

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET**  
**FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES**  
**DÉPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE**



## **Projet de fin d'étude**

**Pour l'obtention du diplôme de Master**

**Domaine : Sciences et Technologie**

**Filière : Electronique**

**Spécialité : Electronique des Systèmes Embarqués**

**THÈME :**

**Etude et réalisation d'une carte électronique à base de PIC microcontrôleur de  
mesure de température (-100 à +250°C) à base de PT100**

**Réalisé par :**

**-BENYOUB Mohamed Amine**

**-ITTOHO Tayeb Abdelghani**

**Devant Le jury :**

**Mr.B. Sahli - Président**

**Mr.M.Belarbi - Examineur 1**

**Mr.R. Oured - Examineur 2**

**MrD.Nasri - Encadreur**

**Mr.M. Sebaa -Co-encadreur**

**Promotion : 2022/2023**

## Sommaire

Introduction générale.....	2
<b>Chapitre 1 :Généralité sur les captures de Température</b>	
<b>I.2 Unités de mesure de la température.....</b>	<b>3</b>
I.2.1 Échelle Celsius (°C).....	3
I.2.2-Échelle Kelvin (K).....	4
I.2.3 Échelle Fahrenheit (°F) .....	4
<b>I.3 Capteur de température.....</b>	<b>5</b>
I.3.1 Thermocouple.....	5
I.3.1.1 Principe de fonctionnement .....	5
I.3.1.2 Différents types de thermocouple .....	6
.....	6
I.3.2 Thermistance.....	7
I.3.2.1 Types de Thermistance.....	7
I.3.3 LM35.....	9
I.3.4 RTD.....	11
I.3.4.1 Principe de fonctionnement .....	11
I.3.4.2 Relation résistance- température dans une PT100 .....	12
I.3.4.3 Les type de configurations des RTD.....	12
I.4.1 Méthode de mesure par contact direct.....	14
I.4.2 Méthode de mesure sans contact.....	14
I.4.3 Méthode de mesure mixte. ....	14
<b>Chapitre 2 :Circuit de conditionnement</b>	
<b>II.1 Introduction.....</b>	<b>17</b>
<b>II.2 Description des caractéristiques et des spécifications des conditionneurs de signaux.....</b>	<b>17</b>
II.2.1 Gamme de mesure.....	17
II.2.2 Sensibilité .....	17
II.2.3 Linéarité.....	17
II.2.4 Résolution.....	18
II.2.5 Précision.....	18
II.2.6 Stabilité à long terme .....	18
II.2.7 Vitesse de réponse.....	18
II.2.8 Consommation d'énergie .....	18
II.2.9 Isolation galvanique .....	18
<b>II.3 Circuit de conditionnement d'une PT100 à deux fils.....</b>	<b>19</b>

II.3.1 Pont diviseur de tension (potentiometrique).....	19
II.4 PT100 à trois fils.....	21
II.4.1 pont de Wheatstone.....	21
II.4.2 Source de courant.....	22
II.5 Montage pratiques de source de courant.....	23
II.6 Montage pratique d'une source de courant.....	24
II.9 Conclusion.....	25

### Chapitre 1 : Les Microcontroleur

III.1 Introduction.....	29
III.2 Présentation générale du microcontrôleur.....	29
III.3 Caractéristiques principales d'un microcontrôleur.....	29
III.3.1 Les avantages d'un microcontrôleur.....	29
III.3.2 Contenu d'un microcontrôleur.....	29
III.4 Définition d'un PIC.....	29
III.4.1 Les différentes familles des Pics.....	30
III.4.2 Identification des Pics.....	30
III.5 PIC 16F876.....	30
III.5.1 Principales caractéristiques du PIC 16F876.....	30
III.5.2 Mémoires du PIC 16F876.....	32
III.5.3 Organisation externe du PIC 16F876.....	32
III.6 Timer0.....	33
III.6.1 La structure du registre OPTION_REG.....	34
III.6.2 Calcul des valeurs Count, Fout et TMR0.....	35
III.7 Le convertisseur analogique-numérique (ADC).....	35
III.7.1 ADC Registers.....	35
III.8 Afficheur à cristaux liquide (LCD).....	38
III.8.1. Les différents types de LCD.....	39
III.8.2. Principe de fonctionnement d'un afficheur LCD.....	39
.....	40
III.9 RS232.....	40
III.9.1 Introduction.....	40
III.9.2 Avantages de l'utilisation de RS232 pour afficher les résultats de la simulation.....	40
III.9.3 Brochage du RS232.....	41
III.9.4 Programmation de l'envoi des résultats de la simulation via RS232.....	41
III.9.5 Applications de la communication RS232.....	42

III.9.6 Types de câbles RS232.....	42
III.10 LabVIEW .....	42
III.10.1 Introduction.....	42
III.10.2 La programmation en LabVIEW.....	42
III.10.3 Parties principales .....	43
III.10.4 VISA.....	44
III.10.5 Les paramètres de communication RS232 et VISA.....	44
III.10.6 LabVIEW et les microcontrôleurs simples.....	44
III.11 Conclusion .....	45
<b>Chapitre 4 Simulation et conception de système</b>	
IV.1 Introduction.....	46
IV.2 Présentation de système.....	46
IV.3 Schéma électronique de simulation .....	47
IV.4 L'organigramme .....	48
IV.4.1 L'organigramme principal de notre projet .....	48
IV.4.3 sous organigramme de température avec température négatif .....	50
IV.5 La méthode de Newton-Raphson.....	51
IV.5.1 Avantages de la méthode de Newton-Raphson.....	51
IV.5.2 Inconvénients de la méthode de Newton-Raphson.....	51
IV.6 La méthode de régression polynomiale.....	52
IV.6.1 Les avantages de la méthode des polynômes sont .....	52
IV.6.2 Les inconvénients de la méthode des polynômes sont : .....	52
IV.6.3 Application de la méthode du polynôme sur RTD en négative température .....	53
IV.7 Test et vérification .....	54
IV.8 Résultat de Simulation.....	54
Dans le tableau suivant, on enregistre les valeurs issues du tableau avec celles mesurées par notre circuit à base de microcontrôleur .....	54
IV.10.6 Interface LabVIEW (L'exécution du code LabVIEW).....	56
IV.10.6.1 Résultat de simulation sur LabVIEW .....	57
IV.10.6.2 L'enregistrement des données.....	58
IV.11 Conclusion .....	58
<b>Chapitre 5 Préparation de la plaque de circuit imprimé</b>	
V.1 Introduction .....	60
V.2 Liste de Composante .....	61
V.3 PCP Layout.....	62

V.4 circuit imprimé .....	63
V.4.1 Carte circuit de conditionnement après réalisation .....	63
.....	63
V.5 Résultats expérimentaux.....	63
V.5.1 Étalonnage de la source de courant .....	64
V.5.2 Mesure de T et $R_t$ .....	64
Test de la carte de mesure de température .....	65
V.5 Conclusion.....	67
Conclusion général .....	67
Abbreviations.....	68
Références bibliographiques .....	70

## Liste des tableaux

Table I.1 Différent types de thermocouples.....	6
Table II.1 : Calcul la tension aux bornes de la Pt 100 à partir de pont diviseur.....	19
Table III.1 les broches d'entrée ADC multiplexées avec d'autres broches GPIO.....	35
Table III.2 les registres associés au CAN PIC16F876.....	35
Table III.3 Bits de sélection d'horloge de conversion A/N.....	36
Table III.4 PCFG3-PCFG0 : Bits de contrôle de configuration de port A/N.....	37
Table IV.1 Calcul de la Température à l'aide de polynôme.....	54
Table IV.2 Comparisons $R_t$ de datasheet avec $R_t$ affiché.....	54
Table IV.3 Résultats de simulation de mesure de lala température.....	55
Table IV.5 résultat d'enregistrement.....	58
Table V.1 Matérielle utilisé.....	61
Table V.2 la tension applique sur le microcontrôleur.....	65
Tableau Relation température-résistance d'une sonde pt100.....	69

## Liste des figures

Figure I.1 Echelles de température.....	5
Figure I.2 Thermocouple.....	5
Figure I.3 Constitution d'un circuit thermoélectrique ou thermocouple.....	6
Figure I.4 Caractéristiques typiques d'une CTN et d'une CTP.....	8
Figure I.5 Modèles de thermistances de différents diamètres.....	8

Figure I.6 Symboles des thermistances.....	9
Figure I.7 LM35 capteur de température.....	10
Figure I.8 Tension de sortie LM35 en mV en fonction de la température.....	10
Figure I.9 capteurs de température à résistance PT100.....	11
Figure I.10 Variation de la résistance en fonction de la température pour un PT100.....	12
Figure I.11 (A) 2 fils, (B) 3 fils, (C) 4 fils RTD (RL résistance de fil).....	13
Figure II.1 conditionneur à pont diviseur.....	19
Figure II.2 Conditionneur avec générateur de courant constant .....	20
Figure II.3 Montage de base d'un générateur de courant constant.....	20
Figure II.4 Circuits de conditionnement PT100 à trois fils (pont de Wheatstone).....	21
Figure II.5 circuit de PT100 à trois fils.....	22
Figure II.6 circuit de conditionnement RTD trois fils avec source de courant.....	23
Figure II.7 montage source courant avec AOP.....	24
Figure III.1 structure interne de pic16f876.....	31
Figure III.2 Brochage du PIC 16F876.....	33
Figure III.3 Schéma fonctionnel du prédiviseur PIC Timer0 / WDT.....	34
Figure III.4 Schéma fonctionnel A/N.....	37
Figure III.5 L'afficheur LCD16*2.....	38
Figure III.6 Architecture fonctionnelle d'un afficheur à accès parallèle 2 lignes de 16 caractères .....	40
Figure III.7 Brochage du RS232.....	41
Figure IV.1 principe de fonctionnement capteur de température RTD PT100.....	46
Figure IV.2 circuit de conditionnement avec PT100 et source de courant.....	47
Figure IV.3 microcontrôleur avec afficher LCD et VERTICAL TERMINAL et COM RS232....	47
Figure IV.4 L'organigramme principal de notre carte.....	48
Figure IV.5 L'organigramme pour température positif.....	49
Figure IV.6 L'organigramme pour température positif.....	50
Figure IV.7 graphe présenté température en fonction de $R_t$ .....	53
Figure IV.8 Interface LabVIEW(L'exécution du code LabVIEW).....	56
Figure IV.4 : résultat affiché sur l'interface de LabVIEW.....	57
Figure IV.9 block diagramme de l'enregistrement.....	58
Figure V.1 préparation de la plaque d'essai.....	60
Figure V2. PCP de circuit de conditionnement avec PT100 et source de courant.....	62
Figure V.3 PCB de Microcontrôleur avec afficher LCD et VERTICAL TERMINAL et RS232.....	62
Figure V.4 : Circuit imprimé.....	63
Figure V.5 : Circuit imprimé après soudure des composants.....	63

<b>Figure V.6: Schéma de principe pour étalonner la source de courant.....</b>	<b>64</b>
<b>Figure V.7: Résultats de mesures V.....</b>	<b>64</b>
<b>Figure V.8 schéma de fonctionnement de circuit de commande.....</b>	<b>65</b>
<b>Figure V.9 : résultats de mesure pratique et de simulation de la température T et la résistance RT.....</b>	<b>65</b>
<b>Figure V.10 comparaison températures mesurées par carte électronique et thermomètre.....</b>	<b>66</b>
<b>Figure V.11 affichage de la température mesurée sur un LCD et sur écran d'un PC via une liaison rs232.....</b>	<b>67</b>

# ***Remercîment***

*Tout d'abord, nous tenons à remercier Dieu Tout-Puissant et Miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'entreprendre cet humble travail.*

*Au terme de ce travail, il est bon d'exprimer ma profonde gratitude aux promoteurs de Mr Nasri Djilali pour sa disponibilité, son dynamisme et ses précieux conseils lors de la réalisation de ce travail.*

*Nous remercions également Mr **BOUHAOUS MUSTAPHA** et Mr **MAAMOUS KADA** qui ont contribué à la réalisation de ce projet en signe de notre sincère gratitude.*

*Enfin nous exprimons nos remerciements les plus dévoués aux membres du jury qui nous ont honorés en évaluant notre travail*



## *Dédicace*

*Je remercie ma famille pour le soutien et les encouragements dans ce travail.*

*Et tous ceux qui ont contribué au succès de ce travail*

- *A mes frères ABDELMADJID et YOUCEF*
- *A mes sœurs*
- *Tout la famille BENYOUB*
- *A mes amis surtout Rami*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

- *A mes parents, qui m'ont toujours soutenus au cours de mes études et m'ont permis d'arriver jusque-là.*
- *A mes frères Mohamed et Abderrahmane*
- *A mes sœurs*
- *Tout la famille ITTOHO*
- *A mes amis*

# **Introduction générale**

# Introduction générale

La température revêt une importance cruciale dans de nombreux procédés industriels et de laboratoire, jouant le rôle d'une variable clé dont la valeur doit être déterminée avec précision ou d'un paramètre qui influe sur la qualité d'autres mesures. Certains procédés industriels ou biologiques nécessitent des conditions environnementales spécifiques, ce qui rend indispensable la mise en place d'une régulation thermique.

Le projet de fin d'études (PFE) intitulé "Etude et réalisation d'une carte à base de PIC microcontrôleur de mesure de température à de PT100" consiste à concevoir et à réaliser une carte électronique qui permet de mesurer la température à l'aide d'un capteur PT100. Cette carte sera basée sur un microcontrôleur PIC, qui sera chargé de récupérer les données du capteur et de les traiter avant de les afficher sur un écran ou de les transmettre à un ordinateur via une liaison RS232.

Le capteur de température PT100 est un capteur de résistance qui mesure la température en fonction de la variation de sa résistance électrique. Le microcontrôleur PIC sera utilisé pour mesurer la résistance du capteur et la convertir en une valeur de température.

La carte sera conçue pour être facilement configurable et extensible, ce qui permettra aux utilisateurs de modifier les paramètres de mesure en fonction de leurs besoins spécifiques. En outre, la carte sera équipée d'un écran LCD pour afficher les résultats de la mesure en temps réel.

Ce projet est destiné à aider les professionnels et les amateurs qui souhaitent mesurer la température dans diverses applications, telles que les systèmes de contrôle de climatisation, les systèmes de chauffage et les laboratoires de recherche scientifique.

Ce mémoire contient cinq chapitres organisé comme suit

- Le premier chapitre est dédié à une présentation globale sur la température.
- Le deuxième chapitre suivant sera consacré pour le circuit de conditionnement
- Dans le troisième chapitre la description de PIC.
- Dans le quatrième nous allons présenter chapitre notre simulation
- Dans le dernier chapitre on a parlé sur la préparation de la carte de circuit imprimé

# **Chapitre 1**

**Généralités sur les capteurs de  
température**

## I.1 Introduction

La température est une grandeur physique qui mesure la chaleur d'un corps ou d'un système. Elle peut être définie comme la moyenne de la quantité d'énergie thermique d'un corps. La température peut être mesurée en utilisant différentes unités, telles que degrés Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), Kelvin (K) et Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ).

La température est un concept fondamental de la thermodynamique, la branche de la physique qui étudie le transfert d'énergie thermique et la relation entre température, énergie et travail. La température est généralement liée à l'état d'un corps ou d'un système, car elle affecte la pression, le volume et l'état de la matière du corps.

En thermodynamique, il existe plusieurs concepts importants liés à la température, comme la première loi de la thermodynamique qui stipule que l'énergie interne d'un système ne peut être ni créée ni détruite, mais uniquement transférée d'un système à un autre. Chauffer ou travailler.

En résumé, la température est un concept fondamental en physique qui joue un rôle important dans de nombreuses applications telles que l'industrie, la métallurgie, la chimie, la médecine et la météorologie, entre autres. Comprendre la température et ses effets sur le corps et les systèmes est essentiel pour développer de nouvelles technologies et améliorer celles qui existent déjà.

## I.2 Unités de mesure de la température

Il existe plusieurs unités de mesure de température, Ils constituent une méthode fiable et polyvalente pour identifier les différences de température corporelle ou d'objet chacune avec ses avantages et ses inconvénients. Les unités les plus utilisées sont le degré Fahrenheit, le degré Celsius et le Kelvin.

### I.2.1 Échelle Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ )

En 1741, le physicien Anders Celsius choisi de prendre pour référence:

- l'ébullition de l'eau pour le point haut
- la congélation de l'eau pour le point bas

Il divise son échelle en 100 intervalles, qu'il appelle "degré Celsius" ( $^{\circ}\text{C}$ ), démarrant de zéro pour le point haut et 100 pour le point bas (pour lui, l'eau se transformait en glace à  $100^{\circ}\text{C}$  et bouillait à  $0^{\circ}\text{C}$ ).

Ensuite, on a inversé son échelle pour obtenir celle qu'on utilise actuellement : l'eau se transforme en glace à  $0^{\circ}\text{C}$  et bout à  $100^{\circ}\text{C}$ .

On appelle aussi parfois le  $^{\circ}\text{C}$  "degré centigrade". [1]

### I.2.2-Échelle Kelvin (K)

Les lois de la thermodynamique nécessitent une limite inférieure absolue de température. Une échelle de température doit être créée avec une limite inférieure théorique infranchissable.

Le physicien anglais Lord Kelvin (1824-1907), suggère donc d'utiliser une échelle de température où le zéro serait un zéro en dessous duquel on ne peut pas descendre : le "zéro absolu". Et les physiciens connaissent cette température infranchissable : c'est  $-273,15\text{ °C}$ , la température à laquelle plus rien ne bouge dans les atomes.

Il prend donc l'échelle de Celsius (en gardant le même intervalle pour chaque degré) et "décale simplement le "zéro" à  $-273,15\text{ °C}$ . On parle alors de "degré Kelvin" et on la note "K" (sans le ° devant). Cette nouvelle désignation est officialisée en 1960.

Dans les calculs, prendre la température en K ou en °C fait une différence. Par contre, une différence de température est la même en K et en °C [1].

### I.2.3 Échelle Fahrenheit (°F)

Le physicien allemand Daniel Fahrenheit (1686-1736) invente le thermomètre à mercure et définit son échelle de température.

Il utilise une échelle de température prenant pour référence :

- un mélange eau-glace-sel à l'équilibre pour le point bas
- l'ébullition de l'eau pour le point haut

Et pour que la température du corps humain soit  $100\text{°F}$  dans son échelle, il décide que le point bas sera  $32\text{°F}$  et le point haut  $212\text{°F}$ .

(Depuis, il a fallu corriger : le corps humain est en fait à  $98,6\text{ °F}$ ) [1]

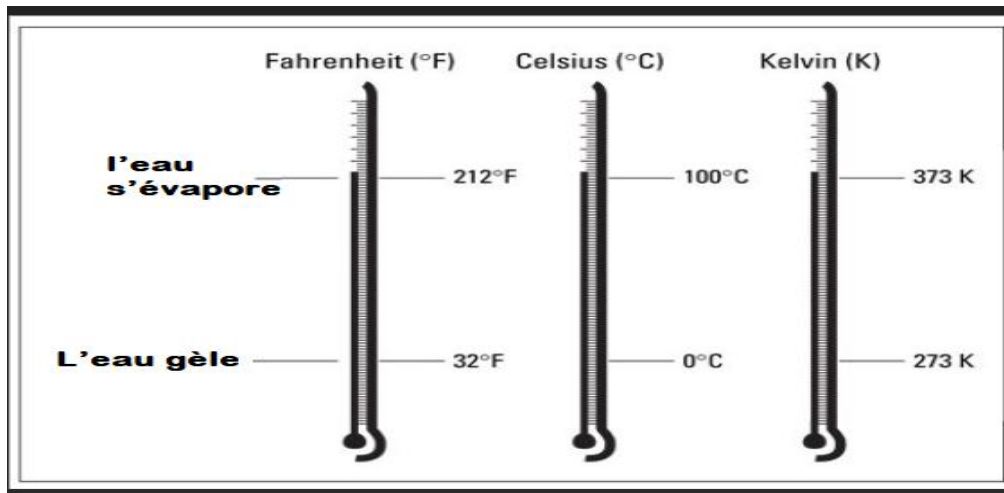


Figure II.1 Echelles de température

### I.3 Capteur de température

Un capteur de température est un dispositif qui mesure la température et envoie des informations à un autre système. Il existe plusieurs types de capteurs de température qui utilisent des principes différents pour mesurer la température.

#### I.3.1 Thermocouple

Les thermocouples ont été découverts pour la première fois en 1821 par Thomas Johann Seebeck. Depuis lors, ils sont devenus un outil de mesure de température important dans de nombreuses applications, notamment dans les industries chimiques, pétrolières et métallurgiques. [2]



Figure I.2 Thermocouple

##### I.3.1.1 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement du thermocouple est basé sur l'effet Seebeck qui est un phénomène physique qui se produit lorsque deux métaux différents sont reliés à une jonction. Lorsque cette jonction est exposée à une température différente de celle des deux extrémités



des métaux, une différence de tension est créée entre les deux extrémités. Cette tension est proportionnelle à la différence de température et est appelée force électromotrice (FEM) thermique

Les thermocouples sont composés de deux fils métalliques différents, qui sont reliés à une jonction de mesure. Lorsque la jonction de mesure est exposée à une température différente de celle de la jonction de référence, une différence de tension est créée entre les deux extrémités des fils. Cette tension est mesurée pour déterminer la température à laquelle la jonction de mesure est exposée.

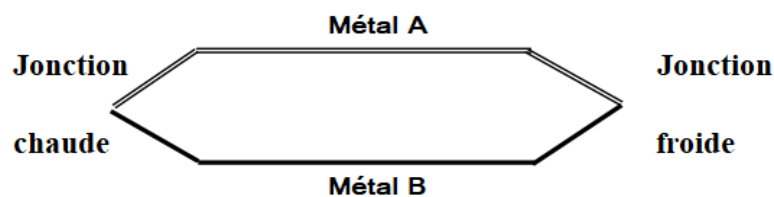


Figure I.3 Constitution d'un circuit thermoélectrique ou thermocouple

**Jonction chaude** : Jonction de l'ensemble thermocouple soumis à la température à mesurer : c'est la jonction Capteur. [3]

**Jonction froide** : Jonction de l'ensemble thermocouple maintenu à une température connue ou à 0 °C : c'est la jonction Référence.

### I.3.1.2 Différents types de thermocouple

Il existe plusieurs types de thermocouples, chacun étant composé de deux métaux différents. Les types les plus courants sont les thermocouples de type J, K, T, S et E.

