



جامعة بجاية  
Tasdawit n'Bgayet  
Université de Béjaïa

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane Mira – Bejaia

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique

## Mémoire de fin d'études

En vue de l'Obtention du Diplôme de Master en Electrotechnique

### Option

Commande des Systèmes Electriques

### Thème

---

## Conception et Réalisation d'une Carte de Commande d'un Four Electrique à Base d'un Microcontrôleur PIC 16F877-A

---

#### Présenté par :

M<sup>elle</sup> OUYAHIA Lamia

M<sup>r</sup> BESSAOU Nassim

#### Encadré par :

M<sup>r</sup> R.ALKAMA

M<sup>r</sup> M.SELLAMI

---

Promotion 2012/2013

---

# Remerciements

**Avant tout nous remercions dieu tout puissant de nous avoir donné le courage et la patience pour élaborer ce modeste travail.**

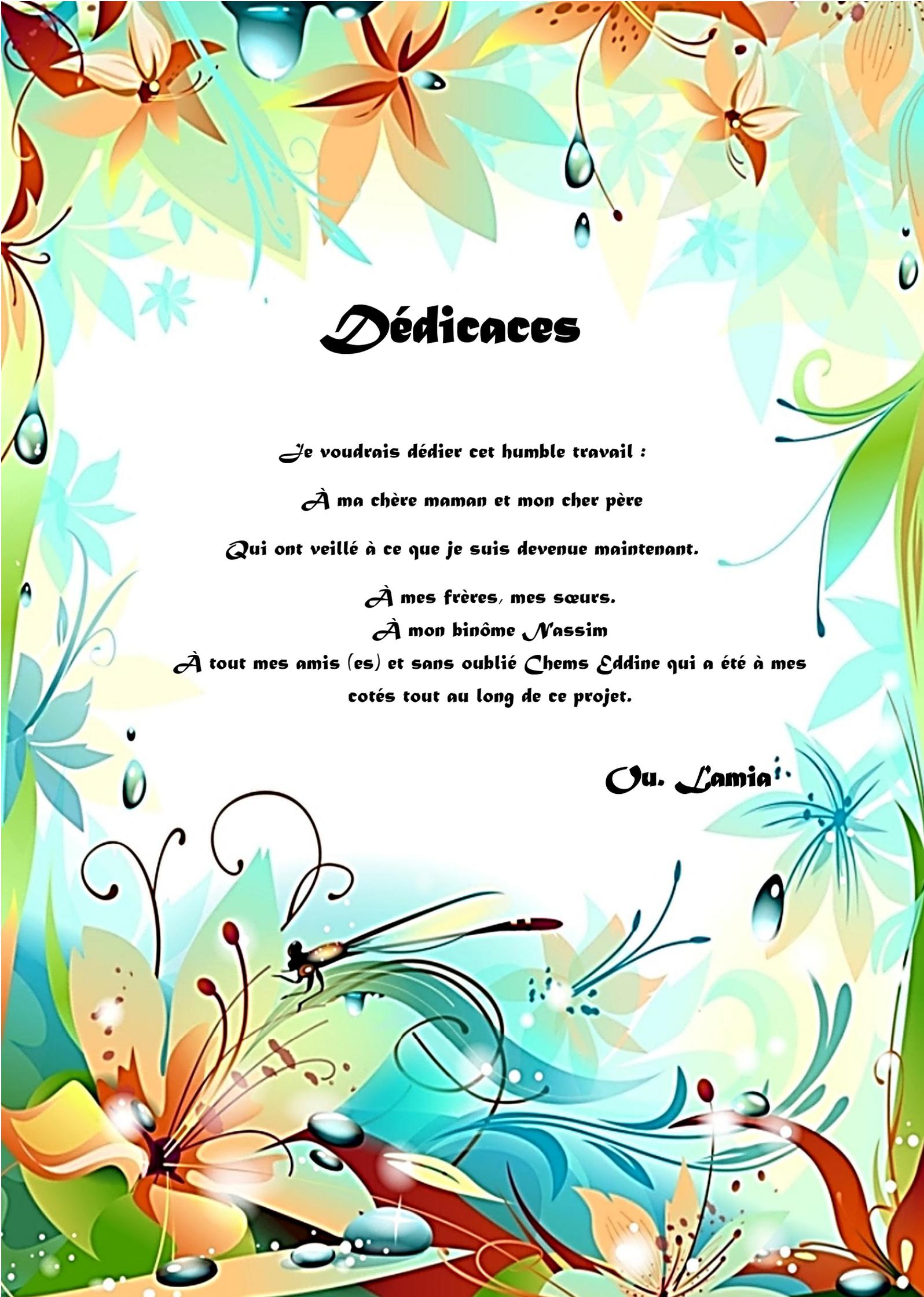
**Au terme de ce modeste travail, il nous est agréable de pouvoir remercier tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin à le réaliser.**

