

**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**



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

*Pour l'obtention du diplôme de Master*

*Domaine : Sciences et Technologie*

**Filière : Génie Electrique**

*Spécialité : Informatique Industrielle*

**THÈME**

**Contrôle de la température par un microcontrôleur PIC**  
**16F877A**

*Préparé par : M LAIBI Ahmed*

*M BOUSSORA Mohamed*

**Devant le Jury :**

<b>Nom et prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
<b>Mr ABDICHE Ahmed</b>	PR	Président
<b>Mr NASRI Djilali</b>	MCA	Examineur
<b>Mr SEBAA Morsli</b>	MCB	Examineur 1
<b>Mr OUARED Rahal</b>	MCB	Encadreur

**PROMOTION : 2016/2017**

## **Dédicaces**

Je dédie ce travail :

- à mon père et à ma mère, que Dieu les récompense et les garde, qui n'ont jamais cessé de m'aider, de m'encourager et de me soutenir tout au long de mon cursus scolaire et universitaire ;
- à toute la famille ;
- à mes enseignants et spécialement ceux qui sont intervenus dans mon cursus universitaire ;
- à tous les membres de ma promotion du Master Informatique Industriel.

**LAIBI AHMED**

Je dédie ce travail :

- à mon père, ma mère et ma sœur, que Dieu les récompense et les garde, qui n'ont jamais cessé de m'aider, de m'encourager et de me soutenir toute au long de mon cursus scolaire et universitaire ;
- à toute la famille;
- à tout mes amis ;
- à mes enseignants et spécialement ceux qui sont intervenus dans mon cursus universitaire ;
- à tous les membres de ma promotion de l'Informatique Industriel.

**BOUSSORA MOHAMED**

## **Remerciements**

*A l'issue de cette fin d'étude, j'adresse mes sincères remerciements premièrement à Allah le tout puissant qui nous a donné la santé, la volonté et la patience, pour achever ce travail.*

*Je tiens à remercier en premier lieu Dr RAHALE OUARED pour avoir accepté de m'encadrer et de me diriger, ainsi pour tous ses conseils.*

*Je tiens aussi à remercier Monsieur BOUHOUSSE MUSTAPHA pour nous avoir aidés dans la réalisation pratique de ce projet.*

*Je tiens aussi à remercier tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce travail*

*Je remercie également tous les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail :*

- Mr. Abdiche Ahmed
- Mr. Ghalleb Aek
- Mr. Sebaa Morsli

# Sommaire

---

Introduction générale .....	1
<b>I. Généralité sur la température.....</b>	<b>(2-26)</b>
I.1 Introduction .....	2
I.2 Les échelles de température.....	2
I.2.1 Échelle Celsius (°C).....	2
I.2.2 Échelle Fahrenheit (°F).....	2
I.2.3 Échelle Kelvin (K) .....	3
I.3 Les Méthodes de mesure .....	3
I.3.1 Méthodes mécaniques.....	3
I.3.1.1 Thermomètres à dilatation de liquide .....	4
I.3.1.2 Thermomètres à dilatation de gaz.....	7
I.3.1.3 Thermomètres à dilatation de solide.....	9
I.3.2 Méthodes électriques .....	10
I.3.2.1 Thermomètres à résistance et à thermistance .....	11
I.3.2.2 Thermomètres à résistance .....	11
I.3.2.3 Thermomètres à thermistance.....	12
I.3.2.4 Thermocouples .....	17
I.3.2.4.1 Principe d'un thermocouple.....	17
I.3.2.4.2 Principes pratiques généraux .....	17
I.3.3 Méthodes optique (radiation effet).....	22
I.3.3.1 Caractéristique d'un matériau.....	22
I.3.3.2 Pyromètre optique.....	22
I.3.3.2.1 Principes physiques.....	23
I.3.3.2.2 Principes généraux des pyromètres optiques .....	24
I.4 Conclusion : .....	26
<b>Chapitre II : Programmation en mikroC. Application pour les microcontrôleurs de la famille PIC.....</b>	<b>(27-47)</b>

---

# Sommaire

---

II.1 Introduction .....	27
II.2 Présentation d'un microcontrôleur PIC .....	27
II.3 Microcontrôleur PIC 16F877A.....	29
II.3.1 Structure interne .....	29
II.3.2 Structure externe .....	30
II.3.2.1 Ports d'entrées/sortie.....	30
II.3.3 L'alimentation .....	32
II.3.4 Cadencement du PIC .....	32
II.3.5 Circuit Reset MCLR .....	33
II.4 MikroC PRO.....	33
II.4.1 Langage et Compilateur MikroC pour PIC .....	33
II.4.2 Compilateur MikroC PRO pour PIC .....	34
II.4.3 Déclaration des variables en C .....	34
II.4.4 Création d'un nouveau projet.....	35
II.4.5 Structure d'un programme en mikroC .....	38
II.4.5.1 Début et fin d'un programme .....	39
II.4.5.2 Les registres TRIS.....	39
II.4.5.3 Fin d'une instruction .....	40
II.4.5.4 Espaces blancs .....	40
II.4.5.5 Commentaires .....	40
II.5 Affichage des données .....	43
II.6 Utilisation de clavier matriciel .....	45
II.7 Conclusion.....	47
<b>Chapitre III. Simulation et réalisation pratique .....</b>	<b>( 48 – 63)</b>
III.1 Introduction.....	48
III.2 Schéma synoptique .....	48
III.3 Matériel utilisé .....	48

---

# Sommaire

---

III.3.1 Le microcontrôleur 16F877A .....	48
III.3.2 Le capteur utilisé .....	48
III.3.3 L'oscillateur.....	49
III.3.4 Capacité .....	49
III.3.5 Afficheur LCD (Principe de fonctionnement).....	50
III.3.5.1 Raccordement de l'alimentation.....	50
III.3.5.2 Le brochage de LCD .....	51
III.3.6 Bouton poussoir.....	52
III.4 - L'organigramme du projet.....	53
III.5 Conception et Simulation du projet .....	54
III.5.1 Ecriture du programme.....	54
III.5.2 Prestation générale de proteus .....	54
III.6 Schématisation de développement de la carte sous ISIS PROTEUS .....	54
III.6.1 Simulation de notre projet .....	54
III.7 Les défèrent étape de réalisation pratique .....	57
III.7.1 Chargement de programme .....	57
III.7.2 Test sur la plaque d'essai.....	59
III.7.3 Schématisation de la carte sous ARES .....	60
III.7.4 Utilisation d'un typon.....	60
III.7.5 L'insolation de la plaque .....	61
III.7.6 La révélation .....	62
III.7.7 Graver le circuit imprimé .....	62
III.7.8 Circuit Imprimé Final .....	63
III.8 Conclusion .....	63
Conclusion générale.....	64

---

# Liste des figures

---

Figure I.1-Echelles de température.....	3
Figure I.2- Thermomètres à dilatation de liquide.....	4
Figure I.3 -mesure de température dans d'un bain .....	6
Figure I. 4 – Colonne émergente .....	7
Figure I. 5 - Thermomètre à gaz .....	8
Figure I.6- Bilame.....	10
Figure I. 7- Pyromètre linéaire .....	10
Figure I.8- Sonde PT100 .....	11
Figure I.9 – Résistance en fonction de la température pour une thermistance de type CTP BH et une sonde platine Pt100. ....	13
Figure I.10– Thermistances .....	13
Figure I. 11 – Montage deux fils avec source de courant.....	14
Figure I.12 – Montage quatre fils avec source de courant.....	14
Figure I.13 – Montage avec pont Wheatstone.....	15
Figure I.14– Montage trois fils .....	16
Figure I.15– Montage quatre fils .....	16
Figure I.16– Schémas de connections d'après la norme CEI 751 .....	16
Figure I.17- Constitution d'un circuit thermoélectrique ou thermocouple.....	17
Figure I.18-Conducteurs intermédiaires. ....	18
Figure I. 19- Canne pyrométrique à thermocouple.....	21
Figure I.20– Pyromètre optique.....	23
Figure I.21- Schéma optique pyromètre optique à filament.....	25
Figure I.22 - Réglage de la température du filament.....	25
Figure I.23-Gamme de température d'utilisation (en C°).....	26
Figure II.1 -appellation du type d'un PIC.....	28
Figure II.2- Repérage des broches .....	29
Figure II.3 - Architecture interne du PIC 16F877a.....	30

---

# Liste des figures

---

Figure II. 4 -Brochage du PIC16F877A .....	31
Figure II. 5- Circuit RESET et oscillateur d'un PIC 16F877a .....	33
Figure II. 6 – L'interface de mikroC pro .....	36
Figure II.7 - Compilation de programme en mikroC. ....	37
Figure II. 9 -Barre de progression .....	37
Figure II. 10 - Les fichiers de sortie de notre projet.....	38
Figure II. 11 - la simulation en ISIS.....	41
Figure II. 12 - la simulation de l'exemple 1 en ISIS.....	43
Figure II. 13 - L'affichage de LCD.....	45
Figure II. 14 - simulation de l'exemple 2 (utilisation de clavier). ....	47
Figure III. 1 - Schéma synoptique global.....	48
Figure III. 2 - capteur lm335z .....	49
Figure III. 3 - Oscillateur cristal à 4MHZ.....	49
Figure III 4 - afficheur LCD. ....	50
Figure III.5 - Schéma raccordement de l'alimentation. ....	50
Figure III.6 - Le schéma électrique de notre carte .....	55
Figure III. 7 - L'alimentation du réchauffeur à l'aide d'un PIC16F877A .....	56
Figure III. 8 - L'activation du ventilateur à l'aide d'un PIC16F877A.....	57
Figure III. 9 - Configuration du programmeur géré par Winpic800. ....	58
Figure III. 10 - Test sur la plaque d'essai. ....	59
Figure III. 11 - Schématisation de la carte sous ARES.....	60
Figure III. 12 - Vu de dessous de typon de la carte à réalisé .....	61
Figure III. 13 - insoleuse.....	61
Figure III. 14 – graveuse.....	62
Figure III. 15 - Circuit Imprimé Final.....	63

---



# Liste des tableaux

---

Tableau I.1- Liquides thermométriques.....	5
Tableau I.2– Gaz employés dans les thermomètres.....	8
Tableau I.3– métaux utilisés .....	12
Tableau I.4-Table de référence basée sur l'Échelle Internationale de Température.....	19
Tableau I. 5- Caractéristiques simplifiée de thermocouples.....	21
Tableau II. 1. Sélection de condensateur pour le fonctionnement du cristal .....	32
Tableau II. 2 – types et caractéristiques des variables.....	34
Tableau III. 1 - Brochage d'un Afficheur LCD.....	51

---

# Introduction générale

# INTRODUCTION GENERALE

---

## Introduction générale :

Dans la plus part des processus industriels comme dans les installations industrielles, l'une des tâches principales du chercheur comme du technicien est d'effectuer des mesures de grandeurs physiques en temps réel.

L'électronique offre à cet égard des moyens divers et puissants pour tirer la meilleure partie de la mesure de tout type de grandeurs physiques, ainsi que leur traitement et leur exploitation.

L'utilisation d'un ordinateur dans beaucoup des applications industrielles, comme le contrôle de processus chimiques, le contrôle de température et l'humidité ... etc.

Le contrôle et la surveillance de température avec une précision adéquate est un besoin vital et important dans les environnements industriels, la mesure de cette température nécessite qu'elle s'effectue avec des outils modernes améliorés en qualité d'appareillage sur les deux plans : précision et fiabilité.

L'idée de l'utilisation des microcontrôleurs est née de la nécessité de disposer pour certaines applications d'une commande avec des performances assez élevées. De plus, les microcontrôleurs possèdent un indéniable avantage sur la logique câblée. En effet pour modifier le fonctionnement d'une application, il suffit de modifier le programme sans refaire de câblage. Les microcontrôleurs possèdent également la puissance d'un microprocesseur mais ils ont un atout en plus, du fait qu'ils possèdent des périphériques intégrés dans le même boîtier. Les microcontrôleurs sont actuellement les plus utilisés dans les montages nécessitant les commandes des appareils et des équipements industriels.

Notre travail consiste à réaliser une carte électronique pour le contrôle et la surveillance de la température, cette carte est constituée d'un microcontrôleur pic16F877A, un capteur de température LM335 et un afficheur LCD qui affiche les résultats en temps réel.

Notre manuscrit est organisé comme suit :

Après une introduction générale, nous avons abordé le premier chapitre, dans lequel nous avons parlé en général sur la température et les principes des différentes méthodes de mesure.

On s'est intéressé dans le deuxième chapitre à la présentation et la description du microcontrôleur PIC16F877A et la Programmation en mikroC avec Quelques exemples pratiques.

Le troisième chapitre a fait l'objet de la partie expérimentale de notre projet. En effet, nous avons décrit toutes les étapes de notre réalisation ainsi que les outils utilisés aussi bien hardware que software.

Nous avons achevé ce manuscrit par une conclusion générale.

# Chapitre I

## Généralité sur la température

## **I.1 Introduction**

La température constitue une information importante dans plusieurs processus industriels et de laboratoire. Elle intervient comme une grandeur principale dont la valeur doit être connue avec précision ou comme paramètre influant sur la qualité d'autres mesures.

Sa valeur sera utilisée pour la correction ou la compensation. Certains procédés industriels ou biologiques favorisent des environnements de températures spécifiques, ainsi la régulation de température s'impose.

La température est une mesure de l'énergie cinétique moyenne des constituants élémentaires (atomes ou molécules) d'un corps.

La température est une grandeur intensive, qui peut être mesurée de deux façons différentes :

- A l'échelle atomique, elle est liée à l'énergie cinétique moyenne des constituants de la matière
- Au niveau macroscopique, certaines propriétés des corps dépendant de la température (volume massique, résistivité électrique, etc...) peuvent être choisies pour construire des échelles de température.

## **I.2 Les échelles de température**

Ce sont des moyens fiables et universels d'identifier les différences de températures d'un corps ou des facteurs atmosphériques. Les échelles sont constituées d'unités. Trois échelles sont reconnues mondialement, dont le degré Fahrenheit, le degré Celsius et le Kelvin.

### **I.2.1 Échelle Celsius (°C)**

Anders Celsius (1701-1744), astronome et physicien suédois, a construit son thermomètre à mercure en 1742. Il a choisi pour unités 0 °C pour la glace fondante et 100 °C pour l'eau bouillante.

### **I.2.2 Échelle Fahrenheit (°F)**

Daniel Gabriel Fahrenheit (1686-1736), physicien allemand, a construit les premiers thermomètres pratiques à mercure en 1724.

Il a utilisé un mélange de glace, d'eau et de sel de mer qu'il a estimé être à 0°F et a mis comme convention que le corps humain avait une température de 96°F. Après avoir divisé en 96 parties égales cet intervalle, il a découvert que le point de congélation de l'eau se situait à 32°F et que celui d'ébullition de l'eau était à 212°F.

### I.2.3 Échelle Kelvin (K)

Sir William Thomson, Lord Kelvin (1824-1907), proposa une échelle absolue de température qui utilise le zéro absolu ( $= -273^{\circ}\text{C}$ ) comme origine. Il a repris le même intervalle de graduation que Celsius ( $0^{\circ}\text{C} = 273\text{K}$ ).

Donc, si la congélation de l'eau a lieu à  $0^{\circ}\text{C}$ , cela équivaut à dire que l'eau gèle à  $273\text{K}$ .



Figure 1-Echelles de température

## I.3 Les Méthodes de mesure

Il existe trois méthodes essentielles pour mesurer la température :

- Méthodes mécaniques (dilatation d'un solide, d'un liquide ou d'un gaz)
- Méthodes électriques
- Méthodes optiques (radiation effet).

### I.3.1 Méthodes mécaniques

#### Présentation

Dans ce paragraphe, c'est la dilatation des corps qui sera le phénomène image de la grandeur thermométrique. On constate en effet que le volume d'un corps augmente en général, lorsque sa température s'élève (sans qu'il y ait de changement d'état physique).

La dilatation étant réversible, elle fournit un mode pratique de repérage des températures. Ce phénomène se retrouve de façon analogue, mais avec une ampleur différente pour les liquides, les gaz et les solides. D'où les trois types de thermomètres à dilatation.

### I.3.1.1 Thermomètres à dilatation de liquide

#### a. Description

Il est constitué d'un réservoir surmonté d'un capillaire de section faible et régulière (ordre de grandeur :  $\varnothing = 0,2 \text{ mm}$ ) se terminant par une ampoule de sécurité (utile lors d'un dépassement de la température admissible). Il est réalisé en verre. Sous l'effet des variations de température, le liquide se dilate plus ou moins. Son niveau est repéré à l'aide d'une échelle thermométrique gravée sur l'enveloppe.

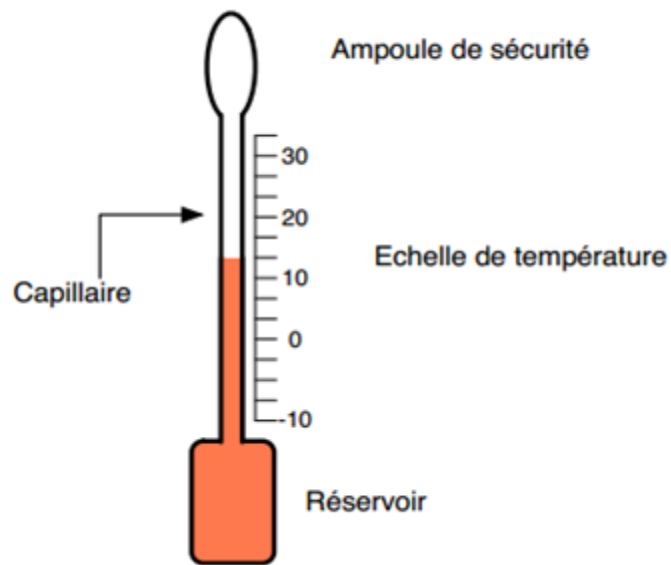


Figure 2- Thermomètres à dilatation de liquide

#### b. Loi de variation

La loi de variation du volume du liquide en fonction de la température est :

$$V = V_0 (1 + \alpha \times \theta)$$

Avec :

- $V_0$  : volume du liquide à  $0^\circ\text{C}$  ;
- $V$  : volume de liquide à  $\theta^\circ\text{C}$  ;
- $\alpha$  : coefficient de dilatation du liquide en  $^\circ\text{C}^{-1}$ .

Cette équation nous montre que la sensibilité du thermomètre à dilatation de liquide est proportionnelle au volume  $V_0$  (fonction du volume du réservoir), au coefficient de dilatation du

liquide (donc au type de liquide choisi) et inversement proportionnel à la section  $S$  du capillaire car :

$$\Delta h = \frac{\Delta V}{S}$$

### c. Liquides thermométriques

L'espace libre au dessus du liquide peut-être vide. Toutefois, pour empêcher la colonne de liquide de se fractionner facilement et aussi pour permettre de mesurer des hautes températures, l'espace libre est rempli d'un gaz neutre (azote ou argon) mis sous une pression fonction de la température à mesurer. La chambre d'expansion évite les trop fortes variations de pression.

Liquides	Domaine d'emploi °C	$\alpha$ en °C <sup>-1</sup>
Pentane	-200 à 20	
Alcool éthylique	-110 à 100	1.17
Toluène	-90 à 100	1.03
Créosote-Alcool éthylique	-10 à 200	
Mercure	-38 à +650	0.182
Mercure-Thallium	-58 à +650	
Mercure-Gallium	0 à 1000	

**Tableau 1- Liquides thermométriques**

### d. Nature de l'enveloppe

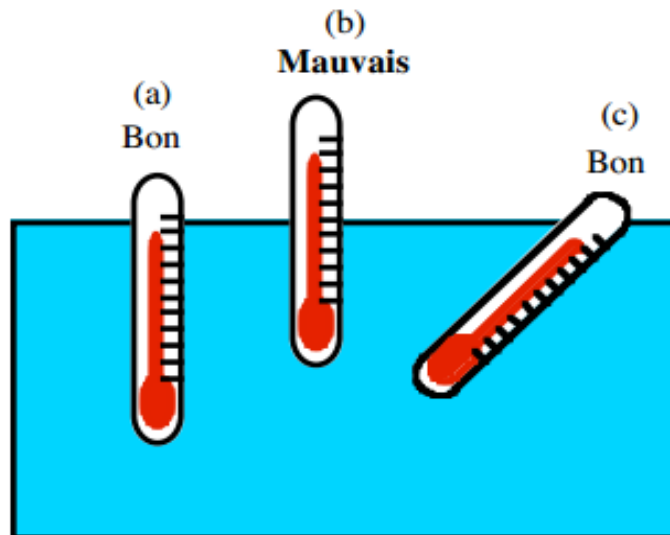
En fonction de la température à mesurer, il y a lieu de choisir le matériau constituant l'enveloppe du thermomètre :

- Verre d'Iena jusqu'à 450°C;
- Verre Supremax jusqu'à 630°C;
- Silice pure fondue jusqu'à 1 000°C.

### e. Colonne émergente :

En dehors des réglages classiques (zéro, échelle), on doit penser à corriger la mesure de la température si il est impossible d'immerger complètement la colonne (fig.3 ). Dans les cas (a) et (c) la colonne de liquide





**Figure 3 -mesure de température dans d'un bain**

Thermométrie est totalement immergée dans l'enceinte dont on mesure la température. La dilatation de ce liquide se fait donc pleinement.