Type	Métal A (+)	Métal B (-)	Plages utilisation	Coef. Seebeck $\alpha$ ( $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ )	Erreur standard
J	Fer	Constantan	-40 à +750°C	50,38 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ à 0°C	2,2% à 0,75%
K	Chrome	Alumel	40 à +1200°C	39,45 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ à 0°C	2,2% à 0,75%
S	Platine 10% Rhodium	Platine	0 à +1600°C	10,21 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ à 600°C	1,5% à 0,25%
T	Cuivre	Constantan	-40 à +350°C	38,75 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ à 0°C	1% à 0,75%

Table I.1 Différent types de thermocouples

### Avantages

**Robustesse** : les thermocouples sont capables de résister aux environnements difficiles et peuvent être utilisés dans des applications avec des températures élevées, des pressions élevées et des environnements corrosifs.

**Capacité à mesurer des températures élevées** : les thermocouples peuvent mesurer des températures allant jusqu'à 2300°C.

**Linéarité** : la relation entre la tension de sortie et la température est presque linéaire, ce qui facilite la conversion de la tension en température.

### Inconvénients

**Sensibilité aux interférences électromagnétiques** : les thermocouples sont sensibles aux champs électromagnétiques et peuvent être affectés par d'autres équipements électriques à proximité. **Précision relativement faible** : par rapport à d'autres types de capteurs de température, les thermocouples ont une précision relativement faible, en particulier à des températures inférieures à 0°C.

**Limitations de la longueur des câbles** : les thermocouples nécessitent souvent des câbles de compensation, qui sont utilisés pour éliminer les erreurs de mesure causées par les températures différentes le long des câbles. Ces câbles peuvent être coûteux et leur longueur est limitée en raison de la sensibilité des thermocouples aux interférences électromagnétiques.

## I.3.2 Thermistance

Les thermistances sont des capteurs de température qui mesurent la résistance électrique d'un matériau en fonction de la température. La résistance électrique d'une thermistance diminue ou augmente selon le type de thermistance, ce qui permet de mesurer la température en mesurant la résistance de cette dernière.

### I.3.2.1 Types de Thermistance

Il y a deux types de thermistances CTP et CTN.

- **CTP** (Coefficient de Température Positif), sa résistance augmente avec l'augmentation de la température et diminue également avec la diminution de la température. Bien que son utilisation soit délicate, ils sont généralement utilisés comme détecteur de température, pour la protection des composants tels que les moteurs et les transformateurs contre l'élévation excessive de la température ou encore contre des surintensités.

- **CTN** (Coefficient de Température Négatif), possède une propriété intéressante : sa valeur ohmique diminue quand la température augmente selon la loi théorique suivante :

$$RT = R0e^{\beta(\frac{1}{T} - \frac{1}{T0})}$$

RT : Résistance à la température absolue T.

$\beta$ : Constante comprise entre 2000 à 9000 °K, suivant les thermistances. (B varie généralement un peu avec la température)

R0 : Résistance à la température absolue T0 (en degrés K).

T0 : Température absolue à laquelle R0 a été mesuré, généralement T0 = 273.15°K (0°C).

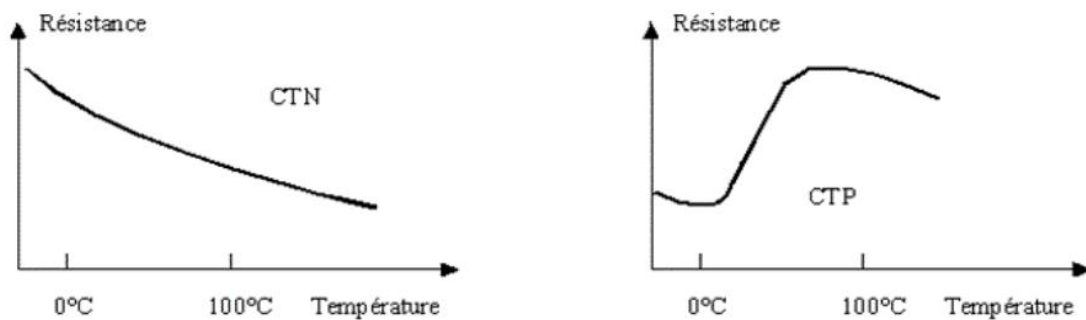


Figure I.4 Caractéristiques typiques d'une CTN et d'une CTP.

Les thermistances sont caractérisées également par leurs coefficients de température :

$$\alpha_{CTN} = \frac{\beta}{\Delta T^2}$$

$$\alpha_{CTP} = \frac{(RT - R_0)}{R_0 \cdot \Delta T}$$

Les CTN sont utilisées fréquemment pour les mesures et le contrôle de la température, la limitation d'impulsions transitoires, la mesure de flux de liquides. Ils peuvent être utilisés dans une large gamme de températures allant de -200 à + 1 000 °C, et elles sont disponibles en différentes versions (pastilles, disques, perles de verre, barreaux, rondelles, puces, ...)

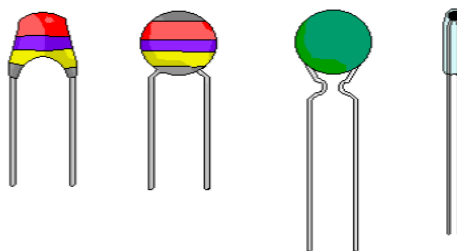


Figure I.5 Modèles de thermistances de différents diamètres

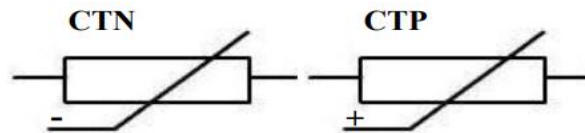


Figure I.6 Symboles des thermistances.

### Avantages

Haute précision : les thermistances peuvent offrir une précision de mesure élevée.

Sensibilité élevée : les thermistances ont une réponse rapide aux changements de température et peuvent détecter de petits écarts de température.

Gamme de température étendue : les thermistances peuvent être utilisées pour mesurer une large plage de températures, allant de  $-100^{\circ}\text{C}$  à  $1000^{\circ}\text{C}$ .

### Inconvénients

Non-linéarité : la relation entre la résistance et la température n'est pas linéaire et peut varier en fonction de la température, ce qui rend la conversion de la résistance en température plus complexe.

Sensibilité aux surtensions : les thermistances sont sensibles aux surtensions et peuvent être endommagées par des fluctuations de tension.

Coût élevé : les thermistances peuvent être plus coûteuses que d'autres types de capteurs de température.

### I.3.3 LM35

Le LM35 est un capteur de température précis dont la sortie est proportionnelle à la température (en  $^{\circ}\text{C}$ ). Le circuit a une impédance dynamique de moins de  $1\Omega$ , la température peut être mesurée avec plus de précision qu'avec une thermistance, Il fonctionne comme un Zener 2-terminal et la tension est directement proportionnelle à la température absolue à  $10\text{mV} / ^{\circ}\text{K}$ . Il possède également faible auto-échauffement et ne cause pas plus de  $1^{\circ}\text{C}$  cette température dans l'air immobile. [12]



Figure I.7 LM35 capteur de température

### Pins de configuration

**Vin** Broche d'alimentation positive (4 – 30 V)

**Vout** Sortie analogique du capteur de température

**GND** Broche de terre de l'appareil, connexion à la borne négative de l'alimentation

### I.3.3.1 Principe de fonctionnement

Le LM35 mesure la température en produisant une tension de sortie qui est proportionnelle à la température. La tension de sortie est linéaire, ce qui facilite la conversion de la tension en température.

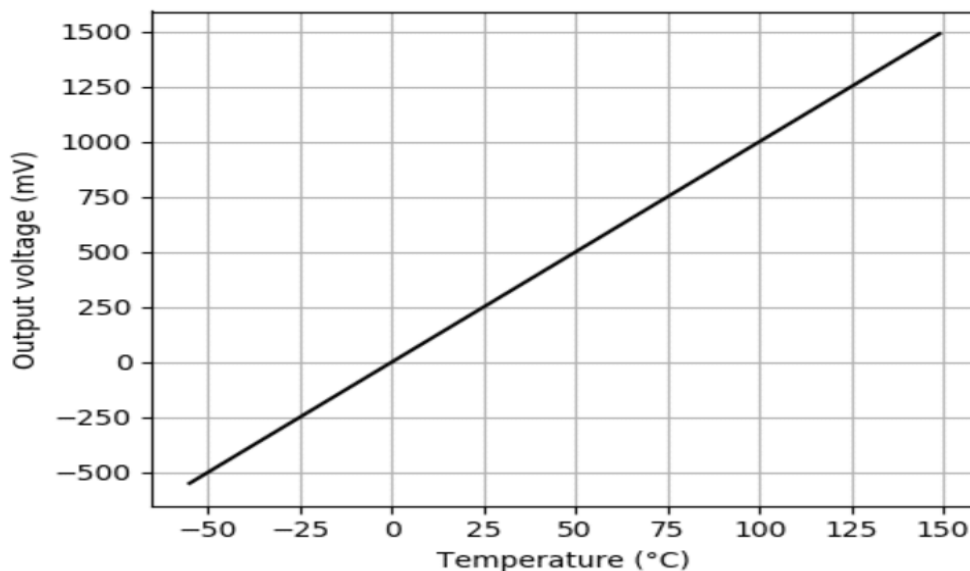


Figure I.8 Tension de sortie LM35 en mV en fonction de la température

### Avantages

Haute précision : le LM35 peut offrir une précision de mesure élevée, avec une précision typique de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Linéarité : la tension de sortie est linéairement proportionnelle à la température, ce qui facilite la conversion en température.

Facilité d'utilisation : le LM35 est facile à utiliser et ne nécessite pas de circuits supplémentaires pour amplifier ou convertir la tension.

### Inconvénients

Gamme de température limitée : le LM35 ne peut mesurer que des températures comprises entre  $-55^{\circ}\text{C}$  et  $150^{\circ}\text{C}$ , ce qui le rend moins adapté à des applications nécessitant des mesures de température plus élevées ou plus basses.

Sensibilité aux interférences électromagnétiques : le LM35 peut être affecté par les interférences électromagnétiques, ce qui peut causer des erreurs de mesure.

Coût : bien que moins coûteux que certains autres capteurs de température, le LM35 peut être plus coûteux que les thermistances ou les thermocouples.

### I.3.4 RTD

Les RTD (Resistance Temperature Detectors) sont des capteurs de température basés sur le changement de résistance d'un matériau en fonction de la température. Ils offrent une précision de mesure élevée et sont utilisés dans de nombreuses applications industrielles.



Figure I.9 capteurs de température à résistance PT100

#### I.3.4.1 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'une RTD (Resistance Temperature Detector) est basé sur la variation de la résistance électrique en fonction de la température. Les RTD les plus courantes sont fabriquées à partir de platine et sont donc également appelées PT100 (Platinum Resistance Thermomètre). Lorsque la température augmente, la résistance électrique

de la PT100 augmente également de manière linéaire. Cela se produit car la température affecte les collisions entre les électrons et les atomes dans le matériau de la PT100, ce qui modifie la conductivité électrique du matériau.

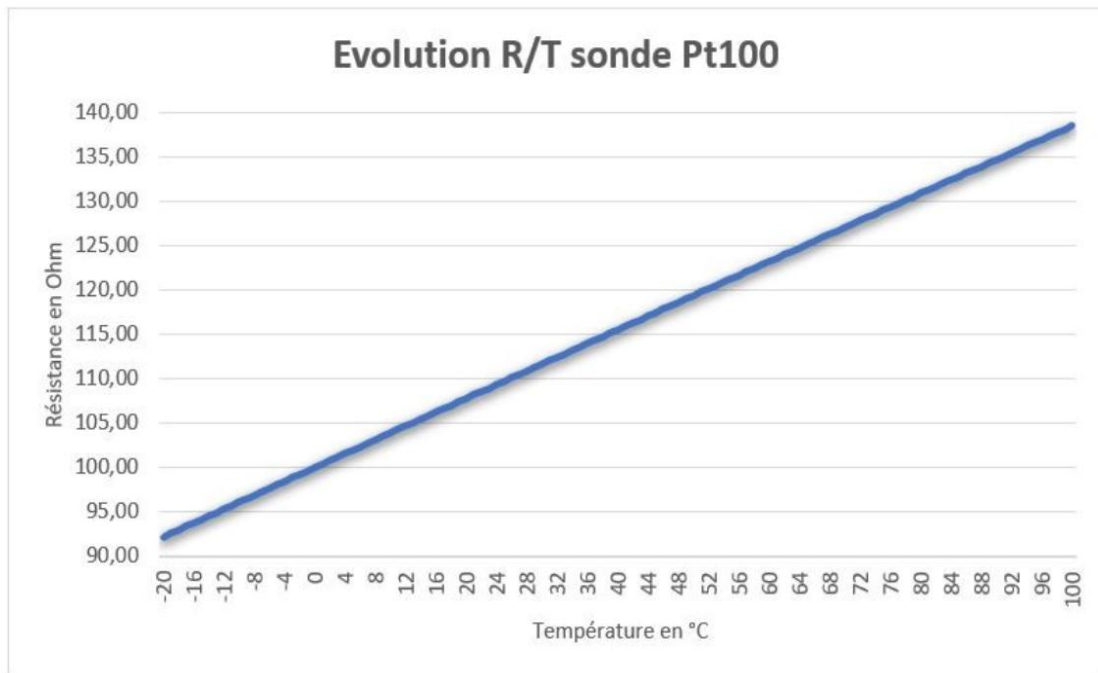


Figure I.10 Variation de la résistance en fonction de la température pour un PT100

### I.3.4.2 Relation résistance- température dans une PT100

D'après la norme CEI 751, la relation entre la résistance de platine  $R(T)$  et la température  $T$ , qui permet de déterminer la température avec une précision de moins de  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , est la suivante :

$$\text{Intervalle } [-200\text{ }^{\circ}\text{C à } 0\text{ }^{\circ}\text{C}]: R = R_0(1 + AT + B T^2 + C(T - 100)^3)$$

$$\text{Pour une plage de } [0\text{ }^{\circ}\text{C à } 850\text{ }^{\circ}\text{C}]: R = R_0(1 + AT + B T^2)$$

$$A = 3.908 \cdot 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \text{ et } B = -5,775 \cdot 10^{-7}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-2} \text{ et } C = -4.183 \times 10^{-12}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-3}$$

$$R(0^{\circ}\text{C}) = 100,00\ \Omega \text{ et } R(100^{\circ}\text{C}) = 138,51\ \Omega$$

On utilise le modèle quadratique c'est à dire  $A \neq 0, B \neq 0$ , de la relation (2), la température est donnée par la relation suivante:

$$T = \frac{-R_0A + \sqrt{R_0^2A^2 - 4R_0B(R_0 - R_T)}}{2R_0B}$$

Pour une plage de  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  à  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ :  $R = R_0(1 + AT + B T^2 + C(T - 100)^3)$ , alors la température est donnée par la relation issue de la résolution d'une équation de degré 3, on peut utiliser par exemple une méthode itérative.

### I.3.4.3 Les type de configurations des RTD

Les Différents types de RTD sont classés en fonction du nombre de fils qu'ils possèdent. Les RTD deux fils sont les plus simples, les RTD trois fils sont plus précis car ils permettent de compenser la résistance des câbles, tandis que les RTD quatre fils sont les plus précis car ils permettent de compenser à la fois la résistance des câbles et celle de la connexion.

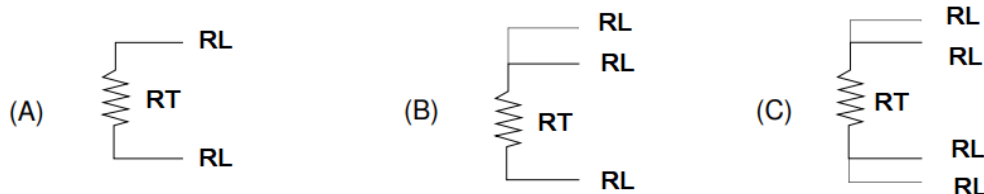


Figure I.11 (A) 2 fils, (B) 3 fils, (C) 4 fils RTD (RL résistance de fil)

(A) : Le montage 2 fils est simple, mais sa précision est affectée par la résistance de la ligne.

(B) : Le montage 3 fils est couramment utilisé dans l'industrie car il permet de minimiser les erreurs systématiques dues à la résistance des lignes.

(C) : Le montage précis à 4 fils permet une suppression totale des erreurs dues à la résistance des lignes et aux variations de température des conducteurs. Ce montage est utilisé dans les laboratoires pour obtenir une mesure de température très précise.

### Avantages

Haute précision : les RTD offrent une précision de mesure élevée, avec une précision typique de  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ .

Linéarité : la relation entre la résistance et la température est linéaire, ce qui facilite la conversion de la résistance en température.

Stabilité à long terme : les RTD sont stables à long terme, ce qui les rend idéaux pour les applications nécessitant une mesure de température à long terme.

### Inconvénients

Gamme de température limitée : les RTD ont une plage de température limitée, qui dépend du matériau utilisé.

Coût : les RTD sont plus coûteux que certains autres capteurs de température, tels que les thermistances.

## I.4 Les différentes méthodes de mesure la température

Il existe plusieurs méthodes pour mesurer la température, chacune avec ses propres avantages et inconvénients.



- Méthode de mesure par contact directe.
- Méthode de mesure sans contact.
- Méthode de mesure mixte.- Méthodes optiques (radiation effet).

#### **I.4.1 Méthode de mesure par contact direct**

Cette méthode est largement utilisée dans les parties stationnaires des machines électriques pour enregistrer la température à l'aide de capteurs qui transmettent des informations de température par contact direct, entre l'élément capteur et l'objet pour lequel on mesure sa température. [4]. Dans ce type de mesure on parmi les capteurs utilisés dans cette méthodes nous citons : Thermomètre à mercure,-Thermocouple, Thermistance

#### **I.4.2 Méthode de mesure sans contact**

La méthode de mesure sans contact signifie la mesure de la température se fait sans contact direct avec l'objet ou la surface que l'on souhaite mesurer la temperature. Cela peut être fait en utilisant différentes techniques

##### **Thermomètre à infrarouge**

Ce type de thermomètre mesure la radiance infrarouge émise par un objet pour en déterminer la température. Ils sont pratiques et rapides pour mesurer la température à distance.

##### **Pyromètre**

Ce type de thermomètre mesure la radiance visible ou infrarouge émise par un objet pour en déterminer la température. Ils peuvent être précis et fiables, mais peuvent nécessiter une calibration précise et peuvent être coûteux.

##### **Sonde thermique**

Ce type de thermomètre mesure la température en utilisant un capteur thermique, comme une résistance thermique ou un thermocouple, relié à un boîtier de mesure qui peut être placé à distance de l'objet. Ils peuvent être précis et fiables, mais peuvent nécessiter une calibration précise et peuvent être coûteux.

#### **I.4.3 Méthode de mesure mixte.**

Cette méthode de mesure est utilisé dans plusieurs travaux de recherche, il est basé surles deux méthodes mesure par contact direct et mesure sans contact..

# **Chapitre 2**

## **Circuits de Conditionnement**

## II.1 Introduction

Il est à noter que les capteurs de température produisent des signaux électriques de faible amplitude et nécessitent une amplification et/ou une conversion pour être exploitables. Cette amplification est basée sur des conditionneurs de signaux qui sont des circuits électroniques qui permettent d'adapter le signal de sortie du capteur passif aux besoins d'un système électronique de traitement ou de contrôle. Différents types de conditionneurs de signaux sont étudiés, tels que les ponts de Wheatstone, les ponts diviseurs. Les performances et les critères de choix de ces conditionneurs de signaux sont également analysés. Enfin, un cas pratique d'application d'un conditionneur de signal pour un capteur de température PT100 est présenté.

## II.2 Description des caractéristiques et des spécifications des conditionneurs de signaux

Les conditionneurs de signaux sont des circuits électroniques utilisés pour traiter les signaux de sortie des capteurs passifs afin de les adapter aux exigences des systèmes électroniques de traitement et de contrôle. Ils peuvent effectuer différentes tâches, telles que l'amplification, la linéarisation, le filtrage, la conversion de niveau ou encore l'isolement galvanique. Les caractéristiques et les spécifications des conditionneurs de signaux sont importantes pour garantir la précision et la fiabilité des mesures. Voici les principales caractéristiques et spécifications à prendre en compte lors de la sélection d'un conditionneur de signal :

### II.2.1 Gamme de mesure

Il s'agit de la plage de valeurs de la grandeur physique à mesurer dans laquelle le conditionneur de signal est capable de fournir une mesure précise.

### II.2.2 Sensibilité

Cette caractéristique traduit la variation de la sortie du capteur ( $\Delta s$ ) par rapport à la variation du mesurande ( $\Delta m$ ) telle que

$$S = \frac{\Delta s}{\Delta m}$$

La sensibilité définit aussi la valeur la plus faible du mesurande qui donne une variation mesurable par le capteur [10].

### II.2.3 Linéarité

En relation avec les capteurs et les transducteurs. La linéarité fait référence à la relation proportionnelle entre une grandeur physique mesurée et la réponse du capteur. Un

capteur linéaire produit une sortie qui est directement proportionnelle à la grandeur mesurée, ce qui signifie que la courbe de réponse est une ligne droite lorsqu'elle est tracée.

La linéarité est souvent exprimée en termes d'erreur linéaire, qui mesure l'écart entre la réponse réelle du capteur et une droite idéale. Les auteurs expliquent que la linéarité peut être influencée par des facteurs tels que les variations de température, les effets de charge, les non-linéarités intrinsèques du capteur lui-même, etc. [16]

#### II.2.4 Résolution

C'est la plus petite variation de la grandeur physique mesurable par le conditionneur de signal.

#### II.2.5 Précision

C'est la qualité qui caractérise l'aptitude d'un capteur à donner des indications proches de la valeur vraie de la grandeur mesurée. La grandeur mesurée  $M$  ne pourra être donnée qu'avec une certaine incertitude  $\delta M$ . La précision sera d'autant meilleure que l'incertitude sera faible [1].

$$M - \delta M \leq M \leq M + \delta M$$

L'erreur de précision est donnée par :

$$\varepsilon = \frac{\delta M}{M_{\max} - M_{\min}}$$

#### II.2.6 Stabilité à long terme

Elle est liée à la capacité du conditionneur de signal à maintenir ses performances dans le temps.

#### II.2.7 Vitesse de réponse

Elle est importante pour les applications qui nécessitent une réponse rapide du conditionneur de signal.