**Notre profonde gratitude et vifs remerciements vont à nos encadreurs M<sup>r</sup>. Alkama Rezak et M<sup>r</sup> Sellami Mohamed pour leur disponibilité.**

**Notre reconnaissance va à tous les membres de jury qui nous feront l'honneur d'apprécier notre travail.**

**Tous les mots restent faibles pour exprimer notre profonde reconnaissance à nos parents pour le soutien et l'aide précieuse qu'ils nous ont apportés durant nos longues années d'études.**

**LAMJA & NASSIM**



# Dédicaces

*Je voudrais dédier cet humble travail :*

*À ma chère maman et mon cher père*

*Qui ont veillé à ce que je suis devenue maintenant.*

*À mes frères, mes sœurs.*

*À mon binôme Nassim*

*À tout mes amis (es) et sans oublié Chems Eddine qui a été à mes cotés tout au long de ce projet.*

*Ou. Lamia<sup>1</sup>.*



# Dédicaces

Je dédie ce modeste travail tout d'abord à ma grande sœur Zahia qui m'a poussé à persister et à donner le meilleur de moi-même au-delà des difficultés et de la complexité de mon thème. Je lui sais gré de son insistance. Il y aurait aussi tant de femmes et d'hommes à qui je devrais dédier mon projet pour leur amour, leur amitié, leur accompagnement, autant que pour leurs encouragements.

J'ai tant appris à l'université. Ma formation, ma vie estudiantine et, surtout, tant et tant de rencontres. Impossible, ici encore, d'exprimer nominalelement ma gratitude. Mais j'aimerais simplement rappeler quelques prénoms qui se reconnaîtront peut-être : Tarik, Larbi, Rafik, Sami, Khaled, Abdelwahab, Sofiane, Fatima ... Il en est bien d'autres encore.

A la maison, il est une mère qui aime et qui prie. Sa présence est lumière et protection. Et puis une famille, un frère, des sœurs, sans oublié Nassima qui m'a Soutenu avec tant de cœur et de ferveur.

**B. NASSIM**



# ***Sommaire***

# Sommaire

<b>Introduction générale</b> .....	1
------------------------------------	---

## Partie théorique

### **Chapitre I : Généralités sur les fours électriques**

I.1 Introduction.....	2
I.2 Définition du four .....	2
I.3 Classification des fours .....	2
I.3.1 Les fours électriques.....	3
I.3.2 Four électrique à résistance .....	3
I.4 Four à moufle de laboratoire LM 111.00/LM 111.01.....	5
I.5 Capteur de température.....	6
I.5.1 Le choix du capteur de température .....	6
I.5.2 Le thermocouple.....	7
I.5.3 Caractéristique expérimental du thermocouple.....	9
I.6 Identification du four à moufle LM 111.0 .....	10
I.7 Le Schéma de regulation .....	13
I.8 Conclusion .....	13

### **Chapitre II : Description et mise en œuvre du microcontrôleur**

#### **PIC 16F877A**

II.1 Introduction .....	14
II.2 Généralités sur les microcontrôleurs .....	14
II.3 Définition des PICs.....	14
II.4 Les différentes architectures des PICs.....	15
II.4.1 Architecture en matière de représentation .....	15
II.4.2. Architecture en matière de traitement des instructions.....	15
II.5 Les différentes familles de PICs .....	16
II.6 Identification d'un PIC .....	16
II.7 Le choix d'un PIC.....	17