Dans le cas (b) la colonne de liquide est immergée jusqu'à la graduation  $n$ , dans l'enceinte de température inconnue (fig.4). La partie de la colonne située entre  $n$  et  $h$  est en contact avec la température ambiante. Le volume correspondant à une graduation est noté  $v$ . Le volume à la température ambiante est :

$V = (h - n) \times v$ . Ce volume est à la température ambiante, donc il en résulte un défaut de dilatation de :

$$\delta V = V \times \alpha \times (x - t) = (h - n) \times v \times \alpha \times (x - t).$$

La correction à apporter est donc :

$$\delta h = \frac{\delta V}{v} = (h - n) \times \alpha \times (x - t)$$

En réalité, la partie émergée n'est pas à la température ambiante. Dans la pratique on prend les 7/10 de la correction calculée. Cette correction n'étant pas très précise, on essaiera, dans la mesure du possible,

De positionner au mieux le thermomètre (cas a ou c).

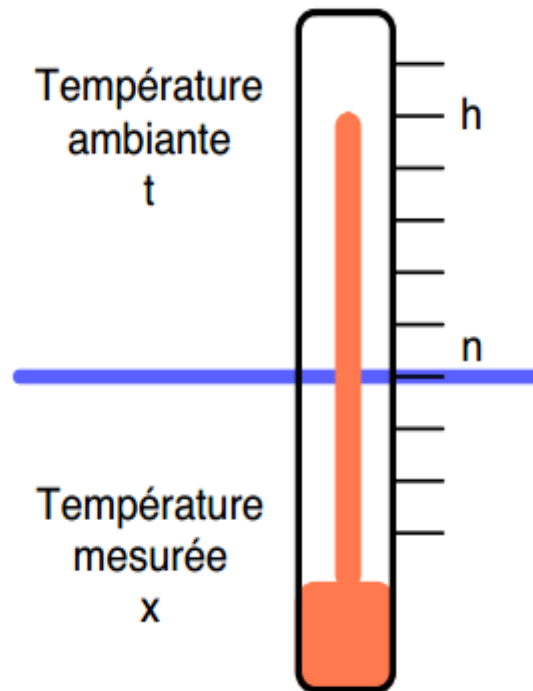


Figure 4 – Colonne émergente

### I.3.1.2 Thermomètres à dilatation de gaz

#### -Principe :

Sous une forme schématisée, un thermomètre à gaz est composé d'une sonde (A), formant une enveloppe dans laquelle est enfermé le gaz thermométrique (fig. 5). Cette sonde est reliée par un tube capillaire de raccordement à l'extrémité (B) d'un tube de Bourdon, appelée spirale de mesure. Cette extrémité est fixe.

La longueur du tube de raccordement ne doit pas excéder 100 mètres. Sous l'effet de la température du milieu dans lequel la sonde est placée, la pression du gaz va varier, ce qui modifiera l'équilibre de l'extrémité libre du tube de Bourdon. Cette variation de pression se traduira par un mouvement de rotation de l'index indicateur qui se déplacera devant un cadran portant des graduations thermométriques.

Les gaz le plus souvent employés sont fournis tableau 2.

#### Remarque :

- La température critique, c'est la température maximale à laquelle un gaz ou une vapeur peut être liquéfié par variation de pression uniquement.

- La différence de hauteur entre la sonde sensible et la spirale de mesure est sans effet, puisque la masse du gaz est négligeable.

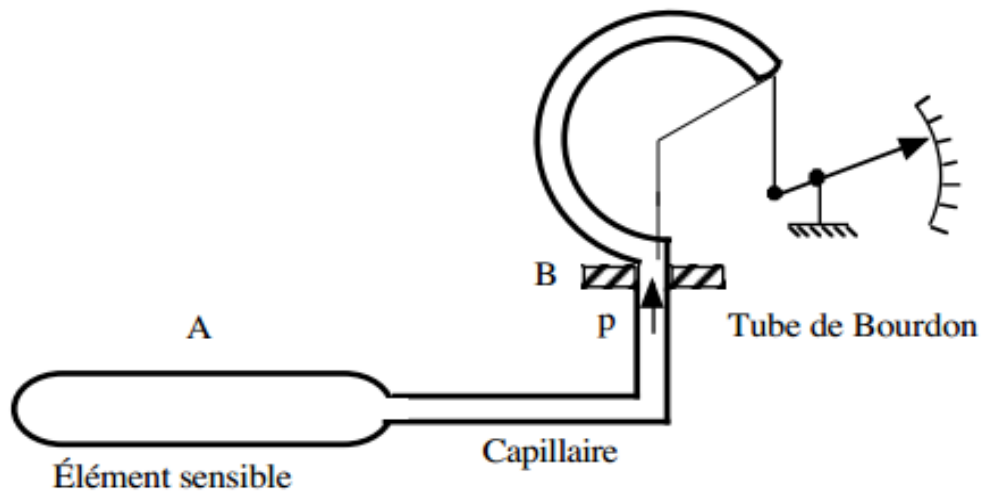


Figure 5 - Thermomètre à gaz

Gaz	Température critique
Hélium	-267.8°C
Hydrogène	-239.9 °C
Azote	-147.1 °C
Gaz carbonique	-31.1 °C

Tableau 2– Gaz employés dans les thermomètres

Le gaz doit être soigneusement séché avant l'emploi et être utilisé dans des conditions qui le rapprochent de l'état parfait.

- L'avantage des thermomètres à gaz est leur précision, 1% en mesures industrielles. Mais leur sonde est d'assez grande dimension. Ils permettent le repérage des très basses températures. Certains thermomètres à gaz sont de véritables instruments de précision, auxquels on a recours pour les déterminations de référence de la température. Le thermomètre à hydrogène en est l'exemple classique.

**I.3.1.3 Thermomètres à dilatation de solide****a. Principe**

Lorsqu'une tige métallique est portée à la température  $T$  sa longueur varie. La relation entre sa longueur

$L$  et  $T$  est :

$$L = L_0 (1 + \alpha T)$$

Avec :

- $L$  la longueur de la tige à la température  $T$  ;
- $L_0$  la longueur de la tige à  $0^\circ\text{C}$ ;
- $T$  la température en  $^\circ\text{C}$ ;
- $\alpha$  le coefficient de dilatation linéaire du métal.

La dilatation linéaire du métal peut servir de grandeur thermométrique.

Quelques valeurs de  $\alpha$  :

- $9 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  pour le platine;
- $30 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  pour le Zinc;
- $0,5 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  pour l'Invar

**b. Bilame :**

Un bilame thermique est constitué de deux bandes d'alliage dont les coefficients de dilatation sont très différents, soudées à plat sur toute leur surface (fig.9). Lorsqu'une telle bande est soumise à une variation de température, les dilatations différentes des deux faces provoquent des tensions, il en résulte une incurvation de l'ensemble. La soudure des deux constituants doit être suffisamment intime pour que la zone de jonction soit mécaniquement aussi résistante que chacune des deux lames.

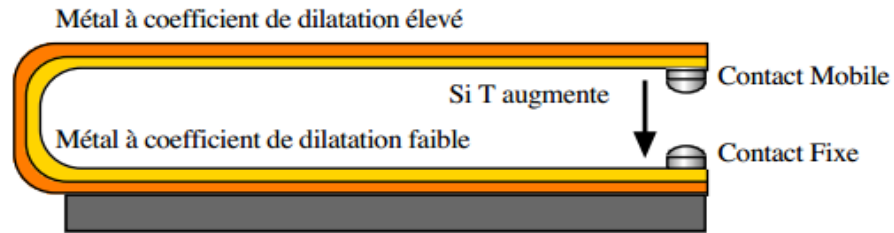


Figure 6- Bilame

### c. Pyromètre linéaire

La sonde est formée d'une gaine de silice dans laquelle est placé un barreau métallique dilatable. Une tige en élinvar (Ferronickel dérivé de l'invar auquel on a ajouté du chrome pour assurer un module d'élasticité constant) transmet la dilatation du barreau à un système amplificateur permettant la lecture (ou la transmission) (fig. 10).

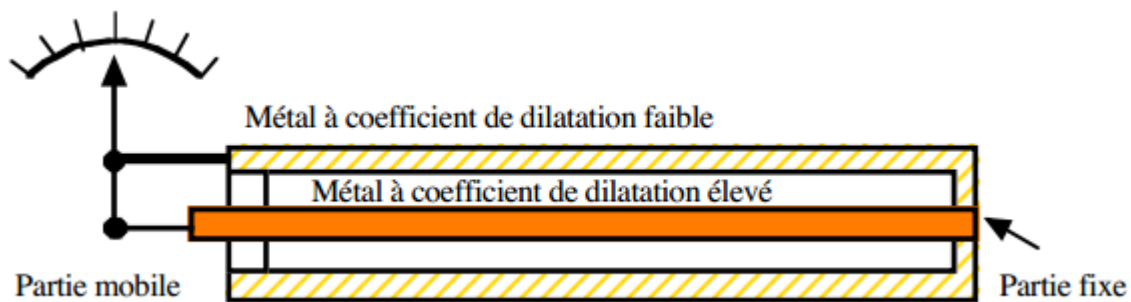


Figure 7- Pyromètre linéaire

### I.3.2 Méthodes électriques

#### Présentation

Les capteurs qui précèdent sont à lecture directe et sont peut utilisés dans les régulations industrielles. De plus, à l'exception du thermomètre à gaz l'indication de température est proche du lieu de mesure.

Les capteurs électriques qui suivent auront l'avantage d'une plus grande souplesse d'emploi (information transmissible, enregistrement) tout en gardant une précision suffisante pour les emplois industriels et beaucoup d'emplois de laboratoire.

### I.3.2.1 Thermomètres à résistance et à thermistance

Le fonctionnement des thermomètres à résistance et thermistances est basé sur le même phénomène physique; l'influence de la température sur la résistance électrique d'un conducteur. La mesure d'une température est donc ramenée à la mesure d'une résistance. Comme la caractéristique résistance/température est de nature différente pour un métal et un agglomérat d'oxydes métalliques, deux cas sont distingués.

$$\text{Sensibilité thermique : } \alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT}$$

On parlera de thermomètre à résistance d'une part et de thermistance d'autre part.

### I.3.2.2 Thermomètres à résistance

Le conducteur est un élément métallique. On peut établir une relation bijective entre la résistance  $R$  et la température  $\theta$  et ainsi mesurer  $\theta$  en mesurant  $R$ . Cette relation est de la forme :

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

Avec  $\theta$  la température en °C,  $R_0$  la résistance à 0°C,  $a$ ,  $b$  et  $c$  des coefficients positifs, spécifiques au métal

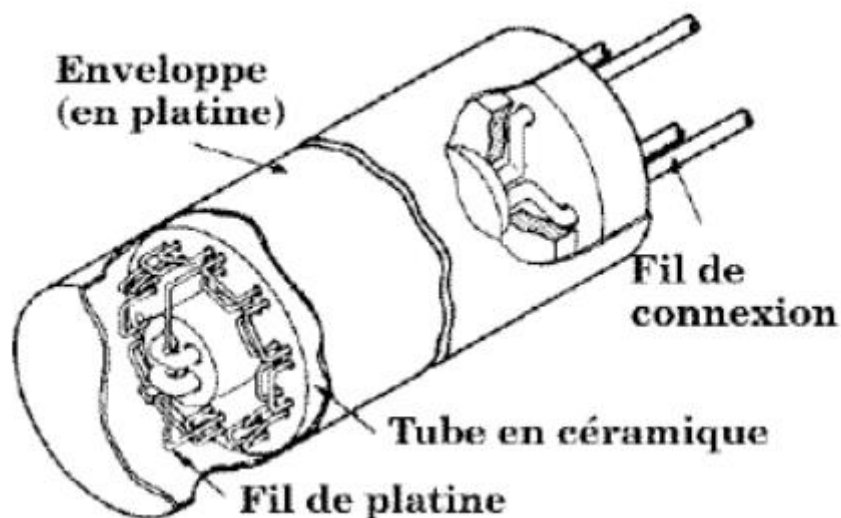


Figure 8- Sonde PT100

C'est le platine qui est les matériaux le plus utilisé. Un exemple d'élément sensible est donné pour une sonde de platine, sur la figure 11. La sonde Pt100 est une sonde platine qui a une résistance de 100  $\Omega$  pour une température de 0°C. (138,5  $\Omega$  pour 100°C)

Métal	Résistivité à 0°C en $\mu\Omega$	Point de fusion en °C	Domaine d'emploi en °C	$\frac{R(100^\circ C)}{R(0^\circ C)}$
Cuivre	7	1 083	-190 à 250	1,427
Nickel	6,38	1 453	-60 à 180	1,672
Platine	9,81	1 769	-250 à 1100	1,392

Tableau 3– métaux utilisés

### I.3.2.3 Thermomètres à thermistance

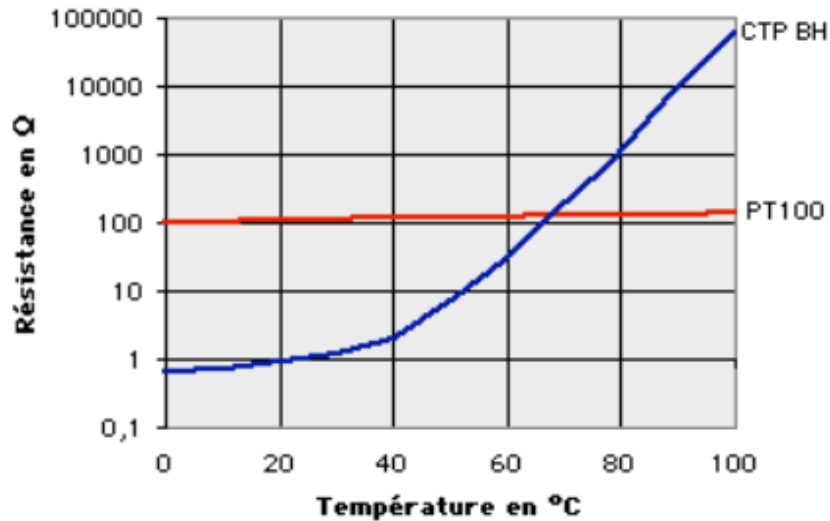
Une thermistance est un agglomérat d'oxydes métalliques frittés, c'est-à-dire rendus compacts par haute pression exercée à température élevée, de l'ordre de 150 bars et 1000°C.

La composition d'une thermistance peut-être, par exemple :

- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (oxyde ferrique);
- MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (aluminat de magnésium);
- Zn<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub> (titane de zinc).

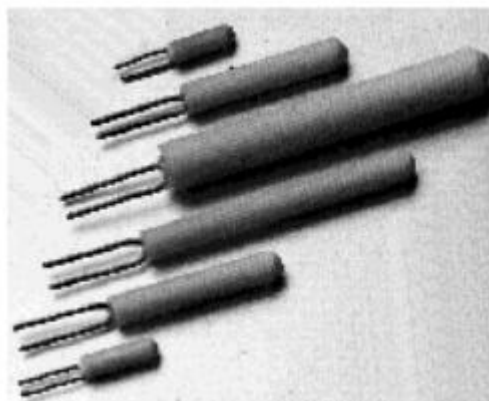
La résistance électrique d'une thermistance est très sensible à l'action de la température. Il existe deux types de thermistance, les CTN à coefficient de température négatif, et les CTP à coefficient de température positif. La loi de variation est de la forme :

$$R = R_0 e^{\frac{-B}{T}}$$



**Figure 9 – Résistance en fonction de la température pour une thermistance de type CTP BH et une sonde platine Pt100.**

Un second avantage des thermistances est leur faible encombrement. On les fabrique sous forme de petits cylindres ( $d = 1$  à  $12$  mm,  $L = 5$  à  $50$  mm) de disques, de perles. La variation de résistance des thermistances dépend des matériaux utilisés. Leur domaine d'utilisation va de  $-80^{\circ}\text{C}$  à  $+700^{\circ}\text{C}$  avec une précision de  $0,1$  à  $0,5$  degré. Les thermistances ne présentent pas le phénomène de polarisation et peuvent être traversées indifféremment par un courant continu ou alternatif.



**Figure 10– Thermistances**

L'emploi des thermistances a donc des avantages de sensibilité et de faible encombrement, mais la loi de variation de la résistance en fonction de la température n'est pas linéaire.



### a. Montage de mesure

La mesure de la température se ramène donc à une mesure de résistance. La méthode la plus simple (fig14.), consiste à alimenter la résistance avec un courant  $I$  et de mesurer la tension aux bornes de la résistance

(On rappelle :  $U = R \times I$ ).

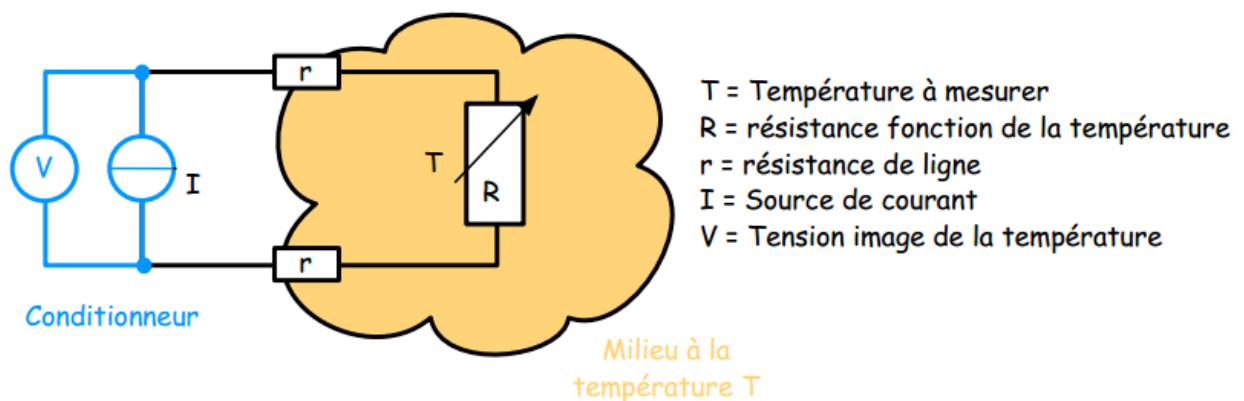


Figure 11 – Montage deux fils avec source de courant

Mais, dans ce montage, la tension  $V$  dépend aussi des résistances de ligne  $r$ . Pour éviter cela, on ajoute deux fils aux bornes de la résistance, on utilise alors une résistance avec quatre fils

(fig. 15). Ces deux montages ne permettent pas de supprimer simplement la composante continue  $R$  ( $0^\circ\text{C}$ ) de la résistance de mesure  $R$

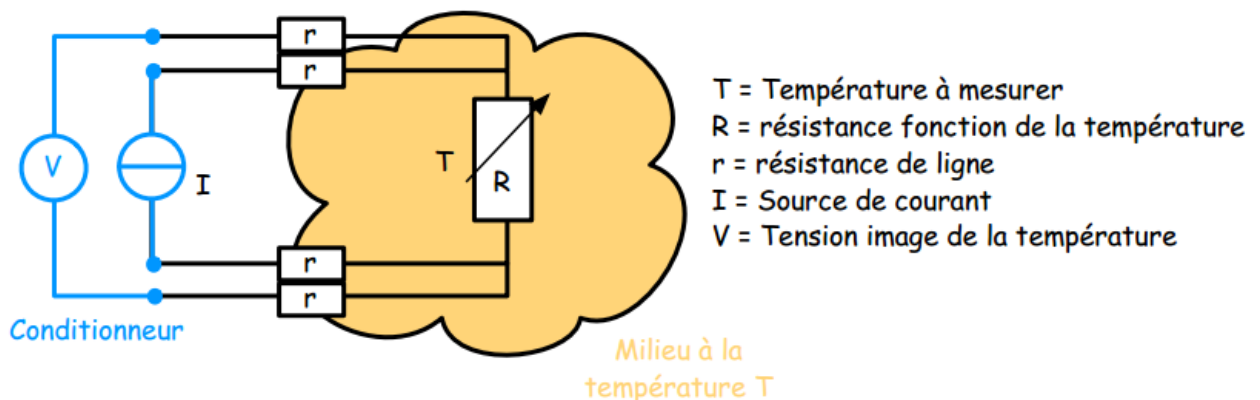


Figure 12 – Montage quatre fils avec source de courant

On préfère généralement utiliser un montage utilisant un pont de Wheatstone (fig.16). Si on néglige les résistances  $r$  et si on note

$R(T) = R(0^\circ\text{C}) + \alpha T$  on démontre :

$$V = \frac{\alpha T}{2R_0 + \alpha T} \times \frac{E}{2}$$

Pour diminuer l'influence des résistances de ligne, on utilise un montage trois fils (fig. 17), ou mieux un montage quatre fils (fig. 18).

On trouve donc, d'après la norme CEI 751 les schémas de connections du tableau 5

#### b. Influence de la mesure sur la température :

La recherche d'une bonne sensibilité de mesure conduit à faire traverser la résistance par un courant relativement important. Cependant, celui-ci risque alors de provoquer par effet Joule un échauffement du capteur qui peut cesser d'être négligeable et qui en tous cas doit pouvoir être estimé et minimisé : c'est pourquoi les courants de mesure sont généralement de l'ordre du mA et rarement supérieurs à 10 mA. La mesure des très basses températures ne se fera pas à l'aide d'un thermomètre à résistance ou thermistance.