#### II.2.8 Consommation d'énergie

Elle représente la quantité d'énergie consommée par le conditionneur de signal et peut être importante pour les applications alimentées par batterie.

#### II.2.9 Isolation galvanique

Elle permet d'isoler électriquement le capteur passif du système de mesure et de contrôle, ce qui peut être important pour les applications nécessitant une protection contre les interférences électromagnétiques ou pour la sécurité des personnes.

### II.3 Circuit de conditionnement d'une PT100 à deux fils

Plusieurs types de circuits de conditionnement sont développés dans la littérature, parmi lesquels nous étudions les plus simples. Dans ces montages la RTD est parcourue par un courant faible de l'ordre de quelque mA, pour ne pas induire une auto échauffement de la RTD par le courant d'alimentation.

#### II.3.1 Pont diviseur de tension (potentiométrique)

$$V_{cc} = 5V \text{ et } R1 = 100 \Omega$$

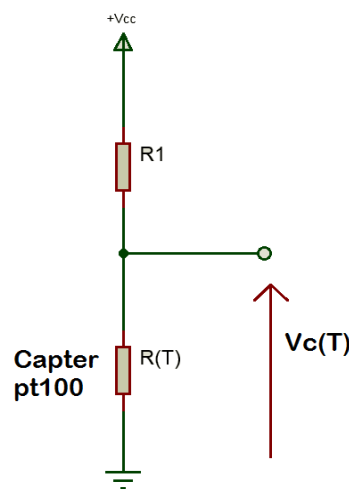


Figure II.1 conditionneur à pont diviseur

$$V_c(T) = V_{cc} \frac{R(T)}{R1 + R(T)}$$

Exemple : pour une plage de variation de température  $[-100, 200] ^\circ\text{C}$ , on extrait la valeur de la résistance à partir du tableau de l'annexe 1, et on calcule la tension  $V_c(t)$  ainsi obtient le tableau suivant qui nous donne une idée sur les valeurs de la tension de sortie du conditionneur :

T ( $^\circ\text{C}$ )	-100	-50	100	200
R(T)	60.26 $\Omega$	80.31 $\Omega$	138.51 $\Omega$	175.86 $\Omega$
$V_c(T)$	3.11V	2.227V	2.09V	1.81V

Table II.1 : Calcul la tension aux bornes de la Pt 100 à partir de pont diviseur

II.3.2 Alimentation avec source de courant constant

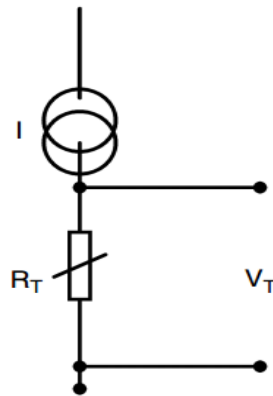


Figure II.2 Conditionneur avec générateur de courant constant

$$V_c(T) = R(T).i$$

Pour alimenter un capteur PT100, en pratique, il est recommandé d'utiliser une source de courant constant de 1 mA.

Pour mesurer la température à l'aide d'un capteur PT100, il est nécessaire de l'alimenter en courant constant de 1mA. Pour mesurer la variation de tension de sortie du capteur PT100, suivi d'un amplificateur de tension à base d'amplificateurs opérationnels. Si le courant est trop élevé, il peut provoquer une augmentation de température indésirable du capteur PT100( auto-échauffement), ce qui entraînera des erreurs de mesure.

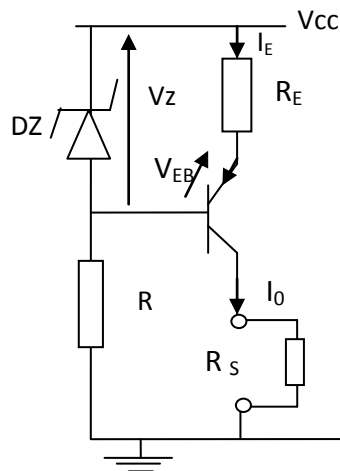


Figure II.3 Montage de base d'un générateur de courant constant

$I_E = \frac{V_z - V_{EB}}{R_E}$  Puis que  $V_z$  et  $V_{EB}$  et  $R_E$  sont constants dans ce montage

Donc  $I_E$  est constant, du fait que  $I_0 \simeq I_E$  donc la résistance  $R_{charge}$  est traversée Par un courant constant, donc ce montage est bien un générateur de courant constant.

Pour un bon fonctionnement, il faut que  $R_S I_0 < V_{CC} - R_E I_0$

## II.4 PT100 à trois fils

### II.4.1 pont de Wheatstone

Les ponts de Wheatstone sont des circuits électroniques qui permettent de mesurer des variations de résistance électrique. Ils sont basés sur l'équilibre d'un pont de quatre résistances et sont largement utilisés dans les capteurs de pression, de déplacement et de température

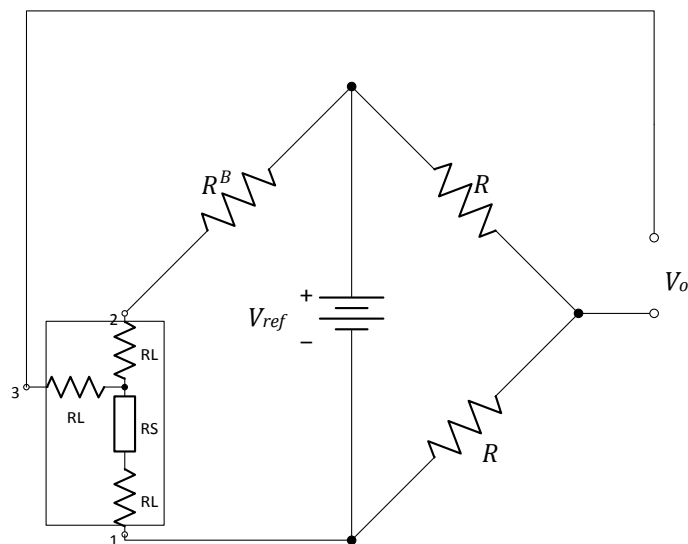


Figure II.4 Circuits de conditionnement PT100 à trois fils (pont de Wheatstone)

- **RS** : est la résistance du PT100
- **RL** : les résistances individuelles des conducteurs ils ont la même valeur
- **RB** : l'élément qui équilibre le pont une température de zéro degré

La tension de sortie du pont est donnée par la relation suivante :

$$V_0 = \frac{V_{ref}(R_T + R_L)}{R_T + R_B + 2R_L} - \frac{1}{2} \cdot V_{ref}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot V_{ref} \cdot \frac{(R_T + R_L)}{R_T + R_B + 2R_L}$$

Cette équation montre clairement que la tension de sortie dépend de **RL**. La non-linéarité de la tension de sortie en fonction de **RT** rend l'utilisation de ce circuit de conditionnement difficile, des techniques de conditionnement avancées sont utilisées pour remédier à ce problème

#### II.4.2 Source de courant

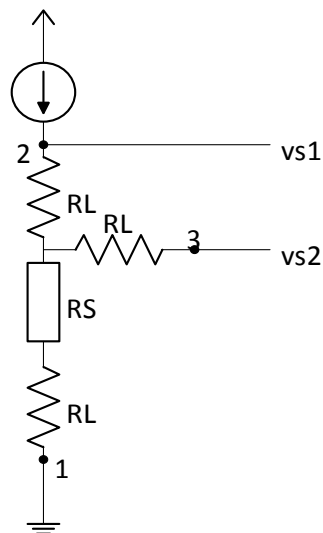


Figure II.5 circuit de PT100 à trois fils

Dans ce circuit plusieurs cas sont possibles sur la tension de sortie

$$V_{S1} = (R_T + 2R_L) I_0$$

$$V_{S2} = (R_T + R_L) I_0$$

La tension de sortie dépend dans les deux cas des résistances des fils.

Pardnan et Saibalkumar [ ] ont proposé un montage très simple et efficace pour éliminer l'effet des résistances des fils sur la tension de sortie



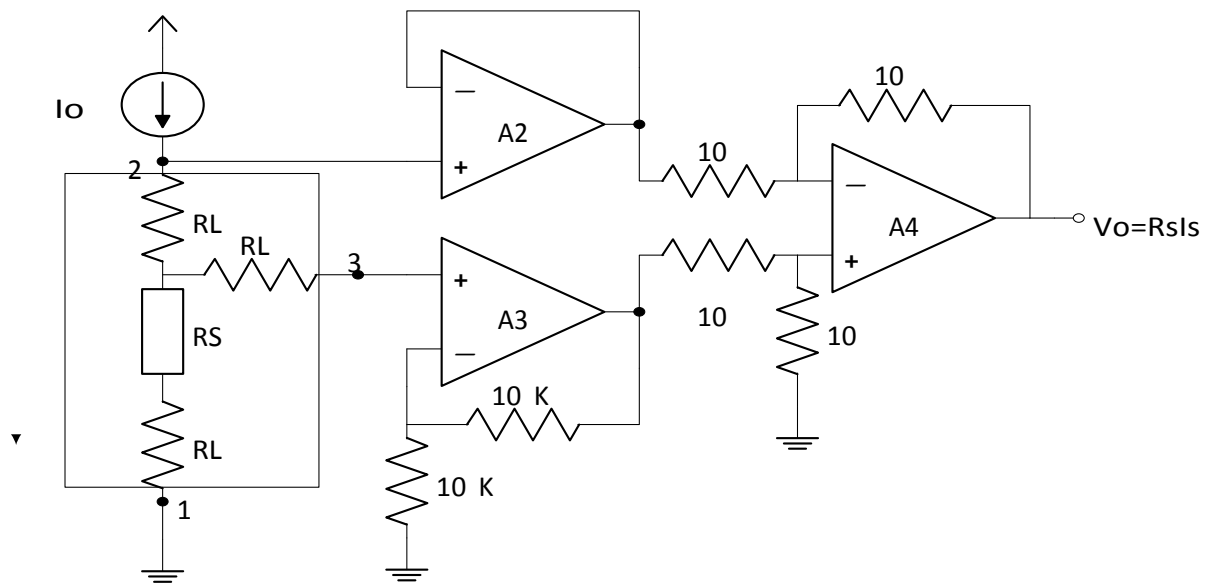


Figure II.6 circuit de conditionnement RTD trois fils avec source de courant

AOP 2 : est un montage suiveur

$$V^+ = V^-$$

$$V^- = V_1$$

$$V^+ = I_0 (R_s + 2RL)$$

$$V_1 = I_0 (R_s + 2RL)$$

AOP 3 : est un amplificateur non inverseur

$$V^- = \frac{V_2 \times 10}{10 \times 10} = \frac{V_2}{2}$$

$$V^+ = I_0 (RT + RL)$$

$$V^+ = V^-$$

$$V_2 = 2 I_0 (RT + RL)$$

AOP4 : Ampliateur différentiel

Donne la différence entre ces deux signaux V2 et V1 produire une sortie donnée par la relation suivante

$$V_0 = V_2 - V_1 = I_0 R_s$$

**II.5 Montage pratiques de source de courant**

Le principe de base de ce montage est de placer une résistance en série avec le capteur passif, de sorte que le courant qui circule dans la résistance sera proportionnel à la tension appliquée au capteur. En choisissant judicieusement la valeur de la résistance, on peut obtenir une relation linéaire entre la grandeur physique mesurée et la tension de sortie du montage.

Il existe différents types de montages de source de courant, notamment :

- La source de courant à transconductance : ce montage utilise un amplificateur opérationnel pour convertir la tension de sortie du capteur en courant. La transconductance de l'amplificateur opérationnel permet de convertir la tension en courant de manière linéaire.
- La source de courant à deux transistors : ce montage utilise deux transistors pour fournir un courant constant au capteur. La valeur du courant est déterminée par la tension de référence appliquée à la base d'un des transistors, et la tension de sortie du capteur est mesurée à la base de l'autre transistor.
- La source de courant à diode Zener : ce montage utilise une diode Zener pour maintenir une tension constante à travers le capteur, ce qui permet de fournir un courant constant. La valeur du courant est déterminée par la résistance en série avec la diode Zener.

Le choix du montage de source de courant dépend des spécifications de l'application et des contraintes de coût et de complexité. Les sources de courant à transconductance sont généralement utilisées pour des applications nécessitant une grande précision, tandis que les sources de courant à deux transistors ou à diode Zener sont souvent utilisées pour des applications plus simples et moins coûteuses.

### II.6 Montage pratique d'une source de courant

$$V^+ = V^-$$

$$R \cdot I_0 = V_Z$$

$$I_0 = \frac{V_Z}{R}$$

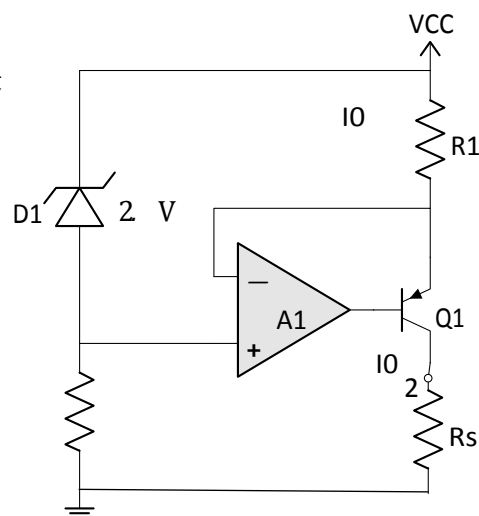


Figure II.7 montage source courant avec AOP

Le montage AOP élimine la dépendance de  $i_0$  sur la tension  $V_{BE}$  qui dépend fortement de la température et par suite  $I_0$  est plus stable dans ce montage

### **II.9 Conclusion**

Le circuit conditionneur est plus efficace car il fournit une tension qui varie linéairement avec la valeur de la résistance de la RTD. Par contre les autres conditionneurs à montage potentiométrique et montage à pont de Wheaton fournissent des tensions en fonction de la résistance suivant une relation non-linéaire

# **Chapitre 3**

## **Les Microcontrôleurs**

### **III.1 Introduction**

Ce chapitre contient le principe de fonctionnement du microcontrôleur. Aussi, nous allons présenter les périphériques utilisés avec le microcontrôleur de notre application. L'objectif principal est de mettre en évidence les liaisons entre les différentes parties.

### **III.2 Présentation générale du microcontrôleur**

Un microcontrôleur est un circuit central de systèmes électroniques intégrant un microprocesseur et des fonctions supplémentaires (mémoire, mémoire non-volatile, Interfaces analogiques) [13].

### **III.3 Caractéristiques principales d'un microcontrôleur**

Le microcontrôleur comprend plusieurs périphériques d'E/S, une mémoire de programme, une mémoire vive de type SRAM et éventuellement une mémoire EEPROM pour la sauvegarde des données en cas de coupure de l'alimentation. Il est équipé d'un processeur 8 ou 16 bits et offre une consommation électrique réduite.

#### **III.3.1 Les avantages d'un microcontrôleur**

L'utilisation de microcontrôleurs présente de nombreux avantages pour les circuits programmables, avec des résultats tangibles. L'offre de circuits intégrés dans ce domaine a connu une évolution spectaculaire au cours des dernières années. Les microcontrôleurs sont moins coûteux que les autres composants qu'ils remplacent, ce qui permet de réduire les coûts de main-d'œuvre. De plus, les microcontrôleurs permettent de réaliser des applications qui ne sont pas possibles avec d'autres composants.

#### **III.3.2 Contenu d'un microcontrôleur**

Un microcontrôleur est conçu pour intégrer tous les éléments de base nécessaires dans un seul boîtier. Avant l'avènement des microcontrôleurs, les fabricants de circuits intégrés ont dû affiner leur définition de ce qui devait être intégré pour parvenir à un schéma analogue. Ainsi, les circuits microcontrôleurs contiennent tous les éléments nécessaires à la réalisation de systèmes auparavant construits à partir de composants séparés.

### **III.4 Définition d'un PIC**

Le PIC est un microcontrôleur qui combine les fonctions d'un microprocesseur avec des périphériques internes pour simplifier la réalisation de circuits sans nécessiter de composants externes. Les PIC sont des composants RISC (Reduced Instruction Set Computer)

avec un jeu d'instructions simplifié, ce qui facilite et accélère le décodage des instructions et permet un fonctionnement plus rapide du composant.

#### III.4.1 Les différentes familles des Pics

Les Pics sont subdivisés à l'heure actuelle en 3 grandes familles : La famille Base Line, qui utilise des mots d'instructions de 12 bits. La famille Mid-Range, qui utilise des mots de 14 bits (et dont font partie la 16F84 ,16F876 et 16F877). La famille High-End, qui utilise des mots de 16 bits [14]

#### III.4.2 Identification des Pics

Pour identifier un PIC, on utilise simplement son numéro :

16 : indique la catégorie du PIC, c'est un Mid-range.

L : indique qu'il fonctionne avec une plage de tension beaucoup plus tolérante.

C : indique que la mémoire programme est une EPROM ou une EEPROM.

CR ou F : indique le type de mémoire : CR (ROM) ou F (FLASH).

XX : représente la fréquence d'horloge maximale que le PIC peut recevoir.

#### III.5 PIC 16F876

Nous allons maintenant s'intéresser à la structure interne du PIC 16F876, avec lequel nous avons travaillé.

Ce 16F876 est un microcontrôleur de MICROCHIP, fait partie intégrante de la famille des Mid-Range (16) dont la mémoire programme est de type flash (F)

##### III.5.1 Principales caractéristiques du PIC 16F876

Le PIC 16F876 est caractérisé par :

Fonctionne à 20 Mhz maximum.

Possède :

- 35 instructions (composant RISC),
- 8Ko de mémoire Flash pour le programme,
- 368 octets de RAM,
- 256 octets de d'EEProm,
- 2 compteurs/ timers de 8 bits (timer0 et timer2),
- 1 compteurs/ timers de 16 bits (timer1),
- 1 Watchdog,

- 13 sources d'interruption,
- 22 entrées/sorties configurables individuellement, dont 5 analogiques,
- Mode SLEEP.
- 2 comparateurs ( + 1 generateur de Vref pour la version 16F876A)
- Possibilité de debugage ou de bootloader

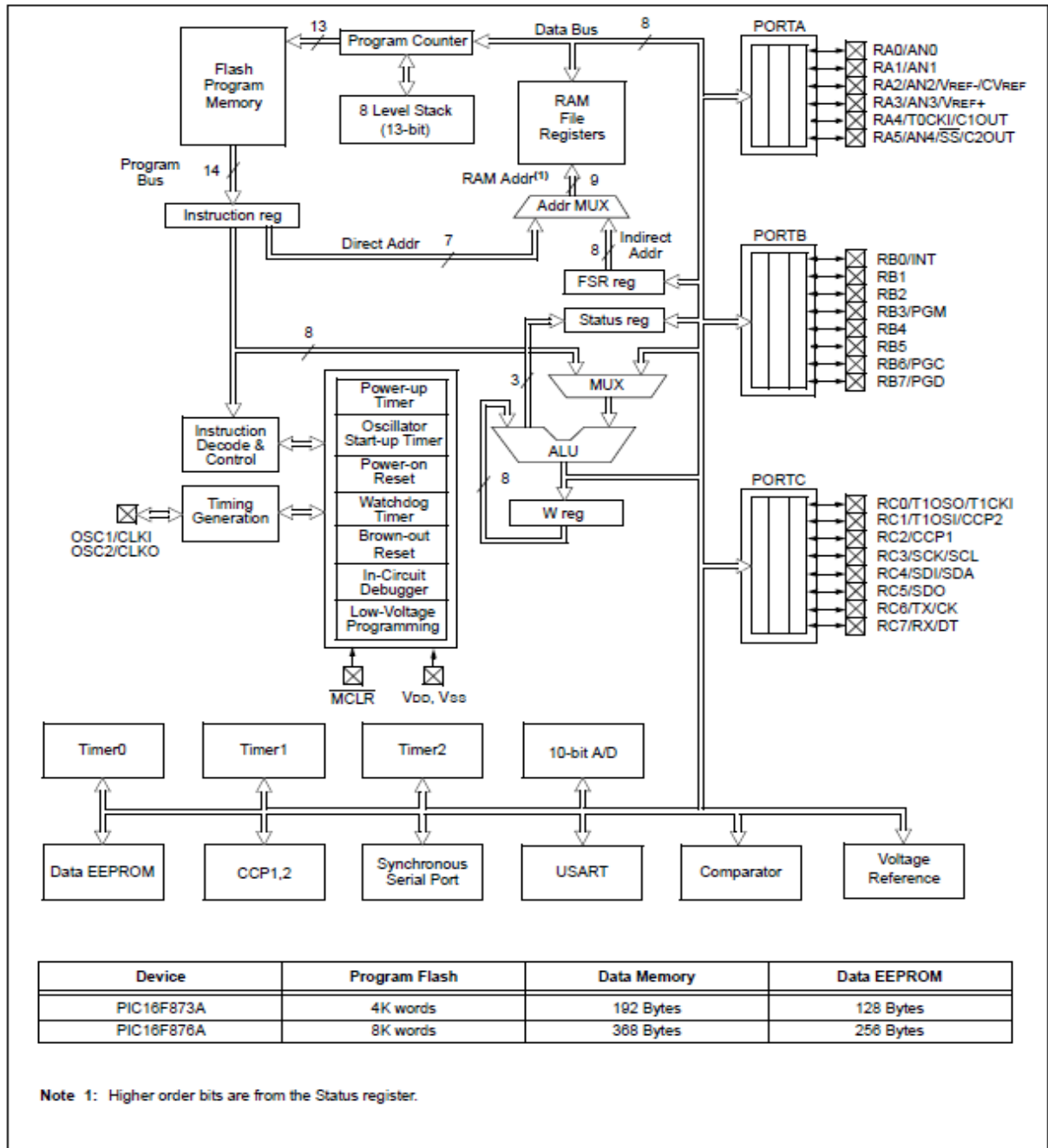


Figure III.1 structure interne de pic16f876

### III.5.2 Mémoires du PIC 16F876

Le PIC 16F876 dispose de trois types de mémoires :

➤ **Mémoire vive RAM**

C'est de la mémoire d'accès rapide, mais labile (c'est-à-dire qu'elle s'efface lorsqu'elle n'est plus sous tension); cette mémoire contient les registres de configuration du PIC ainsi que les différents registres de données. Elle comporte également les variables utilisées par le programme.

➤ **Mémoire morte FLASH**

C'est la mémoire programme proprement dite. Chaque case mémoire unitaire fait 14 bits. La mémoire FLASH est un type de mémoire stable, réinscriptible à volonté.

