètres de mesures,
- mémoire de masse pour l'archivage des mesures
- affichage du résultat de la mesure en cours par le **LABTECH et (REALTIME VISION)**.

III.6.7) PRESENTATION DE LA CARTE DE SIMULATION

Le PCL 812 (fig 3) est une carte pour IBM/PC/XT/AT et compatibles. Elle est de haute performance, et a plusieurs fonctions sur l'acquisition de données. Elle est accompagnée d'un support logiciel qui permet de développer plusieurs applications dont :

- L'acquisition de données
- Le contrôle de processus
- Le vérificateur automatique
- L'automatisation d'une usine

Signal analogique : Lorsque la valeur du signal électrique est proportionnelle en tout temps à celle du signal physique représenté, le signal est dit analogique

Signal numérique (ou digital) : C'est un signal qui existe pour un certain intervalle de temps et qui ne peut prendre que certaines valeurs.

Continu : C'est un signal qui est défini en tout temps.

Quantifié : Se dit d'un signal qui a un nombre fini de valeurs.

Discret : être défini qu'en certains instants

Echantillonnage : Processus par lequel un signal est transformé en un signal discret. Les opérations d'échantillonnage et de quantification permettent de transformer un signal analogique en digital.

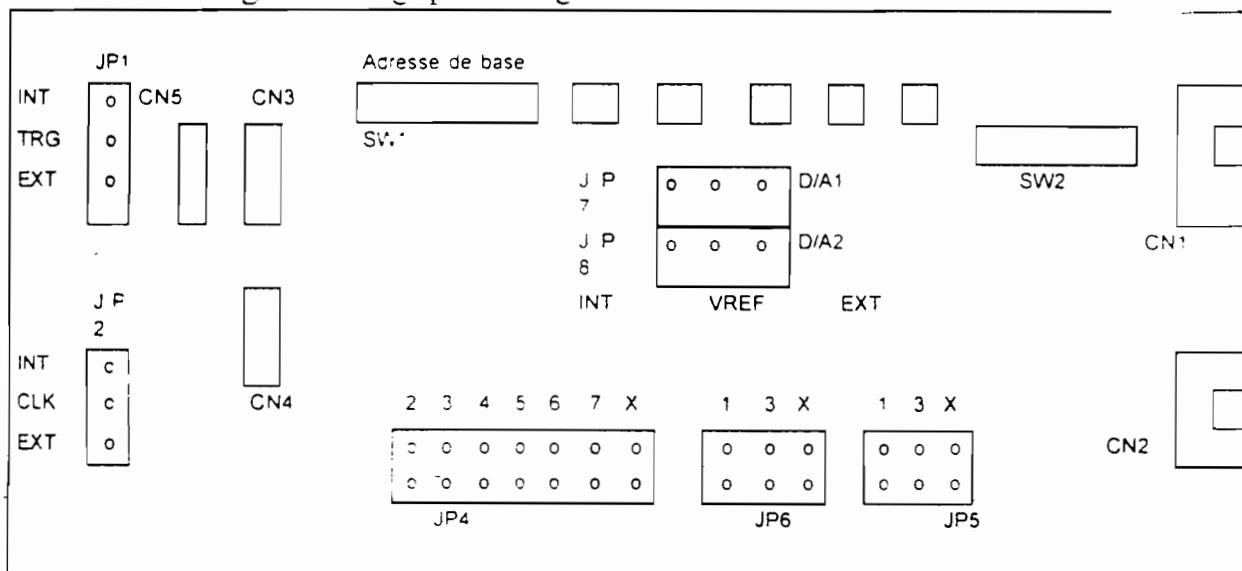


Fig 3.16 . La carte PCL 812

DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT

***Sélecteur de l'adresse de base**

Les périphériques de l'ordinateur, ainsi que les cartes d'interface sont contrôlées par les portes d'entrée/ sortie. La sélection de l'adresse de base du port d'entrée/ sortie du PCL 812 (cf tableau suivant) se fait à travers un rail SWI à huit positions. Le PCL 812 demande seize adresses consécutives dans l'espace entrée/ sortie, qui sont localisées entre \$ 200 et \$ 3F0

PLAGE DE L'ADRESSE D'ENTREE / SORTIE en hexadécimal	POSITION DU RAIL						
	A9 fixé	1 A8	2 A7	3 A6	4 A5	5 A4	6 A3
200 - 20F	1	0	0	0	0	0	X
210 - 21F	1	0	0	0	0	1	X
220 - 22F	1	0	0	0	1	0	X
230 - 23F	1	0	0	0	1	1	X
300 - 30F	1	1	0	0	0	0	X
3F0 - 3FF	1	1	1	1	1	1	X

Tableau 3.3 : Sélection de l'adresse de base

Remarque : ON=0 . OFF= 1

A4.....A9 correspond à la ligne d'adresse du bus de l'ordinateur.

\$220 représente l'adresse de base qu'on s'est fixé à titre d'exemple

* Niveau d'attente

Dans le cas d'une vitesse trop importante de l'ordinateur, il est préférable d'adjoindre un niveau d'attente pour stabiliser le transfert de données. La sélection

du niveau d'attente de fait avec les bits 7 et 8 du rail SW1 comme montré ci-dessous

POSITION DU RAIL 1		TEMPS D'ATTENTE
7	8	
0	0	0
1	0	2
0	1	4
1	1	6

Tableau 3.4 : Sélection de niveau d'attente

Tension d'entrée

La sélection de la tension d'entrée analogique dans le groupe polaire se fait à travers le rail plongeant SW2 à cinq positions (cf tableau suivant)

POSITION DU RAIL 2					PLAGE DE TENSION
1	2	3	4	5	
ON	OFF	ON	OFF	X	+/- 10V
OFF	ON	ON	OFF	X	+/- 5V
ON	OFF	OFF	ON	X	+/- 2V
OFF	ON	OFF	ON	X	+/- 1V

Tableau 3.5 : Sélection de la tension d'entree

*Mode de déclenchement du convertisseur A/D

Les conversions analogiques- digitales du PCL-812 sont déclenchées par un des trois modes suivants :

- 1) - Un logiciel de déclenchement
- 2) - Un compteur / dateur
- 3) - Une impulsion de déclenchement externe.