II.8 Caractéristiques du PIC 16F877A .....	17
II.9 Structure du PIC 16F877-A .....	17
II.9.1 Structure externe .....	18
II.9.2 Structure interne.....	18
II.10 Organisation de la mémoire.....	19
II.10.1 Mémoire de programme.....	19
II.10.2 Organisation de la mémoire de donnée.....	19
II.10.3 La mémoire de données EEPROM .....	20
II.11 Mode d’adressage du PIC 16f877A.....	20
II.11.1 L’adressage direct .....	20
II.11.2 L’adressage indirect .....	21
II.12 Les périphériques du PIC 16f877A .....	22
II.12.1 Les ports d’entrées /sorties.....	22
II.12.2 Le port D en mode PSP (port parallèle esclave).....	23
II.12.3 Master Synchrone Port Série Module (MSSP) .....	23
II.12.4 Module USART .....	24
II.12.5 Module CCP.....	24
II.12.6 L’horloge du microcontrôleur.....	25
II.12.7 Les instructions du PIC .....	25
II.12.8 Les Timers .....	26
II.12.8.1 Le Timer0 .....	26
II.12.8.2 Le Timer1 .....	27
II.12.8.3 Le Timer2 .....	27
II.12.9 Les interruptions .....	27
II.12.10 Le convertisseur analogique numérique .....	29
II.13 Le Mode SLEEP .....	33
II.14 La logique de RESET .....	33
II.15 Le Watchdog (chien de garde).....	33
II.16 Conclusion .....	34

# Partie pratique

## **Chapitre III : Conception et réalisation**

III.1 Introduction .....	35
III.2 Conception .....	35
III.2.1 Carte d'alimentation .....	36
III.2.2 Carte d'instrumentation (Amplificateur) .....	36
III.2.3 Carte intelligente.....	38
III.2.3.1 Afficheur à cristaux liquide.....	38
III.2.3.2 Caractéristiques de l'afficheur LCD .....	39
III.2.3.3 Commande d'un afficheur LCD .....	39
III.2.3.4 Schéma fonctionnel.....	40
III.2.3.5 Fonction des broches LCD.....	40
III.2.3.6 Principe de fonctionnement .....	41
III.2.3.7 Clavier matriciel.....	42
III.2.4 L'horloge .....	42
III.3 Réalisation .....	43
III.4 Liaison de communication PIC- PC.....	43
III.5 Circuit de puissance .....	43
III.6 Conclusion.....	44

## **Chapitre IV : Programmation et essais**

IV.1 Introduction .....	45
IV.2 Présentation du langage JAL.....	45
IV.2.1 Les bibliothèques de JAL .....	45
IV.2.2 Editeur de texte (JALedit) .....	45
IV.3 Organigramme et programmation .....	46
IV.3.1 programme principal .....	46
IV.3.2 Organigramme de l'afficheur LCD .....	47
VI.3.3 Organigramme du clavier .....	48
IV.3.4 Organigramme de la régulation de température .....	49
IV.4 Simulation .....	50
IV.5 Transfert du programme vers le microcontrôleur .....	51

IV.6 Essais pratiques .....	52
IV.6.1 Essai sans perturbation .....	52
IV.6.2 Essai avec perturbation.....	53
IV.7 Conclusion .....	54

<b>Conclusion Générale</b> .....	55
----------------------------------	----

## **Bibliographie**

## **Annexes**

# ***Liste des figures***

# La liste des figures

## Chapitre I

<b>Fig I.1:</b> Représentation schématique d'un four à résistance .....	4
<b>Fig I.2:</b> Schéma représentant un thermocouple .....	7
<b>Fig I.3:</b> Mesure de tension du thermocouple relié directement à un voltmètre .....	8
<b>Fig I.4</b> : La mesure de la jonction 2 .....	9
<b>Fig I-5</b> : Variation de la tension du thermocouple en fonction de la température .....	10
<b>Fig I.6:</b> Caractéristique du chauffage du four LM 111.0 .....	11
<b>Fig I.7:</b> Schéma de régulation .....	13