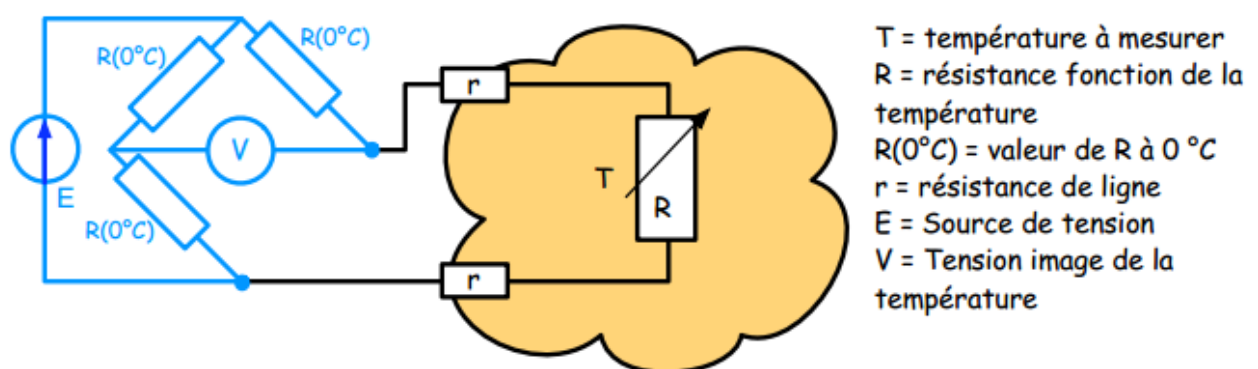


Figure 13 – Montage avec pont Wheatstone

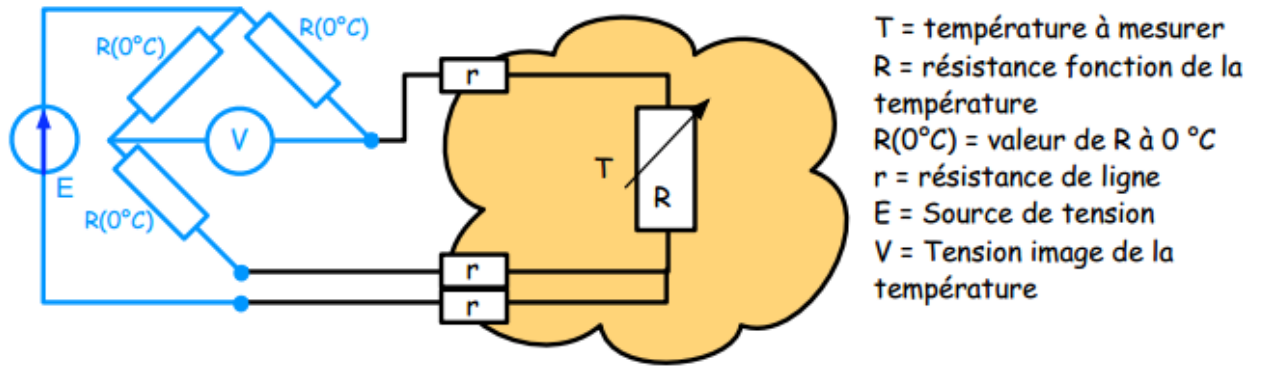


Figure 14– Montage trois fils

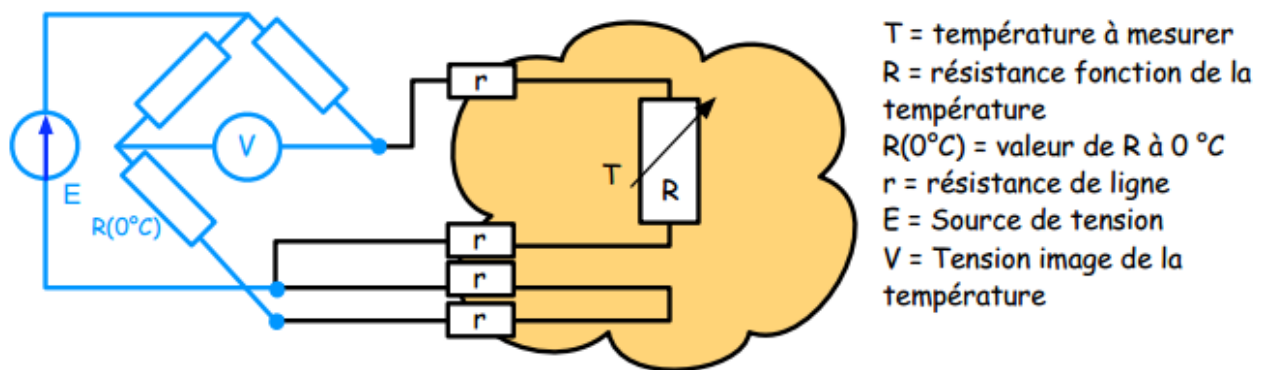


Figure 15– Montage quatre fils

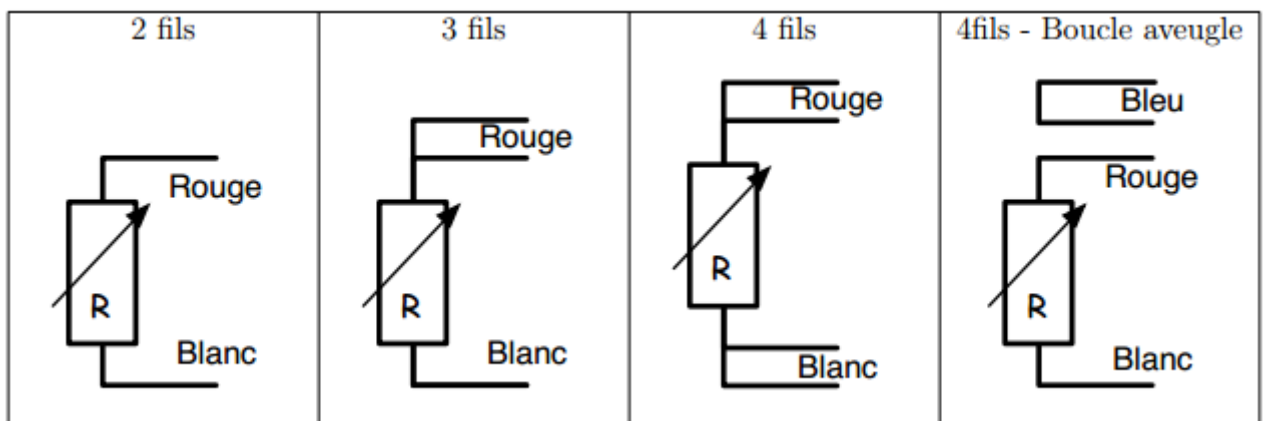


Figure 16– Schémas de connexions d’après la norme CEI 751

### I.3.2.4 Thermocouples

#### I.3.2.4.1 Principe d'un thermocouple

Un thermocouple est un circuit électrique fermé, constitué par deux métaux différents A et B, dont les jonctions sont soumises à un gradient de température. La conversion d'énergie thermique crée un déplacement d'électrons et génère une force électromotrice (f.é.m.) de Seebeck, qui dépend de la nature des deux métaux et de la différence des températures au niveau des jonctions (fig.16)

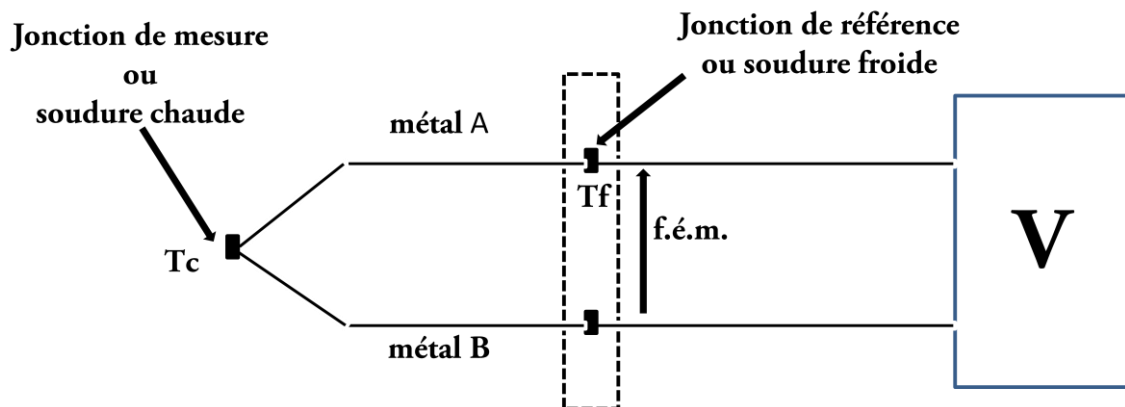


Figure 17- Constitution d'un circuit thermoélectrique ou thermocouple

Dans la désignation d'un thermocouple A/B, le métal A est le conducteur positif et le métal B le négatif. La jonction de mesure est soumise à la température  $T_c$  à mesurer, et la jonction de référence, reliant les bornes de l'instrument de mesure, est à une température  $T_f$  connue.

La f.é.m. de Seebeck, notée  $E_{A/B}(T_c, T_f)$ , est positive lorsque la température  $T_c$  est supérieure à la température  $T_f$ .

Elle est négative dans le cas inverse, et nul si les températures  $T_c$  et  $T_f$  sont égales.

En fonction des métaux A et B employés, la f.é.m. varie de 5 à 70  $\mu\text{V}$  par  $^\circ\text{C}$  de différence entre les deux températures  $T_c$  et  $T_f$  des jonctions.

#### I.3.2.4.2 Principes pratiques généraux

##### a) Loi des températures successives :

Cette loi permet de déterminer la température  $T_c$  de la jonction de mesure à partir de la f.é.m. mesurée à la jonction de référence lorsque la température  $T_f$  est différente de  $0^\circ\text{C}$  pour un thermocouple A/B. On a :

$$E_{A/B}^{T_c, 0^\circ C} = E_{A/B}^{T_c, T_f} + E_{A/B}^{T_f, 0^\circ C}$$

f.é.m. à lire dans la table de référence pour déduire  $T_c$  ←

f.é.m. mesurée à la jonction de référence

f.é.m. à lire dans la table de référence

**Exemple :** pour connaître la température  $T_c$ , on relève  $T_f = 30^\circ C$ , et la tension à la jonction de référence du thermocouple (type K) :

$$E^{T_c, 30^\circ} = 18\,589\mu V$$

La table de référence (tableau 9.1.) indique pour  $T = 30^\circ C$  :

$$E^{30^\circ C, 0^\circ C} = 1\,203\mu V$$

La loi des températures successives conduit à :

$$E^{T_c, 0^\circ C} = 18\,589 + 1\,203 = 19\,719\mu V$$

Correspondant à  $T_c = 480^\circ C$ .

**b) Loi des conducteurs intermédiaires :**

La f.é.m. d'un couple thermoélectrique n'est pas modifiée si on intercale dans le circuit un ou plusieurs conducteurs intermédiaires, de nature différente, à la condition que les nouvelles jonctions de ces conducteurs soient maintenues à la même température deux à deux.

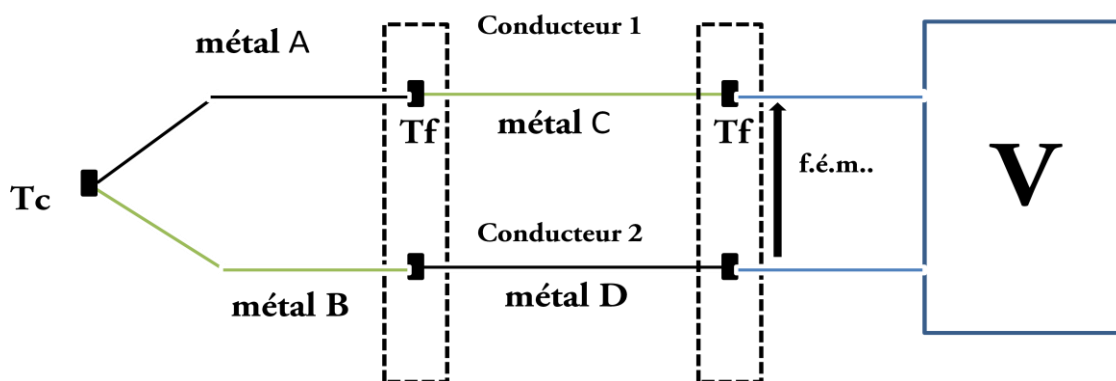


Figure 18-Conducteurs intermédiaires.

c) **Table de référence normalisée**

La relation entre la température et la f.é.m. étant une fonction polynomiale complexe, c'est-à-dire non linéaire, il est d'usage d'utiliser des tables de conversion.

Pour chaque type de thermocouple, le report de la f.é.m. lue à la jonction de référence dans une table de référence normalisée (norme CEI 584.1) permet d'obtenir la valeur de la température de la soudure chaude. Il existe huit types de thermocouple normalisé codifiés par une lettre : K, J, T, N, E, S, R, et B. Le tableau 6 donne la correspondance entre la température  $T_c$  (par pas de 10 °C) et  $E_{K, T_c, 0^\circ C}$  pour le thermocouple type K.

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
-200	-5 891	-6 035	-6 158	-6 262	-6 344	-6 404	-6 441	-6 458			
-100	-3 554	-3 852	-4 138	-4 411	-4 669	-4 913	-5 141	-5 354	-5 550	-5 730	-5 891
-0	0	-392	-778	-1 156	-1 527	-1 889	-2 243	-2 587	-2 920	-3 243	-3 554
0	0	397	798	1 203	1 612	2 023	2 436	2 851	3 267	3 682	4 096
100	4 096	4 509	4 920	5 328	5 735	6 138	6 540	6 941	7 340	7 739	8 138
200	8 138	8 539	8 940	9 343	9 747	10 153	10 561	10 971	11 382	11 795	12 209
300	12 209	12 624	13 040	13 457	13 874	14 293	14 713	15 133	15 554	15 975	16 397
400	16 397	16 820	17 243	17 667	18 091	18 516	18 941	19 366	19 792	20 218	20 644
500	20 644	21 071	21 497	21 924	22 350	22 776	23 203	23 629	24 055	24 480	24 905
600	24 905	25 330	25 755	26 179	26 602	27 025	27 447	27 869	28 289	28 710	29 129
700	29 129	29 548	29 965	30 382	30 798	31 213	31 628	32 041	32 453	32 865	33 275
800	33 275	33 685	34 093	34 501	34 908	35 313	35 718	36 121	36 524	36 925	37 326
900	37 326	37 725	38 124	38 522	38 918	39 314	39 708	40 101	40 494	40 885	41 276
1 000	41 276	41 665	42 053	42 440	42 826	43 211	43 595	43 978	44 359	44 740	45 119
1 100	45 119	45 497	45 873	46 249	46 623	46 995	47 367	47 737	48 105	48 473	48 838
1 200	48 838	49 202	49 565	49 962	50 286	50 644	51 000	51 355	51 708	52 060	52 410
1 300	52 410	52 759	53 106	53 451	53 795	54 138	54 479	54 819			

**Tableau 4-Table de référence basée sur l'Échelle Internationale de Température**

**1990 (EIT 90) pour thermocouple Nickel-Chrome / Nickel-Aluminium (type K) F.é.m. en microvolts, jonction de référence à 0 °C**

d) **Câbles d'extension ou de compensation**

Industriellement, comme la distance est éloignée entre la jonction de mesure et la jonction de référence, on emploie soit des câbles d'extension soit des câbles de compensation. Leurs caractéristiques, telles que le domaine de température d'utilisation, la tolérance ou le repérage par couleurs, sont données par la norme NF C 42-324.

**.Câbles d'extension**

Les câbles d'extension sont des fils de même nature que ceux du thermocouple et sont employés pour le relier jusqu'à la jonction de référence. C'est la meilleure solution au point de vue précision, mais la moins économique.

**• Câbles de compensation :**

Les câbles de compensation sont des fils de nature différente de ceux du thermocouple mais dont les propriétés thermoélectriques sont équivalentes dans un domaine restreint de température d'environ 100 °C à 200 °C entre  $T_r$  et  $T_f$ . C'est une solution économique, mais moins précise qu'avec l'emploi des câbles d'extension.

- les deux cas pour une variation de température de câble entre - 25 °C et 200 °C (température maximale).

Pour un thermocouple Platine-10 % Rhodium/Platine (type S) relié avec des câbles de compensation, les tolérances sont de  $\pm 2,5$  °C pour une variation de température de câble entre 0 °C et 100 °C (température maximale), ou de  $\pm 5$  °C pour une variation de température de câble entre 0 °C et 200 °C (température maximale).

On utilise les câbles de compensation dans deux cas :

- Lorsque les métaux formant le couple sont d'un prix très élevé (métaux précieux notamment)
- Lorsque la distance entre la prise de température et la jonction de référence est grande

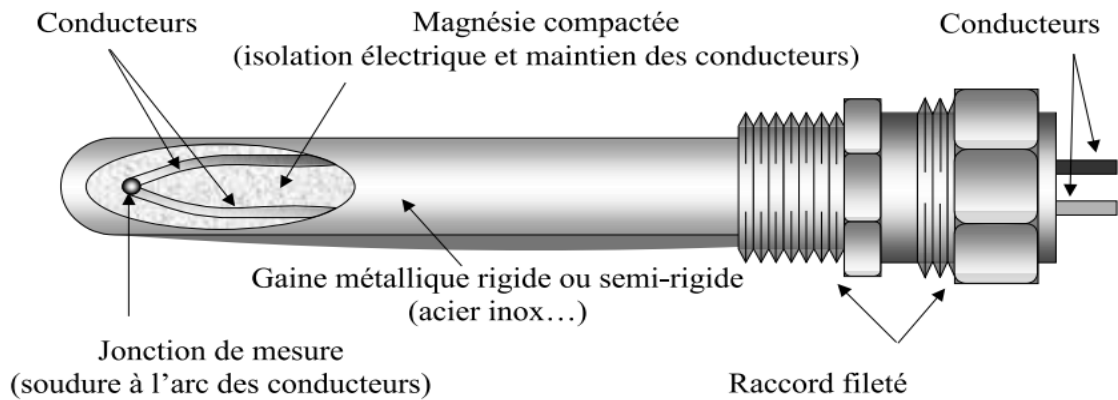
**e) Protection d'un thermocouple**

Lorsqu'ils ne sont pas protégés, les conducteurs utilisés ne doivent pas réagir chimiquement avec l'atmosphère environnante. Il existe trois possibilités :

- Le thermocouple nu dont la soudure chaude est non isolée, chaque conducteur étant isolé électriquement par un revêtement en PVC, en Téflon ou en soie de verre.
- Le thermocouple chemisé est un ensemble constitué par les éléments du thermocouple insérés dans une poudre minérale comprimée isolante dans une gaine déformable en acier. Trois options sont possibles : à soudure isolée, à la masse ou à soudure exposée. Le choix se fait en tenant compte de l'atmosphère dans laquelle est placé l'ensemble et du temps de réponse désiré.

– La canne pyrométrique comprend le thermocouple chemisé surmonté d'une tête de raccordement étanche protégeant le bornier de connexion et, en option, le transmetteur.

Un raccord fileté est prévu pour fixer la canne sur le procédé (fig. 18).



**Figure 19- Canne pyrométrique à thermocouple**

Code littéral	Couple	Usage continue Usage intermittent	Précision en %	Remarques
K	Nickel - Chrome Nickel-Aluminium	0°C à 1100°C -180°C à 1300°C	1.5	Bien adapté aux milieux oxydants
T	Cuivre Cuivre - Nickel	-185°C à 300°C -250°C à 400°C	0.5	
J	Fer Cuivre - Nickel	20°C à 700°C -180°C à 750°C	1.5	Pour milieu réducteur
E	Nickel - Chrome Cuivre - Nickel	0°C à 800°C -40°C à 900°C	1.5	Utilisation sous vide ou milieu légèrement oxydant
R	Platine - 13% Rhodium Platine	0°C à 1600°C 0°C à 1700°C	1	
S	Platine - 10% Rhodium Platine	0°C à 1550°C 0°C à 1700°C	1	Résistance à l'oxydation à la corrosion

**Tableau 5- Caractéristiques simplifiée de thermocouples**



### I.3.3 Méthodes optique (radiation effet)

#### I.3.3.1 Caractéristique d'un matériau

Les caractéristiques d'un matériau joueront un grand rôle pour la mesure de la température. Il est intéressant de décrire les différents comportements d'un matériau vis-à-vis d'un rayonnement thermique. Ces notions sont nécessaires pour une compréhension de la répartition des flux d'énergie dans la matière.

Les caractéristiques physiques d'un matériau sont les suivantes :

##### a. Emission

Une des caractéristiques d'un matériau est de convertir son énergie interne en rayonnement thermique. L'énergie interne est dépendante de la température. L'émission des matériaux est régie par des lois physiques. C'est bien sur ce phénomène que repose la mesure de température sans contact.

##### b. Absorption

L'absorption d'un matériau définit la capacité de ce dernier à convertir un flux d'énergie reçu en énergie interne. Cette capacité est bien évidemment différente suivant les matériaux.

##### c. Réflexion et diffusion

La réflexion est régie par la loi de l'optique géométrique. Pour rappel, l'angle de réflexion est le même que l'angle d'incidence en prenant comme référence la normale au plan d'incidence. Un angle de réfraction est également présent. Cet angle est défini par la loi de Snell-Descartes. Ceci nous permet de définir l'angle de réfraction en fonction de l'angle d'incidence et de l'indice de réfraction.

Nous parlons de diffusion quand un l'onde incidente est reflétée dans toutes les directions.

##### d. Transparence et opacité

La transparence et l'opacité ont un impact direct sur la transmission d'une onde au travers d'un matériau. Nous pouvons donner comme exemple le vide comme d'un milieu transparent, nous pouvons facilement imaginer que ce milieu ne limitera en rien la transmission des ondes. Au contraire, un milieu opaque ne transmettra aucune onde.

