

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AHMED DRAIA ADRAR
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MATIERE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER

OPTION :

PHYSIQUE ENERGETIQUE ET ENERGIES RENOUVELABLES

Thème:

**Réalisation et expérimentation d'un
thermocouple type T**

Soutenu le : 24/06/ 2019

Présenté par :

- BENZEKKOUR BACHIR
- KHANNOUSSI ABDELLATIF

Devant le Jury composé de :

Dr : SAYHI MUSTAFA	MC	Université Ahmed Draia	Président
Mr. /BELABBACI MOHAMMED	MAA	Université Ahmed Draia	Encadreur
Mr. /OMARI BOUMEDIÉNE	MAA	Université Ahmed Draia, Adrar	Examineur

Remerciement

Nous remercions ALLAH de nous avoir donnée la volonté, la force et le courage durant ces longues années d'étude.

Nous remercions très respectueusement :

Notre encadreur Mr. / M.BALABBACI pour son aide, sa confiance en nous et sa gentillesse.

Nous remercions également l'examineur Mr. /OMARI BOUMEDIÉNE et Dr : SAYHI MUSTAFA d'avoir enrichi notre note de fin d'études en découvrant leurs erreurs.

Tous les enseignants de département de science de la matière.

Tous ceux qui nous ont aidés à la réalisation de ce mémoire.

Tous nos camarades et amis qui nous ont encouragé et soutenu.

Toutes notre familles qui toujours été là pour nous.



DEDICACE

J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail :

*A ceux qui m'ont encouragé et soutenu moralement et matériellement pendant
les moments les plus difficiles*

Durant ma vie :

A ma très chère mère, qui n'a jamais cessé de prier pour moi.

*A mon très cher père Boudjmaa et mon très cher sœur Naima (Allah
yarhamhom), pour ses encouragements*

A mes frère : le bonheur dans sa vie Brahim et Abdelkrim

A mes précieuses sœurs Rahma et Hadda et Aicha et Fadhila et Méssaouda

A ma très chère ZOÛRA

A toute ma grande famille, benzekkour

A mes meilleurs amis Ismail abdlhadi

..Et chacun à son nom.



A mon binôme : ABDELATIF

*A la fin je dédie très chaleureusement ce mémoire à ma première institutrice,
M^{me} Nakka rahma, ma 2^{ème} mère pour m'avoir aidé à faire mes premiers pas vers le
monde du savoir. Merci pour ta patience.*



DEDICACE

J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail :

*A ceux qui m'ont encouragé et soutenu moralement et matériellement pendant
les moments les plus difficiles*

Durant ma vie :

A ma très chère mère, qui n'a jamais cessé de prier pour moi.

A mon très cher père MEBAREK, pour ses encouragements

À mes estimés frères

A ma chère sœur

A toute ma grande famille, KHANNOUSSI

A mes meilleurs amis et chacun à son nom.

A mon binôme : BACHIR

*A la fin je dédie très chaleureusement ce mémoire à ma première institutrice,
M^{me} LOULAD FATIMA ZOHRÀ, ma 2^{ème} mère pour m'avoir aidé à faire mes
premiers pas vers le monde du savoir. Merci pour ta patience.*



SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : Généralités sur les thermocouples	
I.1 introduction	3
I.2 Historique	3
I.3 Principes généraux de capteurs	4
I.4. Les différents types de capteurs.....	4
I.4.1.1- Capteurs actifs	4
I.4.1.2Capteurs passifs.....	6
I-4-2 Les caractéristiques d'un capteur ?... ..	6
I.5 Les capteurs de température :.....	7
I.5-1Le thermocouple.....	7
I.6. Différents types de thermocouples :.....	7
I.6.1.Type J (Fer / Constantan) :.....	8
I.6.2.Type K (Chrome/ Alumelle (Ni / Ni -Cr).....	9
I.6.3. Type T (Cuivre / Constantan)	10
I.6.4. Type R Pt / Pt -Rh	10
I.6.5. Type S (Ir -Rh40% / Ir)	11
I.6.6. Type B (W / W -Re26%)	12
I.6.7.Type C (: tungstène-rhénium (5%)/tungstène-rhénium (26%)):.....	12
I.7. Précision.....	13
I.8. Critères de choix d'un thermocouple	13
I.9.Les avantages et les inconvénients de thermocouple	13
I.9.1.Avantages	13
I.9.2 Inconvénients	13
I.10. Les applications de thermocouple	13

CHAPITRE II : Présentation d'un thermocouple type T

II.1. Introduction :.....	15
II.2. Définition des deux métaux qui compose le thermocouple type T (Cu/C) :... ..	15
II.2.1. Constantan(C) :.... ..	15
II.2.2. le cuivre (Cu)	16
II.2.3. Caractéristiques de cuivre	16
II.2.4. Identification.....	16
II.2.5. Propriétés optiques de cuivre	17
II.2.6. Propriétés physiques de cuivre	17
II.2.7. Propriétés électriques de cuivre	18
II.2.8. Propriétés chimiques de cuivre	19
II.2.9. Isotopes	20
II.3. Principe de fonctionnement.....	21
II.3.1 L'effet Seebeck.....	21
II.3.2. L'effet Peltier.....	22
II.3.2.1 Explication du phénomène	23
II.3.3. L'effet Thomson	23
II.3.3.1 Remarque	24

CHAPITRE III : Expérimentale de thermocouple type T

A)-Réalisation d'un thermocouple type T.....	25
III A-1 Introduction	25
III A-2Le soudage.....	25
III A-3 le type d'élaboration (soudage)	25
III A.3.1 Soudage O2 - acétylène	25
III A.3.2 Les risques majeurs	25
III A.3.3 Les vérifications techniques nécessaires et les protections.....	25
III A.4 Protocole d'élaborer thermocouple du types T par soudage (oxygène-acétylène).....	26
III A.4.1Les outilles utilises.....	26
III A.4.2Technique de l'élaboration.....	27
III A.5 Montage du thermocouple.....	28
III A.6.Étalonnage du thermocouple.....	29

III A.6.1 Vérification du point zéro.....	29
III A.6.2 Au point 100°C.....	29
III A.6.3 Relevés aux points de fusion de deux corps purs.....	30
III A -7 Exploitation des résultats.....	31
III A.7.1 Trace la courbe	31
III A.7.2 Calculs.....	31
III A.8 Comparaison avec la littérature (les autres études).....	32
B)-Application : Differentiel Scanning Calorimetry (DSC).....	33
III B-1 Définition.....	33
III B-2 Le principe.....	33
III B-3 La capacité de chaleur.....	33
III B-4 La température de transition vitreuse (T _g).....	34
III B-5 La Cristallisation (T _c).....	35
III B-6 La fusion (T _f).....	36
CONCLUSION GENERALE.....	38
BIBLIOGRAPHIE.....	39

Introduction

générale

Introduction générale

Introduction

Au départ la température a un lien avec la sensation de chaud et de froid. Par ailleurs les premiers thermoscopes étaient gradués en très chaud, chaud, tempéré, froid, très froid. Mais très vite nous pouvons voir les limites de cette notion. En effet si vous plongez la main dans de l'eau froide puis dans de l'eau tiède, celle-ci vous paraîtra chaude maintenant plongez la main dans de l'eau chaude et remettez-la dans la même eau tiède celle-ci vous paraîtra plus froide qu'après. Cette notion n'étant ni précise, ni fidèle, les scientifiques ont voulu trouver un autre moyen de définir et de mesurer la température.

La mesure de température est le plus ancien principe et possède la plus longue histoire. Au cours du temps, plus de 5 méthodes standards importants se sont imposés dans les industries de procédés à travers le monde. Grâce à ces standards, il est possible de combiner librement les différents composants d'un capteur de température comme l'insert, le doigt de gant, la tête de raccordement, le transmetteur etc. si bien qu'il est facile de composer un point de mesure. Des outils logiciels modernes permettent aujourd'hui de réduire la complexité et de guider l'utilisateur dans la sélection du capteur approprié à son application.

Les thermocouples sont des capteurs actifs qui délivrent une f.é.m. lorsque ceux-ci sont soumis à une modification de la température. Le principe de fonctionnement est basé sur l'effet Seebeck qui lorsque deux conducteurs métalliques sont reliés par deux jonctions soumises à des températures différentes, crée une différence de potentiel aux bornes du circuit. Une fois que l'on a la f.é.m. pour pouvoir remonter à la valeur de la température, il faut connaître l'une des deux jonctions et surtout sa température. Celle-ci se nommera jonction de référence. La nature des matériaux conducteurs utilisés définit le type du thermocouple. Il existe beaucoup de types de thermocouple qui sont pour la plupart repérés par une lettre, ainsi un thermocouple de type T est constitué d'une jonction en Cuivre et d'une jonction en constantan.

Notre projet est présentée en trois chapitres :

Dans le premier chapitre on parle sur de généralités sur des capteurs (définition, principe, caractéristiques,) et les différents types de thermocouple en détaille sur chaque type, ainsi indique les applications technologiques des thermocouples.

Le deuxième chapitre, étudie le thermocouple type T et le principe de fonction (L'effet Seebeck, L'effet Peltier, L'effet Thomson)

Introduction générale

A la fin de notre travail on a passé à la partie pratique dans le quatrième chapitre, on élabore et l'étalonnage d'un thermocouple type T, ensuite on fait la comparaison notre résultat avec littérature.

CHAPITRE I :
Généralités sur les
thermocouples

I.1. Introduction :

La température est une notion d'origine sensorielle, liée à l'impression de chaud et de froid ressentie après un contact thermique. La notion de contact thermique apparaît comme très importante. Par contact thermique, on entend toute possibilité d'échanger de la chaleur (conduction, convection, rayonnement) entre deux systèmes. S'il y a contact thermique entre deux systèmes, la "température" de ces deux systèmes évolue. Après un certain temps (si les deux systèmes sont convenablement isolés des influences extérieures), la température de chacun des corps demeure constante.

I.2. Historique :

Un résumé des développements historiques de la thermoélectricité est présenté ci-dessous :

1821 : Le premier effet thermoélectrique a été découvert par Thomas Johan Seebeck, qui a mis en évidence le fait qu'un circuit fermé formé de deux matériaux de nature différente faisait dévier l'aiguille d'une boussole quand l'une des jonctions est placée à une température différente.

1834 : Jean Charles Athanase Peltier a découvert un autre effet thermoélectrique, la Réfrigération.

1851 : William Thomson a publié une explication complète des effets Seebeck et Peltier et a décrit leur corrélation.

1910 : Edmund Altkirch a suggéré le concept du facteur de mérite. Il a montré que les bons matériaux thermoélectriques devaient posséder un fort coefficient Seebeck, une conductivité électrique élevée et une faible conductivité thermique.