## Chapitre II

<b>Fig II.1</b> : Schéma représentant l'architecture de Von –Neumann .....	15
<b>Fig II.2</b> : Schéma représentant l'architecture d 'Harvard .....	15
<b>Fig II.3</b> : La structure externe du PIC 16f877 (annexe1).....	18
<b>Fig II.4</b> : La structure interne du PIC 16f877 (annexe1). .....	18
<b>Fig II.5:</b> Organisation de l'espace programme (annexe1) .....	19
<b>Fig II.6</b> : Mémoire de données (annexe1).....	19
<b>Fig II.7</b> : Schéma explicatif de l'adressage direct.....	21
<b>Fig II.8</b> : Schéma explicatif de l'adressage indirect. ....	21
<b>Fig II.9</b> :Mécanisme d'interruption.....	29
<b>Fig II.10</b> :Module de conversion A/N .....	30
<b>Fig II.11</b> : Schéma explicatif du déroulement d'une conversion(annexe1).....	31
<b>Fig II.12</b> : Cycle de conversion .....	31

## Chapitre III

<b>Fig III.1</b> : Schéma synoptique du système de commande.....	35
<b>Fig III.2</b> : Circuit d'alimentation.....	36
<b>Fig III.3</b> : Amplificateur d'instrumentation.....	37
<b>Fig III.4</b> : Circuit de la carte intelligente.....	38
<b>Fig III.5</b> : Photo d'un afficheur LCD.....	38

<b>Fig III.6</b> : Schéma fonctionnel de l’afficheur LCD.....	40
<b>Fig III.7</b> : Photo du Clavier matriciel.....	42
<b>Fig III.8</b> : Circuit imprimé de la carte d’alimentation (annexe2).....	43
<b>Fig III.9</b> : Circuit imprimé de la carte d’amplification (annexe2).....	43
<b>Fig III.10</b> : Circuit imprimé de puissance (annexe2).....	43
<b>Fig III.11</b> : Circuit imprimé de la carte intelligente (annexe2).....	43
<b>Fig III.12</b> : Image réelle de la carte d’alimentation (annexe2).....	43
<b>Fig III.13</b> : Image réelle de la carte d’amplification (annexe2).....	43
<b>Fig III.14</b> : Image réelle de circuit de puissance (annexe2).....	43
<b>Fig III.15</b> : Image réelle de la carte intelligente (annexe2).....	43
<b>Fig III.16</b> : Image réelle de la carte de commande globale (annexe2).....	43
<b>Fig III.17</b> : Circuit de puissance.....	44

## **ChapitreIV**

<b>Fig IV.1</b> : Organigramme principal .....	46
<b>Fig IV.2</b> : Organigramme de l’affichage.....	47
<b>Fig IV.3</b> : Organigramme du clavier.....	48
<b>Fig IV.4</b> : Organigramme de la régulation de température.....	49
<b>Fig IV.5</b> : Simulation sur logiciel ISIS PROTEUS.....	50
<b>Fig IV.6</b> : Vue de logiciel PICKit.....	51
<b>Fig IV.7</b> : L’évolution de la température de sortie du four par rapport à une consigne fixée..	53

***Introduction***  
***générale***

## Introduction Générale

Le besoin de monter en température, la nécessité de disposer d'un moyen de traitement thermique, le développement de la métallurgie ont fait que les fours électriques connaissent un essor et une réputation sans pareille dans le monde industriel. D'autre part l'évolution de l'électronique de puissance et l'apparition des circuits programmables ont permis d'élaborer des systèmes de commande, en vue de contrôler leurs puissances et leurs températures et permettant ainsi d'avoir des performances répondant au mieux aux besoins exprimés par les industriels utilisateurs.

Les techniques de commandes analogiques sont très répandues et conviennent dans la plus part des procédés thermiques, mais elles présentent quelques inconvénients et il est nécessaire d'avoir recours à la commande numérique. Les techniques de cette dernière sont multiples, elles varient selon le système à commander.