1- Logiciel de déclenchement

Ce déclenchement est contrôlé par les programmes d'application issus des commandes du logiciel. Normalement ce mode n'est pas utilisé pour les applications à grande vitesse de conversion parce que , limité par le temps d'exécution des programmes.

2- Compteur/ dateur

Les compteurs 1 et 2 d' INTEL 8253 sont configurés pour donner des impulsions de déclenchement de conversions A/D à des périodes précises. La plage de fréquence réservée aux sorties du PCL 812 se situe entre 0,5MHZ et 35 minutes/ impulsion. Le mode déclenchement pas à pas s'accommode bien avec les interruptions et au DMA (Accès Direct à la Mémoire) , lesquels sont utilisés dans des applications où une grande vitesse de conversion est requise.

3- impulsion externe de déclenchement

Ce mode est contrôlé à travers le EXT.TRG du CN5 : connecteur 5 (fig 3).

Il est utilisé pour des applications où les conversions ne sont pas périodiques mais conditionnées ; exemple : contrôle de température par thermocouple.

*** Exécution d'une conversion A/D**

Les conversions A/D peuvent être exécutés par un programme où toutes les instructions entrée/ sortie sont écrites directement, ou par un programme utilisant des routines de transmission du PCL 812 . L'utilisation des ces routines facilite la programmation et augmente les performances du programme.

*** Mode de transfert**

Il y a trois voies possibles pour effectuer le transfert de données Analogiques/Digitales avec le PCL 812 :

- 1) Le programme de contrôle
- 2) Les interruptions
- 3) L'accès direct à la mémoire (DAM)

1- Programme de contrôle

C'est le concept de sondage qui est utilisé à ce niveau. Après le déclenchement de la conversion A/D, le bit DRDY (donnée prête) de l'octet supérieur du convertisseur A/D est testé, si le bit est à 0, alors les données converties sont prêtes.

Elles sont transférés du registre de données analogiques vers l'ordinateur par le programme de contrôle (fig 3.17)

2-Les interruptions

Les données sont transférés du registre de données analogiques vers un segment de mémoire préalablement défini par le manipulateur d'interruption. A la fin de chaque conversion, le signal DRDY génère une interruption qui permet au manipulateur d'interruption d'effectuer le transfert. Le bit de contrôle (base +11) et le niveau de sélection d'interruption sur la bretelle JP4 doivent être spécifiés avant l'utilisation des routines d'interruption. Une action d'écriture sur le registre (base + 8) réinitialise l'interruption du PCL 812

3- L'accès direct à la mémoire (DMA)

Avec le DMA, le transfert de données analogiques de la carte vers la mémoire de l'ordinateur se fait sans intervention de l'unité centrale. Le DMA est très utilisé pour les opérations complexes. Les bretelles de sélection de niveau du DMA (JP5 et JP6), et le bit de DMA dans le registre de contrôle, ainsi les registres de contrôle du DMA 8237 doivent être installés avant d'effectuer les opérations .

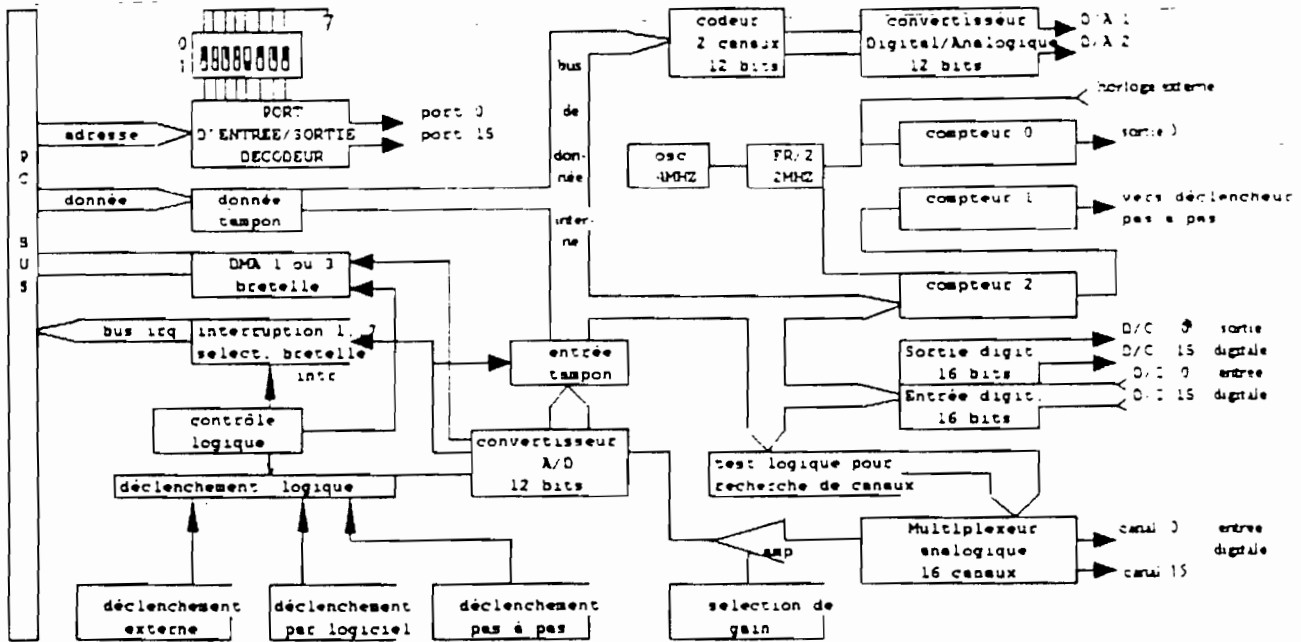


fig 3.17. Schéma synoptique de la carte PCL 812

Le traitement et l'affichage des données se font en grande partie par le Logiciel LABTECH NOTE BOOK que nous présentons ainsi.