➤ **Mémoire EEPROM**

Elle est de 256 octets, électriquement effaçable, réinscriptible et stable. Ce type de mémoire est d'accès plus lent, elle est utilisée pour sauvegarder des paramètres. L'adresse relative de l'accès EEPROM est comprise entre 0000 et 00ff, ce qui nous permet d'utiliser qu'un registre de huit bits pour définir cette adresse

### III.5.3 Organisation externe du PIC 16F876

Le boîtier du PIC 16F876 décrit par la figure 14 comprend 28 pins :

- 14 pins d'entrées/sorties
- 2 pins pour l'alimentation
- 2 pins pour l'oscillateur et un pin pour le reset (MCLR). la broche MCLR sert à initialiser le  $\mu$ C en cas de la mise sous tension, de remise à zéro externe, de chien de garde et en cas de la baisse de tension d'alimentation.
- Les broches VDD (broches 1 alimentation simple et 32 alimentations alternatives pour certain fonction spécial) et VSS (broches 12 et 31) servent à alimenter le PIC. Les courants véhiculés dans le PIC sont loin d'être négligeables du fait des nombreuses entrées/sorties disponibles
- Les Pics 16F876 contiennent les 5 ports suivants :
  - Port A : 6 pins I/O numérotées de RA0 à RA5.
  - Port B : 8 pins I/O numérotées de RB0 à RB7.
  - Port C : 8 pins I/O numérotées de RC0 à RC7.



Tous ces ports se trouvent dans la banque 0, mais tous leurs registres se trouvent dans la banque 1, pour déterminer les modes des ports (I/O), il faut sélectionner leurs registres TRISX:

Le positionnement d'un bit à « 1 » place le pin en entrée. Le positionnement de ce bit à « 0 » place le pin en sortie.

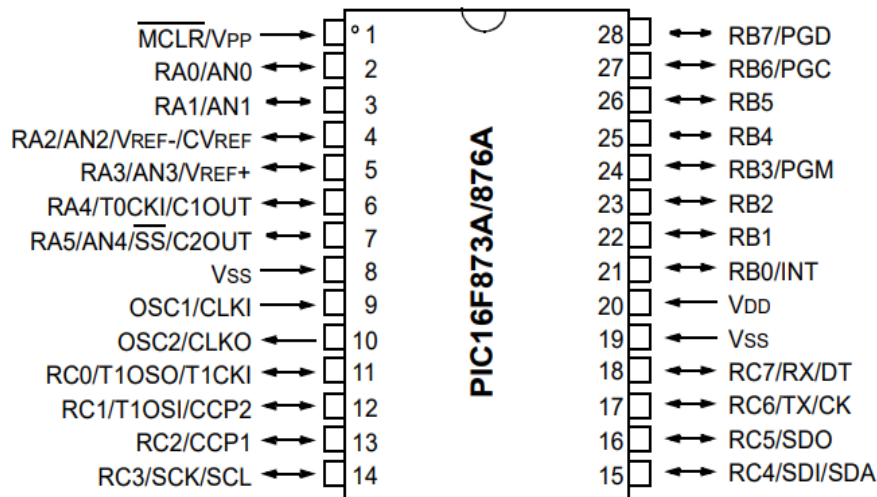


Figure III.2 Brochage du PIC 16F876

### III.6 Timer0

Le Timer0 est un des timers intégrés dans le microcontrôleur PIC16F876. Il est souvent utilisé pour générer des interruptions périodiques, pour mesurer des temps, et pour compter des événements. Voici les principales caractéristiques du Timer0 du PIC16F876

**Mode de fonctionnement :** Le Timer0 peut être configuré pour fonctionner en mode temporisation (timer) ou en mode comptage (counter).

**Pré-échelle :** Le Timer0 peut être configuré avec une pré-échelle (ou prescaler) pour diviser la fréquence d'horloge interne du microcontrôleur et ainsi réduire la vitesse de comptage du Timer0.

**Registres :** Le Timer0 est basé sur deux registres : le registre de comptage (TMR0) et le registre de configuration (OPTION\_REG). Le registre OPTION\_REG permet de configurer le Timer0, notamment en choisissant la valeur de la pré-échelle. Le registre TMR0 stocke la valeur courante du compteur.

Débordement : Le Timer0 déborde (ou reset) automatiquement à la valeur maximale de 255 et génère une interruption. Cette interruption peut être utilisée pour exécuter des tâches périodiques, telles que la mise à jour d'affichage ou la lecture de capteurs.

Vecteur d'interruption : Lorsque le Timer0 déborde, il peut générer une interruption qui est associée au vecteur d'interruption `TIMER0_OVERFLOW`. Cette interruption peut être activée ou désactivée en configurant le registre `INTCON`

### III.6.1 La structure du registre `OPTION_REG`

Nous effectuons tous les réglages nécessaires avec le Registre `OPTION_REG`. La taille du registre est de 8 bits [3].

#### OPTION\_REG REGISTER (ADDRESS 81h, 181h)

R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
RBPU	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
bit 7						bit 0	

- PSA = 0; // Prescaler est affecté au module `TIMER0`
- PS0 = 1; // Bits de taux du préscalier
- PS1 = 1; // sont définis sur «111»
- PS2 = 1; // ce qui signifie diviser par 256
- T0SE = 0; // front montant
- T0CS = 0; // horloge du cycle d'instructions interne

FIGURE 5-1: BLOCK DIAGRAM OF THE TIMER0/WDT PRESCALER

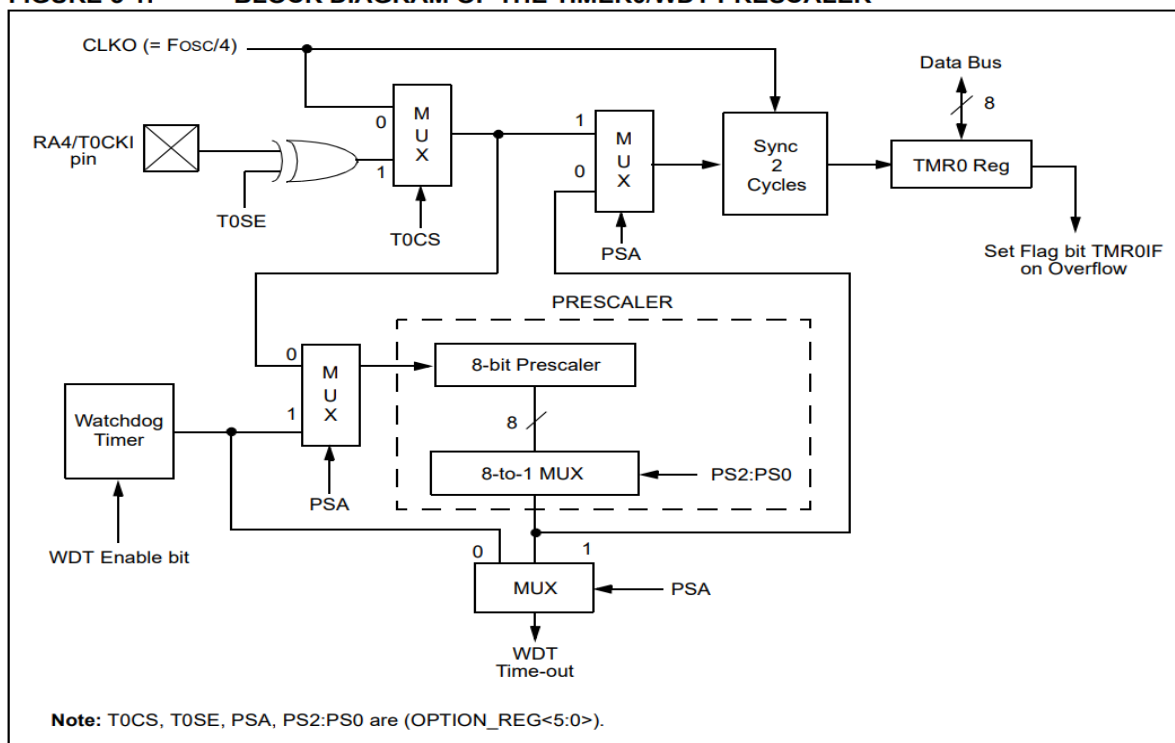


Figure III.3 Schéma fonctionnel du prédiviseur PIC Timer0 / WDT

### III.6.2 Calcul des valeurs Count, Fout et TMR0

Si vous utilisez un cristal INTERNE comme horloge, la division est effectuée comme suit :

$$f_{out} = \frac{f_{clk}}{4 * prescal * (256 - TMR0) * Count} \quad \text{Ou} \quad T_{out} = \frac{1}{f_{out}}$$

### III.7 Le convertisseur analogique-numérique (ADC)

Le PIC16F876 est un microcontrôleur populaire fabriqué par MicrochipTechnology Inc. qui comprend un module de convertisseur analogique-numérique (ADC) sur puce. Le module ADC du PIC16F876 est un type d'approximation successive de 10 bits, ce qui signifie qu'il échantillonne la tension d'entrée et la compare à une référence de tension pour générer une sortie numérique qui représente la tension d'entrée.

Le tableau ci-dessous montre les broches d'entrée ADC multiplexées avec d'autres broches GPIO.

La broche ADC peut être activée en configurant le registre ACON1 correspondant.

Lorsque la fonction ADC est sélectionnée pour une broche, les autres signaux numériques sont déconnectés des broches d'entrée ADC.

ADC Channel	PIC16f876 Pin	Pin fonction
0	RA0	AN0
1	RA1	AN1
2	RA2	AN2/VREF -
3	RA3	AN3/VREF+
4	RA5	AN4

Table III.1 les broches d'entrée ADC multiplexées avec d'autres broches GPIO

#### III.7.1 ADC Registers

Register	Description
ADCON0	Utilisé pour allumer l'ADC, sélectionner la fréquence d'échantillonnage et également démarrer la conversion.
ADCON1	Utilisé pour configurer les broches gpio pour ADC
ADRESH	Contient l'octet supérieur du résultat ADC
ADRESL	Contient l'octet inférieur du résultat ADC

Table III.2 les registres associés au CAN PIC16F876

Configuration des registres individuels pour les connexions UART [3]

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON
bit 7						bit 0	

ADCS2-ADCS0 : Bits de sélection d'horloge de conversion A/N

ADCON1 <ADCS2>	ADCON0 <ADCS1:ADCS0>	Clock Conversion
0	00	Fosc/2
0	01	Fosc/8
0	10	Fosc/32
0	11	Frc (clock derived from the internal A/D RC oscillator)
1	00	Fosc/4
1	01	Fosc/16
1	10	Fosc/64
1	11	Frc (clock derived from the internal A/D RC oscillator)

Table III.3 Bits de sélection d'horloge de conversion A/N

CHS2-CHS0: Bits de sélection de canal analogique [3]

- 000 = Channel 0 (AN0)
- 001 = Channel 1 (AN1)
- 010 = Channel 2 (AN2)
- 011 = Channel 3 (AN3)
- 100 = Channel 4 (AN4)
- 101 = Channel 5 (AN5)
- 110 = Channel 6 (AN6)

111 = Channel 7 (AN7)GO/DONE : bit d'état de conversion A/N

Lorsque ADON = 1:

1 = conversion A/N en cours (le réglage de ce bit démarre la conversion A/N qui est automatiquement effacée par le matériel lorsque la conversion A/N est terminée)

0 = conversion A/N pas en cours

ADON : A/D sur le bit

1 = A/D converter module is powered up

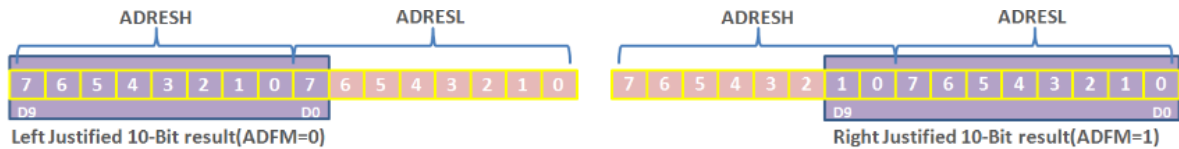
0 = A/D converter module is shut-off and consumes no operating current

U-0	U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit 7				bit 0			

**ADFM:** A/D Result Format Select bit

1 = Right justified. Six (6) Most Significant bits of ADRESH are read as '0'.

0 = Left justified. Six (6) Least Significant bits of ADRESL are read as '0'.



ADCS2 : bit de sélection d'horloge de conversion A/N

Vérifiez ADCS1 :ADCS0 du registre ADCON0.

PCFG <3:0>	AN7	AN6	AN5	AN4	AN3	AN2	AN1	AN0	VREF+	VREF-	C/R
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	8/0
0001	A	A	A	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	7/1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	VDD	VSS	5/0
0011	D	D	D	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	4/1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	VDD	VSS	3/0
0101	D	D	D	D	VREF+	D	A	A	AN3	VSS	2/1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	—	—	0/0
1000	A	A	A	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	6/2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	6/0
1010	D	D	A	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	5/1
1011	D	D	A	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	4/2
1100	D	D	D	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	3/2
1101	D	D	D	D	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	2/2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	VDD	VSS	1/0
1111	D	D	D	D	VREF+	VREF-	D	A	AN3	AN2	1/2

Table III.4 PCFG3-PCFG0 : Bits de contrôle de configuration de port A/N

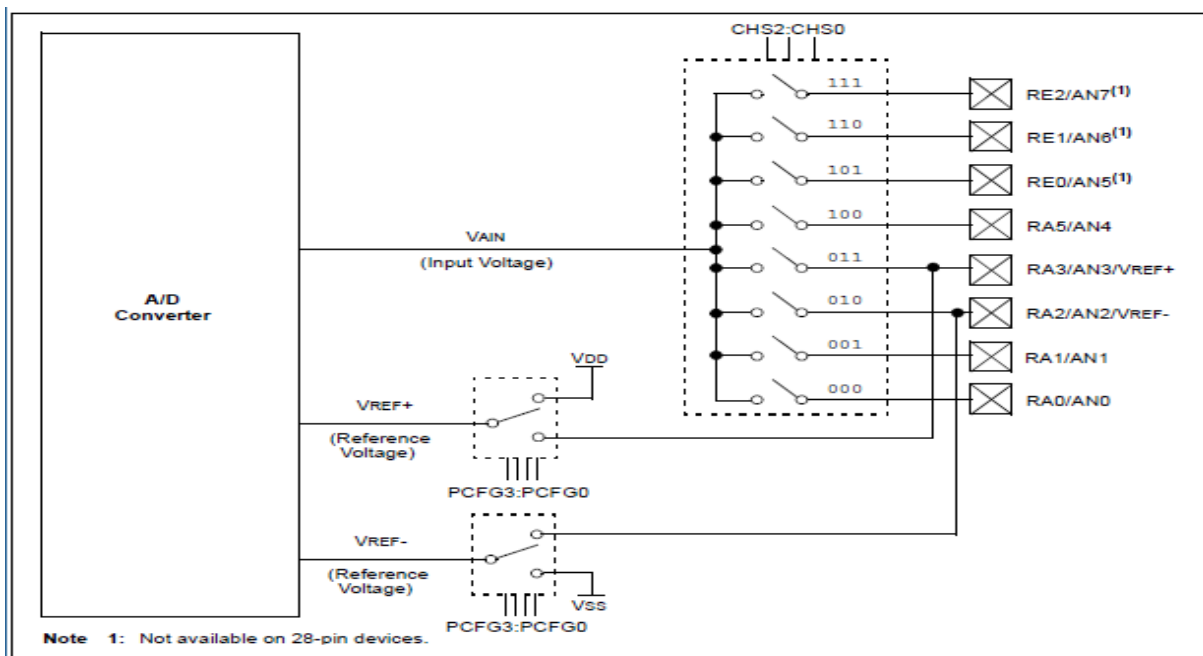


Figure III.4 Schéma fonctionnel A/N

### III.8 Afficheur à cristaux liquide (LCD)

Un afficheur à cristaux liquides (LCD) est un dispositif électronique utilisé pour afficher du texte, des images et d'autres informations. Les écrans LCD sont très courants dans les appareils électroniques portables tels que les téléphones mobiles, les ordinateurs portables, les tablettes, les appareils photo numériques, les montres intelligentes, etc. Ils sont également utilisés dans de nombreux autres domaines tels que les systèmes de navigation, les balances, les instruments de mesure, les panneaux d'affichage publics, etc.

Le principe de fonctionnement des écrans LCD repose sur l'utilisation de cristaux liquides qui modifient leur polarisation lorsqu'ils sont soumis à un champ électrique. Les cristaux liquides sont contenus entre deux plaques de verre, qui agissent comme des filtres polarisants. Les cristaux liquides modifient l'orientation de la lumière polarisée lorsqu'ils sont soumis à un champ électrique, ce qui permet de contrôler la quantité de lumière qui traverse l'écran.

Les écrans LCD sont composés de plusieurs couches de matériaux, dont chacune remplit une fonction spécifique. La couche la plus importante est la couche de cristaux liquides elle-même, qui est située entre deux électrodes transparentes. Lorsqu'une tension est appliquée aux électrodes, le champ électrique qui en résulte modifie l'orientation des molécules de cristaux liquides, ce qui change l'angle de polarisation de la lumière. Cela permet de contrôler la quantité de lumière qui passe à travers l'écran et de créer des images.

Les écrans LCD sont très populaires car ils sont légers, consomment peu d'énergie, ont une bonne qualité d'image et peuvent afficher une large gamme de couleurs. Ils sont également abordables et faciles à fabriquer en grandes quantités. Cependant, ils ont quelques inconvénients, notamment une mauvaise visibilité dans des conditions de faible luminosité et des angles de vision limités.

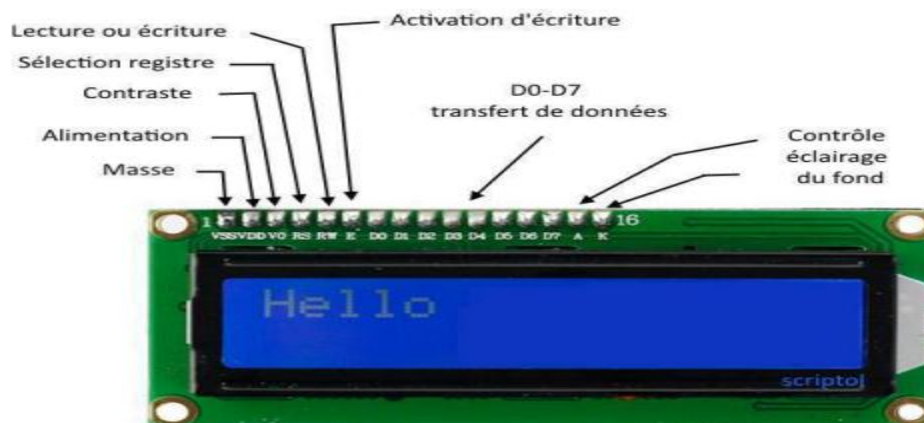


Figure III.5 L'afficheur LCD16\*2

### III.8.1. Les différents types de LCD

Il existe de très nombreux types de LCD.

Un afficheur peut être constitué de :

- Segments (affichage de chiffres ou lettres)
- Pictogrammes, dessins, icônes
- Mots ou groupes de mots (ex : LowBatt)
- Points (affichage alphanumérique ou graphique)

### III.8.2. Principe de fonctionnement d'un afficheur LCD

Les afficheurs LCD fonctionnent en exploitant les propriétés des cristaux liquides pour produire des images ou du texte. Le contrôleur de l'afficheur est responsable de l'envoi des signaux électriques nécessaires pour activer chaque cellule d'affichage individuellement [13].

Les afficheurs LCD parallèle possèdent 2 modes de fonctionnement, qui sont très proches l'un de l'autre. Le mode 8 bits, et le mode 4 bits.

#### a) Le mode 8 bits :

Dans ce mode, il faut envoyer les données à l'afficheur par le biais des pins D0 à D7. Il faut également utiliser les pins :

- 1-R/W : pour définir un envoi ou une réception de donnée
- 2-RS : pour définir si on envoi une commande à l'afficheur ou une donnée
- 3-E : pour valider la donnée envoyée ou reçu

Conclusion, en mode 8 bits, on va placer les données à envoyer à l'afficheur sur D0 à D7, sélectionner un envoi ou une réception avec R/W, d'une donnée ou d'une commande avec RS, et valider en envoyant une impulsion sur E d'au moins 450ns.

#### b) Le mode 4 bits :

Dans ce mode, on envoie les données à l'afficheur uniquement par le biais des pins D4 à D7. Il faut également utiliser les pins :

- 1-R/W : pour définir un envoi ou une réception de donnée
- 2-RS : pour définir si on envoie une commande à l'afficheur ou une donnée

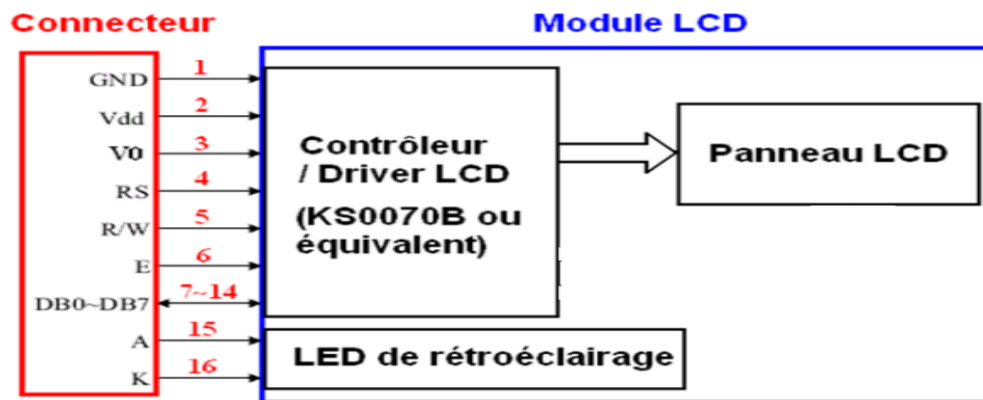


Figure III.6 Architecture fonctionnelle d'un afficheur à accès parallèle 2

### III.9 RS232

#### III.9.1 Introduction

La communication RS232 est un standard largement utilisé dans l'industrie pour connecter des périphériques électroniques. Dans le cadre de notre projet de simulation, nous avons utilisé la communication RS232 pour afficher les résultats de la simulation dans Hyper Terminal. Cette méthode nous a permis d'afficher les résultats de manière claire et organisée, ce qui a facilité l'analyse et l'interprétation des résultats.