#### I.3.3.2 Pyromètre optique

##### Présentation

La Méthode optique est une méthode de mesure de la température basée sur la relation entre la température d'un corps et le rayonnement optique (infrarouge ou visible) que ce corps émet. Les capteurs utilisés sont donc des capteurs optiques, photo-électriques ou thermiques. L'intérêt de la pyrométrie optique est de permettre la détermination d'une température sans contact avec l'objet;

c'est donc une méthode appropriée quand les conditions expérimentales n'autorisent pas l'utilisation de capteurs thermométriques classiques :

- Température très élevée (supérieure à 2000°C);
- Mesures à grande distance;
- Environnement très agressif;
- Pièce en mouvement;
- Localisation des points chauds

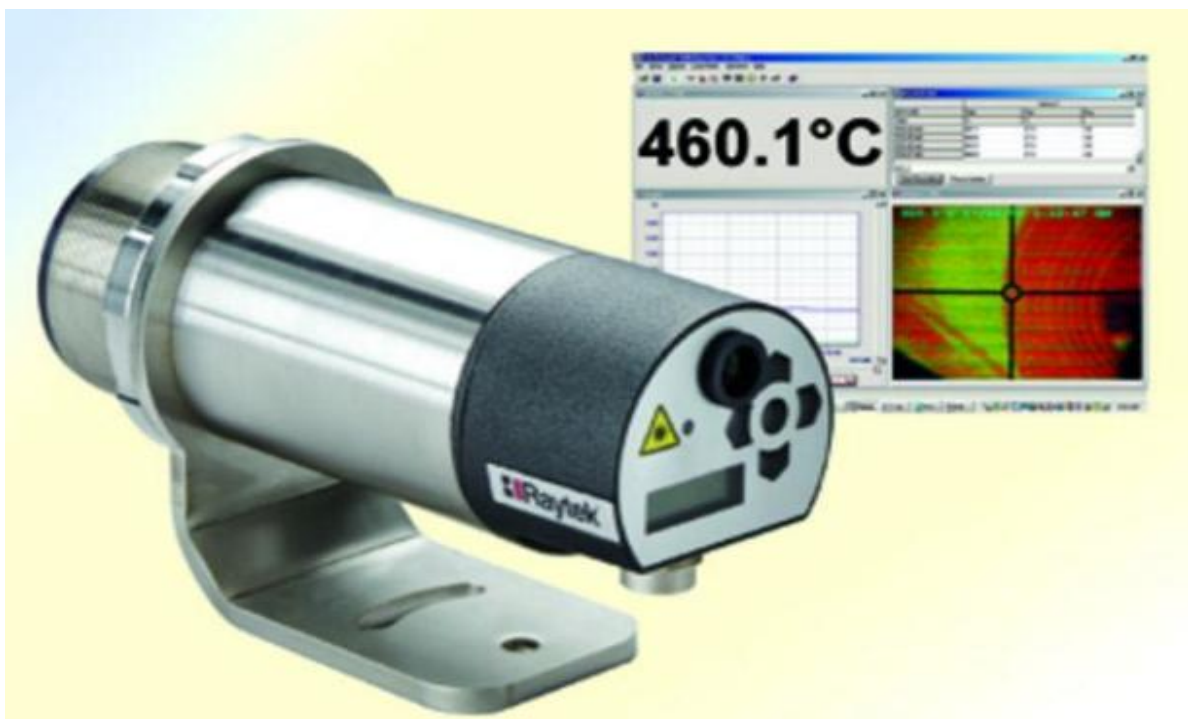


Figure 20– Pyromètre optique

#### I.3.3.2.1 Principes physiques

Tout corps émet spontanément et en permanence un rayonnement électromagnétique dont le spectre continu a une répartition énergétique fonction de la température : c'est le rayonnement thermique. Les lois de cette émission sont d'abord établies pour un corps idéal, le corps noir, caractérisé par une absorption totale de tout rayonnement incident; le rayonnement thermique d'un corps réel, selon son pouvoir absorbant, se rapproche plus ou moins de celui du corps noir.

**a. Corps noir**

Un corps noir est caractérisé par une absorption totale de tout rayonnement incident et ceci pour toutes les longueurs d'onde. Il faut bien se rendre compte qu'un tel comportement n'est que théorique néanmoins, cette approximation nous sert de référence pour définir les propriétés radiatives d'un corps réel.

**b. Corps réel**

Un corps réel est plus ou moins proche d'un corps noir suivant sa capacité d'absorption. Cette dernière ne sera plus idéale comme dans le cas du corps noir et sera décrite par son émissivité  $\epsilon$ .

**Emissivité  $\epsilon$** 

Cette variable est dépendante de plusieurs facteurs qui sont :

- La température
- La direction du rayonnement
- La longueur d'onde
- De la nature des matériaux employés

Elle sera toujours inférieure à 1 dans le cas du corps réel.

**I.3.3.2.2 Principes généraux des pyromètres optiques**

Suivant qu'on utilise les grandeurs spectrales à une longueur d'onde déterminée ou les grandeurs intégrales sur l'ensemble du spectre visible et infrarouge, les résultats obtenus n'ont pas la même signification physique.

On doit distinguer :

- Les pyromètres monochromatiques;
- Les pyromètres bichromatiques;
- Les pyromètres mesureurs d'énergie.

Un dispositif optique forme l'image de la source S sur la surface S' du récepteur avec juxtaposition d'une source de référence dans les appareils de zéro.

• Le pyromètre optique à disparition de filament

Le principe de fonctionnement du pyromètre à disparition de filament est de comparer l'émittance monochromatique à celle d'un corps de référence étalonné. C'est un pyromètre monochromatique.

Dans ce cas, la référence sera un filament par exemple tungstène qui a une longueur d'onde  $\lambda=0.65$  [ $\mu\text{m}$ ].

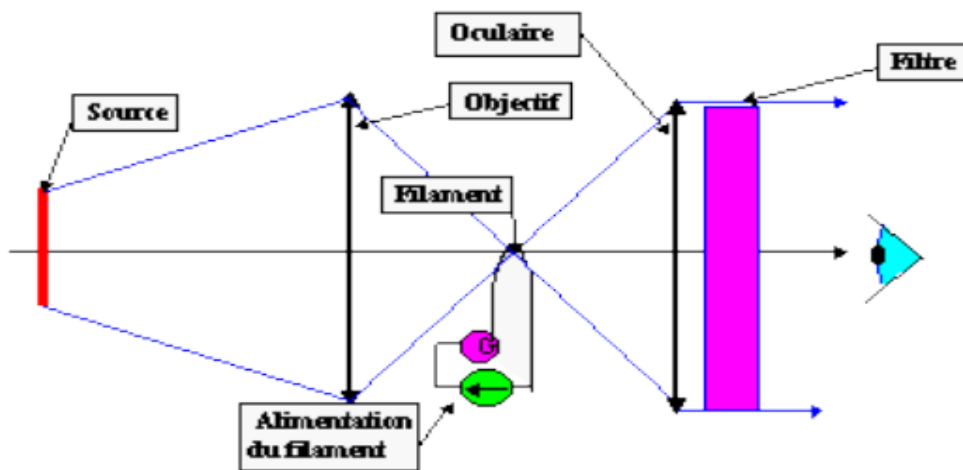


Figure 21- Schéma optique pyromètre optique à filament

Le principe du mode opératoire sera de régler le courant parcourant le filament pour que ce dernier se superpose à l'image de la source. Dès que nous aurons superposé les deux éléments et connaissant le comportement du filament, il sera possible dans déduire la température de la source.

L'image ci-dessous explicite ce principe :

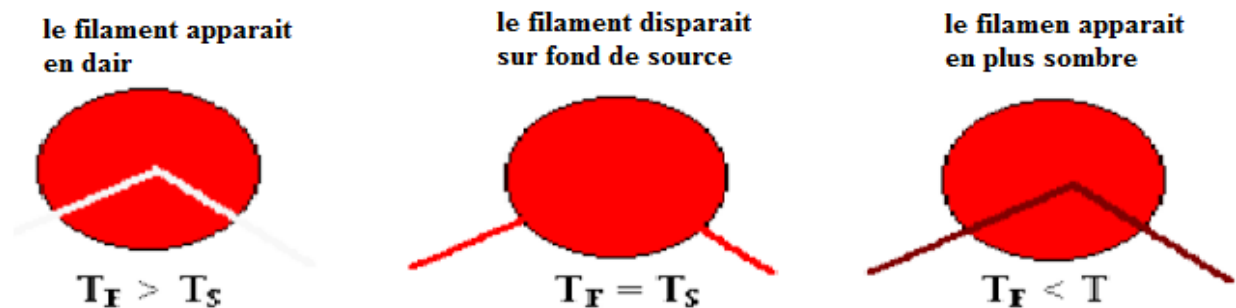


Figure 22 - Réglage de la température du filament

- **Pyromètres bichromatiques**

Ce pyromètre peut être considéré comme un doublet de pyromètres monochromatiques travaillant dans deux plages voisines du rayonnement thermique. Le rapport des deux signaux ne dépendra plus de l'émissivité. Ceci est le grand intérêt de ce type de pyromètre.

- **Pyromètres mesureurs d'énergie**

Ce pyromètre travaille avec l'ensemble du spectre de rayonnement thermique de la cible qui est reçu par un détecteur à large bande, de types thermiques. En pratique le pyromètre devra être étalonné à l'aide d'un thermocouple.

#### I.4 Conclusion :

Le graphique suivant résume le domaine d'application des capteurs à contacts et sans contacts.

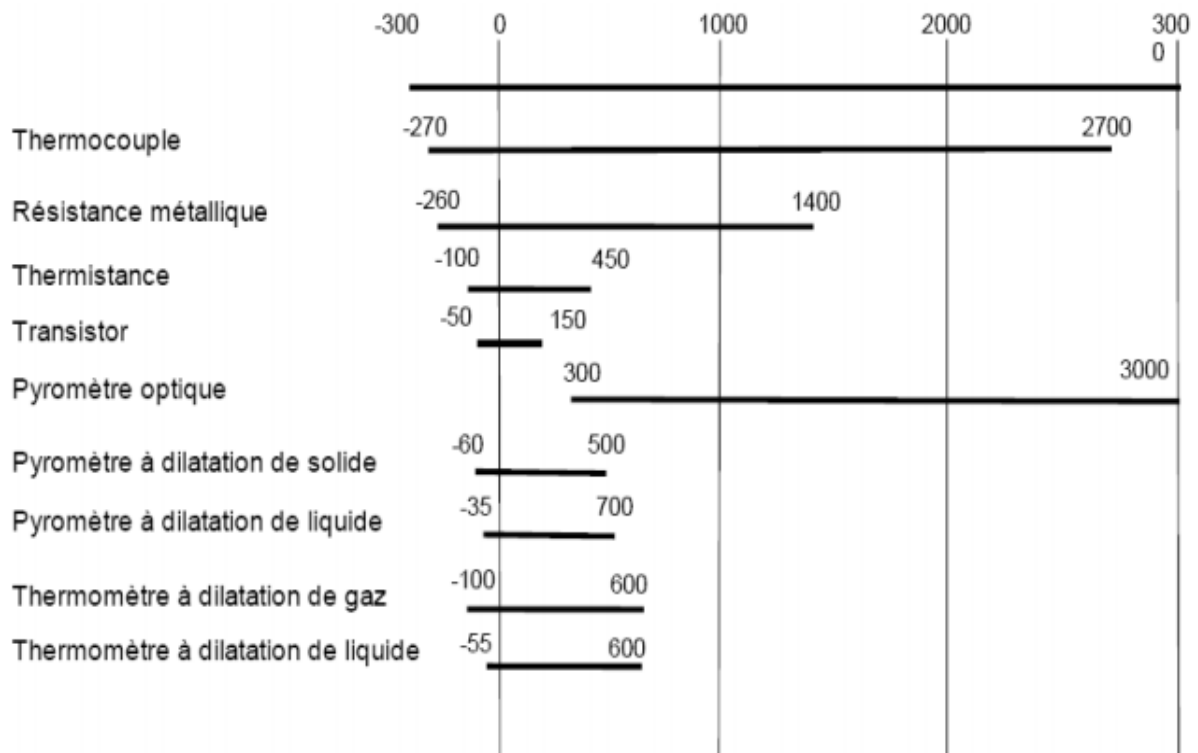


Figure 23-Gamme de température d'utilisation (en C°)

Chapitre II

Programmation en mikroC.  
Application pour les  
microcontrôleurs de la  
Famille PIC

## **II.1 Introduction**

Un microcontrôleur est un circuit électronique encapsulé dans un circuit de haut niveau d'intégration.

Les microcontrôleurs sont commercialisés par différents fabricants comme Freescale, Motorola, Intel, Philips, et Microchip.

Microchip en particulier, est un fabricant des circuits électroniques. Dans leurs lignes de production, on trouve les microcontrôleurs PICmicro, qui sont disponibles dans des différentes familles, certaines

d'entre elles sont: 12F, 16F, 18F, 24F, 30F, 33F etc....

La programmation des microcontrôleurs est basée sur le code machine.

On peut acheter les compilateurs PICC, CCS, PIC Basic, entre autres. L'étude de ce document se concentre sur le compilateur MikroC PRO, qui est un compilateur de langage C pour les microcontrôleurs PICmicro famille 12F, 16F, 18F etc...

MikroC PRO est un logiciel avec une grande variété des helps, supports et d'outils, qui facilitent la création des projets et des applications pour les microcontrôleurs PICmicro.

L'étude de cet environnement de développement est possible, parce que l'étudiant peut télécharger une démo ou version étudiant, qui a les mêmes caractéristiques que la version complète, la seule limite est la taille du code machine ne peut pas excéder 2Koctets, une capacité suffisante pour un premier apprentissage.

## **II.2 Présentation d'un microcontrôleur PIC [6]**

Ils sont des composants dits RISC (Réduced Instructions Construction Set), ou encore composant à jeu d'instructions réduit. Chaque instruction complexe peut être programmée par plusieurs instructions simples. Sachant que plus on réduit le nombre d'instructions, plus facile et plus rapide qu'en est le décodage, et plus vite le composant fonctionne.

La famille des PIC à processeur 8 bits est subdivisée à l'heure actuelle en 3 grandes catégories :

- ❖ Base-Line : ils utilisent des mots d'instruction de 12 bits.
- ❖ Mid-Range : ils utilisent des mots d'instruction de 14 bits.
- ❖ High-End : ils utilisent des mots d'instruction de 16 bits.

Il existe aussi des PIC à processeur 16 bits (PIC24F/PIC24H) et 32 bits (PIC32M) aussi.

Toutes les PICs Mid-Range ont un jeu de 35 instructions, stockent chaque instruction dans un seul mot de programme, et exécutent chaque instruction (sauf les sauts) en un cycle machine.

On atteint donc de très grandes vitesses, et les instructions sont de plus très rapidement assimilées. L'horloge fournie au PIC est divisée par 4.

C'est cette base de temps qui donne le temps d'un cycle. Si on utilise par exemple un quartz de 4MHz, on obtient donc 1000000 de cycles/seconde ; or, comme le PIC exécute pratiquement une instruction par cycle, hormis les sauts, cela nous donne une puissance de l'ordre de 1MIPS (1 Million d'Instructions Par Seconde). Pour identifier un PIC, on utilise simplement son appellation du type : wwlxxyyy-zz

- WW: Représente la catégorie du composant (12, 14, 16, 17, 18),

- L: Tolérance plus importante de la plage de tension.

- XX: Type de mémoire de programme:

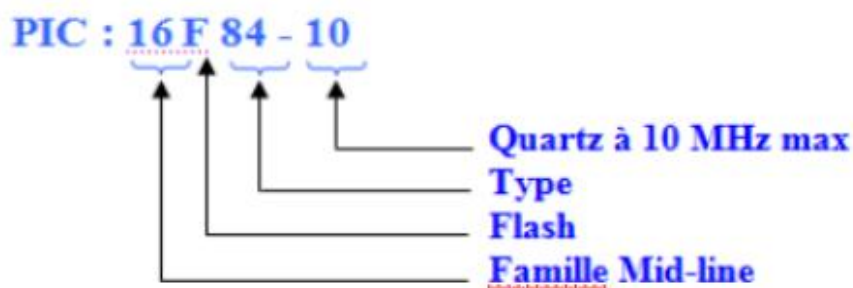
✓ C: EPROM ou EEPROM.

✓ CR: PROM.

✓ F: FLASH.

- YYY: Identification.

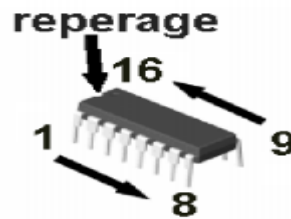
- ZZ : Vitesse maximum tolérable



**Figure 1 -appellation du type d'un PIC**

Les microcontrôleurs PIC sont présentés en boîtier DIL (Dual In Line). Un point ou une encoche donne un repérage de la broche 1, ensuite il faut se déplacer vers la droite pour avoir les autres broches. On fait le tour du circuit dans le trigonométrique.





**Figure 2- Repérage des broches**

## **II.3    Microcontrôleur PIC 16F877A**

### **II.3.1    Structure interne [4]**

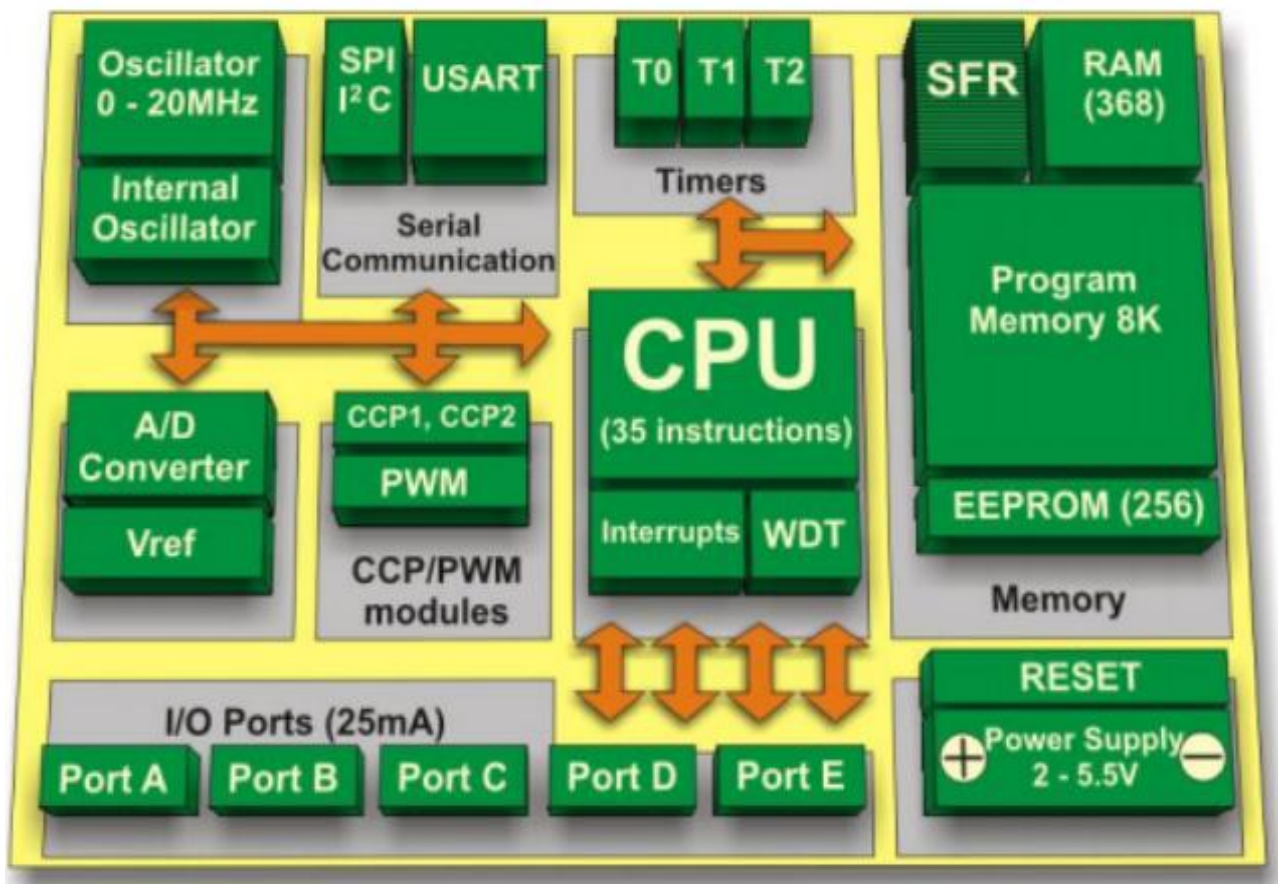
#### **➤ Caractéristiques de la CPU**

- CPU à architecture RISC (8 bits)
- Mémoire programme de 8 K mots de 14 bits (Flash),
- Mémoire donnée de 368 Octets,
- EEPROM donnée de 256 Octets,
- 14 sources interruptions
- Générateur d'horloge de type RC ou quartz (jusqu' à 20 MHz)
- 05 ports d'entrée sortie
- Fonctionnement en mode sleep pour réduction de la consommation,
- Programmation par mode ICSP (In Circuit Serial Programming) 12V ou 5V,
- Possibilité aux applications utilisateur d'accéder à la mémoire programme

#### **➤ Caractéristiques des périphériques**

- Timer0 : Timer/Compteur 8 bits avec un pré diviseur 8 bits
- Timer1 : Timer/Compteur 16 bits avec un pré division de 1, 2, 4, ou 8 ; il peut être incrémenté en mode veille (Sleep), via une horloge externe,
- Timer2 : Timer 8 bits avec deux diviseurs (pré et post diviseur)

- Deux modules « Capture, Compare et PWM » : Module capture 16 bits avec une résolution max. 12,5 ns, Module Compare 16 bits avec une résolution max. 200 ns, Module PWM avec une résolution max. 10 bits,
- Convertisseur Analogiques numériques multi-canal (8 voies) avec une conversion sur 10 bits, Synchronous Serial Port (SSP) SSP, Port série synchrone en mode I2C (mode maitre/esclave),
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART) : Port série universel, mode asynchrone (RS232) et mode synchrone



**Figure 3 - Architecture interne du PIC 16F877a**

### II.3.2 Structure externe [6]

Le PIC16F877a est un circuit intégré de 40 broches :

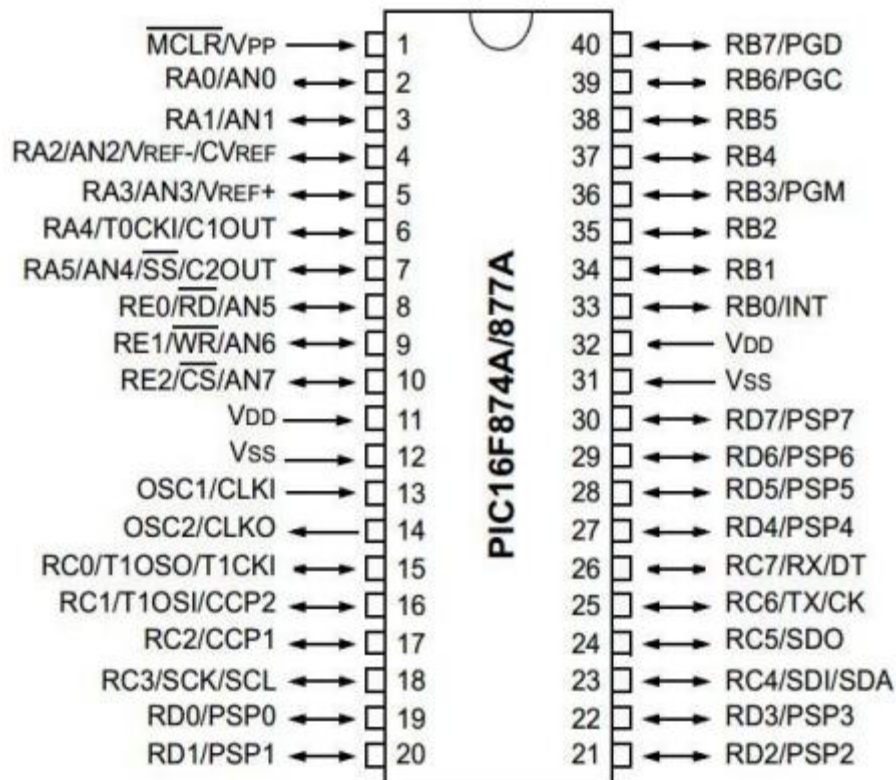
Certaines pattes ont plusieurs fonctions : On dit que les fonctions sont multiplexée

#### II.3.2.1 Ports d'entrées/sortie

Le PIC 16F877 dispose de 5 ports :

✓ 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.
- ✓ Port D : 8 pins I/O numérotées de RD0 à RD7.
- ✓ Port E : 3 pins I/O numérotées de RE0 à RE2.