1949 : Abram Ioffe a proposé que les matériaux semi-conducteurs dopés soient les meilleurs candidats pour être des matériaux thermoélectriques.

1954 : Julien Goldsmid a été le premier à identifier le Tellure de Bismuth comme matériau pour la réfrigération thermoélectrique et a montré que des refroidisseurs thermoélectriques pouvaient atteindre zéro degré Celsius.

1995 : Glenn Slack a introduit de nouveaux critères de sélection d'un bon matériau thermoélectrique et a développé la notion de « Phonon Glass Electron Crystal ». Ce matériau devait posséder les propriétés électriques d'un Crystal et les propriétés thermiques d'un verre.

I.3. Principe généraux de capteurs :

Les capteurs sont les premiers éléments rencontrés dans une chaîne de mesure .ils transforment les grandeurs physiques ou chimiques d'un processus ou d'une installation en signaux électriques au départ presque toujours analogiques. Cette transformation doit être le reflet aussi parfait que possible de ces grandeurs. Cet objectif n'est atteint que si l'on maîtrise en permanence la réponse des capteurs qui peut être affectée par des défauts produit par les conditions d'utilisation, par le processus lui-même et par le milieu qui l'entoure [1].

En suit, les chemins suivant qui explique le principe généraux des capteurs.

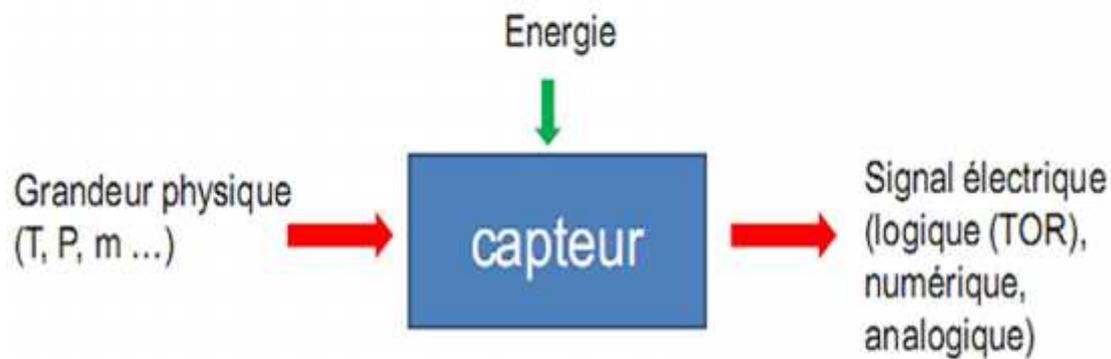


Fig. I-1 : chemin Principe généraux de capteurs

I.4. Les différents types de capteurs

Si l'on s'intéresse aux phénomènes physiques mis en jeu dans les capteurs, on peut classer ces derniers en deux catégories.

- Capteurs actifs
- Capteurs passifs

I.4.1.1- 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 d'énergie à la grandeur physique à prélever, énergie thermique, mécanique ou de rayonnement.

Les effets physiques les plus rencontrés en instrumentation sont :

Effet thermoélectrique : Un circuit forme de deux conducteurs de nature chimique différente, dont les jonctions sont à des températures **T1** et **T2**, est le siège d'une force électromotrice d'origine thermique **e (T1, T2)**.

Effet piézo-électrique : L'application d'une contrainte mécanique a certains matériaux dits piézo-électriques (le quartz par exemple) entraîne l'apparition d'une déformation et d'une même charge électrique de signe différent sur les faces opposées.

Effet d'induction électromagnétique : La variation du flux d'induction magnétique dans un circuit électrique induit une tension électrique (détection de passage d'un objet métallique).

Effet photo-électrique : La libération de charges électriques dans la matière sous l'influence d'un rayonnement lumineux ou plus généralement d'une onde électromagnétique.

Effet Hall : Un champ magnétique **B** et un courant électrique **I** créent dans le matériau une différence de potentiel **U_H**.

Effet photovoltaïque : Des électrons et des trous sont libérés au voisinage d'une jonction PN illuminée, leur déplacement modifie la tension a ses bornes.

Tableau 1 : Grandeurs d'entrée et de sortie et effet utilise pour les capteurs actifs

Grandeur physique mesurée	Effet utilise	Grandeur de sortie
Température	Thermoélectricité	Tension
Flux de rayonnement optique	Photoémission	Courant
	Effet photovoltaïque	Tension
	Effet photo-électrique	Tension
Force	Piézo-électricité	Charge électrique
Pression		
Accélération	Induction électromagnétique	Tension
Vitesse		
Position (Aimant)	Effet Hall	Tension
Courant		

I.4.1.2 Capteurs passifs :

Il s'agit généralement d'impédance dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée. La variation d'impédance résulte :

- Soit d'une variation de dimension du capteur, c'est le principe de fonctionnement d'un grand nombre de capteur de position, potentiomètre, inductance à noyaux mobile, condensateur à armature mobile.
- Soit d'une déformation résultant de force ou de grandeur s'y ramenant, pression accélération

(Armature de condensateur soumise à une différence de pression, jauge d'extensomètre liée à une structure déformable).

Tableau 2 : Type de matériau utilise et caractéristique électrique des capteurs passifs

Grandeur mesurée	Caractéristique électrique	Type de matériau utilise
Température	Résistivité	Métaux : platine, nickel, cuivre ...
Très basse température	Constante diélectrique	Verre
Flux de rayonnement optique	Résistivité	Semi-conducteur
Déformation	Résistivité	Alliage de Nickel, silicium dope
	Perméabilité	Alliage ferromagnétique
Position (aimant)	Résistivité	Matériaux magnéto résistants : bismuth, antimoine d'indium
Humidité	Résistivité	Chlorure de lithium

[10]

I.4.2. Les caractéristiques d'un capteur [1].

Etendue de mesure : Valeurs extrêmes pouvant être mesurée par le capteur

Résolution : Plus petite variation de grandeur mesurable par le capteur.

Sensibilité : Variation du signal de sortie par rapport à la variation du signal d'entrée.

Précision : Aptitude du capteur à donner une mesure proche de la valeur vraie.

Rapidité : Temps de réaction du capteur, la rapidité est liée à la bande passante.

Linéarité : représente l'écart de sensibilité sur l'étendue de mesure.

I.5. Les capteurs de température

Le thermocouple :

En physique, les thermocouples sont utilisés pour la mesure de températures. Ils permettent la mesure dans une grande gamme de températures. Il est constitué de deux métaux différents, liés l'un à l'autre à une de leur extrémité, produisant ainsi un courant dont la tension varie selon la température.

Le changement de tension est mesuré et interprété par un régulateur électronique, la mesure de température par des thermocouples est basée sur l'effet Seebeck (c'est un effet thermoélectrique). Leur principal défaut est leur imprécision : il est relativement difficile d'obtenir des mesures avec une incertitude inférieure à $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

I.6. Différents types de thermocouples :

Il existe plusieurs types de thermocouples différents. Tous sont utilisés pour une gamme précise de température de quelques degrés à quelques milliers de degrés. Les signaux électriques de ces sondes sont de l'ordre du microvolt au millivolt. Leurs propriétés peuvent également dépendre du type d'isolation (gaine) utilisée pour les fils métalliques. A noter que les relations donnant la tension en fonction de la température pour chaque type de thermocouple ne sont pas des fonctions linéaires, (figure 2) [2].

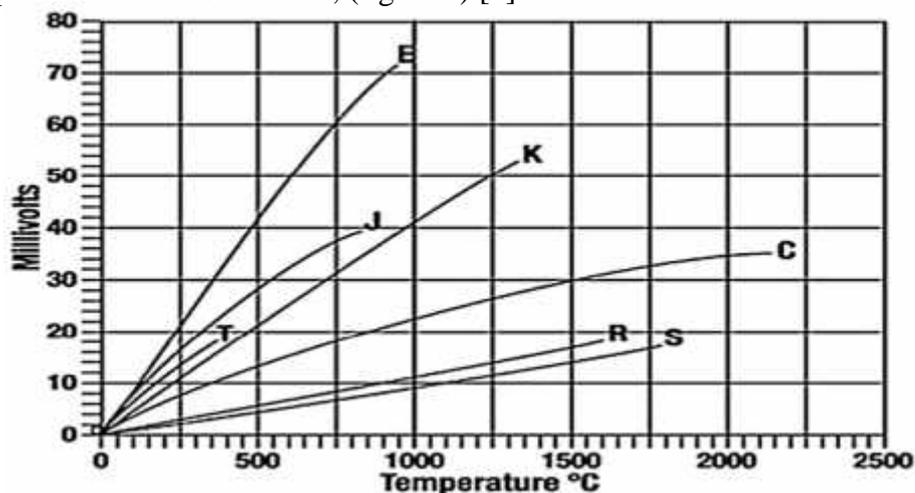


Fig I-2 :Relation tension-température pour différents types de thermocouples [2]

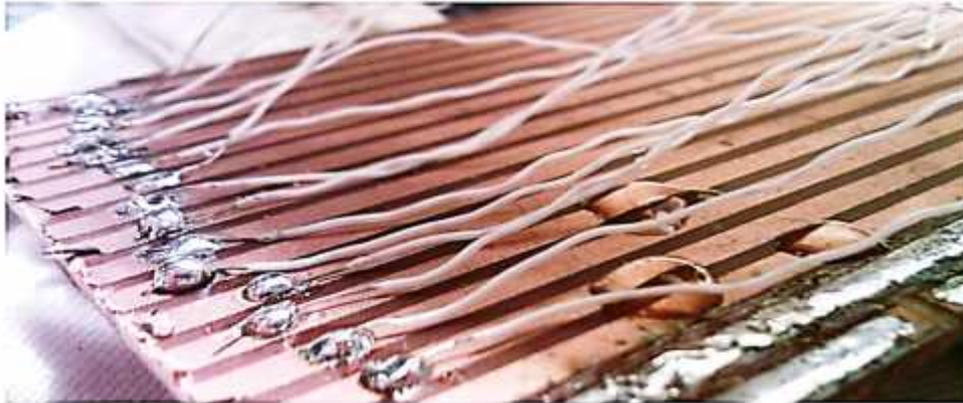


Fig.I.3 : Les différents types des thermocouples

Un thermocouple peut être formé à partir de n'importe quel couple de métaux. En pratique, pour des questions de coût, de sensibilité, de gamme de mesure, d'oxydation, de résistance mécanique, etc., les couples de métaux utilisés sont restreints.