#### III.9.2 Avantages de l'utilisation de RS232 pour afficher les résultats de la simulation

La communication RS-232 est une norme établie : La communication série RS-232 est une norme établie depuis longtemps, ce qui signifie que de nombreux appareils et systèmes électroniques sont équipés de ports RS-232 pour faciliter la communication avec d'autres appareils.

Faible coût : La communication RS-232 utilise des composants électroniques simples et peu coûteux, ce qui rend la mise en œuvre de cette norme de communication peu coûteuse.

Faible consommation d'énergie : La communication RS-232 utilise une faible quantité d'énergie, ce qui la rend adaptée pour les applications de faible consommation énergétique.

Longueur de câble : La communication RS-232 permet de transmettre des données sur de longues distances, jusqu'à environ 50 pieds (15 mètres) sans répéteur.

Facile à implémenter : La communication RS-232 est relativement facile à implémenter et à configurer, ce qui la rend idéale pour les projets de bricolage et les prototypes électroniques.



**III.9.3 Brochage du RS232**

La communication entre l'ETTD et l'ETCD à l'aide du protocole RS232 utilise des connecteurs DB9 ou DB25. Ces deux types de connecteurs ont des extrémités mâle et femelle. Les connecteurs DB25 se composent de 25 broches tandis que les DB9 en utilisent 9, chacune des broches ayant une fonction spécifique. Vous trouverez les schémas de brochage des connecteurs DB9 et DB25 ci-dessous.

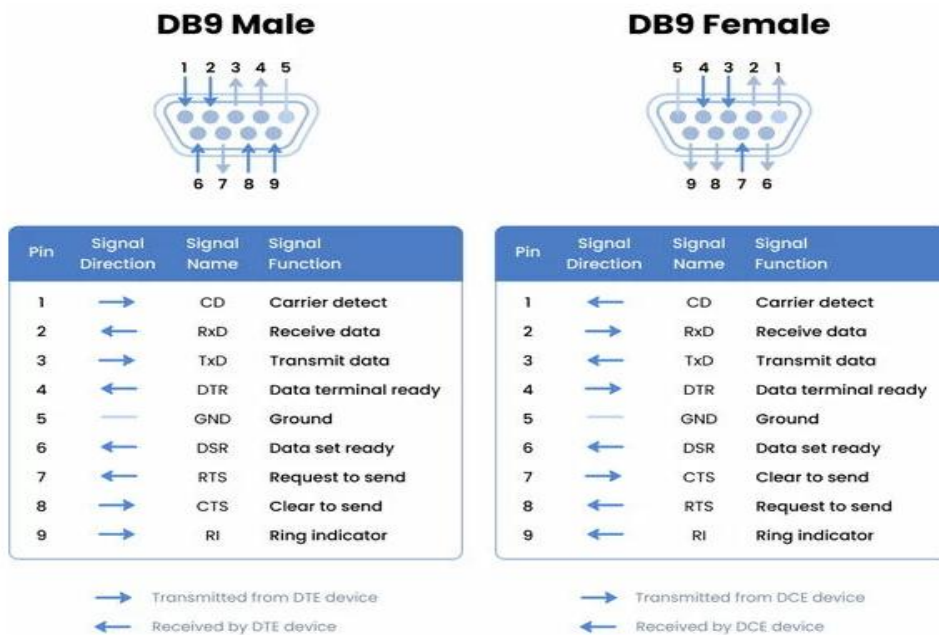


Figure III.7 Brochage du RS232

**III.9.4 Programmation de l'envoi des résultats de la simulation via RS232**

- Configurer les paramètres de communication : Avant de commencer l'envoi des données, vous devez configurer les paramètres de communication RS232 tels que le débit en bauds, la parité et le bit de stop. La plupart des langages de programmation fournissent des bibliothèques ou des modules pour configurer les paramètres de communication.
- Ouvrir la connexion RS232 : Vous devez établir une connexion RS232 avec le périphérique d'affichage à l'aide d'une commande d'ouverture de port. La commande varie selon le langage de programmation utilisé.
- Formater les données : Vous devez formater les données de la simulation pour qu'elles soient compatibles avec le protocole RS232. Cela peut inclure la conversion des données en format binaire ou en format ASCII.

- Envoyer les données : Vous devez envoyer les données formatées au périphérique d'affichage à l'aide d'une commande d'envoi de données. La commande varie selon le langage de programmation utilisé.
- Fermer la connexion RS232 : Une fois les données envoyées, vous devez fermer la connexion RS232 à l'aide d'une commande de fermeture de port.

### **III.9.5 Applications de la communication RS232**

La communication série RS232 est utilisée dans les PC d'ancienne génération pour connecter les périphériques tels que la souris, les imprimantes, le modem, etc.

De nos jours, le RS232 est remplacé par l'USB avancé. servo-contrôleurs car il est beaucoup moins cher.

Il est encore utilisé par certaines cartes de microcontrôleur, imprimantes de reçus, système de point de vente (PoS), etc [7].

### **III.9.6 Types de câbles RS232**

Il existe différents types de câbles RS232 disponibles sur le marché pour le convertir en d'autres ports. Ce qui est très utile car il a résolu les problèmes de diverses applications.

Les câbles RS232 sont utilisés dans les décodeurs, les ordinateurs et les appareils de musculation, ainsi que dans des machines très coûteuses. Le câble le plus largement utilisé est le câble RS232 vers USB pour communiquer avec d'autres périphériques [7].

## **III.10 LabVIEW**

### **III.10.1 Introduction**

LabVIEW est un environnement graphique de développement et de test qui ne ressemble à aucun autre outil de test et de développement disponible dans l'industrie [11]. Il est utilisé dans de nombreux domaines, tels que l'industrie, la recherche scientifique, la conception de systèmes électroniques, l'automatisation et le contrôle des processus, la formation et l'éducation, entre autres.

### **III.10.2 La programmation en LabVIEW**

La programmation en LabVIEW se fait par l'assemblage de différents blocs de programmation appelés "fonctions" ou "VIs" en utilisant une interface graphique de programmation (GUI).

Les fonctions ou VIs représentent des opérations de base ou des tâches spécifiques, tels que l'acquisition de données, le traitement de signaux, le contrôle de systèmes, etc. Les VIs sont connectés entre eux par des fils pour définir les connexions entre les entrées et les sorties des fonctions.

### III.10.3 Parties principales

LabVIEW peut être divisé en deux parties principales: l'environnement de développement et l'exécution du code.

L'environnement de développement de LabVIEW est l'interface graphique de programmation (GUI) qui permet aux utilisateurs de créer des applications en utilisant des icônes et des connexions graphiques plutôt que de la programmation traditionnelle en texte. Cette approche intuitive permet aux utilisateurs de créer des applications plus rapidement et avec une meilleure compréhension de leur fonctionnement.

L'environnement de développement de LabVIEW est également doté d'une large gamme de bibliothèques de fonctions pour les mesures et l'acquisition de données, ainsi que pour les communications avec des équipements de mesure et de contrôle. Il prend également en charge de nombreux protocoles de communication, tels que GPIB, USB, Ethernet et CAN, entre autres.

L'exécution du code LabVIEW se fait en temps réel, ce qui signifie que les applications créées avec LabVIEW peuvent être utilisées pour le contrôle de systèmes en temps réel. Les applications peuvent également être déployées sur différents systèmes d'exploitation, tels que Windows, Linux et Mac OS.

L'exécution du code LabVIEW est également optimisée pour l'exécution en parallèle, ce qui signifie que les applications peuvent exécuter plusieurs tâches simultanément sans sacrifier les performances. Cela permet aux applications de traiter efficacement de grandes quantités de données en temps réel.

La possibilité de communiquer entre LabVIEW et le circuit Proteus en utilisant le protocole de communication série (RS232) ou en utilisant l'interface Virtual Instrument Software Architecture (VISA) de LabVIEW. Pour communiquer via RS232, vous devez connecter le circuit Proteus à un port série de l'ordinateur et configurer les paramètres de communication, tels que la vitesse de transmission et les paramètres de parité, dans LabVIEW en utilisant les fonctions de communication série disponibles dans les bibliothèques de fonctions de LabVIEW.

### III.10.4 VISA

Est un standard industriel pour les communications entre des instruments électroniques et des ordinateurs. En utilisant VISA, on peut contrôler les instruments électroniques depuis LabVIEW ou d'autres environnements de programmation. Le pilote VISA est une bibliothèque de fonctions qui permet à un programme de communiquer avec des instruments électroniques via des ports série, parallèle, GPIB ou USB. LabVIEW fournit des bibliothèques de fonctions pour la communication VISA, telles que la fonction "VISA Configure Serial Port" pour configurer les ports série, la fonction "VISA Read" pour lire des données à partir d'un instrument électronique, et la fonction "VISA Write" pour écrire des données vers un instrument électronique.

### III.10.5 Les paramètres de communication RS232 et VISA

-Vitesse de transmission : 9600 bauds

La vitesse de transmission de 9600 bauds est une vitesse de communication relativement lente,

Parce que le changement de température dans RTD-PT100 est un changement lent alors pas besoin de grande vitesse de transmission

- Nombre de bits de données : 8 bits
- Nombre de bits de données dans une communication série typique est généralement de 8 bits,
- Nombre de bits de parité : typiquement aucun, paire ou impaire

Le nombre de bits de parité est une option de communication série qui peut aider à détecter et à corriger les erreurs de transmission de données. Il peut être défini sur aucun, paire ou impaire.

- Nombre de bits d'arrêt : typiquement 1 ou 2 bits
- Le nombre de bits d'arrêt est une autre option de communication série qui indique la fin d'un caractère de données. Typiquement, le nombre de bits d'arrêt est soit 1, soit 2 bits [15].

### III.10.6 LabVIEW et les microcontrôleurs simples

Les microcontrôleurs ont évolué au fil du temps pour inclure des fonctionnalités telles que l'entrée/sortie analogique, la mémoire, les bus de communication et l'USB. Les plateformes open source telles qu'Arduino et Raspberry Pi ont stimulé l'industrie de la

microélectronique en permettant aux développeurs de créer des produits avec des fonctionnalités avancées à moindre coût. Les produits tels que les shields Arduino et le Digilent ChipKit Uno32 ont été développés pour étendre les fonctionnalités des microcontrôleurs existants. Bien que ces plates-formes aient des limitations inhérentes, elles offrent une alternative économique et simple pour les tests et le développement de produits [11].

### **III.11 Conclusion**

L'utilisation de microcontrôleurs tels que le PIC, couplés à des outils de développement logiciel tels que LabVIEW, permet de créer des systèmes électroniques complexes et fonctionnels. L'intégration d'un écran LCD offre une interface utilisateur pratique pour l'affichage d'informations en temps réel. Ce type de système peut avoir des implications pratiques importantes dans de nombreux domaines, notamment l'automatisation industrielle, le contrôle de processus et la surveillance de systèmes critiques

# **Chapitre 4**

**Simulation et conception de  
système**

### IV.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la simulation, sous Proteus, du circuit électronique à base de microcontrôleur 16F876a pour la mesure de la température qui sera affiché sur un LCD et sur PC via un câble RS232, en utilisant le logiciel LabVIEW. Le logiciel LabVIEW est un environnement de développement qui permet de concevoir des applications de mesure et de contrôle en temps réel. Le câble RS232 est utilisé pour connecter le port série d'un ordinateur à un périphérique externe, tel qu'un microcontrôleur ou un autre ordinateur. Ce chapitre présentera les différentes étapes pour réaliser une simulation d'un circuit électronique de mesure de température avec Proteus, puis pour communiquer avec LabVIEW via un câble RS232.

### IV.2 Présentation de système

La figure IV.1 représente un système de mesure de température à base d'un capteur de température RTD PT100 interfacé avec un microcontrôleur PIC16F876A. Le circuit de conditionnement du signal issu du PT100 est utilisé pour obtenir une lecture précise de la résistance du capteur. La valeur numérique de la résistance est ensuite convertie en une valeur de température à l'aide d'un algorithme de conversion spécifique pour le PT100. La valeur de température et la résistance sont affichées sur un écran LCD. Les données du capteur peuvent également être transmises via une interface de communication RS232 pour une utilisation ultérieure.

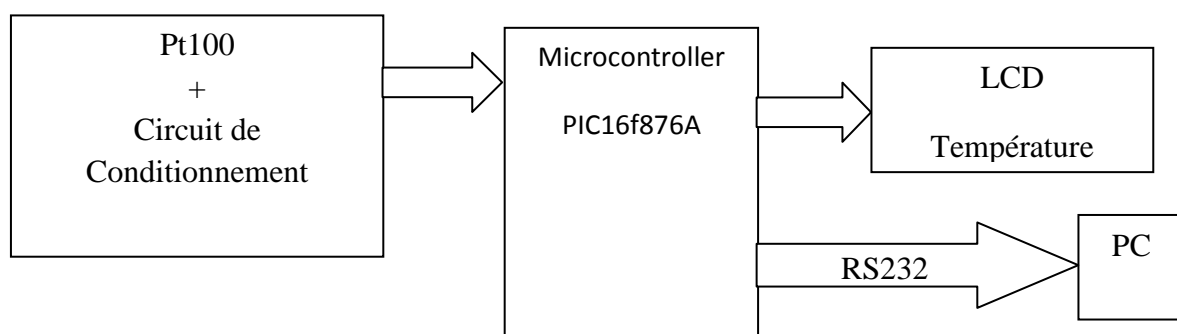


Figure IV.1 principe de fonctionnement capteur de température RTD PT100

IV.3 Schéma électronique de simulation

Les circuits pratiques de conditionnement et de commande développés dans les chapitres précédents, utilisée dans la simulation sous le logiciel Proteus, sont représentés respectivement dans les figures IV.2 et IV.3.

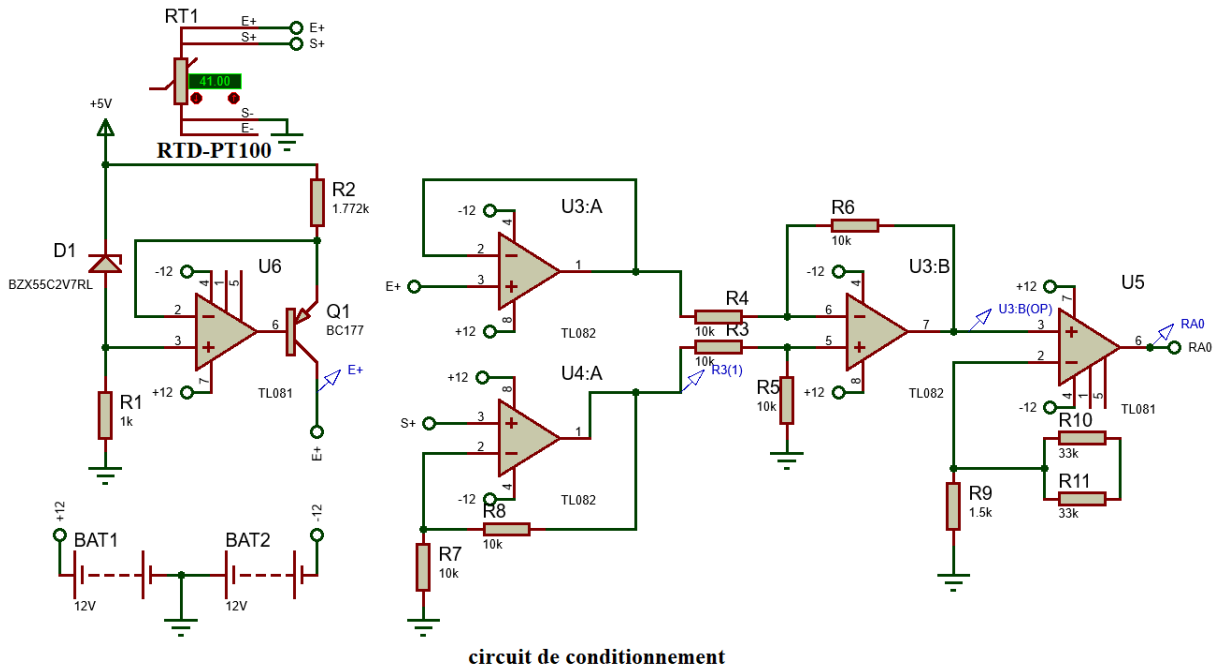


Figure IV.2 circuit de conditionnement avec PT100 et source de courant

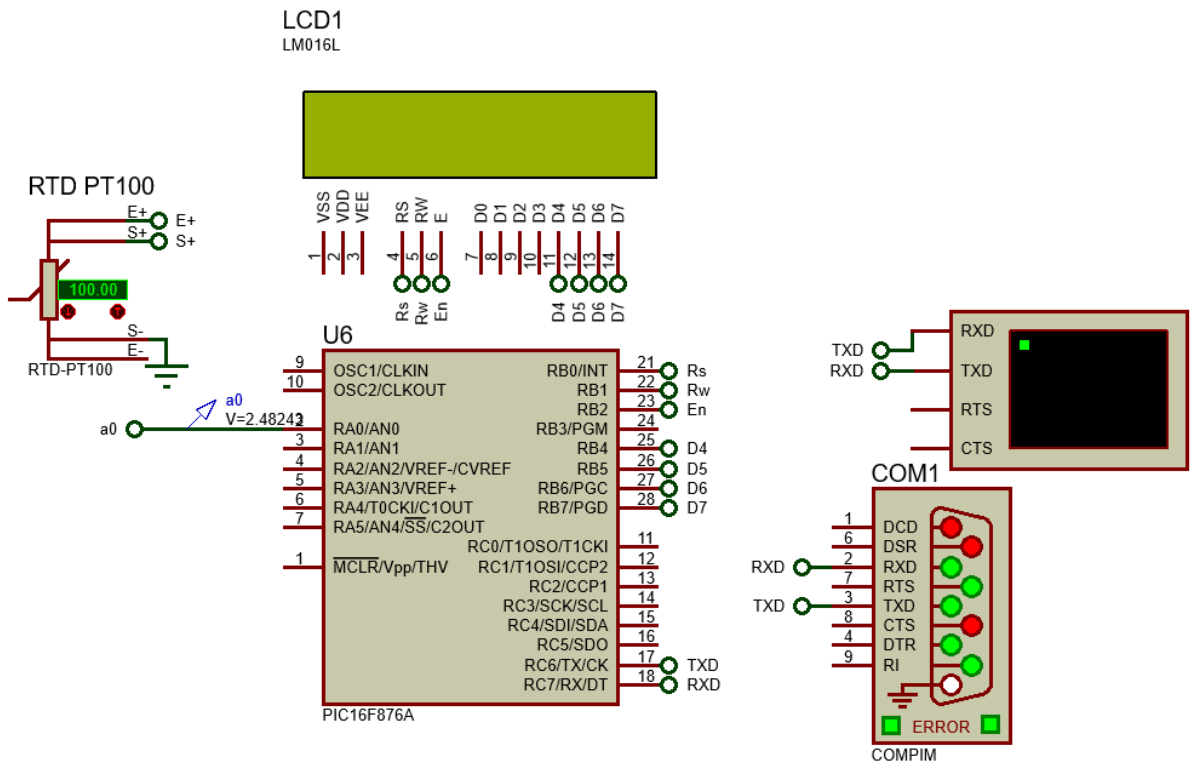


Figure IV.3 microcontrôleur avec afficher LCD et VERTICAL TERMINAL et COM RS232



La tension de sortie du circuit est trop faible pour être directement exploitée par le microcontrôleur. Elle doit être amplifiée par un amplificateur non-inverseur à AOP, afin que cette tension doit être étalée sur une plage de 5 volts, qui est la plage de tension que peut lire un microcontrôleur (voir figure )

#### IV.4 L'organigramme

##### IV.4.1 L'organigramme principal de notre projet

De méthodologie de mesure de température en utilisant pt100 ; consiste à lire la tension aux bornes du pt100, sachant qu'elle est parcourue par un courant constant 1mA sa résistance  $R_t$  peut être facilement calculée, ce qui nous permet d'extraire directement la valeur de la température via le modèle mathématique de la pt100. Cette méthodologie est bien illustrée sur l'organigramme suivant :

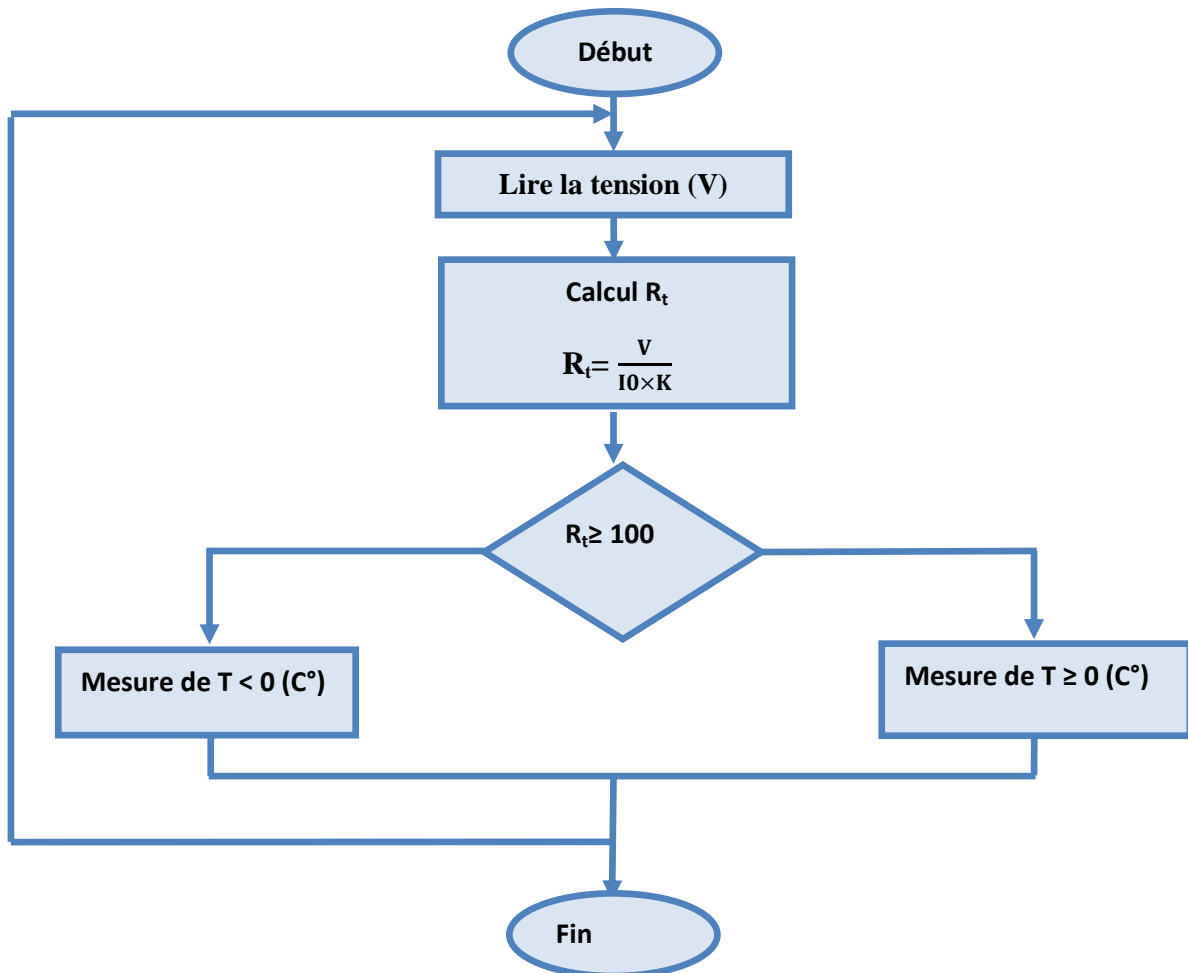


Figure IV.4 L'organigramme principal de notre carte

#### IV.4.2 sous organigramme de température avec température positif

Connaissant la valeur de la résistance du Tt100, La valeur de la température peut être extraire à partir de modèle de deuxième degré,

##### Le modèle simple

On sait que

$$R = R_0(1 + AT + B T^2)$$

$$\text{Avec : } A = 3.908 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$B = -5,775 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$$

$$C = -4.183 \times 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-3}$$

De la relation précédente on tire la valeur de

La température

$$T = \frac{-R_0 A + \sqrt{R_0^2 A^2 - 4 R_0 B (R_0 - R_T)}}{2 R_0 B}$$

Cette méthode est représentée sur l'organigramme

En face.