Notre travail consiste à réaliser une carte de commande à base d'un microcontrôleur PIC 16f877A, pour commander la température d'un four électrique de manière plus performante. Nous devons exploiter plusieurs applications qu'on peut lui associer comme l'affichage de la température par un afficheur LCD alphanumérique, le clavier...etc.

Ce travail est structuré en quatre chapitres :

Le premier chapitre donne un aperçu sur les fours électriques et une description détaillée du four électrique à résistance.

Le deuxième chapitre est consacré à la description du microcontrôleur PIC 16f877A qui est l'unité de commande de notre système.

Le troisième chapitre traite de la conception et la réalisation de la carte électronique.

Le quatrième chapitre rassemble spécialement l'aspect logiciel et les essais pratiques.

# ***Partie théorique***

**Chapitre I :**  
***Généralités sur***  
***les fours électriques***

## I.1 Introduction

Le besoin de disposer d'un moyen permettant d'élever la température n'est pas récent ; il remonte au tout début du développement du genre humain, avec l'âge du feu qui permit à la métallurgie de faire ses premiers pas. A l'époque, ce fut essentiellement la combustion d'éléments végétaux et minéraux naturels qui apporta l'énergie. L'évolution des connaissances et de la physique permet à l'homme de disposer de nos jours, d'un éventail de moyens de chauffage très variés. Pour élever sa température, on dispose autour du corps à chauffer et éventuellement de la source d'énergie, une isolation thermique permettant de limiter les échanges avec le milieu ambiant, l'ensemble ainsi constitué s'appelle un four.

## I.2 Définition du four

Un four est une enceinte maçonnée ou un appareil, muni d'un système de chauffage puissant, qui transforme par la chaleur les produits et les objets. En cuisine il permet de cuire des aliments. Dans un processus de production d'objet, le four permet le traitement d'objets par la chaleur : poterie, céramique, verres, métaux...etc.

## I.3 Classification des fours

### A. Selon l'utilisation

#### 1. Les fours de cuisines :

Ces fours sont destinés à un usage alimentaire, comme la cuisson de pain ou de la pizza.

#### 2. Les fours de poteries :

Ces fours ont une conception différente des autres fours, peuvent être, des fours primitifs ou des fours à bois.

#### 3. Les fours industriels :

Ce sont des fours utilisés dans l'industrie mécanique, métallurgique, électrique, céramique.

#### 4. Les Fours de laboratoires

Ils Sont utilisés pour des expériences en laboratoire.

## B. Selon la source d'énergie :

La source d'énergie d'un four peut être :

1. Un combustible (bois, gaz naturel...).
2. De l'électricité (four à résistance, four à microonde, four à arc, four à induction électromagnétique...etc).
3. Du rayonnement solaire (four solaire).

### I.3.1 Les fours électriques

L'usage des fours électriques tend à se substituer à celui des fours à combustible, pour toutes les opérations thermiques exigeant quelque précision.

La supériorité des fours électriques tient en particulier aux points suivants :

- L'uniformité de température est plus grande dans un four électrique que dans tout autre four.
- Une mesure correcte des températures y est possible alors que dans un four à gaz ou à combustible ou se fait sentir l'influence de la flamme ou de gaz chaud, il est n'est pas possible d'établir une relation aussi sûre entre la température des pièces et celle qui est mesurée par l'intermédiaire d'un thermocouple.
- Un four électrique se prête mieux qu'un autre au réglage automatique de la température.
- Il est facile d'y régler au mieux l'allure de chauffe.

### I.3.2 Four électrique à résistance

#### 1. Généralités

Les fours électriques à résistances sont les plus connus des appareils électrothermiques et les plus répandus dans le domaine industriel, ce qui explique leurs larges utilisations industrielles.