La liste suivante répertorie les thermocouples dont ceux cités dans les normes internationales. Dans la liste qui suit, il est indiqué usage « continu » et « intermittent » pour les plages de températures. Chaque type de thermocouple peut être utilisé dans toute sa plage d'usage intermittent. Cependant, utiliser un thermocouple hors de sa plage d'usage continu trop longtemps peut dégrader le thermocouple et ses performances, il est donc conseillé de ne l'utiliser dans cette plage d'usage intermittent que de manière ponctuelle.

I.6.1.Type J (Fer / Constantan) :

Les couples fer / constantan sont fréquemment utilisés en raison de leur force thermoélectrique élevée, de leur mise en œuvre facile, et de leur prix bon marché. La limite supérieure pour la température d'application et la précision ne sont pas très élevées. Le fer utilisé pour ce couple n'est que de pureté commerciale et contient des petites quantités de C, Si et Mn. Ces impuretés ont des coefficients de diffusion relativement élevés et ont tendance à migrer à la surface. Ceci a comme conséquence une variation sensible des caractéristiques thermoélectriques du fer. Les thermocouples fer / constantan trouvent surtout application pour les traitements thermiques qui, eux-mêmes, ne se déroulent pas toujours dans des atmosphères propres [2].

- Composition : fer / Constantan (alliage nickel cuivre)
- usage de -180 °C à 750 °C. Sa table de référence s'étend au-delà de 1 000 °C3.
- Usage en atmosphère inerte ou réductrice. Se dégrade rapidement en milieu oxydant au-delà de 400 °C. S'oxyde en milieu humide.

- Couleurs selon CEI 584-3 : Gaine Noir / + Noir / - Blanc.
- Couleurs selon NF C 42-323 1985 : Gaine Noir / + Jaune / - Noir.
- Couleurs selon ANSI MC96-1 : Gaine Noir / + Blanc / - Rouge.

I.6.2.Type K (Chrome / Alumelle (Ni / Ni -Cr) :

Les thermocouples chrome / alumelle sont les couples les plus répandus. Ils étaient avant le développement des thermocouples Nicosie / nihil les seuls thermocouples exempts de métaux précieux, qui permettaient d'atteindre 1200°C. Les forces thermoélectriques sont relativement élevées, ce qui facilite les mesures. Vu cette valeur, il est très étonnant que les compositions des alliages utilisés ne se distinguent que peu. Ils contiennent respectivement 90 et 94% de Ni. Cela met en évidence l'effet que peut avoir la perte des éléments alliés et l'apport des atomes étrangers par la diffusion. Finalement c'est aussi cette forte dépendance de la concentration qui limite l'application de ce couple sous certaines conditions. Les atmosphères réductrices à base de H₂, CO (monoxyde de carbone) et S sont déconseillées. Lors de l'oxydation du chrome, c'est surtout le Cr qui s'oxyde à la surface. Les pertes qui en résultent à l'intérieur entraînent une modification du coefficient de Seebeck.

- Composition : Chrome (alliage nickel + chrome) / alumelle (alliage nickel + aluminium (5 %) + silicium).
- usage de -180 °C à 1 200 °C. Sa table de référence s'étend à 1 370 °C3.
- Stabilité moins satisfaisante que d'autres thermocouples : Son hystérésis entre 300 °C et 550 °C provoque plusieurs degrés d'erreurs. Au-dessus de 800 °C, l'oxydation provoque progressivement sa dérive hors de sa classe de tolérance.
- Bonne tenue aux radiations.
- Utilisation sous atmosphère inerte ou oxydante.
- Thermocouple le plus courant. Il est bon marché.
- Couleurs selon CEI 584-3 : Gaine Vert / + Vert / - Blanc.
- Couleurs selon NF C 42-323 1985.
- KC : Gaine Violet / + Jaune / - Violet.
- VC : Gaine Marron / + Jaune / - Rouge.
- WC : Gaine Blanc / + Jaune / - Blanc.
- Couleurs selon ANSI MC96-1 : Gaine Jaune / + Jaune / - Rouge.

- Comme les couleurs varient avec les fabricants, voici un moyen infaillible de reconnaître le type de conducteur : l'allume est vivement attiré par un petit aimant puissant [2].

I.6.3. Type T (Cuivre / Constantan) :

En dessous de 0°C et surtout vers la température zéro absolue la sensibilité des thermocouples diminue considérablement. Le couple cuivre / constantan ne fait pas exception à ce comportement général, mais l'effet est moins prononcé que pour les autres couples. Il est, pour cette raison, surtout utilisé à des températures cryogéniques. Le cuivre employé est le cuivre OFHC. L'alliage constantan que l'on combine avec le cuivre n'est pas tout à fait identique au constantan utilisé pour la fabrication des couples fer / constantan et a donc des caractéristiques thermoélectriques légèrement différentes. En raison de la mauvaise résistance à l'oxydation du cuivre pur, la température devrait rester en dessous de 350°C dans les atmosphères oxydantes.

- Composition : cuivre / Constantan (alliage cuivre + nickel)
- usage de -250 °C à 400 °C.
- Répétabilité exceptionnelle de +/-0 1 °C de -200 °C à 200 °C.
- Forte conductivité thermique du cuivre.
- Couleurs selon CEI 584-3 : Gaine Marron / + Rouge / - Blanc
- Couleurs selon NF C 42-323 1985 : Gaine Violet / + Jaune / - Blanc
- Couleurs selon ANSI MC96-1 : Gaine Bleu / + Bleu / - Rouge [2].

I.6.4. Type R Pt / Pt -Rh :

Les thermocouples à base de Pt sont chimiquement très stables. Les différences entre les couples contenant 10 ou 13% de Rh sont minimes. Dans les deux cas, on utilise le Pt pur avec une pureté minimale de 4N (99.99%). Ces alliages et le Pt pur sont très ductiles et se laissent tréfiler jusqu'à des diamètres de 25 µm pour des applications spéciales. En général on préfère des diamètres plus élevés (0.5mm) pour diminuer l'effet d'une éventuelle contamination par l'isolation ou l'atmosphère. En général les conséquences d'une contamination sont plus importantes pour les métaux purs (ici le Pt) que pour les alliages. C'est uniquement pour cette raison que les thermocouples Pt - Rh 30% / Pt- Rh 6% (sans métal pur) permettent une utilisation à des températures plus élevées (1700°C) que les couples avec un fil en Pt (1500°C). Cette amélioration sur le plan chimique se paie par une baisse de la force thermoélectrique. A 1000 °C elle ne vaut que 11,5mV pour le Pt /

Pt- Rh10% et descend encore de 20% à 9.1 mV pour le Pt- Rh 30% / Pt- Rh 6%. Malgré ces valeurs faibles, ces thermocouples sont très précis et fiables, notamment en raison de leur stabilité chimique.

Ils trouvent souvent application dans les laboratoires industriels pour calibrer d'autres thermocouples moins coûteux. Dans les aciéries et dans l'industrie du verre, ils servent à contrôler la température des masses fondues. Il est évident que les fils thermoélectriques doivent être proprement protégés s'ils sont exposés à des températures élevées dans des milieux et des atmosphères chimiquement agressifs. Il faut absolument mentionner dans ce contexte que le 'travail' au-delà de 1200°C est en général très pénible. Beaucoup de substances, qui à température ambiante ne sont chimiquement que peu actives, deviennent extrêmement agressives une fois fondues (p. ex verres et métaux) ou volatiles (p. ex. vapeurs métalliques).

- Composition : platine-rhodium (13 %) / platine.
- usage de 0 °C à 1 700 °C.
- FEM légèrement plus élevée que pour le S. Stabilité plus élevée que le S.
- Couleurs selon CEI 584-3 : Gaine Orange / + Orange / - Blanc.
- Couleurs selon NF C 42-323 1985 : Gaine Vert / + Jaune / - Vert.
- Couleurs selon ANSI MC96-1 : Gaine Vert / + Noir / - Rouge [2].

I.6.5. Type S (Ir -Rh40% / Ir) :

Les thermocouples à base d'alliages Ir- Rh (on utilise aussi les alliages avec 50 et 60% de Rh)

sont les seuls qui permettent de mesurer des températures jusqu'à 2000°C dans l'air (ou atmosphère oxydante). Dans le vide ils fonctionnent jusqu'à 2100°C. Avec 5.3 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, ils ont une sensibilité relativement faible (12 mV à 2000°C). Les alliages Ir - Rh sont très durs et doivent être étirés à chaud. Après l'étirage, les fils ont une ductilité raisonnable mais la recristallisation les rend de nouveau très fragiles et cassants.

- Composition : platine-rhodium (10 %) / platine.
- usage de 0 °C à 1 700 °C.
- Résistance élevée à la corrosion et à l'oxydation.
- Se pollue facilement.
- Couleurs selon CEI 584-3 : Gaine Orange / + Orange / - Blanc.

- Couleurs selon NF C 42-323 1985 : Gaine Vert / + Jaune / - Vert.
- Couleurs selon ANSI MC96-1 : Gaine Vert / + Noir / - Rouge.

I.6.6. Type B (W / W -Re26%) :

Les thermocouples à base du tungstène (w) tiennent le record pour la température maximale. Ils fonctionnent encore jusqu'à des températures de 3000°C, mais une température maximale de 2750°C est conseillée pour prolonger la durée de vie. En pratique on les utilise rarement au-dessus de 2300°C parce que l'isolation électrique commence à poser de sévères problèmes. A cette température les matériaux céramiques sont déjà liquides (céramiques standards) ou deviennent conducteurs. Au lieu du W pur on utilise aussi les alliages W- Ré avec 3 ou 5% de Ré. Comme les thermocouples Ir / Ir - Rh, les couples W / W- Re deviennent très cassants après la recristallisation qui a déjà lieu à 1200°C.

- Composition : platine-rhodium (30 %) / platine-rhodium (6 %).
- usage de 0 °C à 1 800 °C.
- Mauvaise précision en dessous de 600 °C.
- Compensation de soudure froide négligeable de 0 °C à 50 °C.
- Couleurs selon CEI 584-3 : Non normalisé.
- Couleurs selon NF C 42-323 1985 : Gaine Noir / + Jaune / - Noir.
- Couleurs selon ANSI MC96-1 : Gaine Noir / + Noir / - Rouge. [2].

I.6.7. Type C (: tungstène-rhénium (5 %) / tungstène-rhénium (26 %)) :

- Composition : tungstène-rhénium (5 %) / tungstène-rhénium (26 %).
- usage de 20 °C à 2 300 °C.
- FEM élevée et linéaire à haute température. Ne convient pas pour des mesures en dessous de 400 °C.
- Prix élevé, difficile à fabriquer, fragile.
- Utilisation sous atmosphère inerte. Déconseillé en milieu oxydant.
- Non normalisé. [2]

I.7. Précision :

Type de thermocouple	Précision sur la plage d'utilisation	Précision à température ambiante constante
E, J, K, N et T	$\pm 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,25 \text{ }^{\circ}\text{C}$
R ET S	$\pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$
B	$\pm 4 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$

I-8. Critères de Choix D'un Thermocouple :

- ✓ Domaine de température à mesurer.
- ✓ Sensibilité du couple.
- ✓ Résistance à la corrosion.
- ✓ Interchangeabilité.
- ✓ Tenue du couple dans une atmosphère donnée.