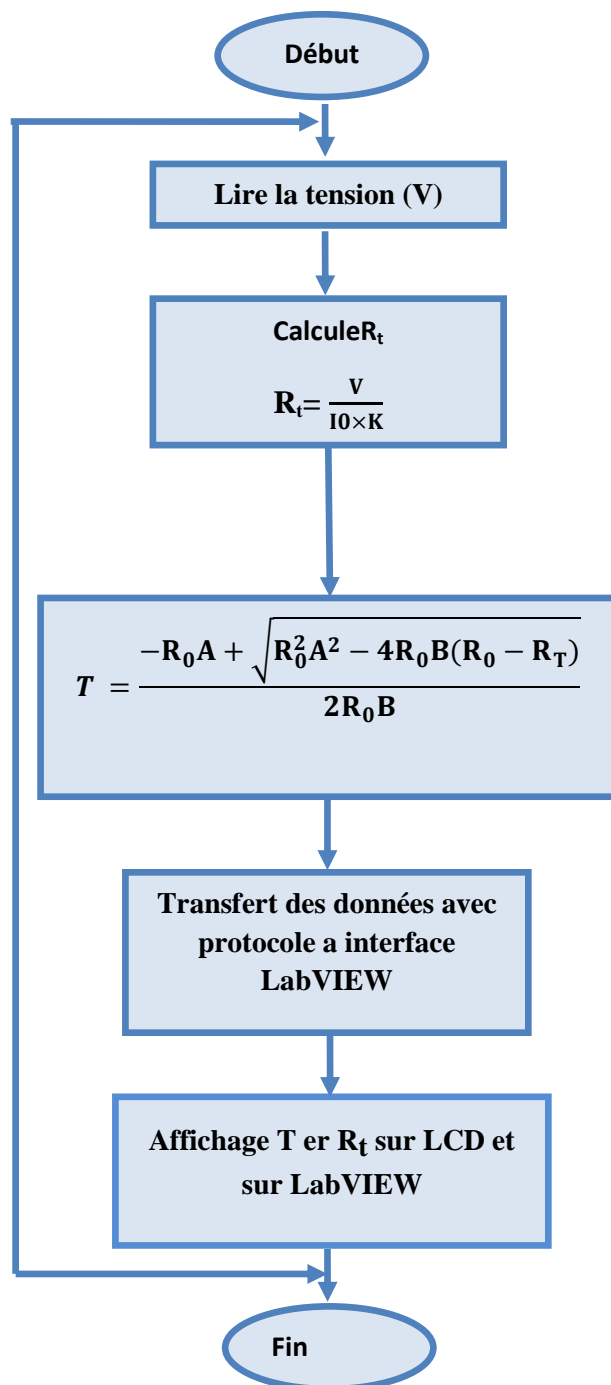


Figure IV.5 L'organigramme pour température positif

## IV.4.3 sous organigramme de température avec température négatif

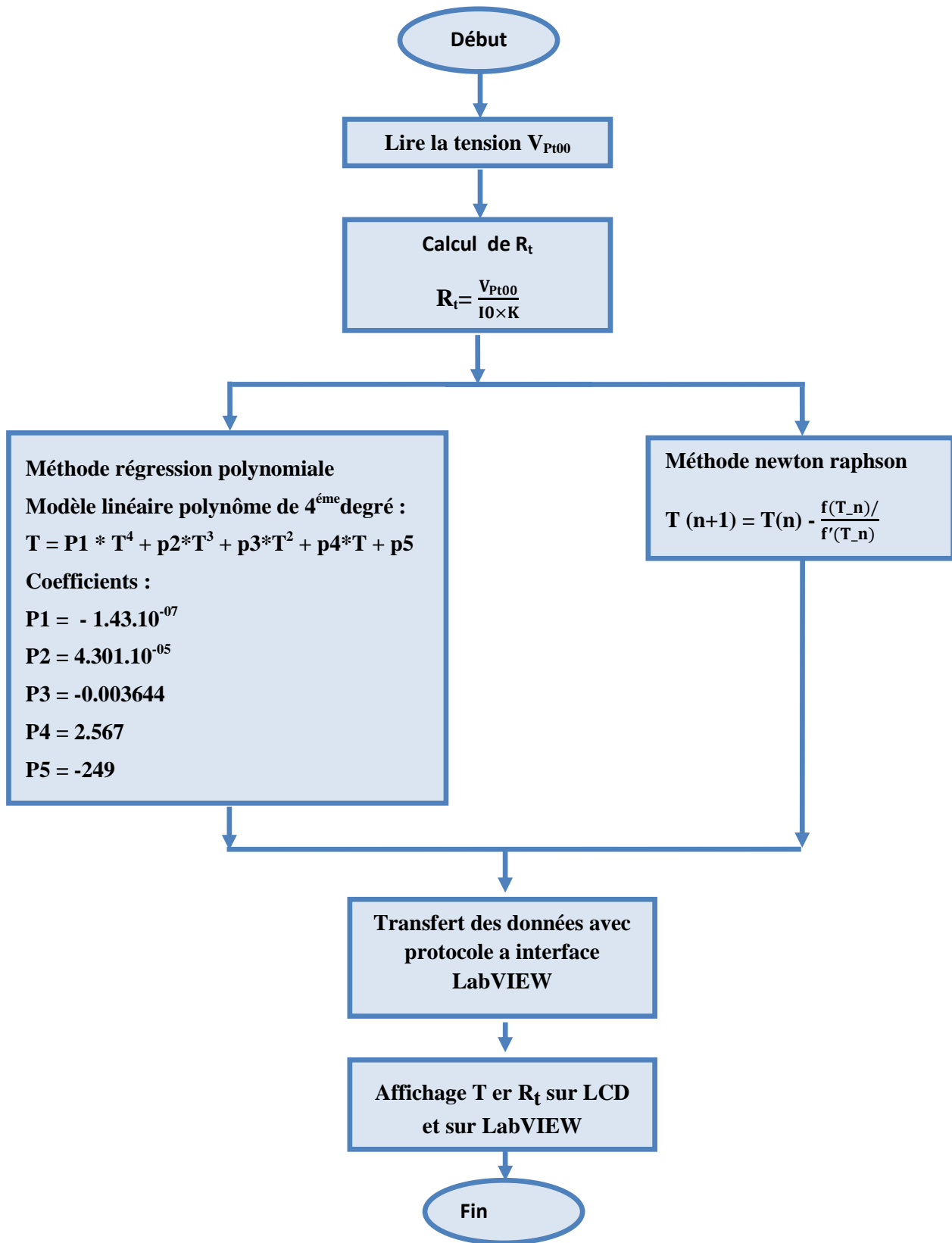


Figure IV.6 L'organigramme pour température positif

### IV.5 La méthode de Newton-Raphson

La méthode de Newton-Raphson est une méthode numérique utilisée pour trouver les racines d'une fonction ou résoudre une équation. C'est une méthode itérative qui commence par une estimation initiale et affine ensuite l'estimation jusqu'à ce qu'un niveau de précision souhaité soit atteint. La méthode de Newton-Raphson utilise la formule itérative suivante pour affiner l'estimation :

$$\mathbf{x}_{\{n+1\}} = \mathbf{x}_n - \mathbf{f}(\mathbf{x}_n)/\mathbf{f}'(\mathbf{x}_n)$$

où  $x_n$  est l'estimation courante,  $x_{\{n+1\}}$  est la prochaine estimation,  $f(x_n)$  est la valeur de la fonction à  $x_n$  et  $f'(x_n)$  est la dérivée de la fonction à  $x_n$ .

La méthode fonctionne en utilisant la tangente de la fonction à l'estimation courante pour approximer l'emplacement de la racine, puis en mettant à jour l'estimation pour qu'elle se situe là où la tangente croise l'axe des  $x$ . Ce processus est répété jusqu'à ce que le niveau de précision souhaité soit atteint.

#### IV.5.1 Avantages de la méthode de Newton-Raphson

- Rapidité de convergence : La méthode de Newton-Raphson est une méthode itérative qui converge généralement plus rapidement vers la solution que les autres méthodes numériques telles que la méthode de la bisection ou la méthode de la sécante.
- Adaptabilité : La méthode de Newton-Raphson est une méthode adaptable qui peut être utilisée pour résoudre une large gamme de problèmes mathématiques, tels que la recherche de racines, la recherche de minima ou maxima de fonctions, la résolution de systèmes d'équations non linéaires, etc.
- Efficacité : La méthode de Newton-Raphson peut être utilisée pour trouver des solutions numériques avec une grande précision et efficacité, en particulier lorsque les équations sont complexes ou non linéaires.

#### IV.5.2 Inconvénients de la méthode de Newton-Raphson

- Convergence : La méthode de Newton-Raphson peut ne pas converger si la dérivée de la fonction est proche de zéro ou si le point de départ initial est mal choisi. Il est donc important de choisir un point de départ initial approprié pour assurer la convergence.
- Complexité : La méthode de Newton-Raphson peut être plus complexe que d'autres méthodes numériques, car elle nécessite le calcul des dérivées de la fonction, qui peuvent être difficiles à évaluer ou à dériver analytiquement.

- Instabilité numérique : La méthode de Newton-Raphson peut être sujette à l'instabilité numérique si elle est mal utilisée. Par exemple, si la fonction a une tangente verticale ou une singularité, la méthode peut diverger ou donner des solutions erronées.

En résumé, la méthode de Newton-Raphson est une méthode numérique efficace et rapide, mais elle nécessite une attention particulière à la convergence, au choix du point de départ initial et à l'instabilité numérique.

#### IV.6 La méthode de régression polynomiale

La méthode de régression polynomiale est une méthode de calcul numérique qui consiste à trouver les coefficients d'un polynôme qui passe par un ensemble de points donné. Elle est souvent utilisée en interpolation de données.

L'idée de base de la méthode de régression polynomiale est de trouver un polynôme de degré  $n$  qui passe exactement par  $n+1$  points donnés. Les coefficients du polynôme sont alors trouvés en résolvant un système d'équations linéaires. Le polynôme ainsi obtenu peut ensuite être utilisé pour interpoler des valeurs de la fonction entre les points donnés.

##### IV.6.1 Les avantages de la méthode des polynômes sont

- Flexibilité : La méthode des polynômes peut être utilisée pour interpoler des données dans des domaines continus ou discrets, et pour traiter des données en une ou plusieurs dimensions.
- Précision : La méthode des polynômes permet d'obtenir une interpolation exacte des données si les points sont donnés sans erreur.
- Facilité d'implémentation : La méthode des polynômes est facile à implémenter et à programmer, même pour les débutants.

##### IV.6.2 Les inconvénients de la méthode des polynômes sont :

- Instabilité numérique : La méthode des polynômes peut être sujette à l'instabilité numérique si les données sont mal conditionnées ou si le degré du polynôme est trop élevé.
- Complexité : La méthode des polynômes peut devenir complexe si le nombre de points à interpoler est élevé ou si la dimension des données est grande.
- Surajustement : La méthode des polynômes peut surajuster les données si le degré du polynôme est trop élevé, ce qui peut conduire à une interpolation incorrecte des données.

En résumé, la méthode des polynômes est une méthode efficace pour interpoler des données, mais elle peut être sujette à l'instabilité numérique, à la complexité et au surajustement. Il est important de choisir le degré du polynôme et le nombre de points à interpoler avec soin pour obtenir une interpolation précise des données.

### IV.6.3 Application de la méthode du polynôme sur RTD en négative température

Dans logicielle MATLAB Nous prenons un ensemble de points de R et ses images en T

Et en calcule le du polynôme de degré 4

```

clc
clear
% Resistance values for temperatures between -100°C and 0°C
R = [60.26 62.28 64.30 66.31 68.33 70.33 72.33 74.33 76.33 78.32 80.31 82.29 84.27 86.25 88.22 90.19 92.16 94.12 96.09 98.04 100

% Temperature values for the same resistance values (measured using a reference thermometer)
T = [-100 -95 -90 -85 -80 -75 -70 -65 -60 -55 -50 -45 -40 -35 -30 -25 -20 -15 -10 -5 0];

% Fit a polynomial to the data using curve fitting toolbox
f = fit(R', T', 'poly4')

```

Trouvère polynôme de degré 4 avec les 5 coefficients

```

Linear model Poly4:
f(x) = p1*x^4 + p2*x^3 + p3*x^2 + p4*x + p5
Coefficients :
p1 = -1.43e-07
p2 = 4.301e-05
p3 = -0.003644
p4 = 2.567
p5 = -249

```

Le modèle empirique (voir tableau en annexe) avec le modèle de régression polynomiale sont tracé sur la figure IV.7

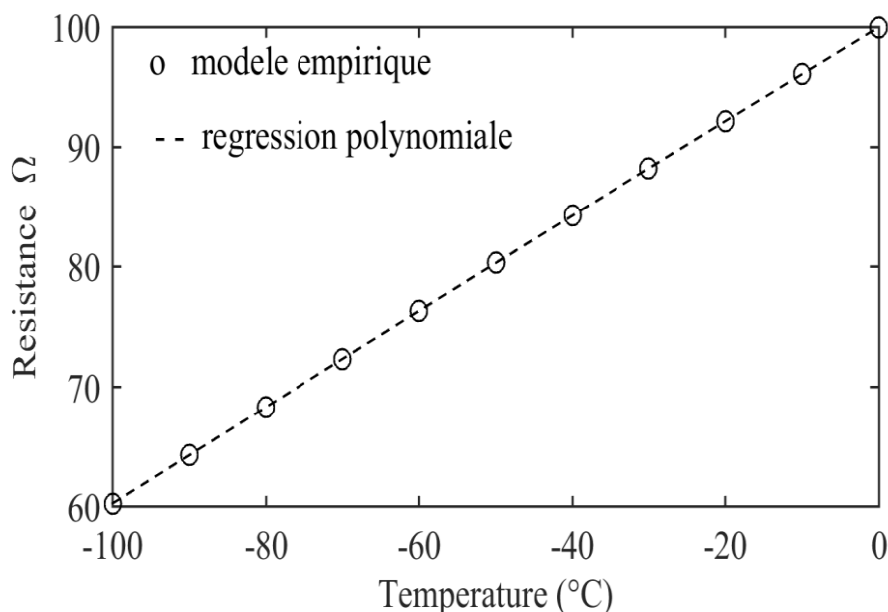


Figure IV.7 graphe présenté température en fonction de  $R_t$

De cette courbe, on constate que les deux modèles sont en parfaite concordance.

#### IV.7 Test et vérification

Dans le tableau suivant on constate que les deux modèles sont très proches, et que l'erreur qui la différence entre ces deux modèles est très faible.

R(Ohm)	T(C°) (tableau)	T (C°) calculée (polynôme)	Erreur
60.06	-100	-99.9990	0.0001
70.33	-75	-75.0015	0.0015
80.31	-50	-49.9926	0.0074
90.19	-25	-25.0042	0.0042

Table IV.1 : Calcul de la Température à l'aide de polynôme

Erreur < 0.01, alors : bon résultats pour le polynôme

Alors on peut utiliser cette régression polynomiale dans mesure de température négative.

#### IV.8 Résultat de Simulation

Dans le tableau suivant, on enregistre les valeurs issues du tableau avec celles mesurées par notre circuit à base de microcontrôleur

T (°C)	-100	-50	-20	-10	0	50	100	150	200
R <sub>t</sub> (Ω) sur le datasheet	60.26	80.31	92.16	96.09	100.00	119.40	138.51	157.33	175.86
R <sub>t</sub> (Ω) sur l'LCD	58.869	79.759	91.959	96.029	100.09	119.90	139.70	159.23	178.22

Table IV.2 : Comparisons R<sub>t</sub> de datasheet avec R<sub>t</sub> affiché

#### Observation

Ces résultats montrent une légère différence entre les valeurs de résistance inscrites sur le datasheet et celles affichées sur l'écran LCD. Cela peut être dû à des erreurs de mesure ou à des différences entre les conditions de mesure. Il est important de tenir compte de ces différences lors de l'utilisation de capteurs de température pour assurer des mesures précises et fiables.

Résultat de simulation de mesure de la température en utilisant les algorithmes décrits précédemment

$$\Delta T = |T_{PT100} - T_m|$$

Les valeurs de températures et résistance PT100 sont affichées dans VIRTUAL TERMINAL et LCD

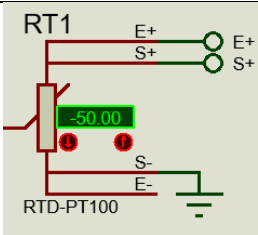
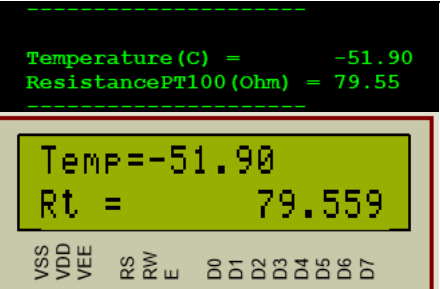
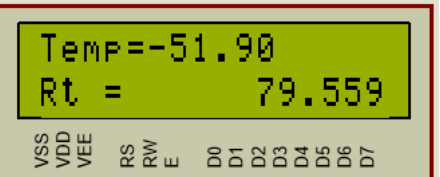
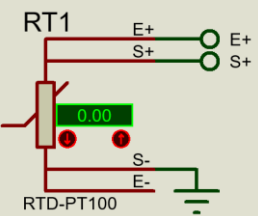
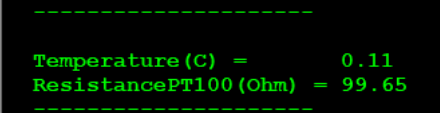
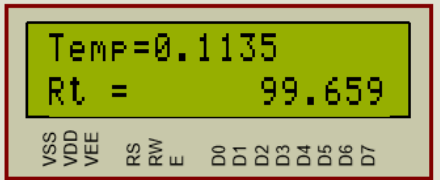
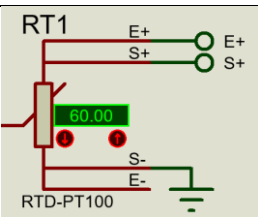
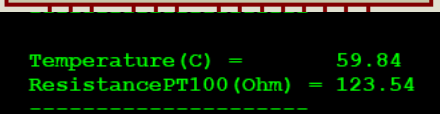
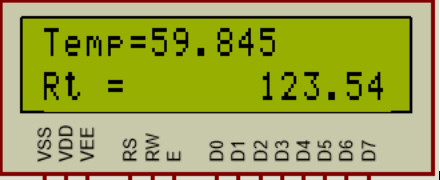
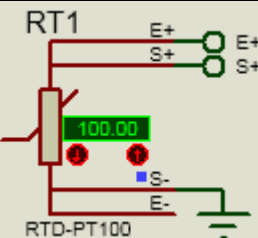
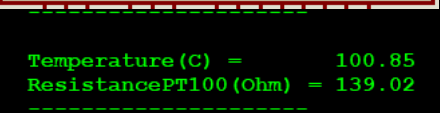
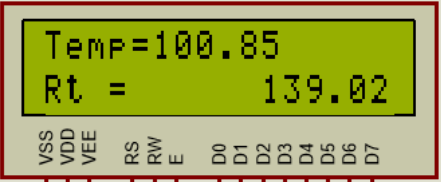
Température	PT100	Affichage	Erreur (C°)
		-Virtual terminal -LCD	
-50		 	$\Delta T = 1.9$
0		 	$\Delta T = 0.11$
60		 	$\Delta T = 0.16$
100		 	$\Delta T = 0.85$

Table IV.3 :Résultats de simulation de mesure de la température



### Analyse de la précision du capteur de température PT100 en fonction de la température

Les valeurs que nous avons obtenues indiquent que l'erreur est de -1,9 degrés Celsius à -50 degrés Celsius, de 0,11 degré Celsius à 0 degré Celsius, de -0,16 degré Celsius à 60 degrés Celsius, et de 0,85 degré Celsius à 100 degrés Celsius. Et qui sont des erreurs très acceptables en pratique.

Ces erreurs peuvent être corrigées en procédant à une opération d'étalonnage ou de calibrage de notre circuit de mesure.

#### IV.10.6 Interface LabVIEW (L'exécution du code LabVIEW)

Dans le cadre de ce projet, nous avons réalisé une interface de contrôle de température à l'aide du logiciel LabVIEW. Cette interface permet de contrôler la température en temps réel à l'aide d'un capteur PT100 et d'un circuit de conditionnement de signal à base de source de courant constant. Elle offre également des fonctionnalités telles que l'affichage graphique de la température en temps réel, la possibilité de régler la température de consigne et le choix de différents modes de contrôle de température. L'interface est conviviale et facile à utiliser, ce qui en fait un outil pratique pour les applications de contrôle de température.