**Figure 4 -Brochage du PIC16F877A**

A chaque port correspondent deux registres :

- ✓ Un registre direction pour programmer les lignes soit en entrée, soit en sortie *TRISA*, *TRISB*, *TRISC*, *TRISD* et *TRISE*.
- ✓ Un registre de données pour lire ou modifier l'état des broches. *PORTA*, *PORTB*, *PORTC*, *PORTD* et *PORTE* 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

La plupart des broches des Ports sont partagées avec des périphériques. En général si un périphérique est utilisé, les broches correspondantes ne peuvent pas être utilisées comme broches d'entrée/sortie.

### II.3.3 L'alimentation

L'alimentation du circuit est assurée par les pattes VDD et VSS. Elles permettent à l'ensemble des composants électroniques du PIC de fonctionner. Pour cela on relie VSS (patte 5) à la masse (0 Volt) et VDD (patte 14) à la borne positive de l'alimentation qui doit délivrer une tension continue comprise entre 3 et 6 Volts.

### II.3.4 Cadencement du PIC [4]

Le PIC 16F877A peut fonctionner en 4 modes d'oscillateur.

- ✓ **LP** : Low Power Crystal : quartz à faible puissance.
- ✓ **XT** : Crystal/Resonator : quartz/résonateur en céramique.
- ✓ **HS** : High Speed Crystal/Resonator : quartz à haute fréquence/résonateur en céramique HF.
- ✓ **RC** : Circuit RC (oscillateur externe).

Dans le cas du 16F877a, on peut utiliser un quartz allant jusqu'à 20Mhz relié avec deux condensateurs de découplage, du fait de la fréquence importante du quartz utilisé. Quelque soit l'oscillateur utilisé, l'horloge système dite aussi horloge instruction est obtenue en divisant la fréquence par 4. Avec un quartz de 4 MHz, on obtient une horloge instruction de 1 MHz, soit le temps pour exécuter une instruction de 1µs.

Mode	Fréquence	C1, C2
LP	32 KHz	68-100 pF
LP	200 KHz	15-33 pF
XT	100 KHz	100-150 pF
XT	2 MHz	15-33 pF
XT	4 MHz	15-33 pF
HS	4 MHz	15-33 pF
HS	10 MHz	15-33 pF

**Tableau II. 1.** Sélection de condensateur pour le fonctionnement du cristal

### II.3.5 Circuit Reset MCLR [6]

La broche MCLR (Master Clear) a pour effet de provoquer la réinitialisation du microprocesseur lorsqu'elle est connectée à 0. Lorsque le signal de "RESET" est activé, tous les registres sont initialisés et le compteur programme se place à une adresse spécifique appelée "Vecteur de RESET".

Au reset, les lignes des ports A et E sont configurées en entrées analogiques, les autres lignes sont configurées en entrées digitales.

Le courant absorbé ou fourni peut atteindre 25 mA.

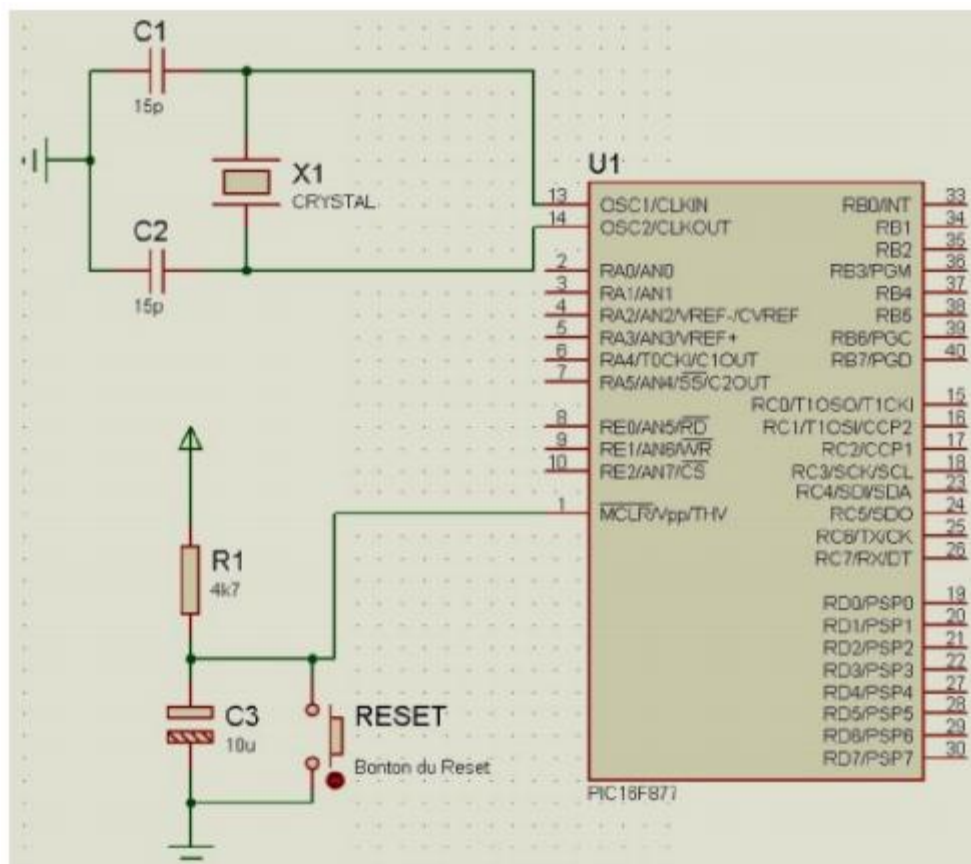


Figure II. 5- Circuit RESET et oscillateur d'un PIC 16F877a

## II.4 MikroC PRO

### II.4.1 Langage et Compilateur MikroC pour PIC [7]

Le Compilateur MikroC pour PIC a trouvé une large application pour le développement de systèmes embarqués sur la base de microcontrôleur. Il assure une combinaison de l'environnement de programmation avancée IDE (Integrated Development Environment), et d'un vaste ensemble de bibliothèques pour le matériel, de la documentation complète et d'un grand nombre des exemples.

Le compilateur MikroC pour PIC bénéficie d'une prise en main très intuitive et d'une ergonomie sans faille. Ces très nombreux outils intégrés (mode simulateur, terminal de communication Ethernet, terminal de communication USB, gestionnaire pour afficheurs 7 segments, analyseur statistique, correcteur d'erreur, explorateur de code, mode Débug ICD...) associé à sa capacité à pouvoir gérer la plupart des périphériques rencontrés dans l'industrie (Bus I2C™, 1Wire™, SPI™, RS485, Bus CAN™, USB, gestion de cartes compact Flash et SD™/MMC™, génération de signaux PWM, afficheurs LCD alphanumériques et graphiques, afficheurs LEDs à 7 segments, etc...) en font un outil de développement incontournable pour les systèmes embarqués, sans aucun compromis entre la performance et la facilité de débogage.

#### **II.4.2 Compilateur MikroC PRO pour PIC [7]**

La nouvelle version appelée **mikroC PRO** dispose de très nombreuses améliorations du compilateur **mikroC** : nouvelles variables utilisables, nouvelle interface IDE, amélioration des performances du linker et de l'optimisateur, cycle de compilation plus rapide, code machine généré plus compact, nouveaux PIC supportés, environnement de développement encore plus ergonomique, nouveaux exemples d'applications, etc.

#### **II.4.3 Déclaration des variables en C [8]**

Dans le tableau ci-dessous, on peut voir les caractéristiques des variables.

<i>Type de variable</i>	<i>Taille en octets</i>	<i>Valeurs</i>
<i>Bit</i>	<i>1</i>	<i>0 ou 1</i>
<i>Char</i>	<i>1</i>	<i>-127 à 127</i>
<i>Short</i>	<i>1</i>	<i>-127 à 127</i>
<i>Int</i>	<i>2</i>	<i>- 32767 à 32767</i>
<i>Long</i>	<i>4</i>	<i>- 2147483647 à 2147483647</i>
<i>Float</i>	<i>4</i>	<i>-1.5x10<sup>45</sup> à 3.4x10<sup>38</sup></i>
<i>Double</i>	<i>4</i>	<i>-1.5x10<sup>45</sup> à 3.4x10<sup>38</sup></i>
<i>unsigned char</i>	<i>1</i>	<i>0 à 255</i>
<i>unsigned short</i>	<i>1</i>	<i>0 à 255</i>
<i>unsigned int</i>	<i>2</i>	<i>0 à 65535</i>
<i>unsigned long</i>	<i>4</i>	<i>0 à 4294967295</i>

**Tableau II. 2 – types et caractéristiques des variables**

La déclaration des variables s'effectue en indiquant le type de la variable suivi d'un nom que le développeur attribue arbitrairement à la variable. Au moment de la déclaration d'une variable, il est possible de lui donner une valeur initiale, mais ceci n'est pas strictement nécessaire. Enfin, la déclaration doit se terminer par un point-virgule ( ; ).

Dans les exemples suivants, on peut voir comment les déclarations sont faites :

```
bit VARIABLE1_BIT ;      //Déclaration d'une variable type bit.
char CARACTERE ;      // Déclaration d'une variable type char.
char CARACTERE2='J' ; //Déclaration d'une variable de type char initialisée
                        //avec la valeur ASCII le caractère J.
int ENTIER=1234 ;      // Déclaration d'une variable entière initialisée avec
                        //la valeur 1234.
Float DECIMAL=-12.45 ; // Déclaration d'une variable avec un point virgule
                        //initialisée avec la valeur -12,45.

Double DECIMAL2=56.68 ; // Déclaration d'une variable avec un point
                        virgule
                        //initialisée avec la valeur 56,68.
long ENTIER2=-954261 ; // Déclaration d'une variable entière de type long
                        // initialisée avec la valeur -954261.
```

#### **II.4.4 Création d'un nouveau projet**

Le *mikroC PRO* pour PIC organise des applications dans des projets, composé d'un seul fichier de projet (extension. *Mcppi*) et un ou plusieurs fichiers sources (extension).

Les fichiers source peut être compilé que si elles font partie d'un projet.

Le fichier projet contient les informations suivantes :

- Nom du projet et une description facultative
- Composant cible
- Option du composant
- Fréquence d'horloge du composant
- La liste des fichiers source du projet avec les chemins
- Fichiers d'image
- Fichiers binaires (\* mcl.)

- D'autres fichiers

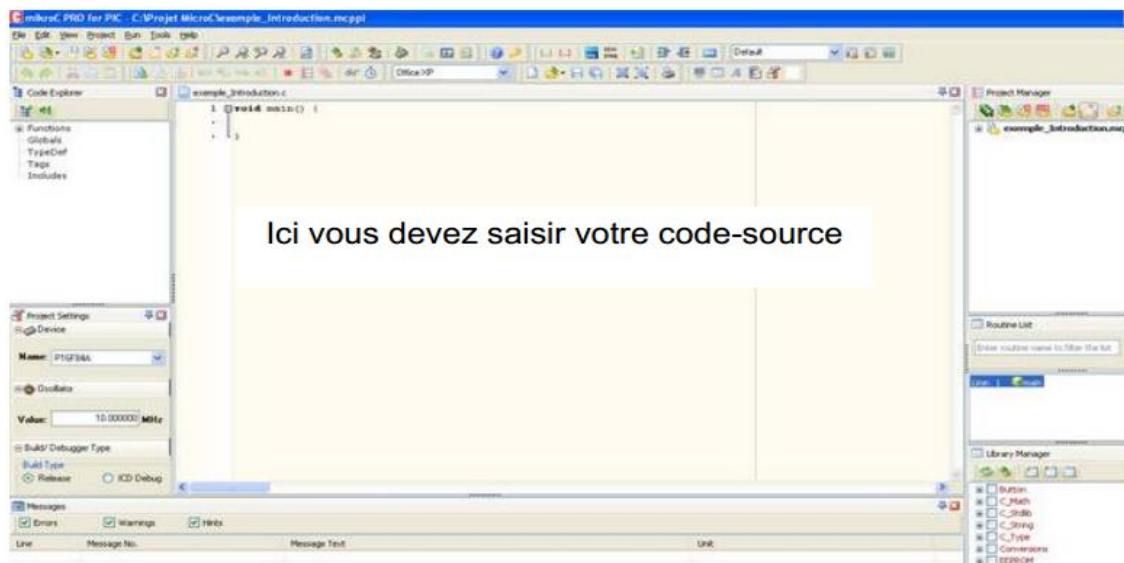
La meilleure façon de créer un projet c'est :

- ✓ à l'aide de l'Assistant Nouveau projet (menu *Project*> *New Project*) ou en cliquant sur l'icône *Nouveau projet* à partir de la barre d'outils du projet.
- ✓ Commencez à créer votre nouveau projet, en cliquant sur le bouton *Next*.
- ✓ Sélectionnez le périphérique dans le périphérique dans la liste déroulante.
- ✓ Saisir la valeur de fréquence de l'oscillateur.
- ✓ Spécifiez l'emplacement où votre projet sera enregistré.
- ✓ Ajout pour le projet un fichier s'ils sont disponibles en ce moment.

vous pouvez toujours ajouter des fichiers de projet plus tard en utilisant *Project Manager*.


- ✓ Cliquez sur *Finish* pour créer votre nouveau projet.

A ce stade, une nouvelle fenêtre vide (fig. 1.4) s'affiche afin que vous puissiez y saisir votre programme.



**Figure II. 6** - L'interface de mikroC pro

A chaque modification effectuée sur le code du programme, on doit compiler le code en appuyant

sur le bouton suivant  : il est situé en haut du programme dans la barre d'outils. Cette action produit des résultats de la compilation qu'on trouve dans la partie inférieure de la fenêtre de programme. Les messages doivent se terminer par un texte '*Finished successfully*'.



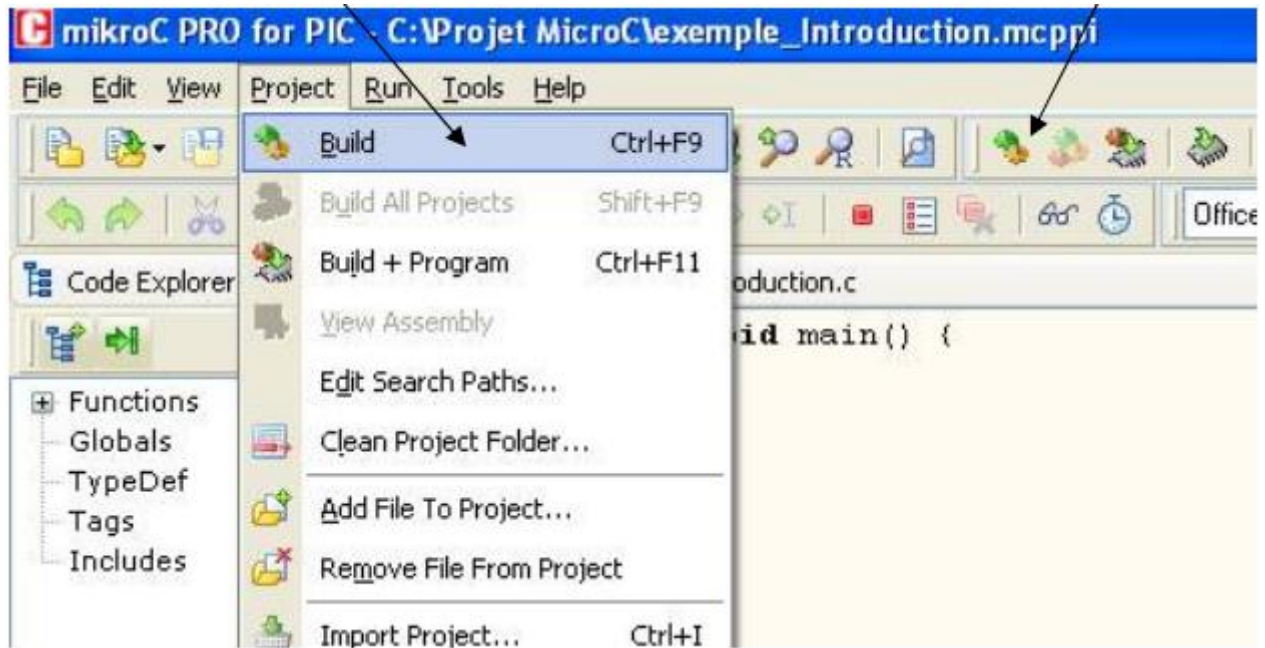


Figure II.7 - Compilation de programme en mikroC.


Si plus d'un projet est ouvert, vous pouvez compiler tous ouverts projets en sélectionnant *Project Build All* dans le menu déroulant, ou cliquez sur  l'icône de la barre d'outils du projet. Barre de progression s'affiche pour vous informer sur l'état de la compilation. Si il y a des quelques erreurs, vous en serez informé dans la fenêtre d'erreur (Figure II. 8)



Figure II. 9 -Barre de progression

Après la compilation réussie, le compilateur *mikroC PRO* pour PIC génère des fichiers de sortie dans le dossier du projet (dossier qui contient le fichier projet. mcppi). Les fichiers de sortie sont résumés dans le tableau ci-dessous:

Format	Description	Type de fichier
Intel HEX	Code hexadécimal dans le format Intel. Fichier est utilisé pour programmer PIC	.hex
Binary	Fichier compilé pour la bibliothèque <i>mikroC</i> . Les distributions binaires sont des routines qui susceptibles d'être inscrits dans d'autres projets.	.mcl
List File	L'image globale de l'allocation de mémoire du PIC pour : adresses d'instructions, les registres et les étiquettes du programme.	.lst
Assembler File	Le fichier en assembleur avec des noms symboliques, obtenus à partir de liste des fichiers.	.asm

**Figure II. 10** - Les fichiers de sortie de notre projet

#### **II.4.5 Structure d'un programme en mikroC [7]**

La structure la plus simple d'un programme en mikroC, c'est le programme représenté dans le code-source 2.1, qui nous permettra de faire clignoter une LED connectée au PORTB (par exemple bit 0 du PORTB) du microcontrôleur PIC16F877A avec une période de 2 secondes (1 seconde allumée et une seconde éteinte)

#### **Code-source 1:**

Oscillateur : HS, 4.0000 Mhz

Void main ()

{

For (;;)                      // Boucle sans fin

{

```
TRISB = 0;           // Configuration du PORTB en sortie

PORTB.RB0 = 1;      // RB0 = 1

Delay_Ms(1000);    // Pause d'une seconde

PORTB.RB0 = 0;     // RB0 = 0

Delay_Ms(1000);    // Pause d'une seconde

}                  // Fin de la boucle

}
```

#### **II.4.5.1      Début et fin d'un programme**

En langage mikroC, un programme commence avec les mots-clés: void main()

Après cela, une accolade ouvrante est utilisée pour indiquer le début du corps de programme.

Le programme se termine par une accolade fermante.