#### 2. Description du four électrique à résistance

##### 1) Constitution

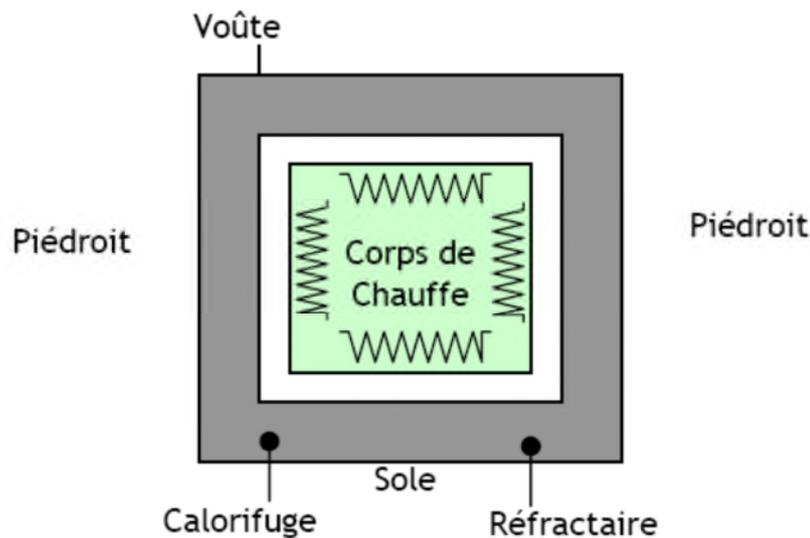
Le four à résistance est constitué essentiellement [1]:

- **D'une enceinte** (laboratoire ou chambre de chauffe), réalisée à base d'un matériau à caractère isolant dont l'objectif est de réduire les pertes thermiques par transmission vers l'extérieur et de garder la chaleur à l'intérieur.

- **D'une résistance électrique** disposée en voute, en sole ou sur les parois latérales de l'enceinte.

L'alimentation de cette résistance est assurée :

- ✓ Soit directement par le réseau.
  - ✓ Soit par l'intermédiaire d'un ou plusieurs transformateurs.
- **De la charge à traiter**, caractérisée par sa forme, sa nature, et sa température initiale.



**Figure I.1:** Représentation schématique d'un four à résistance [1]

## 2) Le principe

Le principe de fonctionnement des fours électriques à résistances est très simple, la puissance dissipée dans la résistance qui est un élément de chauffage électrique, bien calorifugée empêche les pertes thermiques progressives.

Le four à résistance est un équipement à chauffage indirect<sup>1</sup>, la chaleur produite par effet joule par les résistances est transmise à la charge par rayonnement<sup>2</sup> et convection<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Ou la matière à chauffer est placée à proximité de la résistance

<sup>2</sup> Elle nécessite ni contact ni présence de matière entre les deux corps (l'élément chauffant et l'objet à chauffer). la chaleur se déplace dans l'atmosphère par rayonnement

<sup>3</sup> Lorsqu'un liquide ou un gaz est en contact avec une source plus chaude il se produit alors un mouvement d'ensemble de molécules, du fluide transportant la chaleur vers les zones plus froides.

### 3. Classification des fours à résistances

Les fours à résistances sont classés selon les critères suivants [1] :

- La nature des résistances et leurs positions par rapport à la charge (rayonnement direct<sup>4</sup> et indirect, convection forcée, ventilation de la chambre de chauffe)
- Le mode d'utilisation du four (continu, discontinu) utilisant des charges fixes ou statiques.
- Le mode de manutention (tapis continus, vibration, vis hélicoïdale, logerons mobiles).
- La nature de l'atmosphère et du milieu : ambiance (air), atmosphère contrôlée, vide, milieu liquide, bain fluidisé.
- Mode de transmission de chaleur : rayonnement, convection.
- L'utilisation du four dans le procédé industriel (réchauffage, traitement thermique, cuisson).
- La forme du four (à chambre, à sole mobile, à moufle céramique, à cloche....).

#### I.4 Four à moufle de laboratoire LM 111.00/LM 111.01

La série LM 111.00/LM 111.01 est le bon choix pour une utilisation quotidienne en laboratoire. Cette série se distingue par sa qualité et sa grande fiabilité.