III.6.8) PRESENTATION DU LOGICIEL

LABTECH NOTEBOOK est un logiciel d'acquisition et de traitement de données. Sur le moniteur il se présente en deux parties :

- L'interface graphique qui permet la visualisation des icônes de programmation - Le support des icônes qui représente le menu système de NOTEBOOK - C'est le même système qui donne accès à toutes les fonctions de NOTEBOOK
- *Les menus de notebook

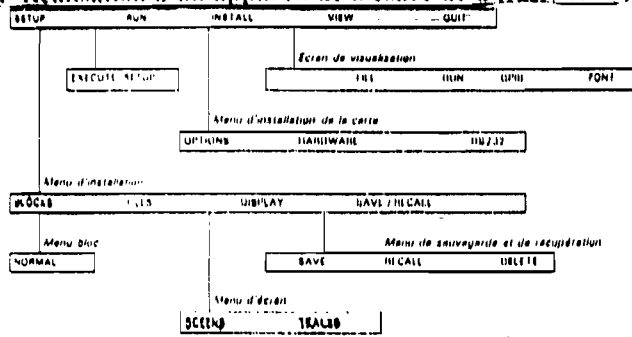


fig 3.18 Atlas des menus de NOTEBOOK version 7.0

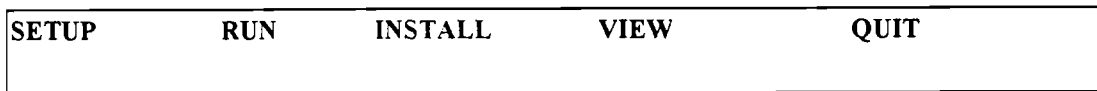
(cf. annexes plus claire)

Notebook a deux types de menu :

- les menus de commande
- Les menus d'installation

Le menu principal est exemple de menu de commande

□ *Menu principal



Les menus de commande se présentent ainsi ; la ligne au sommet montre les options.

Beaucoup de fonctions de NOTEBOOK demandent une phase d'installation et de configuration avant d'être exécutés. Par exemple avant de lancer le processus d'acquisition de données, on utilise le menu BLOCKS (Tableau 3.6) pour définir les paramètres d'entrée du block ; dans le cas où on doit stocker des données ,le menu FILES est utilisé pour déterminer les paramètres des données à stocker. Il permet de configurer les icônes à utiliser lors de la programmation. Le tableau 3.6 représente une configuration d'icône :

- La première partie du tableau contient les icônes nécessaires, au type d'entrée; à l' étiquette du bloc et matériel d'interface utilisé.

- La deuxième partie permet de spécifier : la marge à respecter par le signal d'entrée, la calibration du signal de sortie, la taille du fichier tampon, le nombre d'itérations à faire et le nombre de colonnes d'enregistrement ;
- La fréquence d'échantillonnage, la durée de l'enregistrement, la méthode d'arrêt et de déclenchement de la collecte figurent à la troisième partie :
- La dernière partie du tableau fait allusion à l'option de déclenchement choisi ; dans le cas où le déclenchement se fait immédiatement, on aura pas à donner le temps d'attente, ni la valeur à atteindre pour avoir le déclenchement

NORMAL DATA ACQUISITION / CONTROL SETUP	
Number of Function Blocks (0-250)	1
Current Blocks in operation	1
Block Type	(Analog Input)
Tag Name	
Block Units	Volts
Interface Device	(1 PCL 812-G)
Interface Parameters (see 15)	0
Input Range	(± 10 V)
Scale Factor	1.000
Offset (Volts)	0.000
Offset Units	Volts
Number of Samples	1
Number of Triggers	1
Block Number	1
Sampling Rate (Hz)	1.000
Stage Duration (sec) (0.01-99.99)	29.500
Start Delay Method	(Immediate)
Trigger Mode (Edge)	1
Trigger Polarity (Active Low)	0
Trigger Polarity (Active High)	0
Time Delay (sec) (0.01-99.99)	5.000
Analog Trigger Value	0.000
Analog Trigger Polarity	(High)
Number of Samples to Store (for buffer)	0

Tableau 3.6 : Menus blocks

*** Changer les éléments d'un menu**

Il y a deux types d'entrée pour les menus :

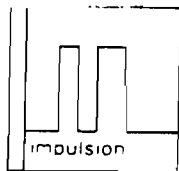
les entrées entre crochets : exemple block type :[Analog input] (Tableau3.6)en cliquant deux fois la souris, à l'endroit des crochets ; il apparaît un sous menu qui présente les différentes options.

- Les entrées simples : à ce niveau il est demandé de donner la valeur

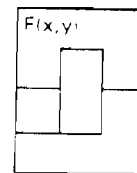
Toutefois, il faut d'abord placer le curseur à l'endroit requis avant d'effectuer un quelconque changement.

* Exemple d'utilisation d'une icône

Une icône est une représentation symbolique d'une fonction.



impulsion de sortie



icône de calcul

fig.3.19. Exemples d'icônes

Supposons que nous avons un bloc d'entrées analogiques et que nous voulons visualiser le signal correspondant tout en stockant les données sur un fichier. On va procéder comme suit.

On place l'icône d'entrée analogique [Analog input]sur l'ecran. ensuite on clique deux fois sur l'icône pour accéder à la page de menu afin de spécifier les paramètres comme le nom du block, le matériel d'interface, la fréquence d'échantillonnage.

Il faut adjoindre l'icône de fichiers (FILES) en la connexion par une flèche pour permettre la sauvegarde des données dans un fichier. De même en cliquant deux fois sur l'icône FILES la page de menu se présente permettant de changer les paramètres d'installation tels que : le nom du fichier, la couleur des flèches, l'échelle du programme. Nous pouvons maintenant cliquer sur le bouton d'exécution (RUN) pour lancer la collecte de données et la visualisation du signal.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Après une longue étude bibliographique sur les techniques de mesure des propriétés thermophysiques internes des matériaux, nous avons reconduit la méthode flash pour la réalisation de notre appareil de mesure de diffusivité thermique grâce à sa rapidité de mesure et sa facilité de mise en oeuvre . Pour que nos mesures soient les moins biaisées possibles, on a essayé d'identifier l'essentiel des perturbations pouvant affecter l'exactitude de nos résultats . C'est en voulant remédier à ces problèmes qu'on tente de piéger l'échantillon, et utilise des modèles de fixation de capteurs les mieux adaptés, des filtres ,et des échantillonneurs bloqueurs. Il va falloir vérifier certaines hypothèses qui soutendent le dimensionnement de notre appareil comme : la valeur de l'éclairage et le rendement énergétique . Nous donnons comme recommandations :

-- Dans le but de doubler la fonction de l'appareil, on peut utiliser deux capteurs pour déterminer les thermogrammes des deux face de l' échantillon. Avec ces derniers, par la méthode des éléments finis, on peut savoir l'énergie emmagasiné par l'échantillon qui nous permettra de déterminer la chaleur massique à pression constante C_p .