Ainsi, comme indiqué dans le Code-source 2.1, le programme a la structure suivante :

```
void main()
{
// Votre code ici
}
```

#### **II.4.5.2      Les registres TRIS**

Les registres TRIS ont le même nombre de bits que les ports, par exemple le port B ou PORTB de ce PIC est de 8 bits, donc le TRISB comporte également 8 bits. Les bits des registres TRIS correspondent

à ceux des ports, et définissent bit à bit l'état du port. Si un bit du TRIS est 0 le même bit du port est en sortie, et Si un bit du TRIS est 1 le même bit du port est en entrée ou en haute impédance. Pour voir ce concept plus clairement, on observe et on analyse l'exemple suivant:

```
TRISB = 0b11110000; // Configure le quartet des bits de poids faible en
                    //sortie, et le quartet des bits de poids fort en entrée.

PORTB=0b00000000; //Les bits de sortie ont un 0 logique
```

### **II.4.5.3      Fin d'une instruction**

Le point virgule « ; » indique la fin d'une instruction, sinon une erreur du compilateur sera générée.

`j = 5; // correcte`

`j = 5 // erreur`

### **II.4.5.4      Espaces blancs**

Les espaces blancs sont des espaces, des flans, les tabulations et les caractères de nouvelle ligne. Le compilateur mikroC ne tient pas compte tous les espaces blancs. Ainsi, les trois séquences suivantes sont identiques :

`int i; char j;`

ou

`int i;`

`char j;`

ou

`int i;`

`char j;`

De même, les séquences suivantes sont identiques :

`i=j+2 ;`

ou

`i=j`

`+2 ;`

### **II.4.5.5      Commentaires**

Les commentaires sont utilisés pour préciser le fonctionnement du programme et pour une annotation du programme. Les lignes de commentaires sont ignorées et non compilé par le compilateur.

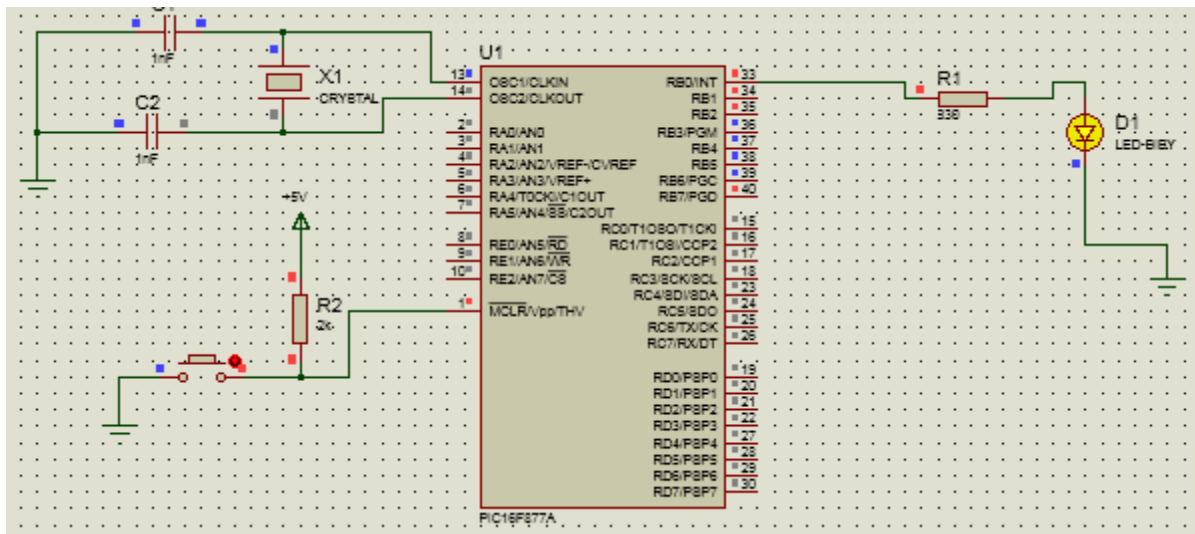
En mikroC les commentaires de programmes peuvent être de deux types: de *longs commentaires*, s'étendant sur plusieurs lignes, et de *courts commentaires*, occupant une seule ligne.

Un commentaire au début d'un programme peut décrire brièvement le fonctionnement du programme et de fournir le nom de l'auteur, le nom du fichier programme, la date à laquelle le programme a été écrit, et une liste des numéros de version, ainsi que les modifications dans chaque version.

Comme montre le Code-source 2.1 les *longs commentaires* commencent par le caractère « /\* » et se termine par le caractère « \*/ ».

De même, de *courts commentaires* commencent par le caractère « // » et il n'a pas besoin d'un caractère de terminaison.

L'étape suivante est de faire la simulation sur ISIS, les résistances des LED doivent être changées à 330Ω, l'entrée Master CLeaR, MCLR doit être connecté à Vcc pour que le PIC ne redémarre pas, à la fin on devrait voir la forme suivante:



**Figure II. 11** - la simulation en ISIS.

Avant de lancer la simulation, on doit charger le fichier .Hex. Pour procéder on double clique sur le PIC, et une fenêtre qui permet de rechercher le fichier .Hex, dans cette fenêtre on peut également ajuster la fréquence d'oscillation. Par défaut, cette valeur est de 1 MHz, à des fins de simulation dans ce cas, on doit sélectionner 4 MHz.

**Exemple1 :** Cet exemple utilise un bouton et deux LED pour afficher le comportement du programme. On observe et on analyse le programme ci-dessous:

```
Void main () {
    Unsigned int COMPTEUR=0;
    TRISB = 0b11110000; // Configure le quartet des bits de poids faible en
                        // Sortie, et le quartet des bits de poids fort en entrée.
    PORTB=0b00000000; // Les bits de sortie ont un 0 logique
```

```
While (1)
{
If (portb.rb7=1)
{
If (portb.rb0=1)
portb.rb0=0;
Else
PORTB.rb0=1;
While (PORTB.RB7==0);      //attend que RB7 passe à 1
}
COMPTEUR++;
if (COMPTEUR&0x0100)
PORTB.F1=1;
Else
PORTB.F1=0;
}
}
```

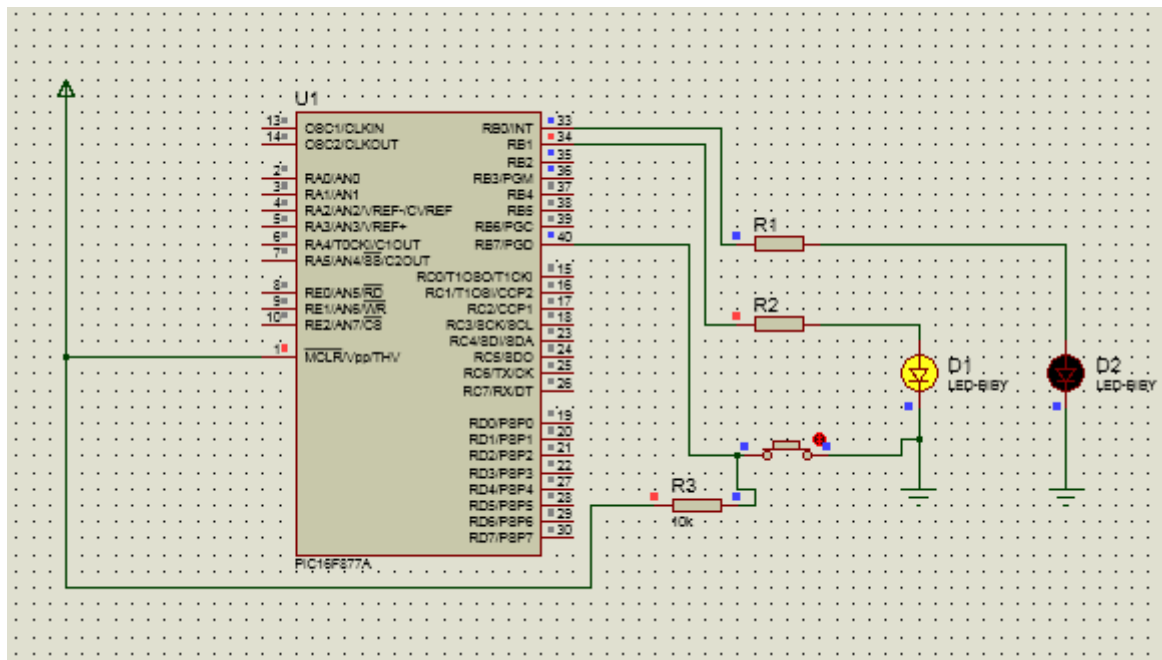


Figure II. 12 - la simulation de l'exemple 1 en ISIS

## II.5 Affichage des données [8]

La conception des systèmes à microcontrôleurs implique parfois l'affichage des données à l'utilisateur. A cet effet on peut utiliser l'afficheur de caractère à cristaux liquides LCD et l'afficheur LCD à écran graphique. Dans la suite, on étudie et on illustre ces dispositifs par des exemples.

L'implémentation de l'afficheur LCD, requiert l'utilisation des instructions et des commandes séquentielles pour la configuration et l'utilisation de l'afficheur, cependant, la bibliothèque de MikroC PRO minimise ce travail, car elle se charge de faire tous ces réglages, ce qui rend beaucoup plus facile le travail développeur.

Comme première étape pour l'utilisation du LCD, il est nécessaire de définir les broches de connexion, puis l'exécution de la fonction d'initialisation du LCD : Lcd\_Init (). La définition des broches de connexion est assurée par le développeur d'une façon arbitraire selon son choix. Pour répondre à cet

objectif, on utilise la déclaration suivante des constantes :

```
//Broches de sortie du LCD
sbit LCD_RS at RB4_bit;
sbit LCD_EN at RB5_bit;
sbit LCD_D7 at RB3_bit;
```

```
sbit LCD_D6 at RB2_bit;
sbit LCD_D5 at RB1_bit;
sbit LCD_D4 at RB0_bit;
//Bits de configuration TRIS
sbit LCD_RS_Direction at TRISB4_bit;
sbit LCD_EN_Direction at TRISB5_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISB3_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISB2_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISB1_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISB0_bit;
```

Pour imprimer une chaîne de caractères avec une coordonnée comme point de départ, on implémente la fonction : `Lcd_Out (char row, char column, char *text)`.

Cette fonction est similaire à la précédente, à la différence qu'on inclut les données row et column, qui font référence respectivement à la ligne et la colonne. Pour bien comprendre le fonctionnement de cette fonction d'observe et on analyse l'exemple suivant:

```
Void main (void)
{
Lcd_Init ();           //Initialisation du LCD.
Lcd_Out (1, 1, "Ligne 1, Colonne 1");
Lcd_Out (2, 2, "Ligne 2, Colonne 2");
while(1)              //Boucle infinie.
{
}
} }
```



Après la compilation et la simulation de cet exemple, on devrait observer sur l'écran LCD comme suit:

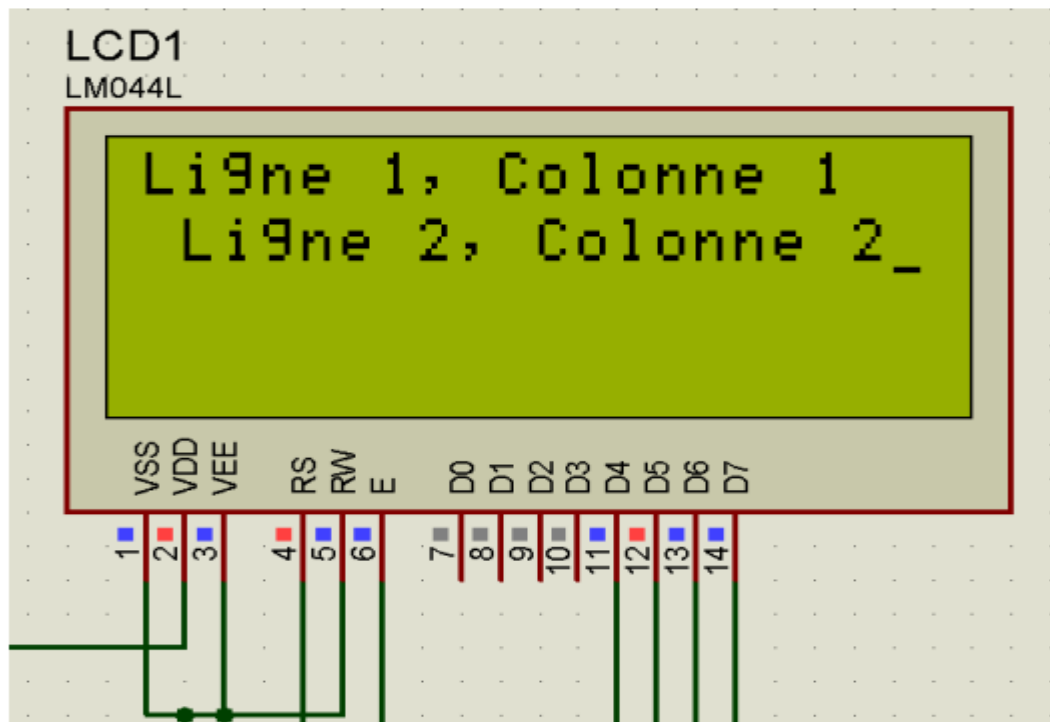


Figure II. 13 - L'affichage de LCD

## II.6 Utilisation de clavier matriciel

Le programme ci-dessous montre comment saisir au clavier matriciel une valeur numérique et l'afficher sur l'afficheur LCD. Ce programme pourra servir de base pour des applications utilisant des claviers et afficheurs LCD.

### Exemple2

```
Char keypad Port at PORTB;
```

```
// End Keypad module connections
```

```
// LCD module connections
```

```
sbit LCD_RS at RD1_bit;
```

```
sbit LCD_EN at RD0_bit;
```

```
sbit LCD_D7 at RD7_bit;
```

```
sbit LCD_D6 at RD6_bit;
```

```
sbit LCD_D5 at RD5_bit;

sbit LCD_D4 at RD4_bit;

    // End LCD module connections

Sbit LCD_RS_Direction at TRISD1_bit;

Sbit LCD_EN_Direction at TRISD0_bit;

Sbit LCD_D7_Direction at TRISD7_bit;

Sbit LCD_D6_Direction at TRISD6_bit;

Sbit LCD_D5_Direction at TRISD5_bit;

Sbit LCD_D4_Direction at TRISD4_bit;

Void main () {

Unsigned short KP;

Lcd_Init ();                // Initialize LCD

Keypad_Init ();            // Initialize kp

Lcd_Cmd (_LCD_CLEAR);      // Clear display

//Lcd_Cmd (_LCD_CURSOR_OFF); // Cursor off

    While (1)

    {

do

kp = Keypad_Key_Click ();    // Store key code in kp variable

while (!kp);

if ( kp == 15) break;

if (kp > 3 && kp < 8) kp = kp-1;
```

```

if (kp > 8 && kp < 12) kp = kp-2;

if (kp ==14)kp = 0;

Lcd_Chr_Cp (kp + '0');

}

}
    
```

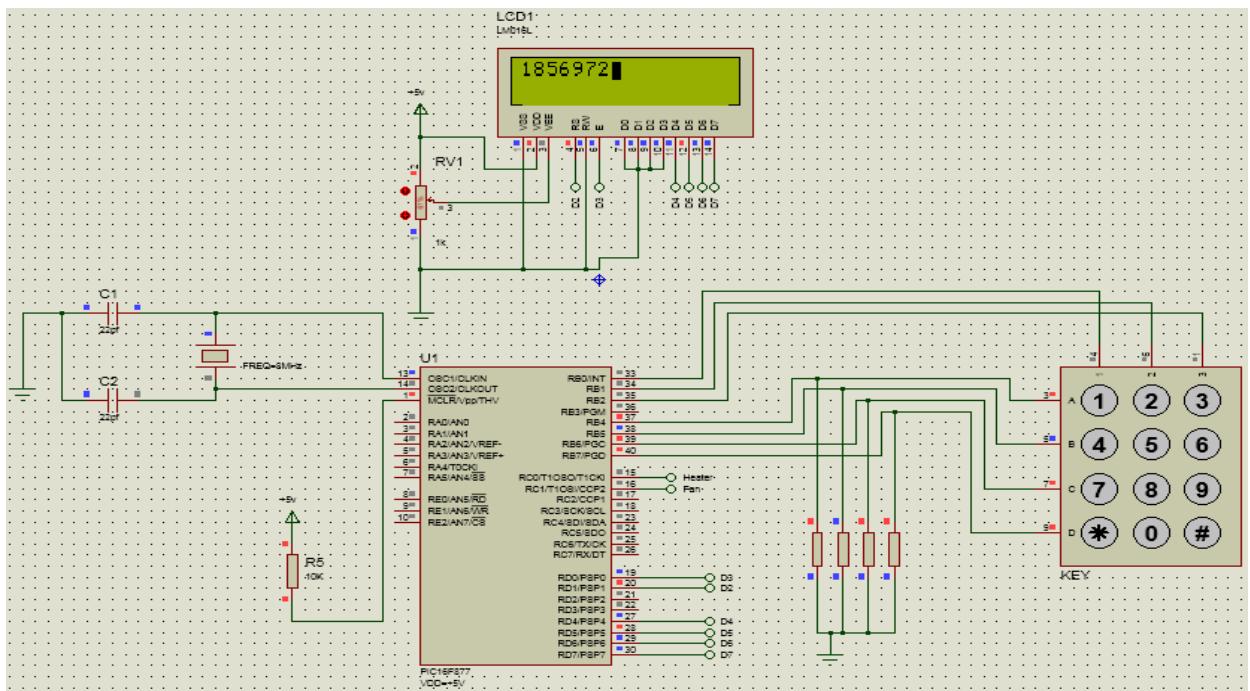


Figure II. 14 - simulation de l'exemple 2 (utilisation de clavier).

## II.7 Conclusion

Ce chapitre nous a permis de faire connaissance avec les microcontrôleurs leur structures internes, externe et leur programmation, se familiariser avec le logiciel mikroC, nous avons commence avec des exemples simples de programmation ainsi nous avons pu allumer des LED, afficher sur un écran LCD, configurer un clavier. En somme notre microcontrôleur est prêt pour notre projet.

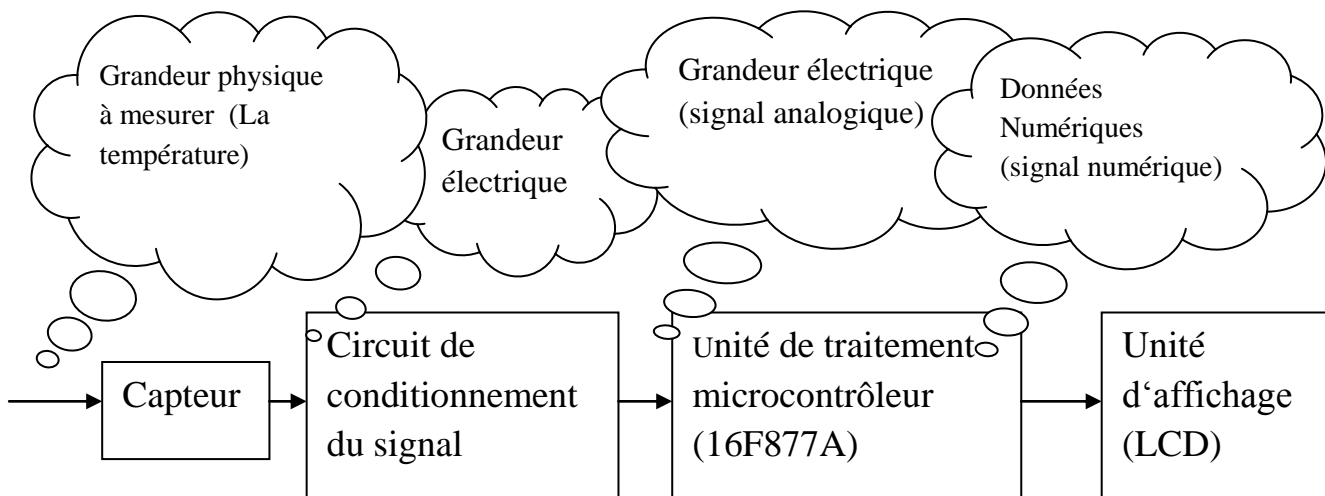
Chapitre III  
Simulation et  
Réalisation pratique

## III.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons exposer les principaux résultats de simulation et pratiques obtenus dans ce travail. Il nous a permis de réaliser une carte électronique capable de contrôler la température par un capteur LM335 à base des microcontrôleurs PIC16F877A.

## III.2 Schéma synoptique

Le principe de fonctionnement de notre carte est représenté par le schéma synoptique suivant :



**Figure III. 1** - Schéma synoptique global

## III.3 Matériel utilisé

Tous les composants nécessaires dans cette application seront détaillés dans cette partie.

### III.3.1 Le microcontrôleur 16F877A

Le microcontrôleur fait le traitement des informations depuis le programme chargé dans son mémoire programme (32ko), une mémoire de données de 256 octets, de nombreux ports d'entrées/sorties, 13 ADC sur 10 bits pour la conversion A/N.

### III.3.2 Le capteur utilisé

Au début on a essayé d'utiliser le capteur LM35, mais ces propriétés ne lui permettent pas de mesurer des températures négatives.

Donc on a changé le capteur LM35 par un autre LM335z qui peut aller de(-50°C jusqu'à 150°C).

Les résultats sont plus précis que le LM35.