I.9. Les avantages et les inconvénients de thermocouple :**I.9.1. Avantages :**

- Larges gammes de température : de 0 à 1600 K.
- Robustes : résistent aux chocs et aux vibrations.
- Réponse rapide.
- Fiables et précis.
- Reproductibles.

I.9.2 Inconvénients :

- Température de référence nécessaire.
- Réponse non linéaire.
- Faible sensibilité pour certains types de thermocouples.

I.10. Les applications de thermocouple :

Les thermocouples sont couramment utilisés dans les secteurs d'activité suivants, entre autres :

- Industrie pharmaceutique : La sonde de thermocouple Type T (STC-AC) est conçue pour des applications à haute température (par exemple la stérilisation par chaleur sèche et la validation au four) dans l'industrie pharmaceutique. La sonde STC-AC fonctionne en combinaison avec le Système de validation thermique E-Val™ Pro [5].
- Industrie chimique.

- Production d'énergie.
- Industrie mécanique.
- Industrie agroalimentaire.
- Industrie minière.
- Industrie sidérurgique.
- Industrie céramique et verrerie.

CHAPITRE II :

Présentation du

thermocouple type T

II.1. Introduction :

L'un des transducteurs de température les plus fréquemment utilisés est le thermocouple. Les thermocouples sont particulièrement durcis et économiques et peuvent opérer sur une large gamme de températures. Un thermocouple est créé dès lors que deux métaux différents entrent en contact, ce qui produit une faible tension en circuit ouvert au point de contact, qui varie en fonction de la température. Cette tension thermoélectrique est connue sous le nom de tension de Seebeck.

II.2. Définition des deux métaux qui compose le thermocouple type T (Cu/C) :

II.2.1. Constantan(C) :

Le constantan est un alliage métallique constitué de cuivre et de nickel. Sa masse volumique est de $8,91 \text{ g.cm}^{-3}$. Sa résistivité est quasiment indépendante de la température. Cette caractéristique n'existe que pour une proportion très précise des deux métaux (55 % cuivre, 45 % nickel), raison pour laquelle le constantan lui-même ne fut découvert qu'au XXe siècle alors que le cuivre et le nickel sont des métaux communs [3].

Joint à un autre métal (fer, cuivre) ou alliage (chrome), il est utilisé dans certains thermocouples comme capteur de température. Il est utilisé dans certains shunts pour dériver un courant électrique. On l'utilise également dans les jauges de déformation.

- Propriétés physiques (60 % Cu - 40 % Ni).
- Résistivité électrique à température ambiante $49,0 \times 10^{-8} \text{ } \cdot \text{m}$.
- Coefficient thermique à $20 \text{ }^\circ\text{C}$ $0,00002 \text{ K}^{-1}$.
- Densité 8910 kg/m^3 .
- Température de fusion $1221 \text{ à } 1300 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Capacité calorifique massique $390 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$.
- Conductivité thermique à $23 \text{ }^\circ\text{C}$ $19,5 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.
- Coefficient de dilatation thermique linéaire entre $20 \text{ }^\circ\text{C}$ et $100 \text{ }^\circ\text{C}$ $14,9 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
- Résistance à la traction $400 \text{ à } 490 \text{ MPa}$.
- Allongement à la rupture <45 .

II.2.2. le cuivre (Cu) :

Le cuivre est un élément chimique de symbole Cu et de numéro atomique 29. Naturellement présent dans la croûte terrestre, il est essentiel au développement de toute forme de vie.

Il est majoritairement utilisé par l'homme sous forme de métal. Le cuivre pur est un des seuls métaux colorés (voir la section Propriétés physiques). Il présente sur ses surfaces fraîches une teinte rose saumon et est aussi appelé le « métal rouge ». On le désigne parfois sous le nom de cuivre rouge par opposition aux laitons (alliages de cuivre et de zinc) improprement nommés « cuivre jaune ». Métal ductile, il possède des conductivités électrique et thermique particulièrement élevées qui lui confèrent des usages variés. Il intervient également comme matériau de construction et entre dans la composition de nombreux alliages [3].

II.2.3. Caractéristiques de cuivre :

Métal de couleur rougeâtre ou rouge, le cuivre possède une exceptionnelle conductivité thermique et électrique. Le métal très pur est très résistant à la corrosion, mais aussi très malléable.

L'ion cuivrique Cu^{2+} est soluble dans l'eau, et à faible concentration, il a un effet bactériostatique et fongicide. Dans certaines applications, cette propriété sert à prévenir le développement des germes et champignons (canalisations d'eau sanitaire, culture de la vigne, coques de bateaux et boiseries...).

Il est par ailleurs un oligo-élément vital pour toutes les plantes supérieures, et les animaux⁹. Il est naturellement présent dans le corps humain et indispensable au bon fonctionnement de nombreuses fonctions physiologiques : système nerveux et cardiovasculaire, absorption du fer, croissance osseuse, bonne marche des fonctions immunitaires et régulation du cholestérol.

II.2.4. Identification :

- Dureté : 3,5-4,5.
- Densité : 8,93.
- Clivage : absent.
- Fracture : écailleuse.

- Rupture : ductile (peu d'impuretés ou impuretés insolubles) ou cassante (impuretés solubles comme le phosphore).
- Couleur : rouge métallisé.
- Éclat : métallique.
- Système cristallin : cubique.
- Classe cristalline et groupe d'espace : hexakisoctaédrique - m3m.
- Réseau de Bravais : cubique à face centrée.
- macle : macle très fréquente sur {111} par accolement ou pénétration.
- Solubilité : acide nitrique, ammoniacque.

II.2.5. Propriétés optiques de cuivre :

- Transparence : opaque.
- Éclat : métallique.
- Trait : rouge métallisé, rouge pâle.
- Fluorescence : aucune.

II.2.6. Propriétés physiques de cuivre :

Dans le tableau périodique des éléments, le cuivre est de la même famille que l'argent et l'or, parce que chacun possède une orbitale S occupée par un seul électron sur des sous-couches totalement remplies, ce qui permet la formation de liaisons métalliques (configuration électronique [Ar] 3d¹⁰ 4s¹). Comme l'argent et l'or, le cuivre se travaille facilement, étant ductile et malléable. La facilité avec laquelle on peut lui donner la forme de fils, ainsi que son excellente conductivité électrique le rendent très utile en électricité. On trouve usuellement le cuivre, comme la plupart des métaux à usage industriel ou commercial, sous une forme polycristalline à grains fins. Les métaux polycristallins présentent une meilleure solidité que ceux sous forme monocristalline, et plus les grains sont petits, et plus cette différence est importante [3].

Le cuivre présente une couleur rougeâtre, orangée ou brune due à une couche mince en surface (incluant les oxydes). Le cuivre pur est de couleur rose saumon. Le cuivre, l'osmium (bleu) et l'or (jaune) sont les trois seuls métaux purs présentant une couleur autre que le gris ou l'argent. La couleur caractéristique du cuivre résulte de sa structure électronique : le cuivre constitue une exception à la loi de Madelung,

n'ayant qu'un électron dans la sous-couche 4s au lieu de deux. L'énergie d'un photon de lumière bleue ou violette est suffisante pour qu'un électron de la couche d l'absorbe et effectue une transition vers la couche s qui n'est qu'à demi occupée. Ainsi, la lumière réfléchie par le cuivre ne comporte pas certaines longueurs d'ondes bleue / violette et apparaît rouge. Ce phénomène est également présent pour l'or, qui présente une structure correspondante 5s/4d11. Le cuivre liquide apparaît verdâtre, une caractéristique qu'il partage avec l'or lorsque la luminosité est faible.

II.2.7. Propriétés électriques de cuivre :

La similitude de leur structure électronique fait que le cuivre, l'argent et l'or sont analogues sur de nombreux points : tous les trois ont une conductivité thermique et électrique élevée, et tous trois sont malléables. Parmi les métaux purs et à température ambiante, le cuivre présente la seconde conductivité la plus élevée ($59,6 \times 10^6 \text{ S/m}$), juste après l'argent. Cette valeur élevée s'explique par le fait que, virtuellement, tous les électrons de valence (un par atome) prennent part à la conduction. Les électrons libres en résultant donnent au cuivre une densité de charges énorme de $13,6 \times 10^9 \text{ C/m}^3$. Cette forte densité de charges est responsable de la faible vitesse de glissement des courants dans un câble de cuivre (la vitesse de glissement se calcule comme étant le rapport de la densité de courant à la densité de charges). Par exemple, pour une densité de courant de $5 \times 10^6 \text{ A}\cdot\text{m}^{-2}$ (qui est normalement la densité de courant maximum présente dans les circuits domestiques et les réseaux de transport), la vitesse de glissement est juste un peu supérieure à $1/3 \text{ mm/s}^{12}$.



Fig.II.1 : Barres de distribution électriques en cuivre fournissant l'énergie à un grand bâtiment.

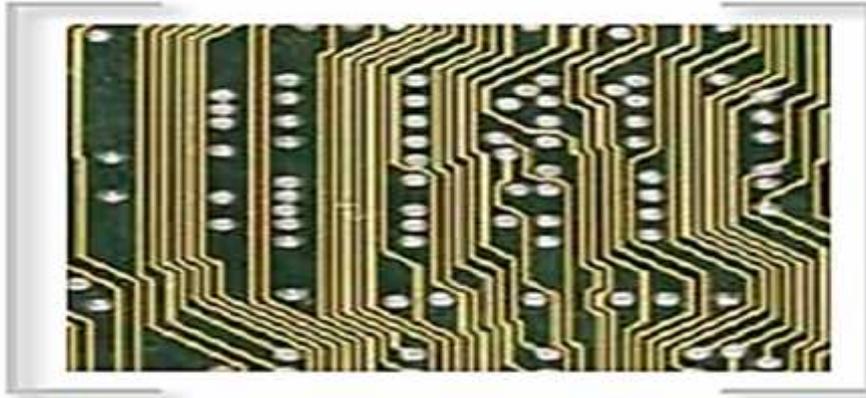


Fig.II.1.1 : circuit électronique[3].