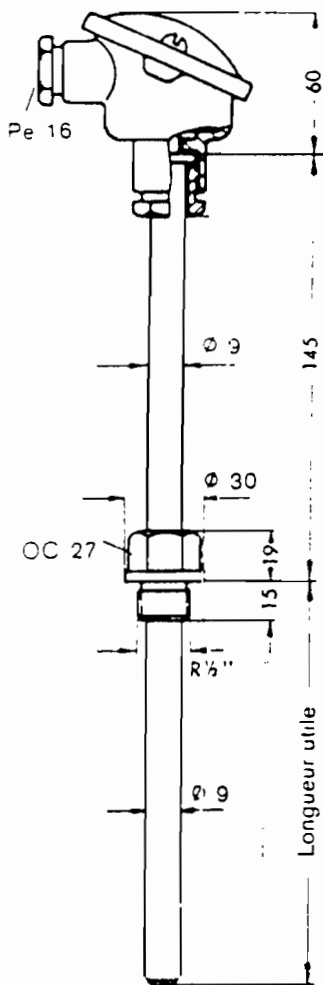
--Pour la lecture de température des deux faces, il y a lieu d'intercaler un multiplexeur entre le capteur et le convertisseur de signal , il effectue des relevés de température espacés de quelques dixièmes de millièmes de secondes.

ANNEXES

THERMOCOUPLES A VISSER

ANNEXE A-1

pour basses pressions



Gaine de protection

$\varnothing = 9$ mm, épaisseur de la paroi = 1 mm

Raccord

R = 1 2'

Tête de raccordement

Forme B, en alliage léger. Étanche aux poussières et projections d'eau.

Entrée du câble de liaison par presse-étoupe de 16 mm.

Élément de mesure

Thermocouple simple ou double en Fe-Co ou NiCr-Ni — isolation sous perles ceramiques

Exécution	Température maximum d'utilisation	Longueur utile en mm	Masse env. en Kg	Nature du couple	Type	
					Simple	Double
Gaine de protection et raccord en Laiton U Z 36	300° C	160	0,8	Fe-Co	TL 216 F	TL-D-216 F
		250	0,9		TL 225 F	TL-D-225 F
		400	1		TL 240 F	TL-D-240 F
Gaine de protection et raccord en Acier Inoxydable AISI 316 L	600° C	160	0,8	NiCr-Ni	TL 216 N	TL-D-216 N
		250	0,9		TL 225 N	TL-D-225 N
		400	1		TL 240 N	TL-D-240 N
Gaine de protection et raccord en Acier Inoxydable AISI 316 L	600° C	160	0,8	Fe-Co	TI 216 F	TI-D-216 F
		250	0,9		TI 225 F	TI-D-225 F
		400	1		TI 240 F	TI-D-240 F
Gaine de protection et raccord en Acier Inoxydable AISI 316 L	600° C	160	0,8	NiCr-Ni	TI 216 N	TI-D-216 N
		250	0,9		TI 225 N	TI-D-225 N
		400	1		TI 240 N	TI-D-240 N

OUT AUTRE COUPLE, LONGUEUR ou RACCORD SUR DEMAND

TABLEAU DES PRESSIONS ADMISSIBLES (en Bars)

Vitesse d'écoulement maximum		Long. utile en mm	Laiton pour			Acier Inoxydable pour		
Eau	Air		50° C	150° C	300° C	50° C	300° C	400° C
m/sec.	m/sec.							
3	25	160	16	16	9	50	40	36
		250	16	16	9	40	40	36
		400	7*	7*	7*	18	18	18

* Pour l'eau seulement 2 m/sec.

THERMOCOUPLES À VISSER

pour hautes pressions

Gaine de protection

Ø = 10 mm, épaisseur de la paroi = 2 mm

Raccord

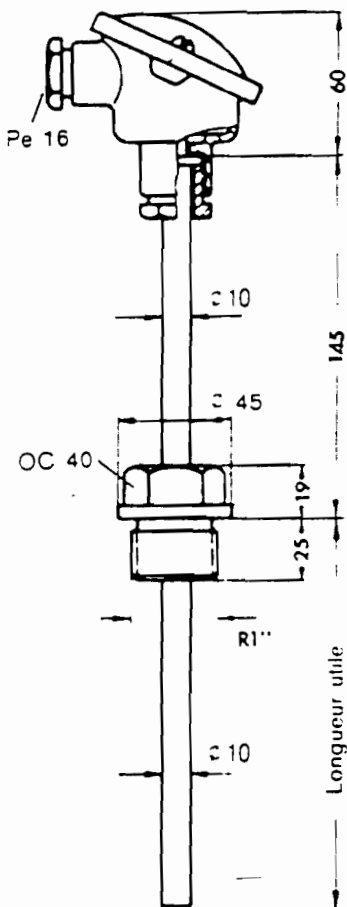
R = 1"

Tête de raccordement

Forme B, en alliage léger,
Étanche aux poussières et projections d'eau.
Entrée du câble de liaison par presse-étoupe
de 16 mm.

Élément de mesure

Thermocouple simple ou double en Fe-Co
ou NiCr-Ni - Isolation sous perles.