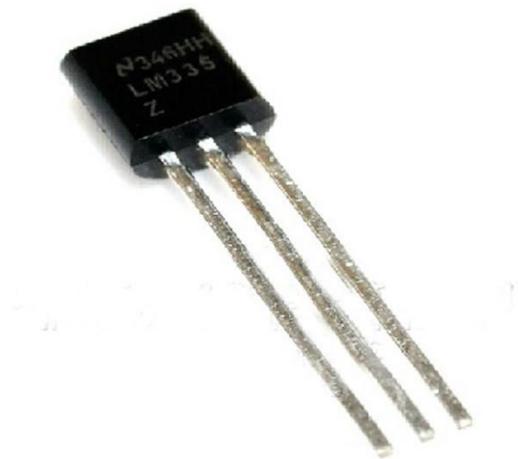


Figure III. 2 - capteur lm335z

❖ **Les caractéristiques de capteur lm335z :**

Le LM335z est un capteur à circuit intégré dont les caractéristiques sont:

- Alimentation du capteur (4V / 20V)
- Précision avec Le facteur d'échelle est  $0.1V/^{\circ}C$
- Gamme de température entre  $-50^{\circ}C$  et  $150^{\circ}C$
- Facilement calibré.

### III.3.3 L'oscillateur

L'horloge est réalisée à l'aide d'un oscillateur cristal à 4MHZ.

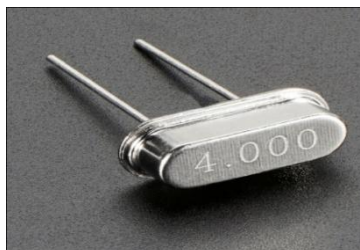


Figure III. 3 - Oscillateur cristal à 4MHZ.

### III.3.4 Capacité

Pour que l'oscillateur fonctionne normalement nous utilisons deux condensateurs liées à la terre d'un pin et l'autre pin à l'Oscillateur de valeur 22 pF

### III.3.5 Afficheur LCD (Principe de fonctionnement)

Un afficheur LCD est capable d'afficher tous les caractères alphanumériques usuels et quelques symboles supplémentaires. Pour certains afficheurs, il est même possible de créer ses propres caractères. Chaque caractère est identifié par son code ASCII qu'il faut envoyer sur les lignes D0 à D7 broches 7 à 14. Ces lignes sont aussi utilisées pour la gestion de l'affichage avec envoi d'instructions telles que l'effacement de l'écriture en ligne 1 ou en ligne 2, le sens de défilement du curseur.

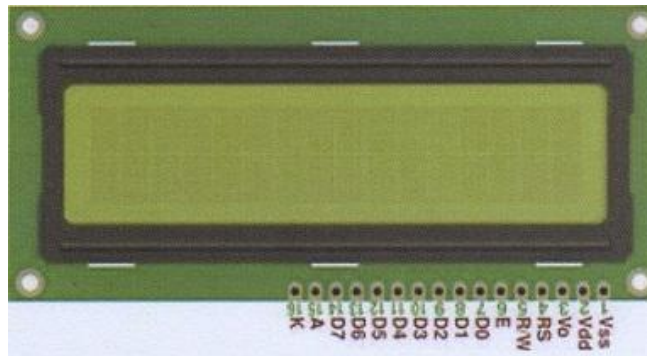


Figure 4 - afficheur LCD.

#### III.3.5.1 Raccordement de l'alimentation

Le potentiomètre permet de régler le contraste de l'afficheur.

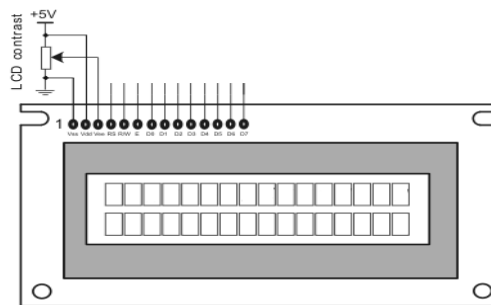


Figure 5 - Schéma raccordement de l'alimentation.

III.3.5.2 Le brochage de LCD

Au-dessous de l'écran à cristaux liquides proprement dit, on trouve une série de 16 broches chaque broche assure une fonction précise comme le montera le tableau suivant :

Broche	Nom	Niveau	Fonction
1	Vss	-	Masse
2	Vdd	-	Alimentation positive +5V
3	Vo	0-5V	Cette tension permet, en la faisant varier entre 0 et +5V, le réglage du contraste de l'afficheur.
4	RS	TTL	Sélection du registre (Registre Select) Grâce à cette broche, l'afficheur est capable de faire la différence une commande et une donnée. Un niveau bas indique une commande et un niveau haut indique une donnée.
5	R/W	TTL	Lecture ou écriture (Read/Write) L:Ecriture/H:Lecture
6	E	TTL	Entrée de validation (Enable) active sur front descendant. Le niveau haut doit être maintenu pendant au moins 450ns à l'état haut.
7	D0->D7	TTL	Bus de donnée bidirectionnel 3 états (haute impédance lorsque E=0)
8	A	-	Ano de rétro éclairage (+5V)
9	K	-	Catho de rétro éclairage (masse)

Tableau III. 1 - Brochage d'un Afficheur LCD.



### III.3.6 Bouton poussoir

Pour contrôler la température on va ajouter un bouton poussoir branché à une entrée du notre microcontrôleur, et on va programmer notre microcontrôleur pour faire une comparaison entre la valeur détectée par le capteur LM335 et la valeur qu'on entre manuellement.

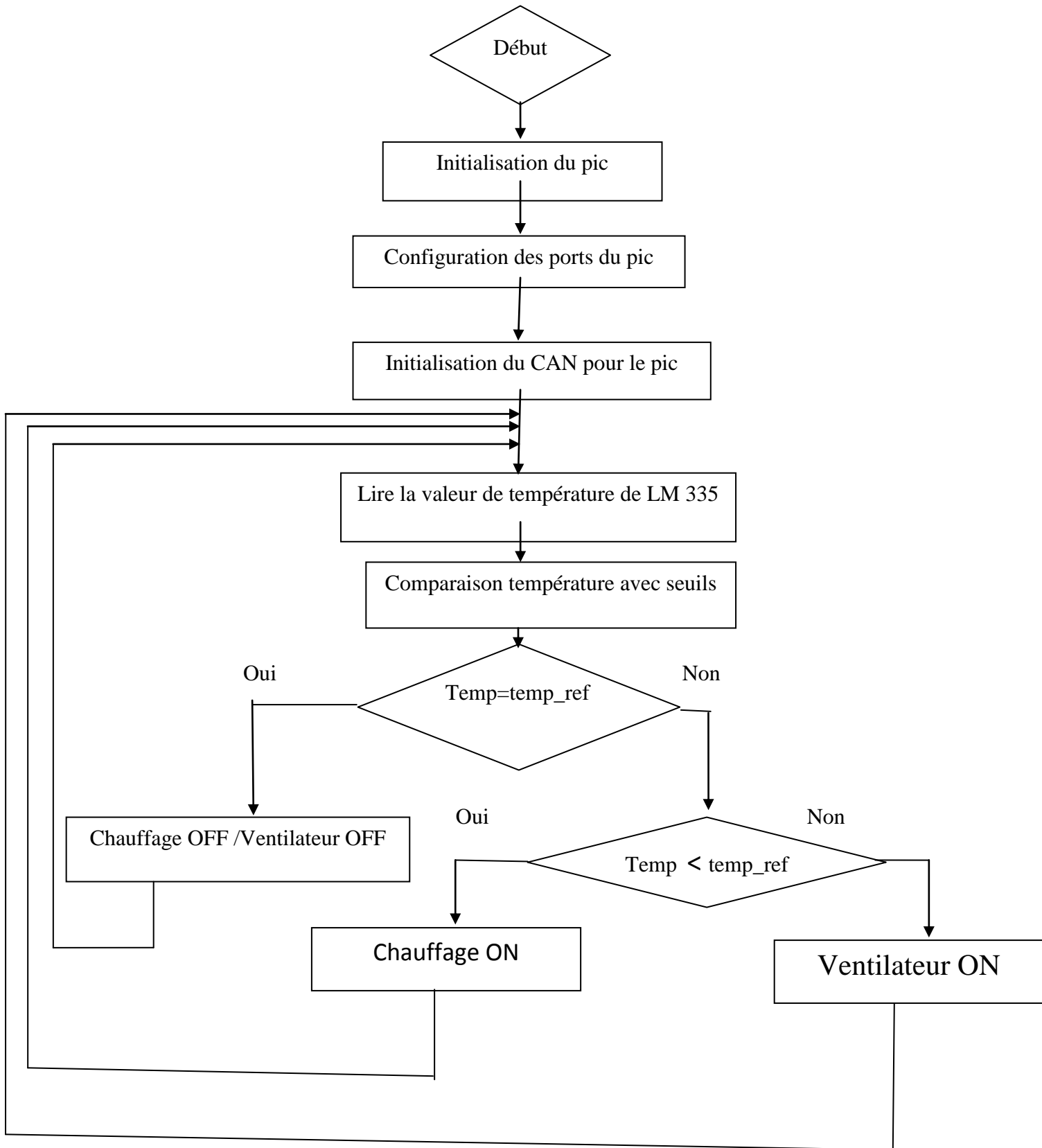
- Cette comparaison est divisée en trois plages :

Une plage pour l'alimentation du ventilateur branché dans une sortie du microcontrôleur.

Une plage pour l'alimentation du réchauffeur.

Et la dernière plage repos pour les deux.

III.4 - L'organigramme du projet



**III.5 Conception et Simulation du projet****III.5.1 Ecriture du programme**

La programmation du microcontrôleur se fait avec le logiciel MikroC. Après l'édition du programme, sa compilation permet de voir s'il n'y a pas d'erreurs sur les syntaxes. Si tout est correct, un fichier en format hexadécimal (.hex) sera créé. Cette étape est indispensable pour que le programme soit reconnu et exécuté par le microcontrôleur. Ainsi, une fois le fichier hexadécimal créé, le transfert vers la mémoire programme du PIC pourra se faire.

**III.5.2 Prestation générale de proteus [11]**

Le logiciel PROTEUS est composé de trois modules :

- L'éditeur de schéma ISIS
- Le simulateur LISA
- L'outil de conception de circuit imprimé ARES

ISIS produit d'une part, une liste d'équipotentiels qui peut être utilisée par le simulateur LISA et l'outil de conception de circuit imprimé ARES, d'autre part, une liste de matériel et des rapports de contrôle des règles électriques.

LISA est un ensemble de modules de simulation lié à ISIS. Le noyau de simulation PROSPICE est basé sur la version 3F5 du moteur SPICE publié par l'université de Berkeley.

ARES est un module de conception de circuit imprimé compatible Windows, 98 2000 et XP. Il permet le placement des composants en mode automatique, manuel ou semi-automatique et le routage des liaisons sur plusieurs couches en mode automatique manuel ou semi-automatique.

**III.6 Schématisation de développement de la carte sous ISIS PROTEUS****III.6.1 Simulation de notre projet**

Le schéma électrique de notre carte de commande et régulation de température est montré dans la figure 6. Il contient tous les composants déjà cité ci-dessus.

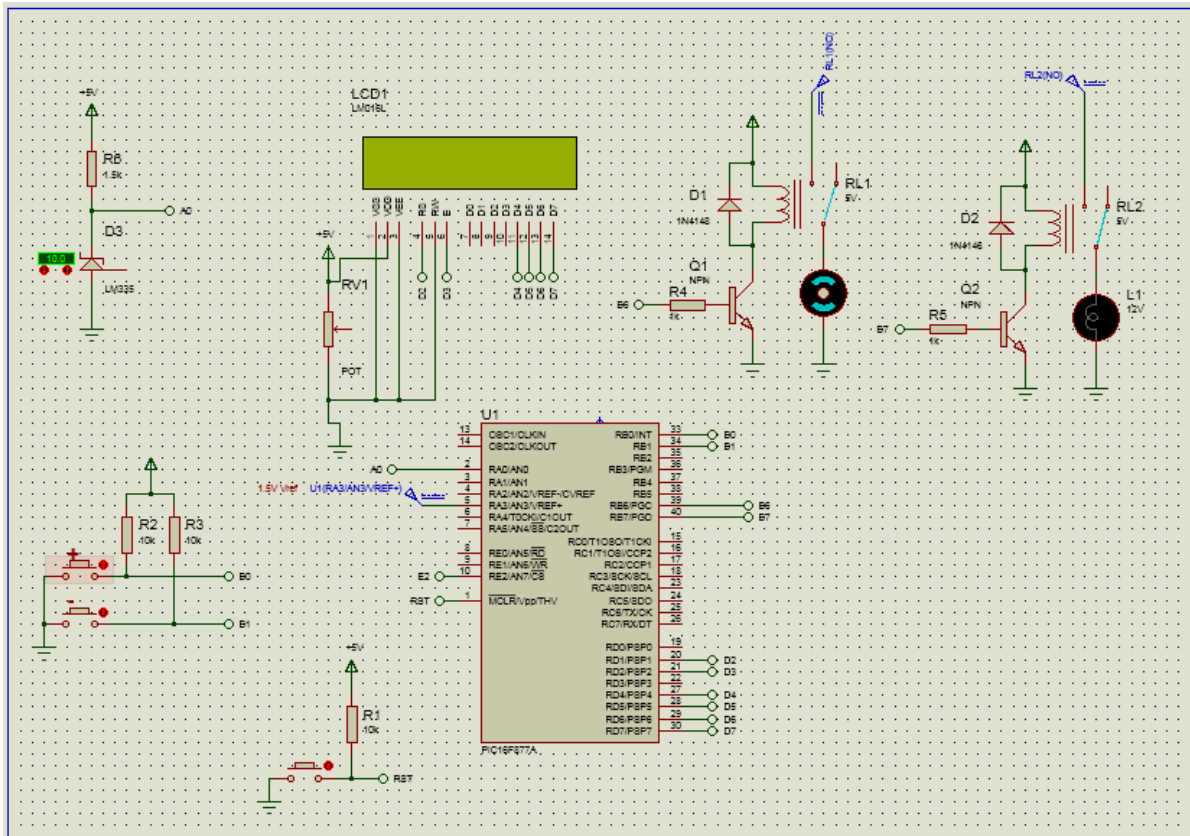


Figure 6 - Le schéma électrique de notre carte

Le schéma suivant montre que la température de référence est de 10°C et la température affichée est de 8.99 °C donc le contrôleur doit ajuster cette température jusqu'à atteindre la valeur de référence, pour cela notre microcontrôleur va envoyer un 1 sur la sortie RB7 qui va sur la base du transistor pour qu'il soit saturé et fermer le contact responsable du chauffage de la résistance.



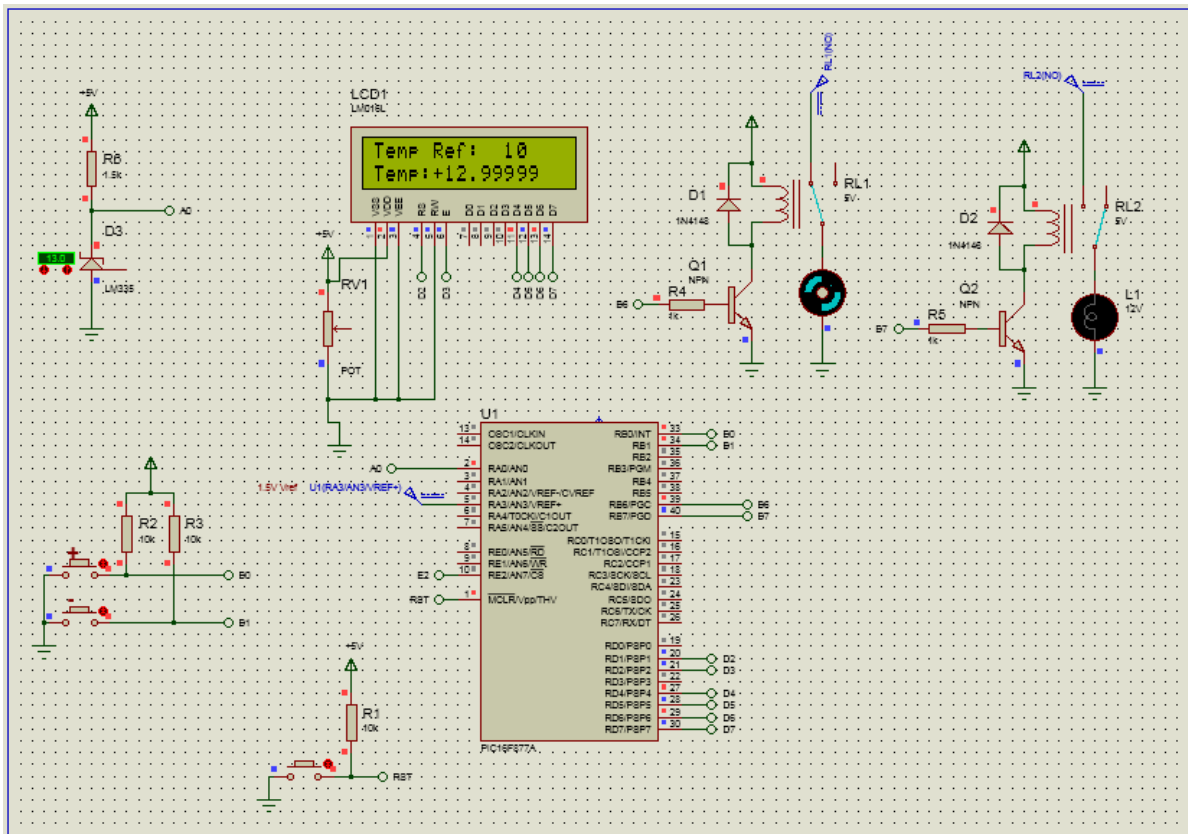


Figure III. 8 - L'activation du ventilateur à l'aide d'un PIC16F877A

### III.7 Les différentes étapes de réalisation pratique

#### III.7.1 Chargement de programme

Dans la phase terminale, une fois le fichier source compilé et simulé, il va falloir transférer le fichier code-machine dans la mémoire du PIC. Pour cela, nous avons utilisé un programmeur (USB auto alimenté) et son logiciel de transfert adapté connu sous le nom de "WinPic800".

La figure(III.9) illustre la fenêtre de configuration du programmeur géré par Winpic800.

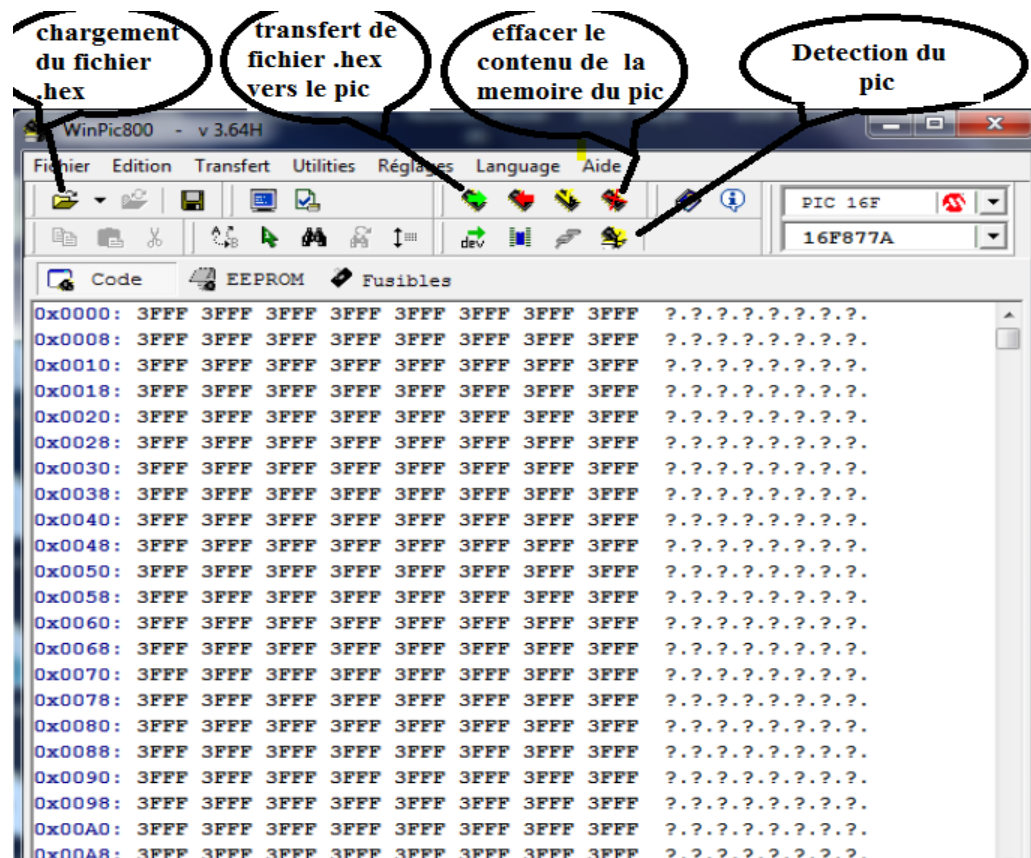


Figure III. 9 - Configuration du programmeur géré par Winpic800.

Pour pouvoir transférer le programme dans la mémoire du PIC on procède comme suit :

On lance la détection automatique du PIC en cliquant sur l'icône "Détection Device". La puissance de ce logiciel est capable de programmer une multitude de composants (différent PIC et EEPROM) cependant il est recommandé d'effacer le PIC avant toute nouvelle programmation. On charge ensuite le fichier \*.HEX de notre programme en cliquant sur l'icône "Ouvrir". Et en fin on procède au transfert par l'icône "Lire".

## III.7.2 Test sur la plaque d'essai

En premier lieu, il faut faire tout ce qu'on fait jusqu'à présent, en termes de réalisation du schéma et des tests de bon fonctionnement en plaque d'essai vis-à-vis en simulation.