II.2.8. Propriétés chimiques :

Le cuivre ne réagit pas avec l'eau, mais réagit lentement avec l'oxygène de l'air en formant une couche d'oxyde de cuivre brun-noir. Contrairement à l'oxydation du fer par une atmosphère humide, cette couche d'oxyde empêche toute corrosion en masse. Une couche verte de carbonate de cuivre, appelée vert-de-gris, se remarque souvent sur les constructions anciennes en cuivre, telles que la statue de la Liberté. La toxicité alimentaire des oxydes formés a justifié l'étamage (ajout d'une couche protectrice d'étain) traditionnel des instruments et récipients culinaire en cuivre.

Le cuivre réagit avec le sulfure d'hydrogène — et toutes les solutions contenant des sulfures, formant divers sulfures de cuivre à sa surface. Dans des solutions contenant des sulfures, le cuivre, présentant un avilissement de potentiel par rapport à l'hydrogène, se corrodera. On peut observer ceci dans la vie de tous les jours, où les surfaces des objets en cuivre se ternissent après exposition à l'air contenant des sulfures.

Le cuivre se dissout lentement dans les solutions aqueuses d'ammoniaque contenant de l'oxygène, parce que l'ammoniac forme avec le cuivre des composés hydrosolubles. Le cuivre réagit en présence d'une association d'oxygène et d'acide chlorhydrique pour former toute une série de chlorures de cuivre. Le chlorure de cuivre(II) bleu/vert, lorsqu'il est porté à ébullition en présence de cuivre métallique, subit une réaction de rétrodismutation produisant un chlorure de cuivre(I) blanc [3].

Le cuivre réagit avec une solution acide de peroxyde d'hydrogène qui produit le sel correspondant :



Lorsque le cuivre est en contact avec des métaux présentant un potentiel électrochimique différent (par exemple le fer), en particulier en présence d'humidité, la fermeture d'un circuit électrique fera que la jonction se comportera comme une pile électrochimique. Dans le cas par exemple d'une canalisation en cuivre raccordée à une canalisation en fer, la réaction électrochimique entraîne la transformation du fer en d'autres composés et peut éventuellement endommager le raccord.

Au cours du XX^e siècle aux États-Unis, la popularité temporaire de l'aluminium pour les câblages électriques domestiques a fait que les circuits de nombre d'habitations se composaient en partie de fils de cuivre et en partie de fils d'aluminium. Le contact entre les deux métaux a occasionné des problèmes pour les usagers et les constructeurs (cf. article consacré aux câbles d'aluminium).

Les fondeurs ne placent jamais à proximité les stocks d'aluminium et de cuivre. Même s'il existe des alliages cupro-aluminium spécifiques, les traces d'aluminium dans un alliage cuivreux provoquent de graves inconvénients techniques. Connaissant par contre les propriétés du cuivre pur, les hommes de l'art ont développé des cuivres alliés, par exemple des cuivres à environ 1 % de Chrome, le Cr permettant de durcir le métal obtenu.

II.2.9. Isotopes :

Le cuivre possède 29 isotopes connus, de nombre de masse variant de 52 à 80, ainsi que sept isomères nucléaires. Parmi ces isotopes, deux sont stables, ⁶³Cu and ⁶⁵Cu, et constituent l'ensemble du cuivre naturel dans une proportion d'environ 70/30. Ils possèdent tous les deux un spin nucléaire de 3/2. La masse atomique standard du cuivre est de 63,546(3) u.

Les 27 autres isotopes sont radioactifs et ne sont produits qu'artificiellement. Le plus stable des radio-isotopes d'entre eux est ⁶⁷Cu avec une demi-vie de 61,83 heures. Le moins stable est ⁵⁴Cu avec une demi-vie d'environ 75 ns. La plupart des autres ont une demi-vie inférieure à une minute.



Fig.II-2 : Cristaux de cuivre[3].

II.3. Principe de fonctionnement :

II.3.1 L'effet Seebeck :

L'effet Seebeck, c'est un phénomène physique dont l'origine provient du transport de chaleur et d'électricité dans des conducteurs métalliques, de façon indissociable l'un de l'autre puisque se produisant de façon concomitante. A ne pas confondre avec l'effet Joule (effet irréversible), il est néanmoins présent dans tout conducteur résistif parcouru par un courant, indépendamment des effets thermoélectriques pouvant se manifester. Ce phénomène est dû à l'interaction des porteurs de charge en mouvement (caractérisant le courant électrique) avec les atomes constitutifs du milieu dans lequel ils se déplacent.

L'effet Seebeck « Thomas Johann Seebeck (1770-1831) » est le premier à avoir mis en évidence le fait que dans un circuit fermé constitué de deux conducteurs de nature différente (**Fig.II-3**), (un métal M_1 et un métal M_2), il circule un courant lorsqu'on maintient entre les deux Jonctions J_1 et J_2 une différence de température. Ce courant est dû à l'apparition d'une force électromotrice (FEM) directement liée à la différence entre les températures $T_1(T)$ et $T_2(T+ T)$ des deux jonctions. Un thermocouple utilise principalement l'effet Seebeck afin d'obtenir une mesure de la température. Si on réunit à une extrémité deux fils métalliques de natures différentes et que l'on élève la température de cette extrémité, une différence de potentiel V

apparaît aux extrémités aux restées libres. Il est possible de déterminer la température de l'extrémité chauffée à partir de la mesure de V .

L'effet Seebeck peut s'expliquer physiquement par la polarisation électrique de tout conducteur métallique placé dans une zone où existe un gradient de température [KAS97]. Le gradient de température crée une diffusion simultanée d'électrons de la jonction la plus chaude vers la jonction la plus froide. La jonction la plus chaude se charge alors positivement et la plus froide négativement. Un équilibre dynamique s'établit où la diffusion des électrons de la jonction froide compense celle de la jonction chaude, le conducteur métallique pouvant être alors assimilé à un générateur de tension [2].

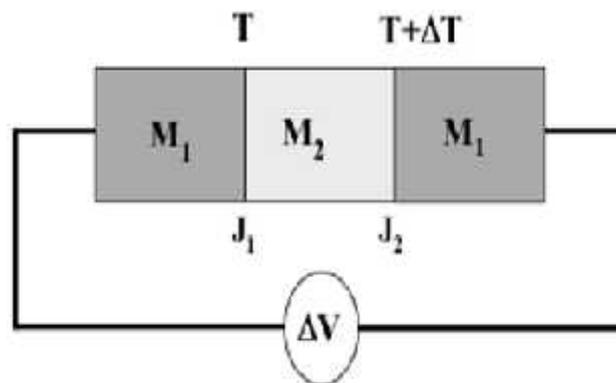


Fig.II-3 : Montage illustrant l'effet Seebeck

Celle-ci ne dépend que de la nature des conducteurs en contact et des températures des deux jonctions. Cet effet est caractérisé par le coefficient de Seebeck, noté $S_{M1M2}(T)$. Celui-ci se définit comme étant le rapport de la tension dV à l'écart de température dT . Il est donné par la relation suivante [2] :

$$S_{M1M2}(T) = dV / dT$$

II.3.2. L'effet Peltier :

Jean Charles Athanase Peltier, physicien français est connu pour sa découverte en 1834 de l'effet Peltier : c'est lorsqu'un courant électrique passe dans une jonction de deux conducteurs de métaux différents, on observe une augmentation ou une baisse de température selon le sens du courant ; la quantité de chaleur dégagée ou absorbée étant proportionnelle à l'intensité du courant. C'est, en quelque sorte l'inverse de l'effet Seebeck. Le passage d'un courant peut donc absorber de la chaleur

; on utilise cet effet dans certains petits réfrigérateurs ou pour le refroidissement de circuits électriques. Ainsi, le schéma suivant est expliqué L'effet Peltier.

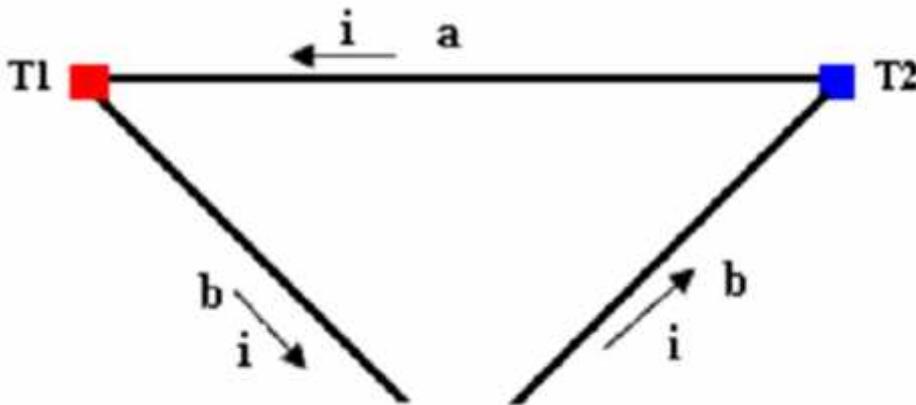


Fig. II-4 : Effet Peltier

II.3.2.1 Explication du phénomène :

Lorsque les porteurs de charge passent d'un niveau de basse énergie à un niveau d'énergie plus élevé ils reçoivent de l'énergie de la part du système avec lequel ils interagissent. Or ce système ne peut être que le réseau cristallin sur lequel ils effectuent des collisions.

Ainsi, le réseau cristallin cède de l'énergie aux porteurs de charge et par conséquent l'effet Peltier se traduit par un refroidissement de la jonction. Si au contraire, les porteurs de charge passent d'un niveau de haute énergie à un niveau de basse énergie quand ils traversent une jonction, l'énergie perdue est cédée au réseau et l'effet Peltier se traduit par un échauffement de la jonction. C'est donc la différence de nature entre les matériaux a et b et le sens du courant qui les traverse qui sont les causes d'un gradient de température dans l'échantillon [2].

II.3.3. L'effet Thomson :

Découvert par (Lord Kelvin) 1851. L'effet Thomson se rapporte à la production « ou à l'absorption » de chaleur provoquée par le passage d'un courant dans une portion de conducteur, en présence d'une différence de température entre les extrémités du tronçon [2].