##### a. Description

Ces fours sont faits de moufle en céramique enveloppés extérieurement par l'élément chauffant. L'intérieur de la chambre de chauffe reste totalement libre sans l'encombrement des résistances, cela évite d'endommager les éléments chauffants en chargeant les échantillons, elle les protège également de la corrosion par l'évaporation éventuelle du produit provenant des échantillons. Ce four permet aussi d'avoir une parfaite stabilité à l'intérieur de la chambre chauffante.

- Les éléments chauffants peuvent atteindre une très haute température (jusqu'à 1100°C).

---

<sup>4</sup> Ou la matière à chauffer constitue elle-même la résistance, l'élément lui-même dégage de la chaleur.

- La porte est munie d'un système d'ouverture et d'un mécanisme qui agit un interrupteur coupant le four du réseau (en cas d'ouverture de la porte).
- La température à l'intérieur de la chambre est mesurée par un thermocouple au choix.
- Ce four n'a ni réglage de température ni un interrupteur secteur. L'appareil sera mis en service rien qu'en mettant la fiche dans la prise courant et en fermant la porte.

#### **b. Avantages**

- La température maximum 1100°C
- Arrêt automatique à l'ouverture de la porte.
- Résistant à l'usure, sans poussière, moufle en céramique.
- Choix du contrôleur de température.

#### **c. Caractéristiques[2]**

- Nr : 022
- U : 220V
- P : 1.987KW
- Type : LM111.00
- T : 1100c°
- R : 96Ω à 19°C

## **I.5 Capteur de température**

Le capteur de température est essentiel dans la régulation de température, car malgré l'importance prise par les appareils tel que les transmetteurs, les régulateurs ou les automates, c'est avant tout la présence du capteur et de son implantation qui permet une bonne régulation, car on peut avoir les instruments les plus sophistiqués, s'ils sont reliés à un capteur qui n'est pas adéquat on aura une mauvaise régulation.

### **I.5.1 Le choix du capteur de température**

La température est la grandeur la plus importante dans le milieu industriel, donc avant de parler de traitement de signal, le choix du capteur est impératif, car ceci correspond à une

simple analyse fonctionnelle du système dans laquelle la connaissance du milieu à mesurer, de modes opératoires et des habitudes de productions sont essentiels.

Le choix du capteur dépend des critères suivants [3] :

1. La plage de mesure.
2. La précision nécessaire.
3. Temps de réponse souhaité.
4. Est-ce que le capteur possède un élément de mesure démontable ?
5. Les risques pour ce capteur.
6. Le point physique de mesure le plus approprié.
7. Le risque pour le système en installant ce capteur.
8. Le risque en cas de défaillance du système.
9. La maintenance prévisible sur le capteur.

### I.5.2 Le thermocouple

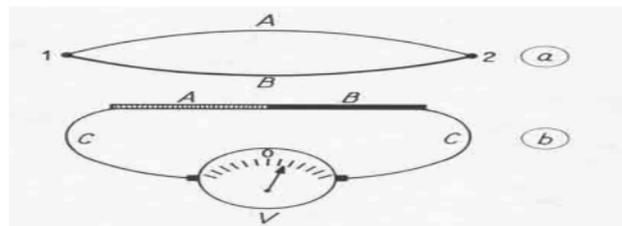
Concernant notre projet le choix du capteur a été opté pour le thermocouple, car c'est l'un des transducteurs (capteurs) de température le plus fréquent, ils sont particulièrement résistants et économiques et ils peuvent opérer sur une large gamme de température.

#### a. Définition

Deux conducteurs de matériaux différents soudés ensemble à un bout et soumis à un gradient de température génèrent à leurs extrémités une tension dépendante de la température et du choix des deux matériaux. (Figure I. 2)