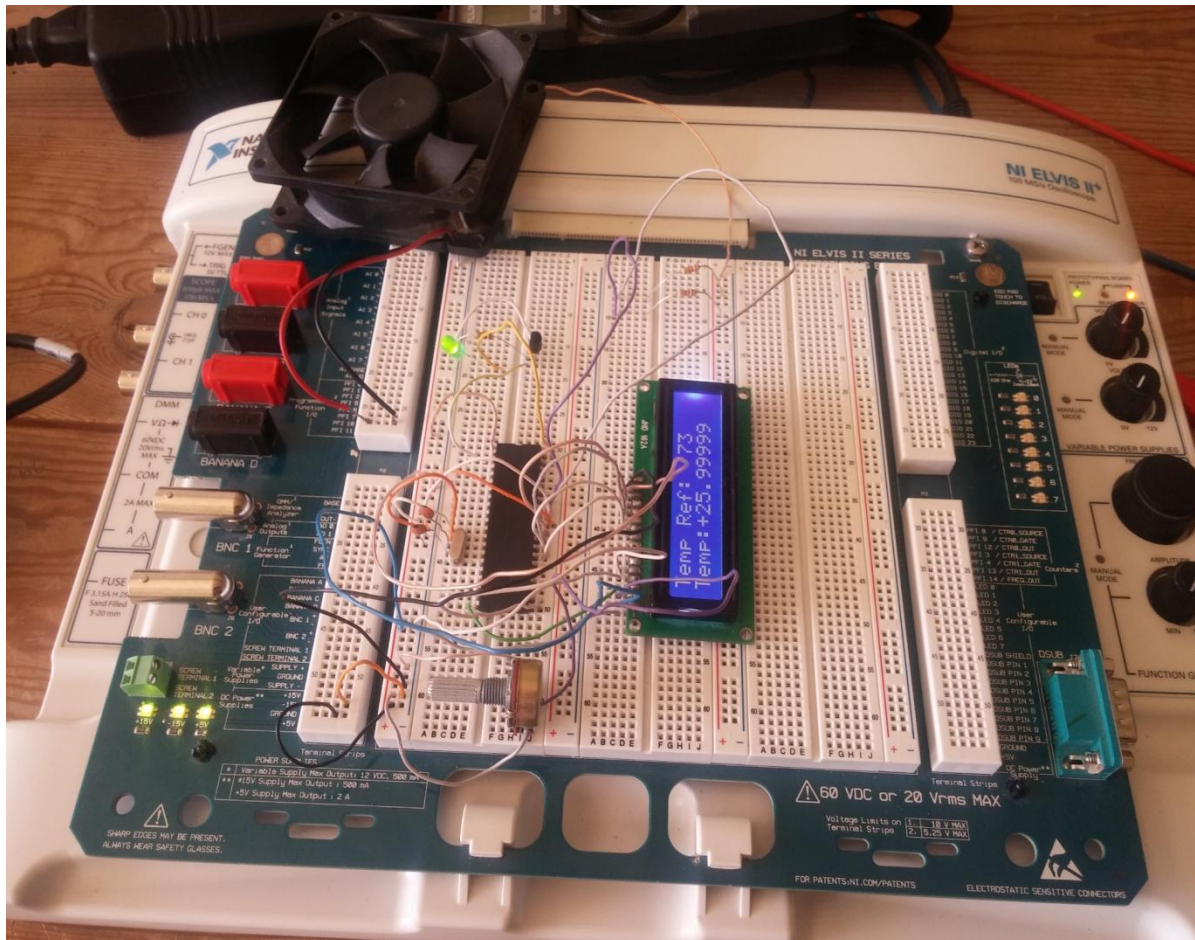


Figure III. 10 - Test sur la plaque d'essai.



### III.7.3 Schématisation de la carte sous ARES

Une fois les tests effectués on étudie comment les composants vont s'organiser physiquement sur la future carte électronique.

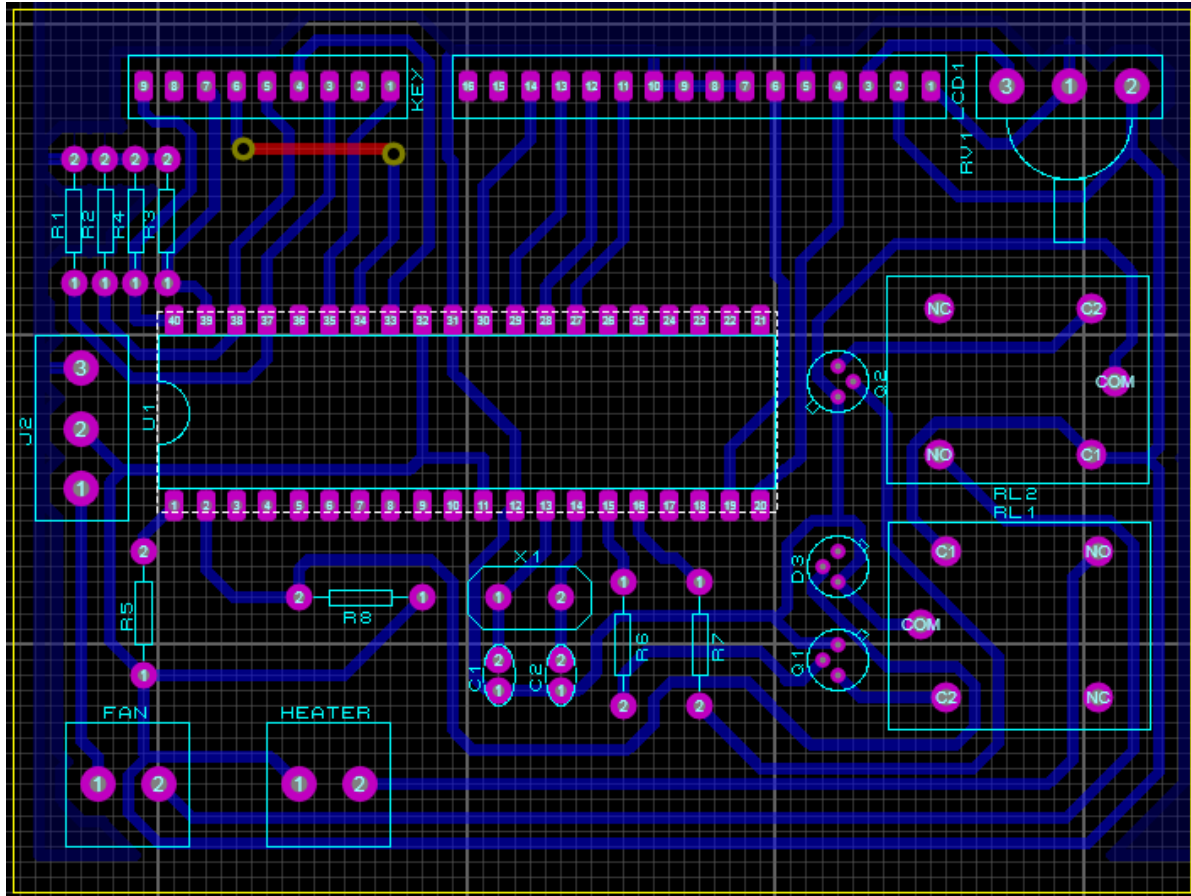


Figure III. 11 - Schématisation de la carte sous ARES

### III.7.4 Utilisation d'un typon

La méthode la plus utilisée aujourd'hui pour réaliser un circuit imprimé consiste à utiliser un typon représentant le tracé des pistes que l'on voudra faire apparaître sur le circuit :

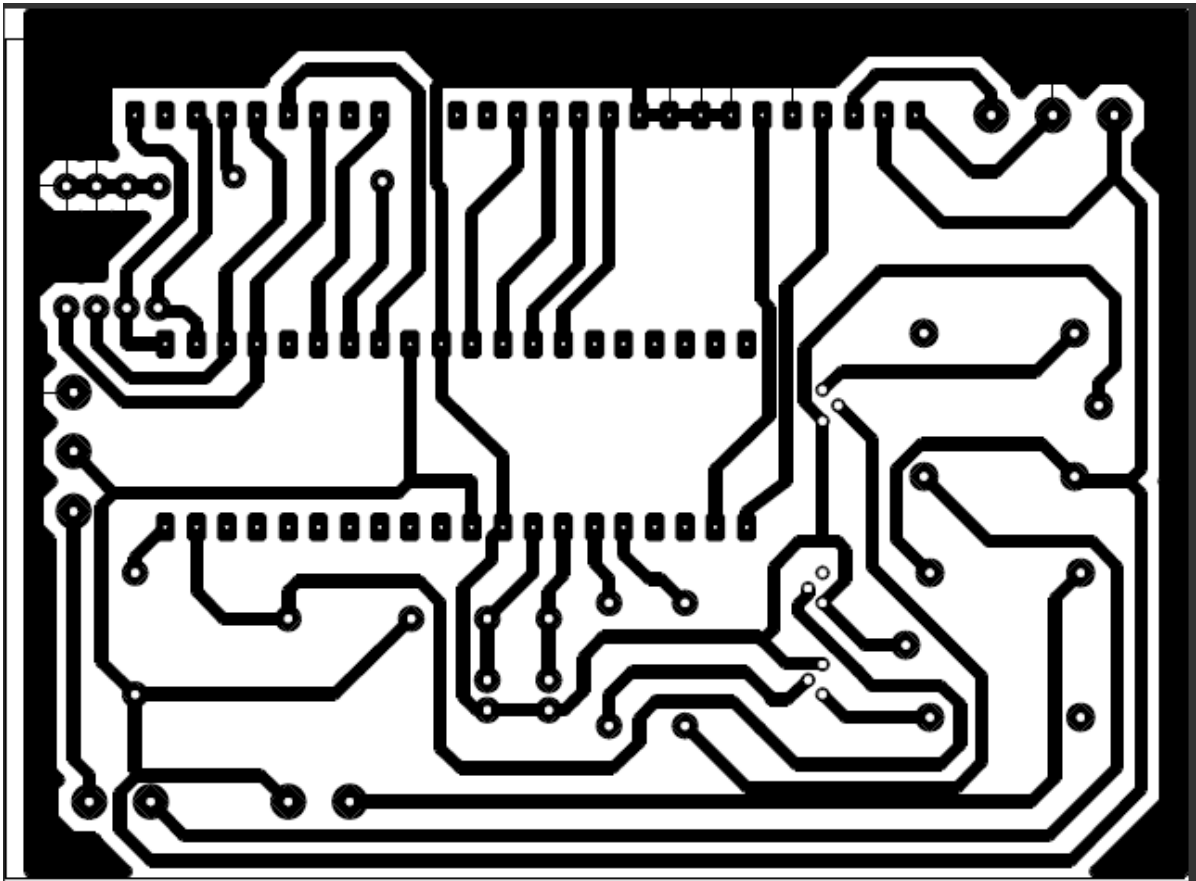


Figure III. 12 - Vu de dessous de typon de la carte à réalisé

### III.7.5 L'insolation de la plaque [12]

Il s'agit d'intercaler le typon entre une source de lumière UV et la plaque de cuivre recouverte d'une couche de résine photo sensible. Partout où le typon n'est pas imprimé, la lumière UV le traverse et vient frapper la résine photosensible de la plaque de CI. Celle-ci se dégrade alors sous l'effet des UV

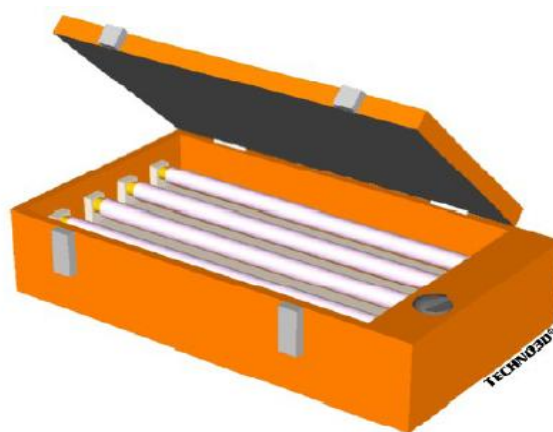


Figure III. 13 - insoleuse

### III.7.6 La révélation [13]

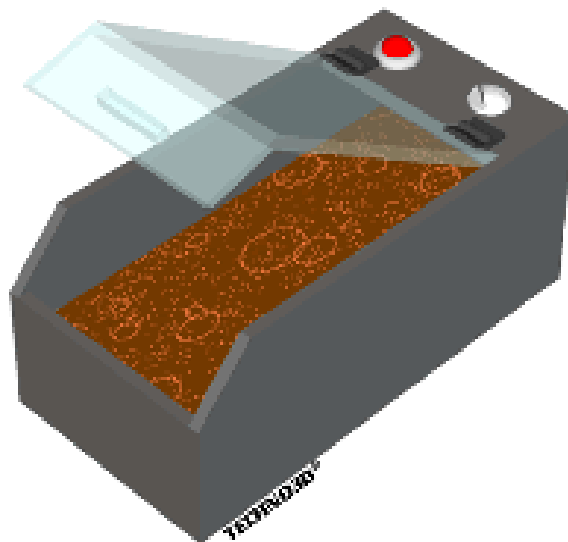
Le révélateur est un produit chimique que l'on peut le fabriquer soi-même, puisqu'il s'agit d'une simple solution de soude caustique à 7g/l comme le Destop (produit pour déboucher les canalisations). Cependant on la trouve à l'achat déjà dosée. Sa manipulation nécessite des précautions comme le port de gants. L'efficacité du révélateur est meilleure quand il est tiède.

On doit maintenant placer la plaque dans un bac contenant le révélateur.

### III.7.7 Graver le circuit imprimé [13]

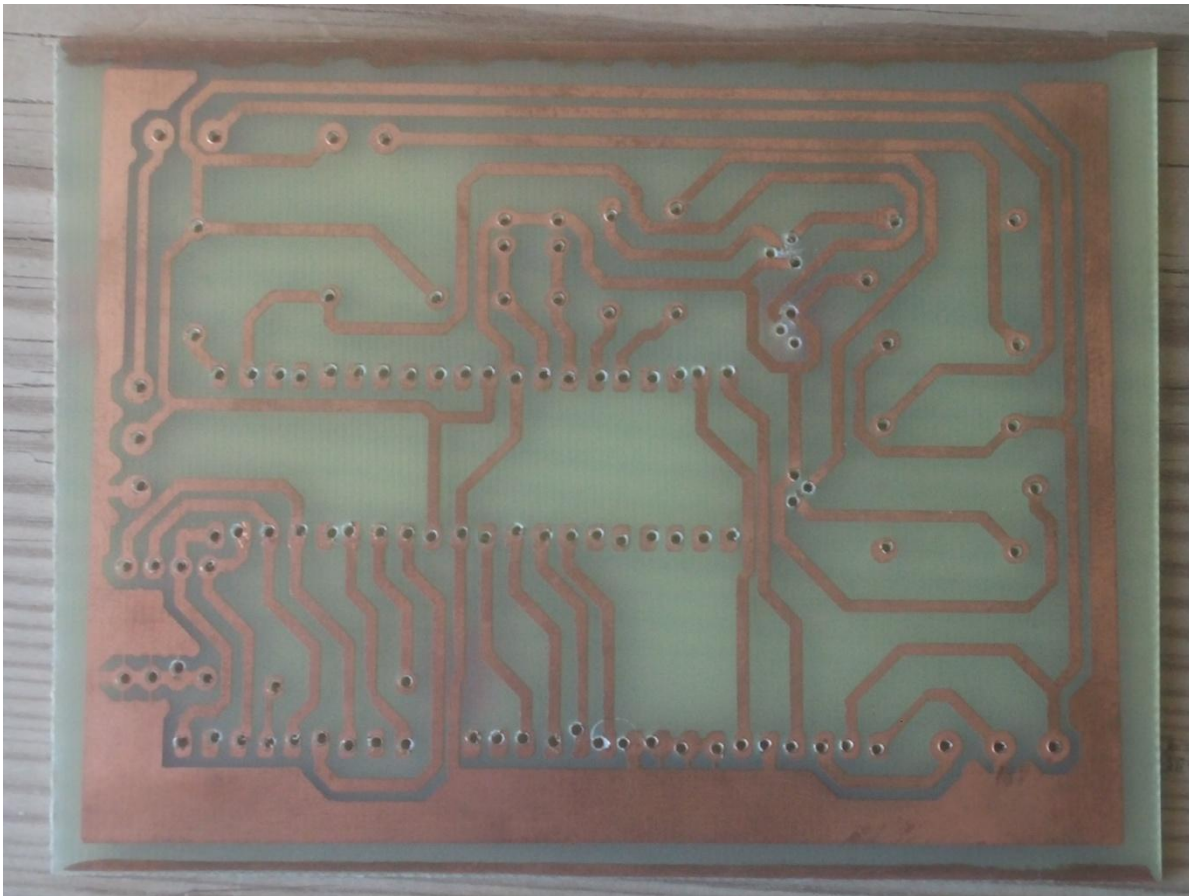
Notre plaque est plongée dans un bac à graver qui contient un produit acide : le perchlorure de fer. Cet acide va dissoudre le cuivre autour des pistes protégées par la résine. Le Perchlorure de Fer suractivé est un liquide de couleur marron très foncé. On l'utilise pour graver les circuits imprimés car il a la particularité de détruire (par réaction chimique) tout le cuivre qui n'est pas recouvert de résine photosensible.

Cela a pour conséquence de ne laisser sur la platine que les pistes qui nous intéressent.



**Figure III. 14** – graveuse

### III.7.8 Circuit Imprimé Final



**Figure III. 15** - Circuit Imprimé Final

### III.8 Conclusion

Nous avons traité dans ce chapitre l'aspect matériel de notre projet, organe de mesure, organe de commande, organe d'affichage et l'organe d'action.

Et nous avons expliqué toutes les étapes de réalisation de notre projet. Nous avons donné au lecteur toutes les informations nécessaires pour comprendre notre réalisation pratique.

Nous avons à préciser dans ce chapitre, que la carte qui a fait le contrôle de la température a été réalisée sur la plaque d'essais et nous n'avons pas assez de temps pour la développer en circuit imprimé.

# Conclusion générale

# Conclusion générale

---

## Conclusion générale :

Après cette étude, on a eu l'honneur d'affronter un sujet qui nous a permis d'améliorer, d'approfondir et d'élargir nos connaissances, que ce soit théoriques ou pratiques.

Nous avons élaboré notre étude sur le contrôle et la réalisation d'une carte qui permet de mesurer la température entre -50 et 125 °C à l'aide d'un capteur de température LM335z en se basant sur les microcontrôleurs PIC16F877A, et on a ajouté deux boutons poussoirs pour faire entrer la valeur désirée et la faire comparer avec la valeur détectée par LM335z, dans le but d'alimenter le chauffage ou le ventilateur (programmation), ces valeurs sont affichées à l'aide d'un afficheur LCD.

A la fin de ce projet, nous sommes convaincus que la réalisation pratique exige beaucoup de temps et nous confirmons qu'il y'a une grande différence entre la simulation et la réalisation pratique.

Ce travail nous a permis, d'une part, d'utiliser les connaissances acquises et aussi de se familiariser tant qu'avec les outils de simulation qu'avec l'aspect pratique. D'autre part, il nous a permis d'approfondir dans le domaine de la programmation. Enfin, nous espérons que ce travail constituera par la suite une référence bibliographique très utile pour les futurs travaux.

# Les références

---

- [1] Mesures de températures Cours 2006-2007, Instrumentation CIRA.
- [2] Georges Asch/ Les capteurs en instrumentation industrielle/ Dunod (1987).
- [3] Patrick Prouvost/ Agrégé en génie mécanique au Lycée Val de Murigny à Reims  
/Instrumentation et régulation en 30 Fiches /DUNOD/.
- [4] M. RAHAL RHROUSSE, Présentation du PIC16F877.
- [5] B. Vaugon, P. Wang, E. Chailloux, and others, "Les microcontrôleurs PIC programmés en Objective Caml," Vingt-Deuxièmes Journ. Francoph. Lang. Appl. JFLA 2011 Vol. Stud. Inform. Universalis, pp. 177–207, 2011.
- [6] R. KHISSI KAMMOUN/ Cours microcontrôleurs/ Iset Nabeul.
- [7] V. TOURCHINE. Programmation en mikroC. Application pour les microcontrôleurs de la famille PIC.
- [8] A. TAOUNI lycée Alkhaouarizmy/ Support de cours / ELT / Conception et simulation des systèmes à PIC.
- [9] <https://www.digikey.fr/product-detail/fr/texas-instruments/LM335Z-NOPB/LM335ZNS-NOPB-ND/6217>
- [10] Datasheet « pic16f87xA: 28/40 pin CMOS Flash Microcontrollers » . 1999 Microchip Technology Inc. DS30292B.
- [11] <https://ar.scribd.com/document/179235032/1-Cours-Isis>
- [12] IUT de Nice / Dpt. GEII/ Technologie et réalisation de circuits imprimés électroniques/ P. Laurent 2002.
- [13] <https://elearn.univ-ouargla.dz/2013-2014/courses/RMC1ANNEEMASTERCONTR/document/Cour01Fabricationcircuitimprime.pdf?cidReq=RMC1ANNEEMASTERCONTR>
-

## Résumé

Après la recherche sur les différentes méthodes de mesure de la température et leur importance dans l'industrie, On a étudiée tout les étapes théoriques et pratiques qui permet de réaliser une carte électronique qui fait le contrôle et la surveillance de la température entre -50 et 150 °C à l'aide d'un capteur de température LM335z et un microcontrôleur PIC16F877A.

## ملخص

بعد البحث حول مختلف طرق قياس درجة الحرارة وأهميتها في الوسط الصناعي ، درسنا مختلف المراحل النظرية والتطبيقية التي تسمح لنا بإنجاز بطاقة إلكترونية للقيام بالمراقبة والتحكم في درجة الحرارة بين -50 و 150 درجة باستعمال ملتقط حراري LM335 ومتحكم .PIC16F877A