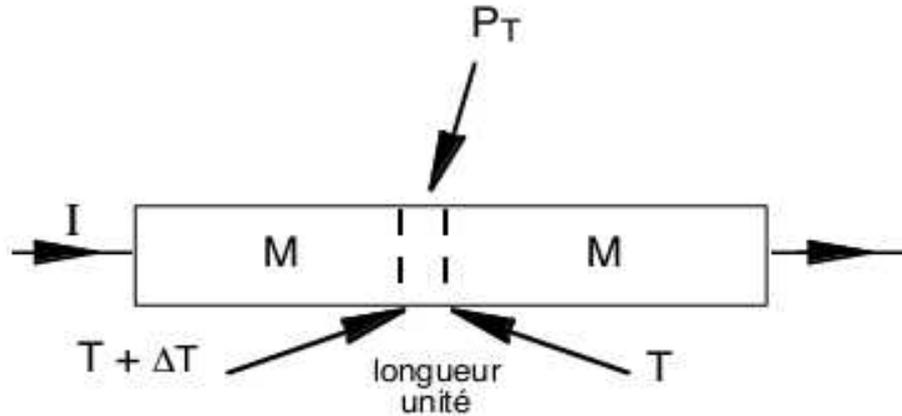


Fig.II-5 : L'effet Thomson

Si T est la différence de température entre deux points distants d'une unité de longueur, la puissance échangée P_T par unité de longueur, lorsque le conducteur est parcouru par un courant I , est :

$$P_T = \tau \cdot T \cdot I$$

τ est le coefficient de Thomson. Il est cette fois caractéristique du seul conducteur considéré. L'effet Thomson est réversible comme l'effet Peltier : une inversion de courant par rapport au sens du gradient de température inverse le sens des effets thermiques.

Le signe du coefficient de Thomson est pris positif si le conducteur absorbe de la chaleur lorsque les gradients de température et de tension sont dans le même sens (le courant circule de l'extrémité chaude vers l'extrémité froide). L'unité pratique est le $\mu\text{V}\cdot\text{K}^{-1}$; par exemple pour le Cuivre, on a $\tau = 2,2 \mu\text{V}\cdot\text{K}^{-1}$ et pour le Fer $\tau = -8,4 \mu\text{V}\cdot\text{K}^{-1}$

II.3.3.1 Remarque :

L'effet Thomson est généralement, négligeable devant les effets Seebeck et Peltier.

CHAPITRE III :
Expérimentale de
thermocouple type T

A)-Réalisation d'un thermocouple type T

III A-1 Introduction :

Pour pouvoir comprendre et caractériser le fonctionnement d'un processus de thermocouple que, il est nécessaire de mesurer différentes point de température (grandeurs physique) avec le moins d'erreurs possible. Pour vérifier le niveau de précision de ces mesures, on réalise de thermocouple, ensuite d'estimer la fiabilité globale des mesures réalisées.

Ce chapitre a pour but de rappeler les méthodes pratiques de mesures qui sont utilisées sur manipulation les bancs d'essais destinés aux laboratoires d'étudiants. L'instrumentation de ces travaux pratique n'est pas sophistiquée mais permet néanmoins d'effectuer des mesures suffisamment précises que pour élaborer de thermocouple qui satisfaisants.

III A-2 Le soudage

Le soudage consiste à joindre des pièces de même nature en fusionnant leurs bords, avec ou sans métal d'apport. Le métal de base et le métal d'apport se mélangent par dilution pour former un cordon de soudure.

III A-3 le type d'élaboration (soudage) :

III A-3.1 Soudage O₂ - acétylène :

La flamme est due à la combustion du mélange O₂ - acétylène, le mélange étant assuré par le chalumeau. Le métal d'apport est amené si nécessaire manuellement par une baguette. Des flux décapants sont incorporés dans les baguettes. Ce procédé est utilisé surtout pour le brasage et le soudobrasage [6].

III A-3.2 Les risques majeurs :

- les projections et les brûlures si la buse tape dans le métal en fusion (donc port de vêtement en coton ignifugé, couvrant, obligatoire),
- les irritations O.R.L. par les fumées dégagées par les décapants,
- U.V. peu importants donc des lunettes avec protection 4 à 7 suffisent.

III A-3.3 Les vérifications techniques nécessaires et les protections :

- écran autour du poste de soudage.
- état des flexibles (fissurations...).
- vérification des manomètres sur bouteilles (cassé ou fissuré).
- fixation des bouteilles.

- état des détendeurs (l'idéal, ce sont les détendeurs indémontables qui sont changés en cas de panne).
- clapet anti-retour pare flamme : doit être le plus près possible de la flamme (il existe des tuyaux avec anti-retour incorporé dans le manche).
- sécuristop : en cas de tuyau coupé accidentellement.
- graisse et O_2 = risque d'explosion, (veiller à la propreté de l'atelier et des vêtements).
- fuite O_2 : attention aux gants, tissus qui peuvent être imbibés de graisse.

III A-4 Protocole d'élaborer d'un thermocouple du types T par soudage (oxygène- acétylène)

III A-4.1 Les outillés utilise ;

- file de cuivre, file de constantan : Deux files soude (cuivre, constantan), multimètre, baigne de glace (eau distille), chauffage, files, plomb, étain.



Fig. III A.1 : Deux files constantan/cuivre

- borax



Fig. III A.2 : le borax

III A-4.2 Technique de l'élaboration

- 1- Prendre les deux files de deux métaux cuivre et constantan est brossé à poudre de borax pour mettre la bonne interface de soudage
- 2- Liés les deux métaux et faire le soudage par oxygène- acétylène

**Fig. III A.3 : thermocouple élaboré****Fig. III A.4 : le thermocouple et les deux sondes****Remarque:**

Connaître du principe du thermocouple : (Voir chapitre II, II-3 Principe de fonctionnement.)

III A-5 Montage du thermocouple :

Les deux soudures sont identiques mais une d'elles sera la « soudure froide ».

- Plongez la "soudure froide" dans mélange d'eau et de glace. (En cours de manipulation, il faudra penser à vérifier la présence de glace). La "soudure froide" est ainsi maintenue à la température constante de 0°C.
- Reliez alors le thermocouple au voltmètre.
- Corriger éventuellement le branchement de façon à respecter le mode de fonctionnement du voltmètre (tension affichée positive).
- Notez le mode de calcul de l'exactitude du voltmètre.

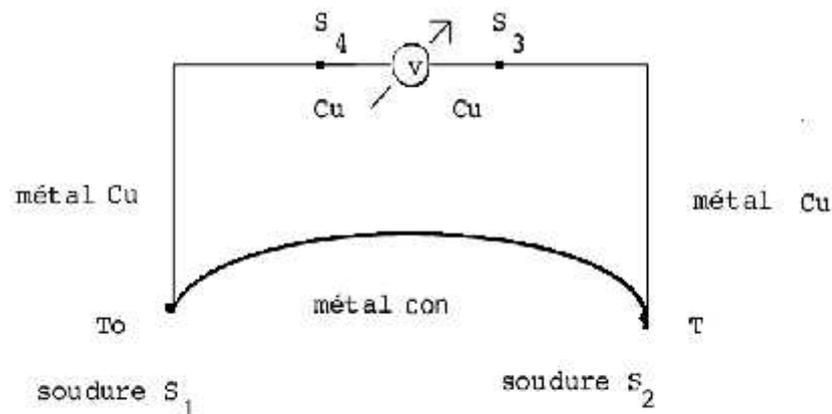


Fig. III A.5 : schéma de montage de thermocouple



Fig. III A.6 : Montage de thermocouple

III A.6. Étalonnage du thermocouple :

L'étalonnage d'un thermocouple consiste à relever sa f.é.m. E en fonction de l'écart de température entre la température de la soudure "froide" et celle de la soudure "chaude". On peut effectuer un étalonnage par comparaison en relevant, pour la même température, la f.é.m. du thermocouple à étalonner et la température donnée par tout autre thermomètre de référence.

Dans ce TP, on effectuera un étalonnage direct ou absolu en relevant la f.é.m. du thermocouple en fonction de températures connues. Ces températures connues ou points fixes correspondent la plupart du temps à des changements d'état de corps purs [2].

A l'équilibre, lors de ces transformations, la température reste constante si la pression reste constante. Par exemple, l'équilibre H_2O liquide - H_2O vapeur a lieu à $100\text{ }^\circ\text{C}$ sous pression normale (760 mm Hg) avec une incidence importante de la pression sur la température d'équilibre alors que l'équilibre H_2O liquide - H_2O solide a lieu à $0\text{ }^\circ\text{C}$ sous pression normale (760 mm Hg) avec une incidence peu importante de la pression.

III A-6.1 Vérification du point zéro :

- Plonger la soudure chaude, avec la soudure froide, dans la glace fondante.
- Noter l'indication du voltmètre lorsqu'elle s'est bien stabilisée. Cela caractérise l'équilibre thermique de la soudure chaude avec le bain.

III A-6.2 Au point $100\text{ }^\circ\text{C}$ ou ($373\text{ }^\circ\text{K}$) :

- Dans un bécher, introduire de l'eau (eau distillée)
- Porter à ébullition.
- Introduire la soudure chaude de telle sorte qu'elle baigne dans la vapeur au niveau où l'eau se condense.
- Lorsque l'indication du volt mètre est bien stabilisée, en relever la valeur que l'on notera E_1

III A-6.3 Relevés aux points de fusion de deux corps purs :

On utilisera deux métaux, Les températures de fusion sont données ci-dessous

Métal	Plomb	étain
Point de Fusion (°C)	232	328

Les solides sont préparés dans des creusets réfractaires. Un tube à hémolyse protégera la soudure chaude contre les souillures par le corps en fusion. La surface est souvent recouverte par une couche d'oxyde formée au contact de l'air pendant des chauffages successifs précédents. Insolubles dans le corps pur, très peu fusibles et moins denses que le corps pur, ces oxydes ne gênent pas la mesure.

- Chauffer et porter à l'état liquide. Ne pas surchauffer exagérément.
- Placer la soudure chaude dans le tube à hémolyse dès le début du chauffage, ainsi, elle sera en équilibre thermique avec le métal.
- Arrêter le chauffage et laisser refroidir le liquide à un rythme aussi lent et régulier que possible. Éviter les courants d'air et ne pas agiter, mais maintenir la soudure de telle sorte qu'elle soit vraiment en équilibre thermique avec le milieu (ne pas laisser "flotter" le tube à hémolyse sur le liquide).

Pendant toute la phase de refroidissement, noter toutes les 10 secondes l'indication du voltmètre. Ne pas cesser d'observer le creuset : il faut repérer le moment où la solidification se produit. Elle se déroule à température constante et se traduit donc par une stabilisation temporaire de l'indication du voltmètre. Quand on constate que l'indication du voltmètre recommence à diminuer, la solidification est terminée : on arrête alors les relevés.

Plutôt que de relever les valeurs sous la forme d'un tableau, on a intérêt à placer directement les points expérimentaux sur une feuille de papier millimétré.

Pour le plomb surtout, dont la température de solidification est la plus élevée, il peut arriver que le palier de changement d'état ne soit pas très net parce que le refroidissement est trop rapide. Recommencer alors les mesures en maintenant sous le creuset un léger chauffage.