Il s'agit d'une interface qui affiche les changements qui se produisent sur un capteur de température, en affichant la valeur actuelle de température mesurée par le capteur ainsi que la valeur de sa résistance actuelle. L'interface graphique de mesure de température est représentée sur la figure IV.8

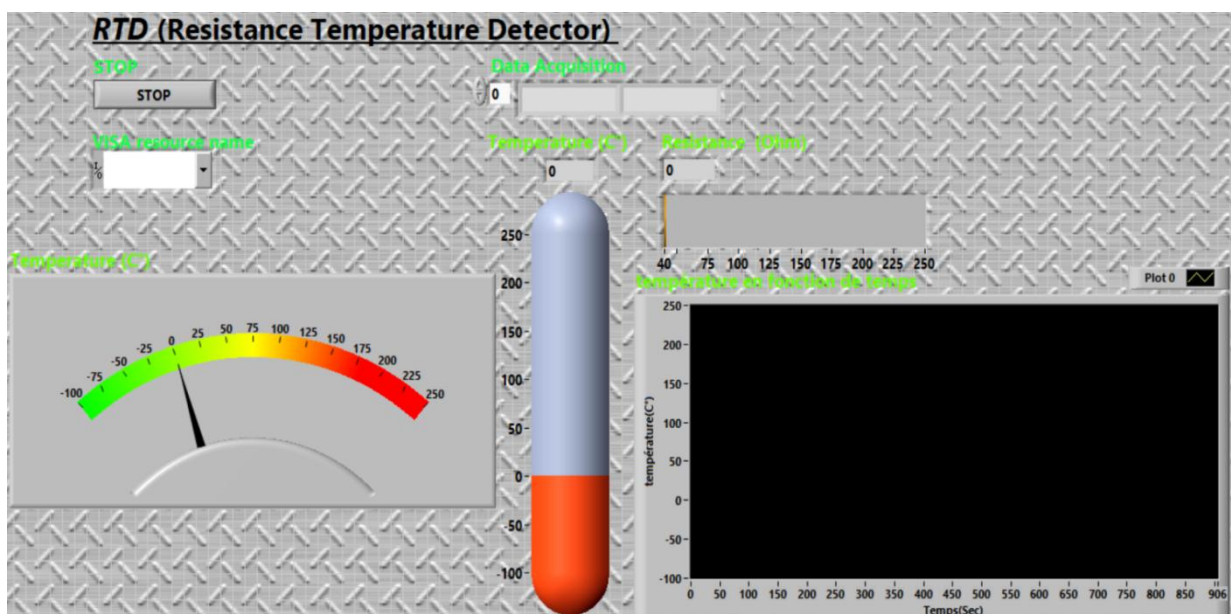


Figure IV.8 Interface LabVIEW(L'exécution du code LabVIEW)

IV.10.6.1 Résultat de simulation sur LabVIEW

L'interface graphique de mesure et d'affichage de température et de la résistance de la pt100 sont représentées sur la figure IV.8

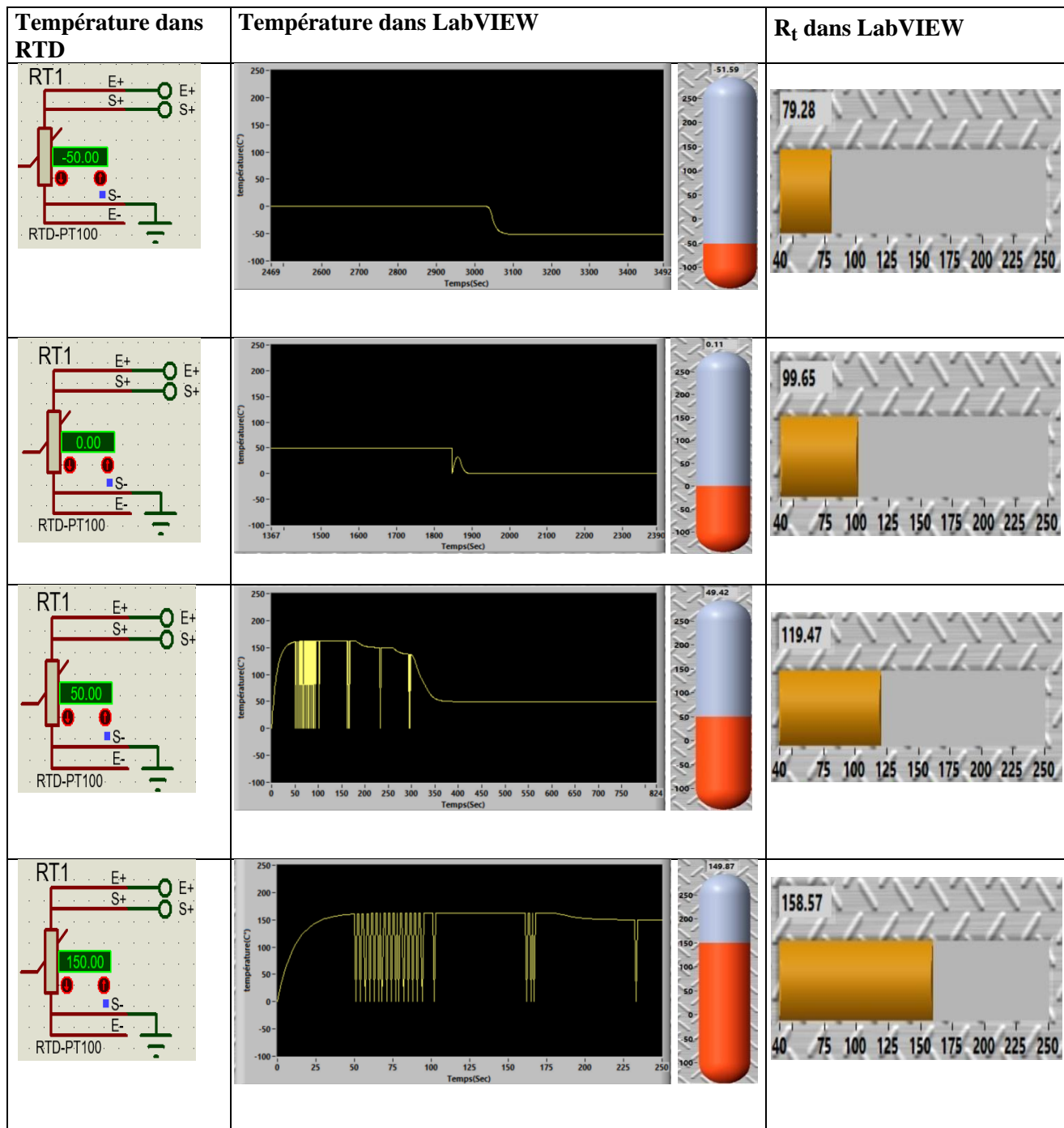


Figure IV.4 : résultat affiché sur l'interface de LabVIEW

#### IV.10.6.2 L'enregistrement des données

Dans le cadre de notre projet, nous avons intégré une fonctionnalité à l'interface LabVIEW permettant d'enregistrer l'historique des changements de température dans le temps. Cette fonctionnalité enregistre les données de température dans un fichier Excel dédié. L'enregistrement de l'historique des changements de température dans un fichier Excel offre plusieurs avantages. Tout d'abord, cela permet une collecte systématique et organisée des données, facilitant ainsi leur analyse ultérieure. De plus, en utilisant un format couramment utilisé comme Excel, les données enregistrées peuvent être facilement partagées, traitées et visualisées par d'autres membres de l'équipe ou des parties prenantes. Cette fonctionnalité fournit également une trace précise des variations de température dans le temps, ce qui peut être crucial pour l'analyse de tendances, la détection de fluctuations anormales ou la corrélation avec d'autres paramètres du système.

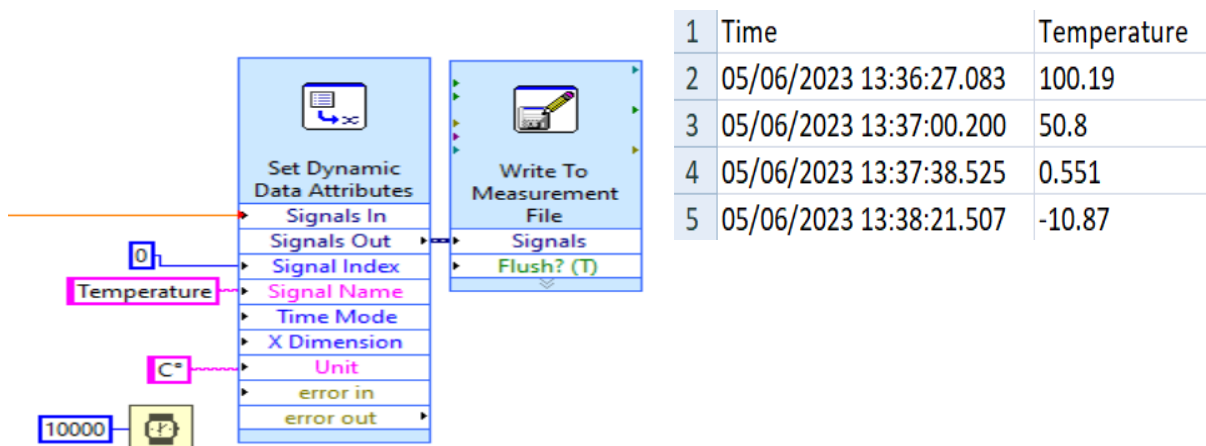


Figure IV.9 block diagramme de l'enregistrement Table IV.5 résultat d'enregistrement

#### IV.11 Conclusion

LabVIEW est un environnement de développement puissant et polyvalent pour la création d'applications de mesure et de contrôle en temps réel, doté d'une méthode de programmation graphique intuitive et de nombreuses bibliothèques de fonctions. Les applications créées avec LabVIEW sont efficaces pour le traitement de grandes quantités de données en temps réel et peuvent être intégrées à d'autres équipements et systèmes.

LabVIEW est un outil très utile pour les ingénieurs et les scientifiques travaillant dans le domaine de la mesure et du contrôle.

# **Chapitre 5**

**Préparation de la plaque de  
circuit imprimé**

## V.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous aborderons la préparation de la plaque de circuit imprimé, une étape essentielle dans la réalisation de circuits électroniques. La plaque de circuit imprimé est le support physique sur lequel les composants électroniques sont montés et interconnectés pour former un circuit fonctionnel.

La préparation de la plaque de circuit imprimé implique plusieurs étapes, dont la conception du schéma électrique, le choix des composants, la disposition des traces de cuivre et la gravure de la plaque. Ces étapes garantissent un agencement précis et efficace des composants, ainsi qu'une bonne conductivité électrique entre eux.

Dans cette première étape, nous nous concentrerons sur la préparation de la plaque d'essai, qui est une version initiale de la plaque de circuit imprimé utilisée pour vérifier et tester la fonctionnalité du circuit avant sa production finale. Cela permet d'identifier et de corriger d'éventuelles erreurs de conception ou de câblage.

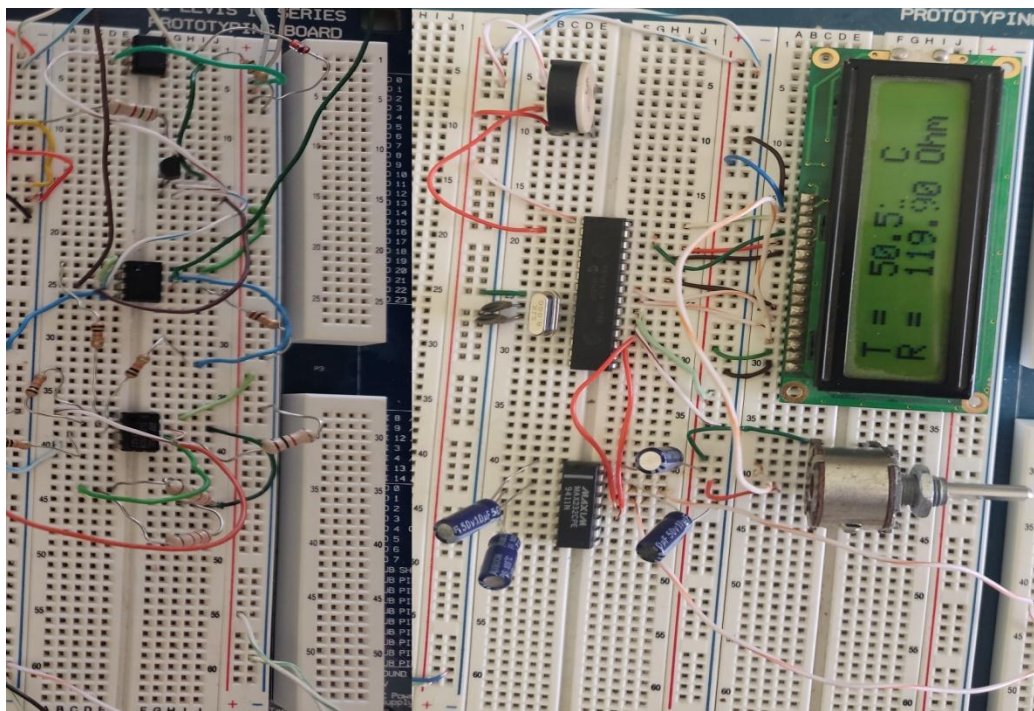


Figure V.1 préparation de la plaque d'essai

Nous explorerons les différentes techniques et outils nécessaires pour préparer la plaque d'essai, y compris le choix de la plaque de base, la découpe des traces de cuivre, la fixation des composants et la réalisation des connexions électriques. Nous verrons également comment utiliser des fils de connexion et des bornes pour faciliter les tests et les ajustements.

La préparation de la plaque de circuit imprimé constitue une étape cruciale pour assurer le bon fonctionnement et la fiabilité du circuit électronique. Elle nécessite une

planification minutieuse, une attention aux détails et une connaissance approfondie des techniques de câblage. En suivant les bonnes pratiques et en maîtrisant les compétences requises, nous serons en mesure de préparer une plaque de circuit imprimé de qualité, prête à être utilisée dans nos projets électroniques.

## V.2 Liste de Composante

Composent	référence	Quantité	Valeur	Descriptions
Circuit intégré	PIC16F876A	1	/	U1
	TL082	4	/	U4 : B, U3 : A, U4 : A, U3 : B
	TL081	1	/	U5
Capteur de température	RTD (pt-100)	1	/	RT1
Condensateur	Céramique	2	0.1nF	C1, C2
Transistors	BC177	1	/	Q1
Diode ziner	BZX55C2V7RL	1	2.7v	D1
Quartz	/	1	8.000 Hz	CRY1
Résistances	/	5	10K $\Omega$	R3, R4, R6, R7, R8
	/	2	33K $\Omega$	R10, R11
	/	1	1K $\Omega$	R1
	/	1	1.5k $\Omega$	R9
	/	1	Variable	R2
LCD	LM016l	1	/	LCD1
Batterie	/	2	12v	BAT1, BAT2
RS232	J1	1	/	Rs232
Max232	U2	1	/	Max232
Capacité	C1 – C4	4	47 $\mu$ F	C1 – C4
	C5 – C6	2	1nF	C5 – C6

Table V.1 Matérielle utilisé

V.3 PCP Layout

nous allons explorer le processus de conception de circuit imprimé (PCB) et la création d'un agencement (layout) efficace. Le layout du PCB joue un rôle crucial dans la performance et la fiabilité du circuit électronique final. Nous allons examiner les différentes étapes de la conception du layout, y compris la disposition des composants, le routage des pistes et l'optimisation de l'agencement pour réduire les interférences et les problèmes de compatibilité électromagnétique. Nous aborderons également les considérations de conception spécifiques, telles que la taille de la carte, le placement des composants critiques et les règles de routage. Grâce à une conception soignée du layout du PCB, nous pouvons maximiser les performances du circuit et assurer son bon fonctionnement dans différents environnements et conditions.

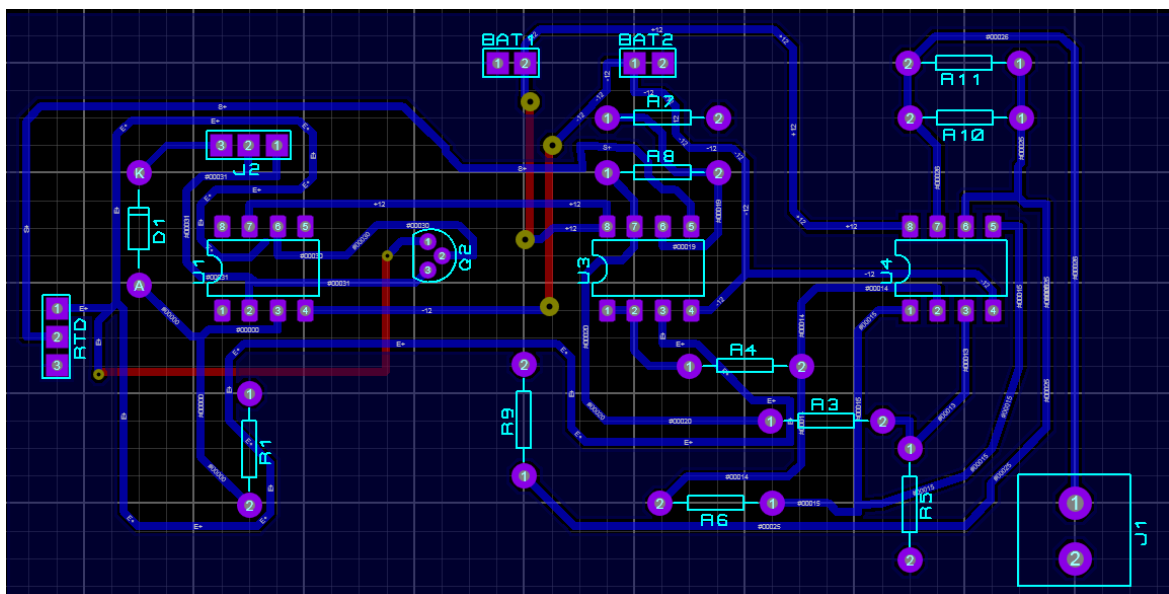


Figure V2. PCP de circuit de conditionnement avec PT100 et source de courant

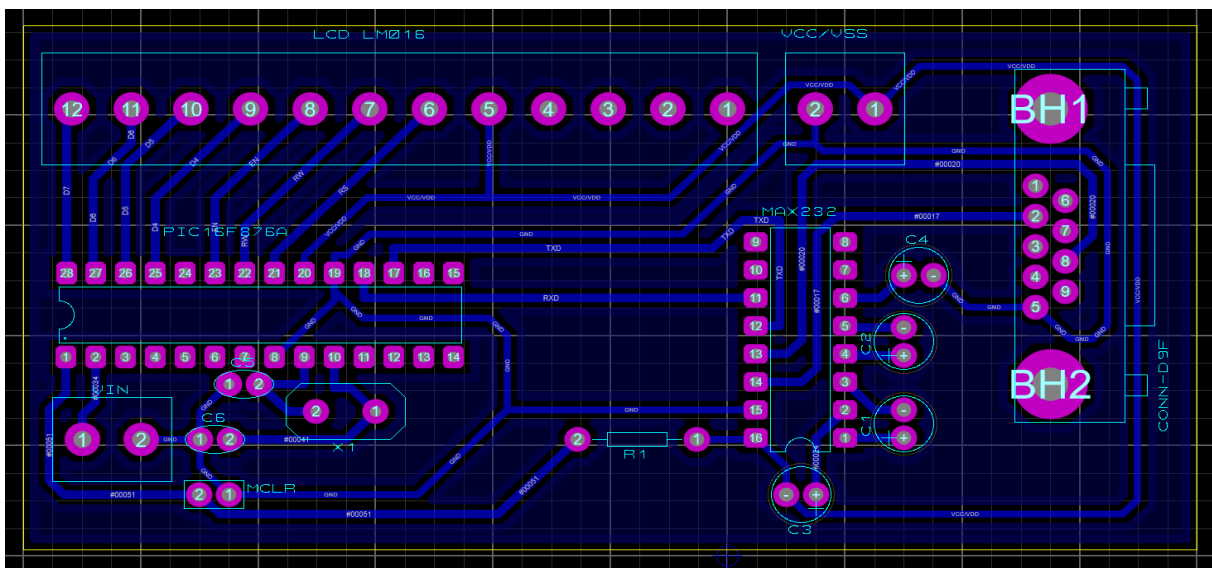


Figure V.3 PCB de Microcontrôleur avec afficher LCD et VERTICAL TERMINAL et RS232



#### V.4 circuit imprimé

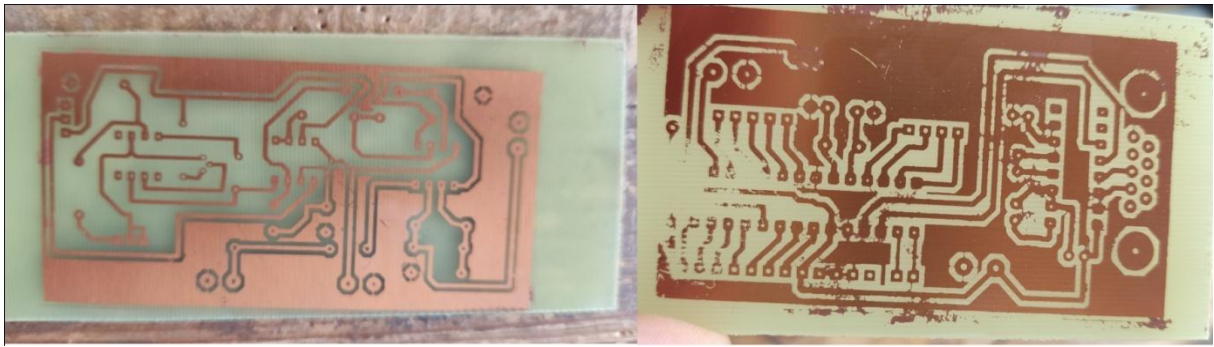


Figure V.4 : Circuit imprimé

La carte de circuit de commande Cela n'a pas fonctionné car certains de ses fils ont été coupés par l'acide

#### V.4.1 Carte circuit de conditionnement après réalisation

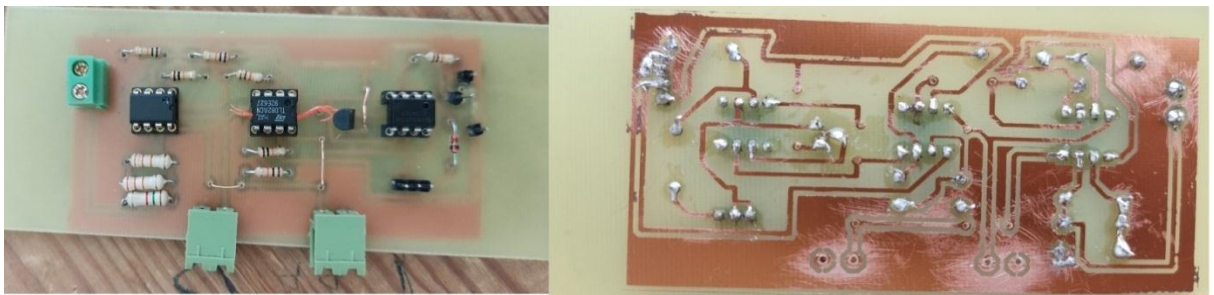


Figure V.5 : Circuit imprimé après soudure des composants

#### V.5 Résultats expérimentaux

Nous avons implémenté le circuit de commande sur la carte de test et le circuit conditionnel, nous avons réalisé le circuit imprimé

### V.5.1 Étalonnage de la source de courant

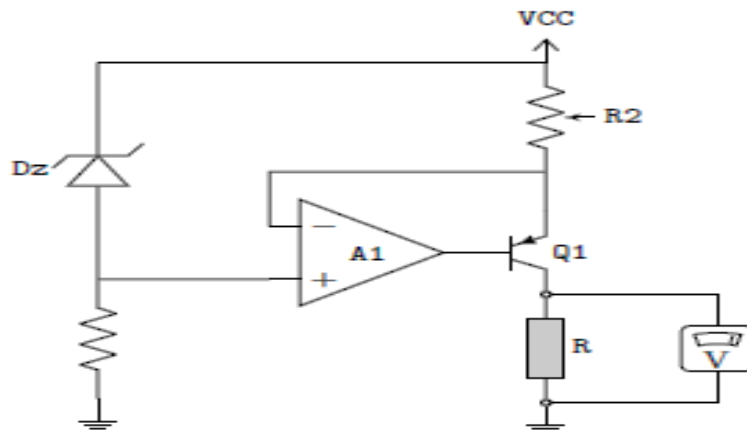


Figure V.6: Schéma de principe pour étalonner la source de courant

Au lieu d'utiliser une sonde PT100, nous avons utilisé une résistance de 120 ohms. En mesurant cette résistance avec un ohmmètre, nous avons obtenu une valeur de  $R = 120$  ohms. En ajustant la résistance R2, nous avons réussi à obtenir une tension la plus proche possible de 0,120 V. La valeur mesurée de cette tension est  $V = 0,120$  V. Par conséquent, notre générateur de courant délivre effectivement un courant fixe de 1 mA. Les résultats des mesures de V sont représentés dans la figure suivant.