Exécution	Température maximum d'utilisation	Longueur utile en mm	Masse env. en Kg	Nature du couple	Type	
					Simple	Double
Gaine de protection et raccord en acier	500° C	160 250	1,2 1,25	Fe-Co	TA 216 F TA 225 F	TA-D-216 F TA-D-225 F
	600° C	160 250	1,2 1,25	NiCr-Ni	TA 216 N TA 225 N	TA-D-216 N TA-D-225 N
Gaine de protection et raccord en acier inox AISI 316 L	500° C	160 250	1,2 1,25	Fe-Co	TI 216 FS TI 225 FS	TI-D-216 FS TI-D-225 FS
	600° C	160 250	1,2 1,25	NiCr-Ni	TI 216 NS TI 225 NS	TI-D-216 NS TI-D-225 NS

TOUT AUTRE COUPLE, LONGUEUR ou RACCORD SUR DEMANDE

Vitesse d'écoulement max.		Long. utile en mm	Acier pour			Acier Inoxydable pour		
Eau m/sec	Air m/sec		100° C	300° C	500° C	100° C	300° C	500° C
5	40	160	90	78	50	90	78	50
		250	40	35	22	40	35	22

THERMO-EST S.A. au capital de 1.850.000 F - Tél. 87 80 68 18 - Télécopie 87 51 72 04 - Télex 860 664 F
Z.I. du Malambas - Hauconcourt - F 54 340 - 57213 MAIZIERES-LES-METZ

CONVERTISSEUR DE MESURE CONFIGURABLE AVEC OPTION RELAIS A SEUIL

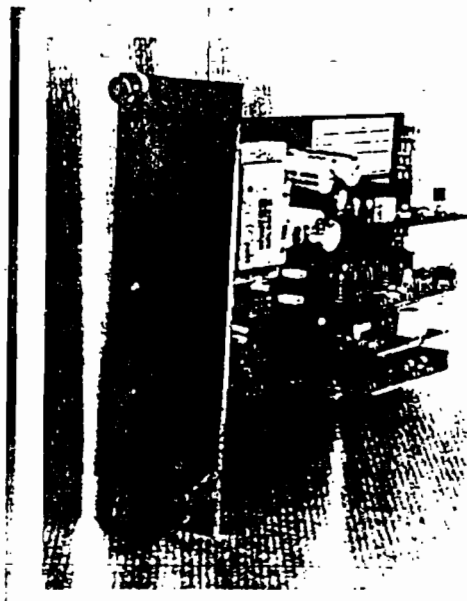
TYPE C2A100

montage carte Europe 100 x 160 mm

PRINCIPE

Le convertisseur de mesure C2A 100, permet pour une grandeur d'entrée, sonde Pt 100, thermocouple, mV, V, d'obtenir une grandeur de sortie en courant normalisé 4-20 mA ou 0-20 mA et en tension 0-10 V.

Ce convertisseur en technique 4 fils assure à la fois une grande précision, une bonne tenue à la température ainsi qu'une grande facilité de montage.



DESCRIPTION

Le convertisseur de mesure C2A 100 se présente sous la forme d'une carte format simple Europe. Les raccordements électriques, le réglage du zéro et du gain sont accessibles en face avant. La configuration de l'étendue de mesure se fait par l'intermédiaire de cavaliers et potentiomètres. Le convertisseur transforme le signal d'entrée en courant 0 ou 4-20 mA et en tension 0-10 V. Les signaux de sortie sont proportionnels à la valeur de l'entrée et indépendants de l'alimentation (technique 4 fils).

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

- entrée sonde à résistance Pt 100, 3 fils (sur demande Pt 500 / Pt 1000)
étendue de mesure maximale: -50/+800°C, étendue minimale 30°C
- entrée thermocouples
couple T étendue de mesure maximum: -100 à 400 °C
couple J étendue de mesure maximum: - 50 à 800 °C
couple K étendue de mesure maximum: 0 à 1200 °C
couple S étendue de mesure maximum: 0 à 1600 °C
couple B étendue de mesure maximum: 0 à 1700 °C
étendue de mesure minimale pour tous types de couple: 4 mV
- configuration de l'étendue de mesure par cavaliers et potentiomètres ce réglage.
précision de réglage du zéro: 0,02% de l'étendue de mesure maximum.
précision de réglage du gain: 0,02%
- signaux de sortie: (linéaires pour Pt 100 - en option pour thermocouples)
sortie courant 0 ou 4/20 mA, sélection par cavalier, charge admissible $\leq 1 \text{ k}\Omega$
sortie tension 0-10 V, charge admissible $\geq 1 \text{ k}\Omega$
- précision de la mesure: 0,2% de l'étendue de mesure
- temps de réponse:
150 ms avec entrée sonde Pt 100
400 ms avec entrée thermocouple
- sécurité haute en cas de rupture du circuit de mesure
- compensation de soudure froide incorporée
- alimentation: 220 V -50 Hz $\pm 10\%$ (autres tensions sur demande)
- consommation: 4 W
- température d'utilisation: -10 à +55°C
- température de stockage: -20 à +80°C

EQUIPEMENTS COMPLEMENTAIRES

- Linéarisation (LIN) pour une entrée thermocouple
- Séparation galvanique (IG): entrée/sortie/alimentation (1500 V)
- Relais à seuil réglable sur l'étendue de mesure en face avant
- Puissance de coupure max. 60 W / 125 VA
- Tension de coupure max 250 VAC
- Courant de coupure max 2 A
- Hystérésis de commutation < à 5%

DESIGNATION DU TYPE

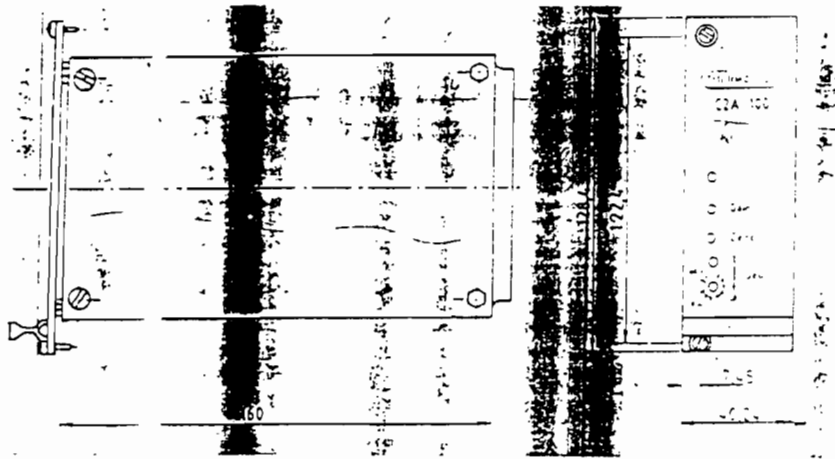
- C2A 100 / convertisseur de mesure configurable
S entrée Pt 100
T(K) entrée thermocouple (nature du couple à préciser)
/IG avec séparation galvanique
/LIN avec linéarisation pour une entrée thermocouple
/IG/LIN avec séparation galvanique et linéarisation
/RL relais à seuil

En cas de calibration usine, préciser:

- étendue de mesure:
- signal de sortie:

EXECUTION - ENCOMBREMENT

Sur demande, montage dans boîtier étanche pour montage en saillie



BRANCHEMENT



ANNEXE B-1

CARACTERISTIQUES DES COMPOSANTS du PCL- 812

* CONVERTISSEUR A/D (Analogique / Digital)

canaux : 16 points.