Si vous n'êtes pas très sûrs de votre résultat, vous avez intérêt à réchauffer et refondre le solide immédiatement pour pouvoir faire une nouvelle mesure sans perdre de temps.

III A-7 Exploitation des résultats :

$T(^{\circ}\text{C})$	0	100	232	328
E (mV)	0.12	3.8	11.2	16.32

III A-7.1 Trace la courbe :

Tracer la courbe : $E = f(T)$. C'est la courbe d'étalonnage du thermocouple.

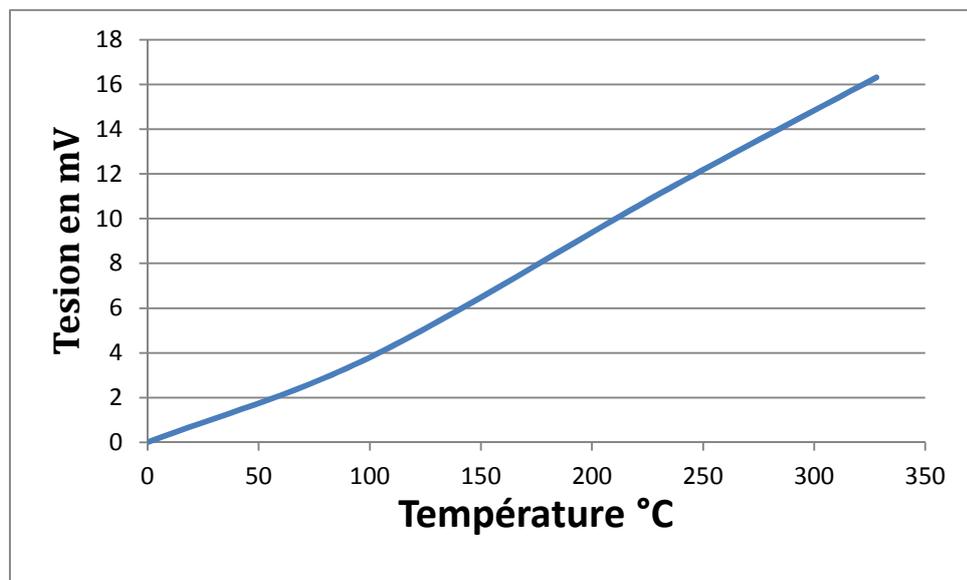


Fig. III A.7 : courbe d'étalonnage du thermocouple

III A-7.2 Calculs

En déduire la relation : $E = f(T)$.

- Que remarque-t-on ?
- Donner la signification physique du coefficient obtenu ?
- Indiquer la sensibilité du thermocouple.
- Quelle serait la relation qui donnerait la température connaissant la f.é.m. ?

❖ La relation entre la f.é.m. (E) et la température (T) est :

$E = \alpha (T)$ sachant que α c'est la pente de la courbe tracer précédente d'où

$$\alpha = 0,05061048 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$$

- ❖ On remarque que la relation obtenue c'est l'équation d'une ligne droit qui débute par le point (0,0) dans le repère (o, x, y,).
- ❖ La signification physique du coefficient obtenu : c'est un coefficient de Seebeck α [mV/°C] qui relie la température T et la f.é.m. à une relation proportionnel.
- ❖ La sensibilité du thermocouple
C'est le rapport entre une petite variation de la grandeur électrique de sortie s et la variation de la grandeur d'entrée e : $S = s / e$

$$S = \frac{d}{d} =$$

$$S = 5\%$$

- ❖ la relation qui donnerait la température connaissant la f.é.m. :

$$T = \frac{E}{\alpha}$$

III A -8 Comparaison avec la littérature (les autres études) :

Le tableau des valeurs de la **f. é. m** selon la littérature [9].

T(°C)	0	100	230 -240	320-330
E (mV)	0-0,391	4.279- 4.750	10.907- 11.458	16.032 - 16.624

Nos résultats obtenus

T(°C)	0	100	232	328
E (mV)	0.12	3.8	11.2	16.32

On remarque que notre résultats obtenues concernant les valeurs de f. é. m sont en bonne accords avec la littérature et par conséquent on conclue que notre thermocouple est fiable, Les erreurs de mesure de thermocouple est dues principalement à les raisons suivants :

- À la pureté des matériaux utilisés
- Au mauvais choix des câbles des liaisons
- Au raccordement non compensé
- Au défaut d'isolement des fils entre eux
- Aux erreurs systématiques (multimètre, file)
- À les erreurs du l'expérimentateur

B)-Application: Differential Scanning Calorimetry (DSC)**III B-1 Définition:**

En français c'est l'Analyse Thermique Différentielle (ATD), c'est une technique de mesure pour identifier le flux de chaleur associée à des phénomènes sur l'échantillon étudié par comparaison avec une référence (inerte) alors qu'un profil de température est imposé [7].

III B-2 Le principe:

Le principe est simple, l'appareil renferme 2 creusets, l'un comme référence et l'autre contient l'échantillon à analyser. Ces 2 creusets sont dans un four que l'on chauffe jusqu'à la température choisie, habituellement à 10°C/minute. Ces creusets sont reliés à un thermocouple qui lit la température et la transmet à un ordinateur. Au four et à mesure que l'on chauffe, la température du creuset contenant l'échantillon et celle du creuset de référence sera différente. L'ordinateur convertira ces 2 températures en flux de chaleur.

Ainsi, ce que nous mesurons en DSC est la quantité de chaleur supplémentaire à fournir au creuset de référence, pour atteindre la même que le creuset contenant l'échantillon. Cette analyse se fait sous atmosphère inerte pour éviter les réactions de l'échantillon avec l'oxygène de l'air [7].

III B-3 La capacité de chaleur:

Quand nous commencerons à chauffer nos deux récipients, l'ordinateur tracera la différence entre les chaleurs des deux récipients en fonction de la température. C'est-à-dire, nous tracerons la chaleur absorbée par le polymère en fonction de la température. La courbe ressemblera à ceci :

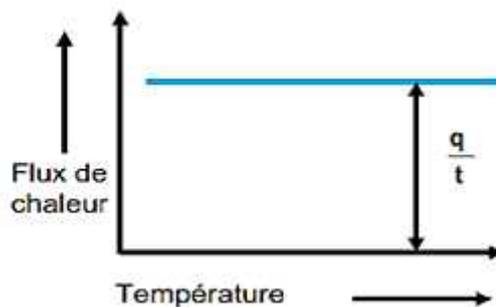


Fig. III B.1 : Le flux de chaleur en fonction de la température[7].

Le flux de chaleur à une température donnée est plein de renseignements. Il va être donné en unités de chaleur q par unité de temps t . La vitesse de chauffage est l'augmentation T de la température par unité de temps t .

$$F \text{ d'cha} = \frac{cha}{T_t} = \frac{q}{t}$$

$$V \text{ d'cha} = \frac{\delta}{t}$$

Divisons maintenant le flux de chaleur par la vitesse de chauffage. Nous obtenons la chaleur supplémentaire fournie, divisée par l'augmentation de la température.

$$C \text{ d'cha} = C_p = \frac{\frac{q}{t}}{\frac{\delta}{t}} = \frac{q}{\delta}$$

Rappelez-vous de la transition vitreuse : quand vous donnez une certaine quantité de chaleur à un élément, sa température montera d'une certaine quantité, et cette quantité de chaleur qu'utilise l'élément pour obtenir une telle augmentation de température s'appelle la capacité de chaleur, ou le C_p . Nous obtenons la capacité de chaleur en divisant la chaleur fournie par l'augmentation résultante [7].

De température. Et c'est tout simplement ce que nous avons fait dans l'équation présentée plus haut. Nous avons trouvé la capacité de chaleur à partir de la courbe de DSC [7].

III B-4 La température de transition vitreuse (T_g):

Bien sûr, la DSC peut-nous en apprendre beaucoup plus sur un polymère que sa capacité de chaleur. Regardons ce qui se produit lorsque nous chauffons le polymère un petit peu plus...

Après une certaine température, notre trace se décalera soudainement vers le bas, comme ceci :

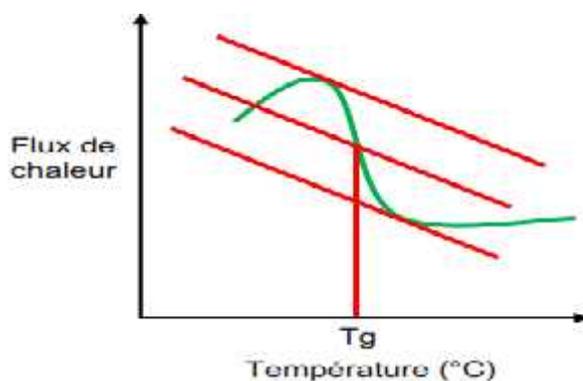


Fig. III B-2 : Détermination graphique de la température de transition vitreuse d'un polymère[7].

Cela signifie que le flux de chaleur augmente, et que la capacité de chaleur de notre polymère augmente.

Ceci se produit parce que le polymère vient juste de passer par la phase de transition vitreuse.

Et comme vous le savez, les polymères ont une capacité de chaleur plus élevée au-dessus de la température de transition vitreuse.

Grace à ce changement de capacité de chaleur ayant lieu à la transition vitreuse, nous pouvons utiliser la DSC pour mesurer la température de transition vitreuse d'un polymère.

Vous aurez remarqué que le changement ne se produit pas instantanément, mais a lieu sur une plage de températures. Cela rend la détermination exacte de T_g plutôt difficile, mais nous utilisons la méthode bien connue des tangentes pour déterminer T_g , (voir Fig. III B-2) [7].

III B-5 La Cristallisation (T_c):

Au-dessus de la transition vitreuse, les polymères sont très mobiles. Quand les polymères atteignent la bonne température, ils ont gagné assez d'énergies pour entrer dans des arrangements très ordonnés que nous appelons des cristaux.

Quand les polymères se transforment en ces arrangements cristallins, ils expulsent de la chaleur (exothermique), que le thermocouple du récipient témoin peut mesurer.

Cette augmentation du flux de chaleur se voit très bien sur la courbe du flux de chaleur en fonction de la température[7].

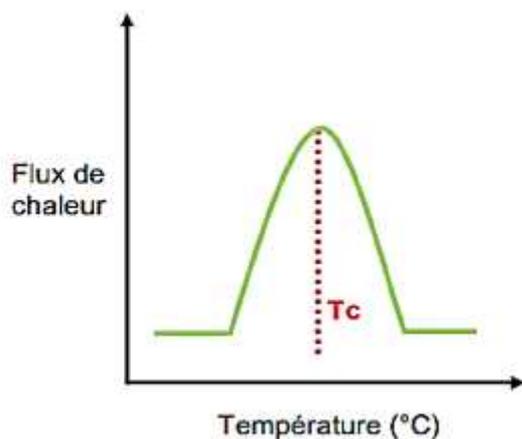


Fig. III.3 : Détermination graphique de la température de cristallisation d'un polymère [7].