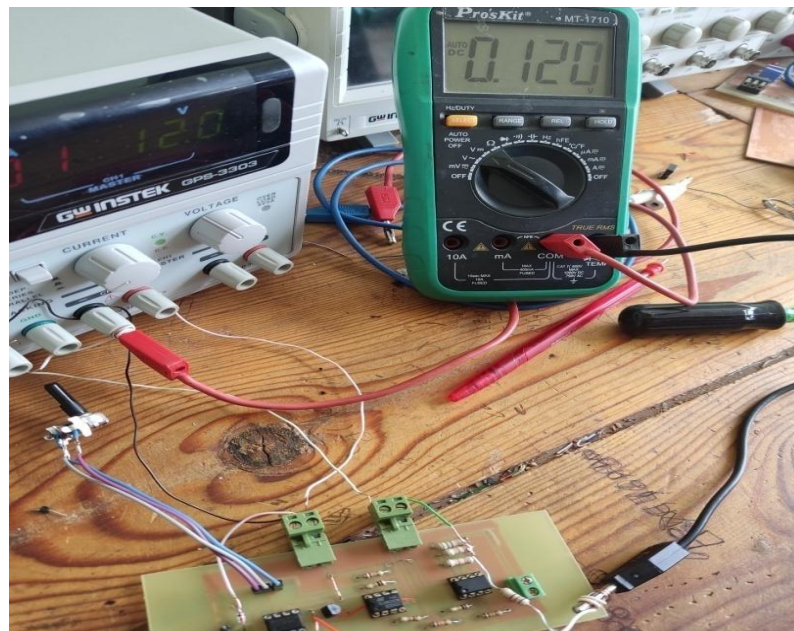


Figure V.7 Résultats de mesures V

### V.5.2 Mesure de T et Rt

**Test de la carte de mesure de température**

Le tableau V.2 est pour tester le circuit de commande avec une potentiomètre. Le potentiomètre remplacer le circuit de conditionnement et trouve les valeurs suivant

RT(Ohm)	100.3	139.1
Vin(v)	1.8	2.5
T(C°)	0.55	100.19

Table V.2 la tension applique sur le microcontrôleur

Nous avons bien teste que notre circuit de mesure de T a base des algorithmes de voltage précédent, implanté dans le microcontrôleur nous trouver des résultat très satisfait

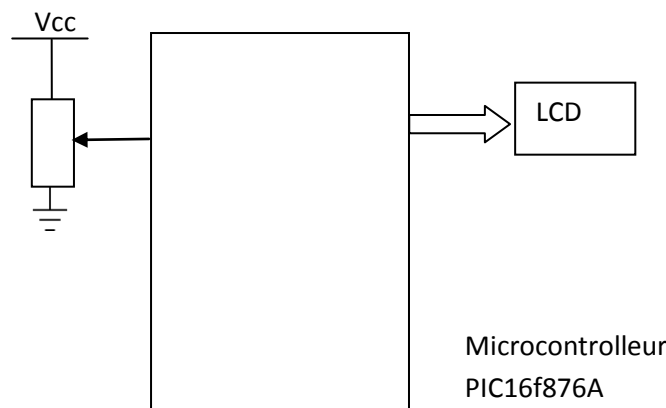


Figure V.8 schéma de fonctionnement de circuit de commande

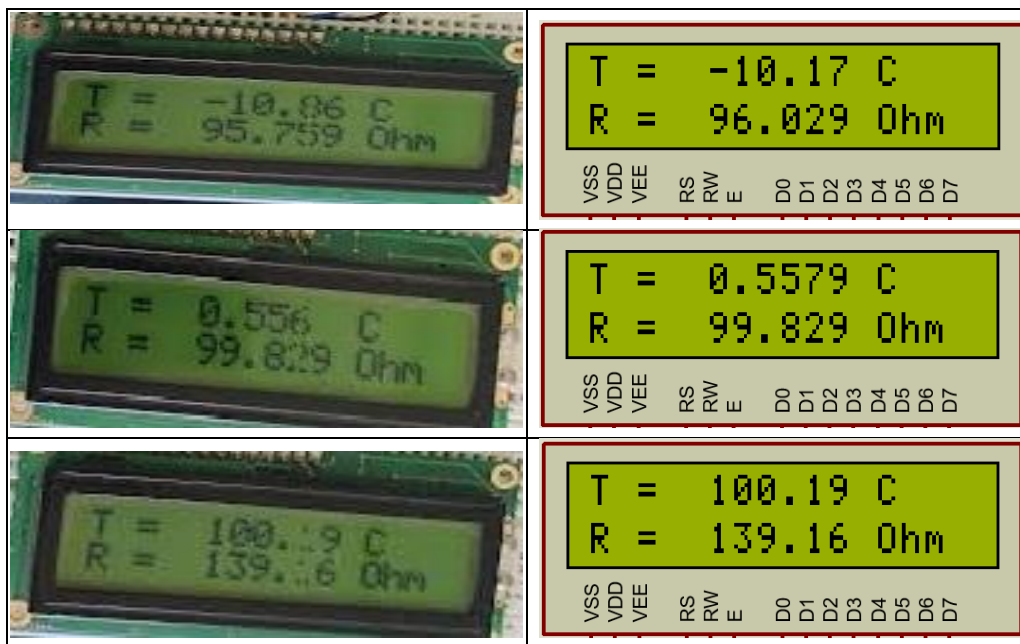


Figure V.9 résultats de mesure pratique et de simulation de la température T et la résistance RT

Il est clairement évident que ces résultats sont en totale conformité, ce qui confirme expérimentalement la validité de notre circuit de simulation.

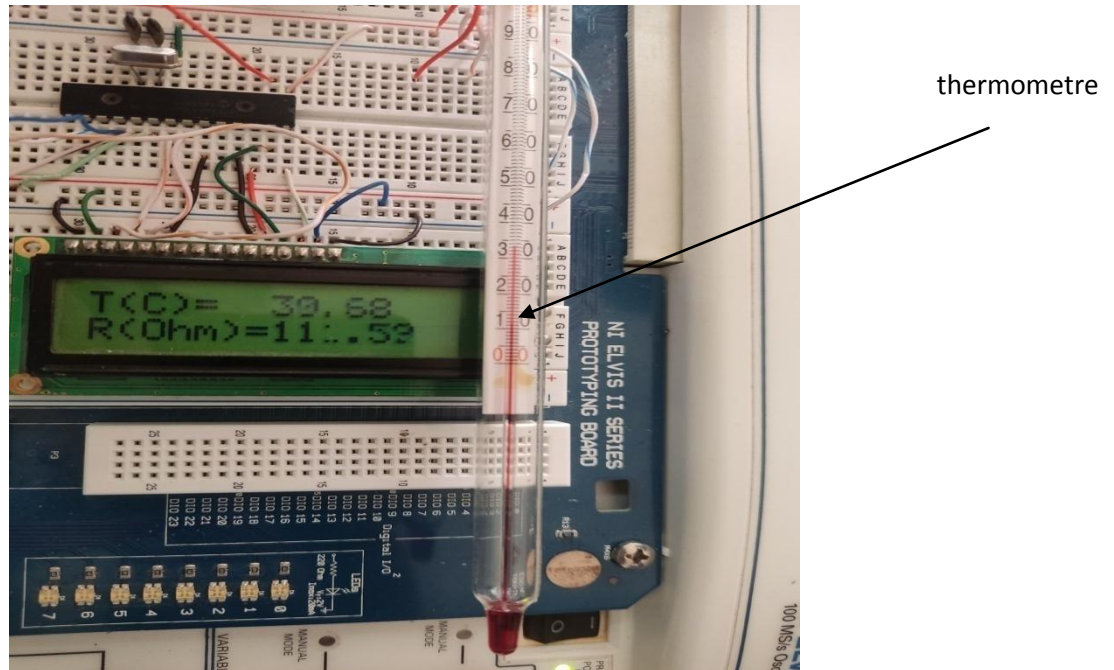


Figure V.10 comparaison températures mesurées par carte électronique et thermomètre

La figure représente la comparaison entre les températures mesurées par carte électronique et thermomètre, du fait que le thermomètre donne des mesures fiables, il peut être considéré dans notre cas comme instrument de mesure étalon. De plus, il est nettement visible qu'il y a une parfaite concordance entre les deux résultats, ce qui montre la fiabilité de notre carte électronique de mesure. Pour la résistance, il est tout à fait clair qu'il y a une correspondance parfaite entre celle mesurée et celle du tableau empirique de la PT100.

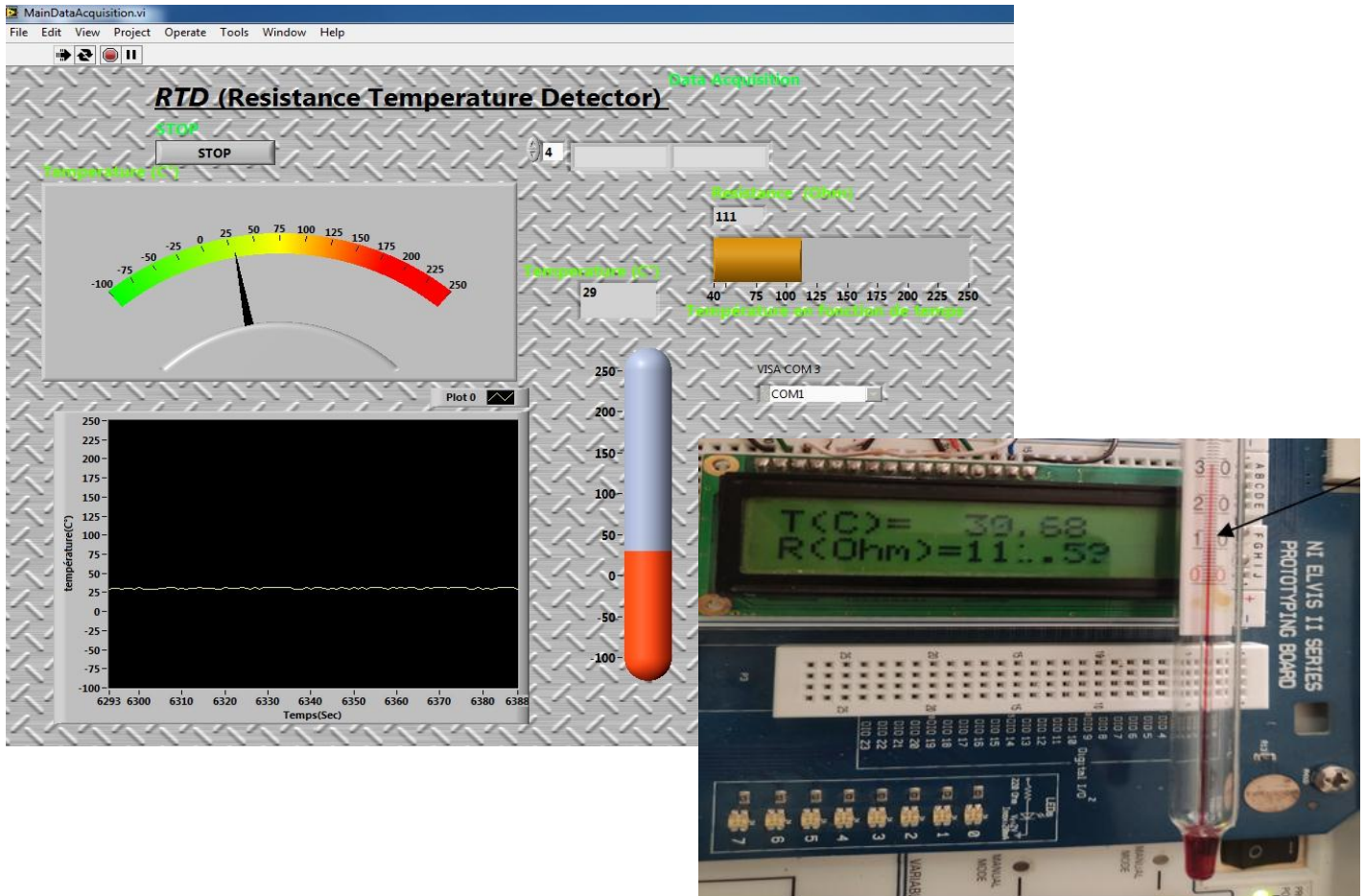


Figure V.11 affichage de la température mesurée sur un LCD et sur l'écran d'un PC via une liaison RS232

De la figure on constate bien que notre système de mesure et d'affichage de la température ainsi que la résistance de la RTD fonctionnent correctement.

## V.5 Conclusion

Dans le cadre de notre étude, nous avons réalisé un circuit imprimé et effectué des mesures expérimentales pour valider les résultats de simulation. Les résultats obtenus ont démontré une concordance significative entre les valeurs mesurées et les prédictions théoriques. Cela confirme la validité du circuit de simulation et renforce notre confiance dans sa capacité à reproduire fidèlement le comportement du système étudié. Ces résultats expérimentaux représentent une étape importante dans la validation et la fiabilité de notre circuit, ouvrant ainsi la voie à de futures applications et développements basés sur ces travaux.

# **Conclusion général**

# Conclusion général

Le projet de fin d'études (PFE) intitulé "Etude et réalisation d'une carte à base de PIC microcontrôleur de mesure de température à de PT100" a été mené à bien grâce à la mise en œuvre de compétences techniques et pratiques en électronique et en programmation.

Nous avons réalisé une carte électronique a base de microcontrôleur PIC 16F876A capable de mesurer la température à l'aide d'une sonde PT100. La carte est équipée d'un écran LCD pour afficher les résultats de la mesure en temps réel et elle peut transmettre à un ordinateur via une liaison RS232.

La plage de mesure de la température s étend de -100 jusqu' a 250 c. ou des algorithmes de l extraction de la valeur de la résistance a partir de la résistance de la Pt 100 sont testes sous matlab et implantés dans le microcontrôleur

Nous avons également effectué des tests de validation pour vérifier la fiabilité et la précision de la carte, en comparant les résultats avec des mesures effectuées par un thermomètre de référence. Les résultats obtenus sont très satisfaisants du fait que l'écart entre mesures ne dépasse pas 1 °C

Ce projet peut être utilisé dans diverses applications nécessitant une mesure de température précise et fiable, telles que les systèmes de contrôle de climatisation, les systèmes de chauffage et les laboratoires pédagogiques et de recherches scientifiques.

Comme perspective, ce projet peut être amélioré en procédant à une opération rigoureuse d'étalonnage de ce système de mesure, Assi le control et la régulation de la temperature implique dans des systèmes industriels faisant appel à des régulations de temperature

Cette plateforme peut être exploité pour les travaux pratiques du module capteurs

# Abbreviations

**ADC** analog to digital converter

**AD** analog digital

**VISA** Virtual Instrument Software Architecture

**LCD** Afficheur à cristaux liquide

**CPU** Central processing unit

**CTN** Coefficient de Température Négatif

**CTP** Coefficient de Température Positif

**LED** Light emitting diode

**RAM** Random access memory

**PIC** Peripheral Interface Controller

**RTD** Resistance Temperature Detector

**UAL** Arithmetic logic unit



# ANNEXE

°C	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	°C
-200	18,52											-200
-150	39,72	37,64	35,54	33,44	31,34	29,22	27,10	24,97	22,83	20,68	18,52	-150
-100	60,26	58,23	56,19	54,15	52,11	50,06	48,00	45,94	43,88	41,80	39,72	-100
-50	80,31	78,32	76,33	74,33	72,33	70,33	68,33	66,31	64,30	62,28	60,26	-50
-0	100,00	98,04	96,09	94,12	92,16	90,19	88,22	86,25	84,27	82,29	80,31	-0
0	100,00	101,95	103,90	105,85	107,79	109,73	111,67	113,61	115,54	117,47	119,40	0
50	119,40	121,32	123,24	125,16	127,08	128,99	130,90	132,80	134,71	136,61	138,51	50
100	138,51	140,40	142,29	144,18	146,07	147,95	149,83	151,71	153,58	155,46	157,33	100
150	157,33	159,19	161,05	162,91	164,77	166,63	168,48	170,33	172,17	174,02	175,86	150
200	175,86	177,69	179,53	181,36	183,19	185,01	186,84	188,66	190,47	192,29	194,10	200
250	194,10	195,91	197,71	199,51	201,31	203,11	204,90	206,70	208,48	210,27	212,05	250
300	212,05	213,83	215,61	217,38	219,15	220,92	222,68	224,45	226,21	227,96	229,72	300
350	229,72	231,47	233,21	234,96	236,70	238,44	240,18	241,91	243,64	245,37	247,09	350
400	247,09	248,81	250,53	252,25	253,96	255,67	257,38	259,08	260,78	262,48	264,18	400
450	264,18	265,87	267,56	269,25	270,93	272,61	274,29	275,97	277,64	279,31	280,98	450
500	280,98	282,64	284,30	285,96	287,62	289,27	290,92	292,56	294,21	295,85	297,49	500
550	297,49	299,12	300,75	302,38	304,01	305,63	307,25	308,87	310,49	312,10	313,71	550
600	313,71	315,31	316,92	318,52	320,12	321,71	323,30	324,89	326,48	328,06	329,64	600
650	329,64	331,22	332,79	334,36	335,93	337,50	339,06	340,62	342,18	343,73	345,28	650
700	345,28	346,83	348,38	349,92	351,46	353,00	354,53	356,06	357,59	359,12	360,64	700
750	360,64	362,16	363,67	365,19	366,70	368,21	369,71	371,21	372,71	374,21	375,70	750
800	375,70	377,19	378,68	380,17	381,65	383,13	384,60	386,08	387,55	389,02	390,48	800
850	390,48											850

### Exemple : valeur ohmique d'une sonde Pt100

Le tableau 8.1 permet de lire pour  $T = 335 \text{ °C}$  ;  $R(335 \text{ °C}) = 224,45 \text{ } \Omega$   
 et pour  $T = -20 \text{ °C}$  ;  $R(-20 \text{ °C}) = 90,16 \text{ } \Omega$ .

Tableau Relation température-résistance d'une sonde pt100

# Références bibliographiques

- [1] [Petite histoire des échelles de température - archi7, les sciences de tous les jours](#)
- [2] Dogan Ibrahim, " MICROCONTROLLER-BASED TEMPERATURE MONITORING AND CONTROL " .2002.
- [3] <http://aviatechno.free.fr/thermo/thermo01.php>
- [4] N.LARKECHE, K.MAHMOUDI, "Mesure expérimentales de l'échauffement d'une Machine asynchrone à cage de puissance 2.2KW ". UMMTO, 2006.
- [5] Patrick POULICHET, " Cours sur l'électronique de conditionnement du capteur". Novembre 2006
- [6] Dogan Ibrahim, " Chapter 4 - Microcontroller Program Development ",PICMicrocontrollerProjects in C (Second Edition), Pages 51-66, 2014.
- [7]. <https://circuitdigest.com/article/rs232-serial-communication-protocol-basics-specifications>
- [8] Dogan Ibrahim, " The PIC microcontroller family »,Pic Basic Projects, Pages 13-48, 2006.
- [9] 00. PIC16F87X Data Sheet (30292D)\_decrypted
- [10] Georges Asch, "Les capteurs en instrumentation industrielle", Dunod, 1987.
- [11] BehzadEhsani, "Data Acquisition Using LabVIEW".December 2016.
- [12] Data sheet, 2000 National Semi-conducteur Corporation DS005698.
- [13] R.G. Harper, "LCD: Interfaces, Projects and Techniques".1997
- [14] John D. Hermanson, "RS-232 Made Easy".2003
- [15] David H."Programming and Automating Measurement Systems in NI LabVIEW".avril2017.
- [16]David G. Alciatoreet Michael B. Histan, "Introduction to Mechatronics and Measurement Systems".2018.