Résolution : 12 bits.

Plage de tension d'entrée : bipolaire : +/- 10V, +/- 5V, +/- 2V, +/- 1V.

Survoltage : +/- 30V Maximum continu.

Type de conversion : approximation successive.

Convertisseur : HADC574Z

Précision : 0.015 de la valeur lue +/- 1 bit.

linéarité : +/- 1 bit.

Mode de déclenchement : logiciel de déclenchement, horloge programmable ou impulsion extérieure.

Transfert de données : programme de contrôle, interruption ou DMA (Accès Direct à la Mémoire).

* CONVERTISSEUR D/A (Digital / Analogique)

Canaux : au nombre de 2.

Résolution : 12 bits.

Plage de tension de sortie : 0 à +5V avec la référence fixée à -5V. +/- 10V avec une référence externe continue ou alternative.

Type de conversion : multiplication sur 12 bits

Linéarité : +/- 12 bits.

Sortie de conduit : +/- 5mA Maximum.

Temps d'établissement : 30 microsecondes

ANNEXE B - 2

CARACTERISTIQUES DES COMPOSANTS du PCL- 812

* ENTREES DIGITALES

Canaux : 16 bits.

Niveau : TTL compatible.

Tensions d'entrée : - niveau bas : 0.8V maximum
- niveau haut : 2.0V minimum.

Charge d'entrée : - niveau bas : 0.4mA maximum à 0.5V
- niveau haut : 0.05mA maximum à 2.7V.

* SORTIES DIGITALES

Canaux : 16 bits.

Niveau : TTL compatible.

Tensions de sortie : - niveau bas : 0.5V maximum
- niveau haut : 2.4 V minimum.

* SPECIFICATIONS GENERALES

Puissance consommée : + 5V : typ. 500 mA, maximum 1A.
+ 12V : typ. 50 mA, maximum 100 mA.
- 12 V : typ. 14 mA, maximum 20 mA.

Température d 'opération : de 0 à + 50 degrés Celsius.

Température de stockage : de -20 à + 65 degrés Celsius

ANNEXE B- 3

* ADRESSES DES PORTS D'ENTREE / SORTIE

La table suivante montre la position de chaque registre par rapport à l'adresse de base ; elle montre également le mode d'utilisation de ces registres (écriture ou lecture).

POSITION	LECTURE	ECRITURE
Base + 0	Compteur 0	Compteur 0
Base + 1	Compteur 1	Compteur 1
Base + 2	Compteur 2	Compteur 2
Base + 3	Non Utilisé	Contrôleur du compteur
Base + 4	Octet inférieur du A/D	Octet inférieur du D/A - Canal 1
Base + 5	Octet supérieur du A/D	Octet supérieur du D/A - Canal 1
Base + 6	Octet inférieur du D/I	Octet inférieur du D/A - Canal 2
Base + 7	Octet supérieur du D/I	Octet supérieur du D/A - Canal 2
Base + 8	Non Utilisé	Supprimo comando d'interruption
Base + 9	Non Utilisé	Non Utilisé
Base + 10	Non Utilisé	Multiplexeur
Base + 11	Non Utilisé	Contrôleur du PCL-812
Base + 12	Non Utilisé	Logiciel de déclenchement A/D
Base + 13	Non Utilisé	Octet inférieur du D/O
Base + 14	Non Utilisé	Octet supérieur du D/O
Base + 15	Non Utilisé	

NOTE: A/D : Analogique / Digital

D/A : Digital / Analogique

D/I : Entrée Digitale

D/O : Sortie digitale

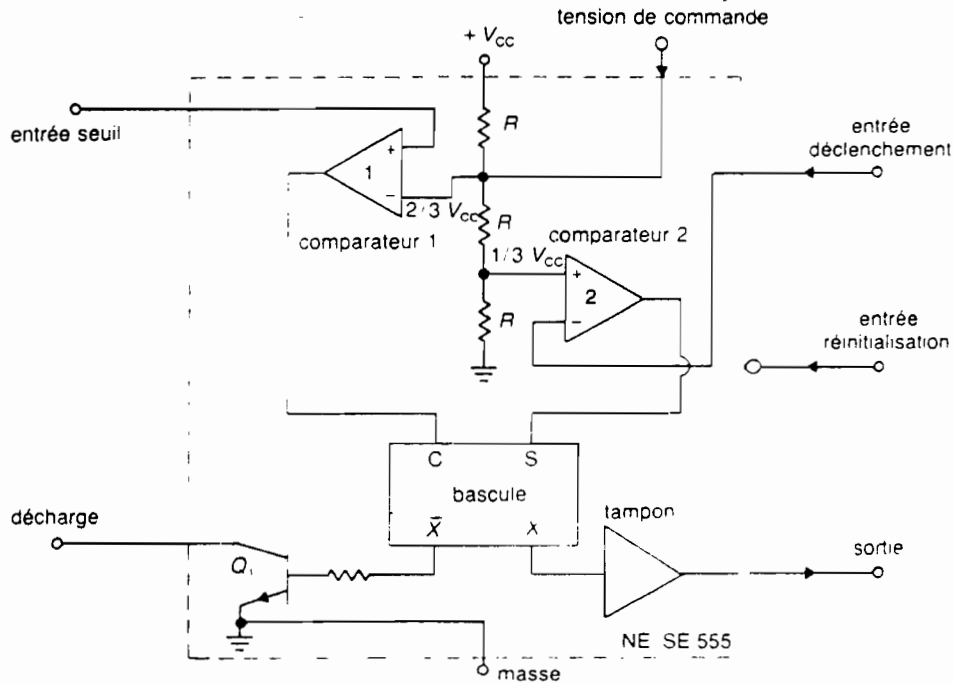
La minuterie NE/SE 555 est un boîtier de CI très polyvalent qui se comporte soit comme un multivibrateur *monostable* (un état stable), soit comme un multivibrateur *astable* (sans état stable). Ce boîtier a les caractéristiques suivantes:

- Possède une large gamme de tensions d'alimentation (5-15 V).
- Pilote sans problème des TTL sous une alimentation de 5 V
- À une grande capacité de courant de sortie (200 mA).
- Manifeste une temporisation très stable malgré des variations de la tension d'alimentation et de la température.