La température au point le plus haut est appelée température de cristallisation du polymère :

Tc. Il est également possible de mesurer l'aire du " pic ", qui est la valeur de la chaleur latente de cristallisation du polymère. Mais n'oublions pas le plus important, cette hausse nous indique que le polymère peut cristalliser. Si vous analysiez un polymère 100% amorphe, comme le polystyrène tactique, n'obtiendriez pas de hausse sur la courbe, parce que de tels matériaux ne cristallisent pas. En outre, parce que le polymère dégage la chaleur quand il se cristallise, nous appelons la cristallisation une transition exothermique [7].

III B-6 La fusion (T_f):

La chaleur peut permettre à des cristaux de se former dans un polymère, mais trop de chaleur peut conduire à leur démantèlement. Si nous continuons à chauffer notre polymère après son point de cristallisation Tc, nous atteindrons peut être une autre transition thermique appelée fusion. Quand nous atteignons la température de fusion du polymère T_f , ces cristaux de polymère commencent à s'écrouler, c'est qu'ils fusionnent. Les chaînes de molécules sortent de leurs arrangements ordonnés, et commencent à bouger librement. Et au cas où vous vous posiez la question, il est possible de le voir sur une courbe DSC.

Vous souvenez vous de cette chaleur que le polymère a dégagee quand il s'est cristallise ? Eh bien, quand on atteint la température T_f , il est grand temps de reprendre ce qui a été donne.

Il existe une chaleur latente de fusion aussi bien qu'une chaleur latente de cristallisation. Quand les cristaux de polymères fondent, ils ont besoin d'absorber de la chaleur (endothermique). Gardez en mémoire que la fusion est une transformation du premier ordre.

Cela signifie que lorsque l'on atteint la température de fusion, la température du polymère ne s'élèvera pas tant que tous les cristaux n'auront pas fondus. Cette absorption de chaleur pendant la fusion (baisse de température au niveau du thermocouple du récipient témoin) apparait sous la forme d'un grand creux sur notre courbe de DSC[7].

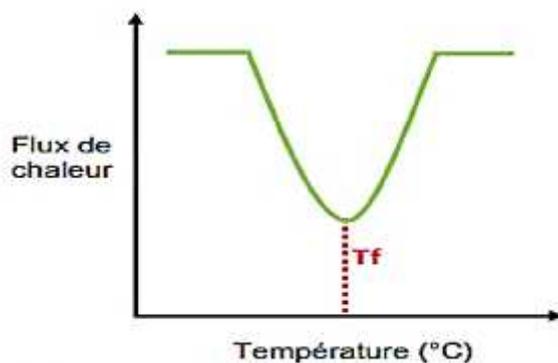


Fig. III B-4 : Détermination graphique de la température de fusions [7].

Ainsi, nous pouvons mesurer la chaleur latente de fusion en mesurant l'aire de cette crête. La température la plus basse du creux est appelée température de fonte du polymère, T_f . Puisque nous devons donner de l'énergie au polymère pour le faire fondre, la fusion est une transition endothermique.

Essayons de rassembler tous les graphes précédents pour obtenir une courbe de DSC.

Le pic de cristallisation et le creux de fusion apparaîtront seulement pour les polymères qui peuvent former des cristaux. Les polymères complètement amorphes ne montreront ni cristallisation ni fusion. Mais les polymères à la fois cristallins et amorphes passeront par les trois étapes décrites plus haut. Pour la transition vitreuse, il n'y a ni crête ni creux. C'est parce qu'il n'y a aucune chaleur latente dégagée, ou absorbée par le polymère. La seule chose que nous voyons à la température de transition vitreuse est un changement de la capacité de chaleur du polymère. Puisqu'il y a changement de celle-ci, mais qu'il n'y a aucune chaleur latente impliquée, la transition vitreuse est appelée transformation du second ordre. Les transitions comme la fusion et la cristallisation, qui ont des chaleurs latentes, sont des transformations du premier ordre [7].

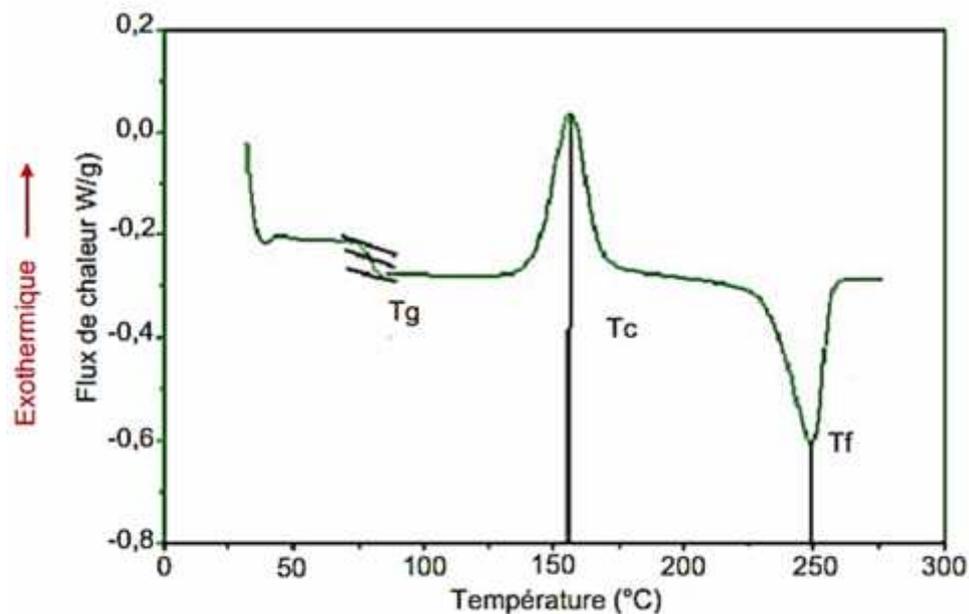


Fig. III B-5: courbe de DSC [7].

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion

Au terme d'étude faite sur les thermocouples, nous avons élaboré un thermocouple de type T (cuivre/constantan) qui sert à la mesure de la température. d'après cette étude nous avons montrés que la FEM de Seebeck est le siège qui fournit l'information de température cherché. Ainsi permet de déterminer le type de thermocouple inconnu

Ce travail effectuer est destiné principalement pour les études pédagogiques et d'une manière générale pour des applications industrielles (génie climatique, domaine pharmaceutique...).

Au cours de la réalisation de ce travail nous avons suivi des étapes méthodologiques afin de faciliter la compréhension de la réalisation de notre mini projet.

Finalement, cette mémoire de fin d'étude nous a permis d'enrichir nos savoirs et de remplir nos lacunes scientifiques par l'application des relations théoriques sur terrain pratique.

Bibliographie

Bibliographie :

[1] : Les capteurs, Qu'est-ce qu'un capteur ?, : http://michel.hubin.pagesperso-orange.fr/capteurs/phys/chap_p3.htm

http://www.ineris.fr/badoris/Pdf/pulverulents/pulverulent_capteur_pression_V1.pdf date de entre dans le site 14/12/2015

[2] : Étalonnage absolu d'un thermocouple « l'effet Seebeck » : Etude expérimentale, ISSN : 2028-9324 Vol. 9 No. 1, Nov. 2014, <http://www.ijias.issr-journals.org/>

[3] : Wikipédia, métaux qui compose le thermocouple type T (Cu/C), date de entre dans le site 14/12/2015

[4] : <https://www.technologuepro.com/cours-capteurs-actionneurs-instrumentation-industrielle/ch12-les-differents-types-de-capteurs.pdf>

[5] : <https://www.ellab.fr/produits/systeme-de-validation/systeme-thermocouple/sondes-thermocouples/thermocouple-stc-ac>

[6] : Prévention pour le soudage et le coupage, Chapitre 1 Les procédés les plus courants, Deuxième édition , www.asphme.org

[7] : <https://elearn.univ-ouargla.dz/2013-2014/courses/CP003/document/Cours%20Chimie%20des%20polymeres/ChapitreIV.pdf?cidReq=CP003>

Résumé

هذه المذكرة بعنوان تحقيق تجربة للترموكوبل (thermocouple) من نوع T حيث ادرجنا في الفصل الاول عموميات حول أجهزة الاستشعار للحرارة وتطورها عبر الزمن واهميتها وكيفية توظيفها في الحياة اليومية، اما الفصل الثاني فلقد خصصناه للتعريف بالترموكوبل (type T) من حيث البنية المعدنية وخصائصها مرورا بالشرح المفصل لمبدأ العمل (effet Seebeck et effet Thomson) مرفوقا ببعض المخططات والصور التوضيحية.

اما الفصل الاخير فهو مقسم الى جزئين هما صنع ترموكوبل وتطبيقات الترموكوبل في تقنية (DSC) حيث قمنا بصنع ترموكوبل وتجريبه باستعمال معادن معلومة الخصائص بالاضافة الى مقارنة النتائج المحصل عليها بنتائج مرجعية سابقة لمعرفة مدى مصداقية الجهاز وامكانية الاعتماد عليه وفق شروط محددة هذا من جهة، ومن جهة اخرى استعرضنا دور الترموكوبل في دراسة خصائص متعددات الجزيئات (polymère) مصحوبة بمنحنيات بيانية وصور توضيحية بمنهجية علمية لتعزيز قدرة الاستيعاب والفهم الجيد للمادة العلمية.

الكلمات المفتاحية : الترموكوبل، تأثير سيباك، طمسون، تقنيات DSC

Dans ce chapitre, nous avons inclus un aperçu général des capteurs de température, de leur évolution dans le temps, de leur importance et de leur utilisation dans la vie quotidienne. Le deuxième chapitre est consacré à la définition du type T en termes de structure et de propriétés minérales, (Effet Seebeck et effet Thomson) avec quelques illustrations et illustrations.

Le dernier chapitre est divisé en deux parties: faire des thermocouples et des thermocouples en technologie DSC Nous avons fabriqué et testé des thermocouples en utilisant les métaux des caractéristiques, en plus de comparer les résultats obtenus avec des résultats de référence antérieurs afin de déterminer la fiabilité du dispositif et sa fiabilité en fonction de conditions spécifiques. D'autre part, nous avons examiné le rôle des thermocouples dans l'étude des caractéristiques des polymères, accompagnés de graphiques et d'illustrations dans une méthodologie scientifique, afin d'améliorer la capacité d'absorption et de compréhension du matériel scientifique.

Mots-clés: Thermocouple, effet Seebeck et effet Thomson, Techniques DSC