Les circuits internes de plusieurs étages de la minuterie 555 sont constitués de transistors bipolaires; on peut voir les étages les plus importants de la minuterie 555 dans le schéma fonctionnel reproduit à la figure 5.52. Ce montage est formé de deux comparateurs, d'une bascule S-C, d'un diviseur de tension qui fournit les tensions de référence aux comparateurs, d'un transistor bipolaire de décharge (Q_1) et d'un tampon en totem pour l'étage de sortie. Ce boîtier possède huit broches: une broche pour V_{CC} et une pour la masse et six autres broches dont les rôles sont décrits ci-après.

SORTIE Cette broche est la ligne de sortie d'un tampon en totem qui peut absorber ou fournir un courant de 200 mA. Elle peut attaquer directement des TTL quand $V_{CC} = 5$ V. Le niveau reporté sur SORTIE (HAUT ou BAS) est celui de la borne X de la bascule.

DÉCHARGE Cette broche est raccordée à un transistor à collecteur ouvert attaqué par la sortie \bar{X} de la bascule. Quand \bar{X} est au niveau BAS, le transistor Q_1 est BLOQUÉ, et on



peut considérer la broche DÉCHARGE comme un circuit ouvert. Quand X est au niveau HAUT, Q_1 est CONDUCTEUR et la broche DÉCHARGE joue maintenant le rôle d'une résistance très petite par rapport à la masse. Cette broche, comme nous le verrons, est raccordée aux condensateurs utilisés dans les diverses applications du 555, et c'est par cette broche que les condensateurs se déchargent.

SEUIL Cette broche excite l'entrée « + » du comparateur 1. L'entrée « - » de ce même comparateur est raccordée à une tension de référence fixée à $2/3$ de V_{CC} au moyen d'un diviseur de tension formé de trois résistances égales. Quand la tension d'entrée SEUIL est $> 2/3 V_{CC}$, la sortie de ce comparateur passe au niveau HAUT pour remettre à zéro la bascule et mettre ainsi X à 0 et \bar{X} à 1. Quand SEUIL est $< 2/3 V_{CC}$, la sortie du comparateur se trouve au niveau BAS, et cela n'affecte pas la bascule.

La broche SEUIL sert donc à mettre la SORTIE au niveau BAS et la borne DÉCHARGE en court-circuit. Notez que la broche SEUIL ne permet pas de mettre à 1 la bascule; c'est la borne DÉCLENCHEMENT qui sert à mettre à 1 la bascule.

DÉCLENCHEMENT Cette broche attaque l'entrée « - » du comparateur 2. L'entrée « + » de ce même comparateur est reliée à une tension de référence fixée à $1/3 V_{CC}$. Tant que l'entrée DÉCLENCHEMENT est $\geq 1/3 V_{CC}$, la sortie de ce comparateur reste au niveau BAS et n'a aucun effet sur la bascule. Quand DÉCLENCHEMENT devient $< 1/3 V_{CC}$, la sortie de ce comparateur passe au niveau HAUT ce qui impose à la bascule $X = 1$ et $\bar{X} = 0$. Les conditions définies pour la minuterie sont alors: SORTIE est au niveau HAUT et DÉCHARGE est un circuit OUVERT. Notez que l'entrée DÉCLENCHEMENT ne peut servir à mettre à zéro la bascule; elle ne sert qu'à mettre la bascule à 1.

Remarquez qu'il est possible que les sorties des deux comparateurs soient en même temps au niveau HAUT (quand DÉCLENCHEMENT $< 1/3 V_{CC}$ et SEUIL $> 2/3 V_{CC}$). Cela a pour effet de mettre au niveau HAUT les deux entrées de la bascule et d'amener X et \bar{X} tous les deux à 1. Cette condition doit être évitée dans les conditions normales.

REINITIALISATION Il s'agit ici d'une entrée logique ponctuelle qui sert à initialiser n'importe quand la bascule dans l'état X = 0 et $\bar{X} = 1$, et cela *indépendamment* des entrées SEUIL et DÉCLENCHEMENT. REINITIALISATION est une entrée active au niveau BAS qui doit être raccordée à V_{CC} quand elle ne sert pas.

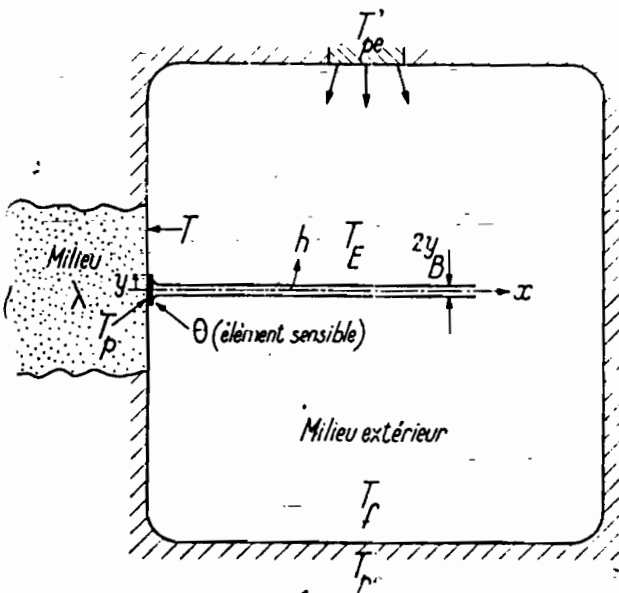
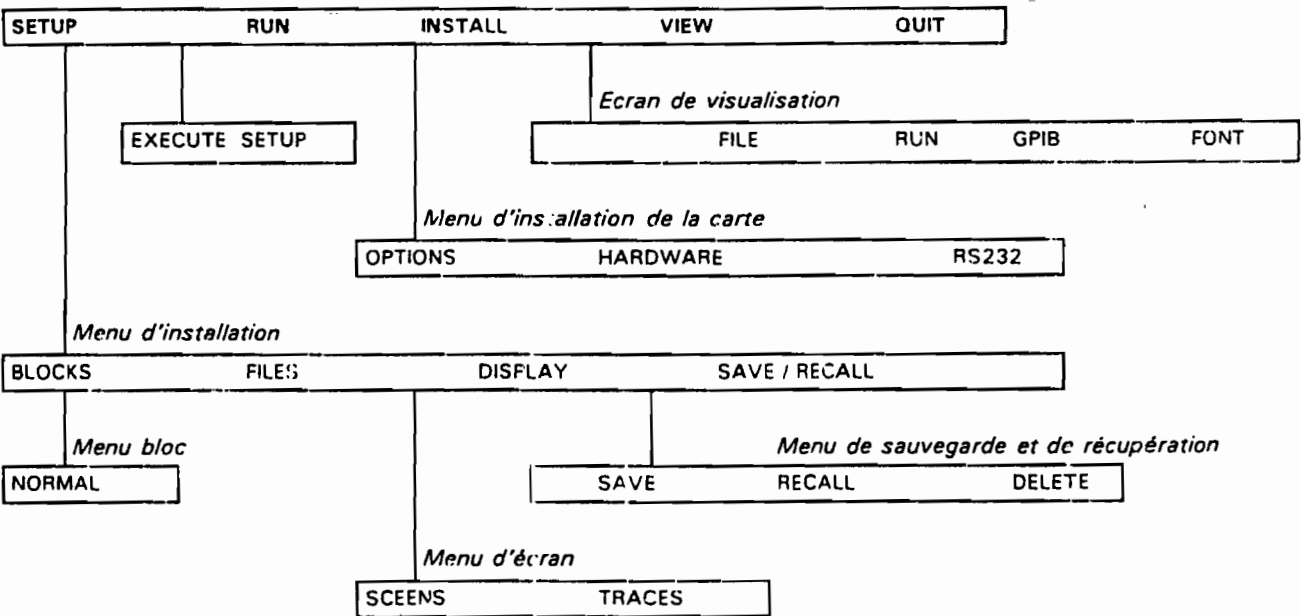
TENSION DE COMMANDE Cette broche permet de commander les tensions de référence appliquées à chaque comparateur. Dans la majeure partie des applications, cette broche est inutilisée; les tensions de référence sont fixées à $2/3 V_{CC}$ et $1/3 V_{CC}$ comme nous l'avons déjà dit. Pour changer ces tensions, l'utilisateur applique une tension sur la borne TENSION DE COMMANDE. Par exemple, si TENSION DE COMMANDE est fixée à 4 V, la tension de référence du comparateur 1 sera 4 V, et celle du comparateur 2 sera 2 V. Évidemment, ceci implique que les tensions qui rendent actives les bornes SEUIL et DÉCLENCHEMENT sont différentes.

Quand la borne TENSION DE COMMANDE est inutilisée, on peut la laisser ouverte. Cependant, on la raccorde souvent à la masse au travers d'un condensateur de $0,01 \mu\text{F}$ qui filtre le bruit de haute fréquence pouvant perturber le fonctionnement des comparateurs.

Tableau I. - Principaux phénomènes thermométriques.

Nature du phénomène	Domaine de température °C	Type de la méthode
- force thermoélectrique • métaux • semiconducteurs	- 260 à + 1 500 - 200 à + 600	par contact avec liaison matérielle pour la lecture du phénomène
- résistance électrique • métaux • semiconducteurs	- 200 à + 1 000 - 50 à + 500	(cf article <i>Mesure par contact</i>)
- rayonnement thermique • infrarouge (total ou spectral) • pyrométrie optique (total ou spectral)	- 40 à + 700 700 à 3 000	sans contact (cf article <i>Mesure par utilisation du rayonnement d'émission</i>)
- photoluminescence • fluorescence • phosphorescence	- 240 à + 200 - 240 à + 400	par contact sans liaison matérielle pour la lecture du phénomène
- couleur • cristaux liquides • peintures, papiers - changements d'état (fusion, vaporisation)	10 à 330 40 à 1400 40 à 1 500	(cf § 5.1 du présent article)

Menu Principal



Fixation	Protection contre le rayonnement CLO	Position des fils de liaison	ΔT (K)			
			0 W.m ⁻²		210 W.m ⁻²	
			C.H.	C.E.	C.H.	C.E.
Point de colle Altufix S	Sans	2 fils gainés collés au M.S.T.	-0,28	+0,32	-0,16	+0,48
Ruban adhésif carré 5 x 5 mm	Aluminium très réfléchissant	2 fils gainés longeant le M.S.T. (non collés)	-0,20	+0,06	-0,18	+0,08
Ruban adhésif carré 5 x 5 mm	Peinture blanche	2 fils gainés longeant le M.S.T. (non collés)	-0,31	+0,21	-0,27	+0,22
Print de pâte au sil cone Caf 4	Pâte au silicone blanche Caf 4	2 fils gainés longeant le M.S.T. (non collés)	-0,30	+0,19	-0,20	+0,18
Ruban adhésif carré 5 x 5 mm	Papier blanc	2 fils gainés longeant le M.S.T. (non collés)	-0,43	+0,34	-0,40	+0,38
Ruban adhésif carré 5 x 5 mm	Ruban adhésif semi-transparent	2 fils gainés longeant le M.S.T. (non collés)	-0,40	+0,28	-0,33	+0,37
Ruban adhésif carré 5 x 5 mm	Peinture noire	2 fils gainés longeant le M.S.T. (non collés)	-0,25	+0,28	+0,58	+1,14

ΔT = écart de température entre la température extrapolée à partir de la méthode inverse et la température mesurée.

C.H. = conditions hivernales - le capteur est du côté froid.

C.E. = conditions estivales - le capteur est du côté chaud.

BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] GILBERT MENGUY Licence d'ingénierie électrique
université Claude Bernard Lyon I

- [2] JEAN H LADICK métrologie des propriétés thermophysiques des
matériaux université d'Angers

- [3] 301 CIRCUITS publitronic

- [4] ELEC 411 Installation électrique (partie éclairage)

- [5] ELEC 521 Acquisition de données

- [6] R 2 732 Technique de l'ingénieur

- [7] RONALD J. TOCCI Circuits numériques

- [8] Labtech Notebook : User Guide

- [9] PC -Labtech PCL-~~812~~ User's manuel