La tension n'est pas linéaire en fonction de la température, cependant pour de petite variation de température la tension est approximativement linéaire soit :

$$\Delta V = S^5 * \Delta T$$

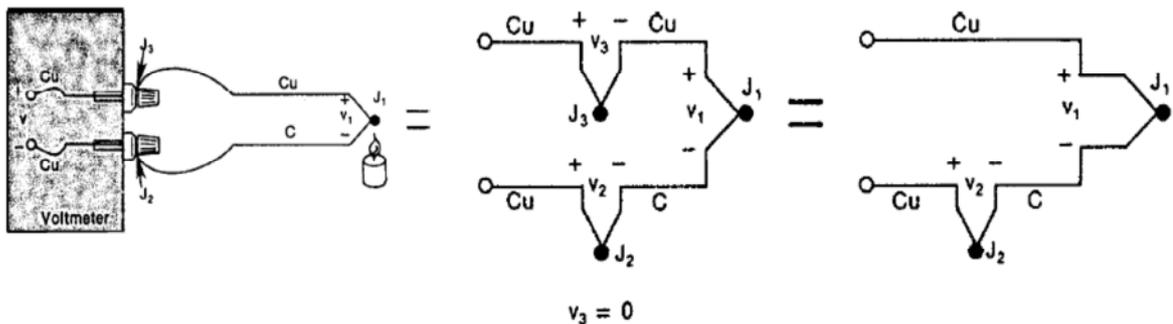


**Figure I.2** : Schéma représentant un thermocouple [4]

<sup>5</sup> C'est la variation de la force électromotrice (FEM) par rapport à une variation de température (coefficient Seebeck)

### b. Mesure de tension du thermocouple : cuivre/Constantin

On ne peut pas mesurer directement les tensions du thermocouple en reliant ce dernier à un voltmètre, car de nouveaux thermocouples se créaient par les liaisons entre les fils du thermocouple et les bornes en cuivre du voltmètre, ce qui faussera la mesure [5].



**Figure I.3:** Mesure de tension du thermocouple relié directement à un voltmètre [5]

La lecture sur le voltmètre sera proportionnelle à la différence de température entre  $j_1$  et  $j_2$  donc pour connaître  $j_1$  il faut d'abord connaître  $j_2$ .

### c. Référence de la jonction externe

Pour déterminer la température de la jonction 2 on plonge celle-ci dans un bain de glace fondante, ce qui force sa température à  $0^\circ\text{C}$  e, alors on pourra considérer  $j_2$  comme étant la jonction de référence.[5]

La lecture du voltmètre devient :

$$V = V_1 - V_2 = S[(t_{j1} + 273.15) - (t_{j2} + 273.15)]$$

$$= S[t_{j1} - t_{j2}]$$

$$= S t_{j1}$$

La tension  $V_2$  de la jonction  $j_2$  dans le bain de glace n'est pas zéro volt c'est une fonction de la température absolue.

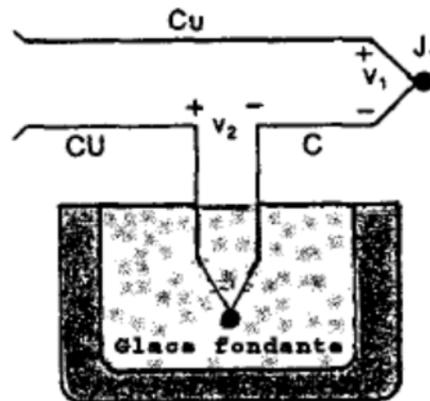


Figure I.4 : La mesure de la jonction 2 [5]

### I.5.3 Caractéristique expérimental du thermocouple

Dans le but de relever la FEM du thermocouple en fonction de la variation de la température, on plonge se dernier dans un bain d'huile qui se chauffe progressivement et on relève les tensions correspondantes avec un pas de 5°C jusqu'à une température maximum qui correspond à 250°C.

Pour avoir la tension qui correspond à 0°C, on met le thermocouple dans un bain de glace (température de référence). La température ambiante est de 19°C qui correspond à une tension de 4.40mV.

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau I.1 et la courbe de variation de la tension du thermocouple en fonction de la température est tracée sur la figure I-5.

On a déterminé graphiquement l'équation de cette dernière qui est sous forme :

$$U = a * \theta + b \quad \text{Tel que : } a = 0.0397 \frac{mV}{^{\circ}C} \text{ et } b = 3.4950$$

$$U = 0.0397 \times \theta + 3.4950$$

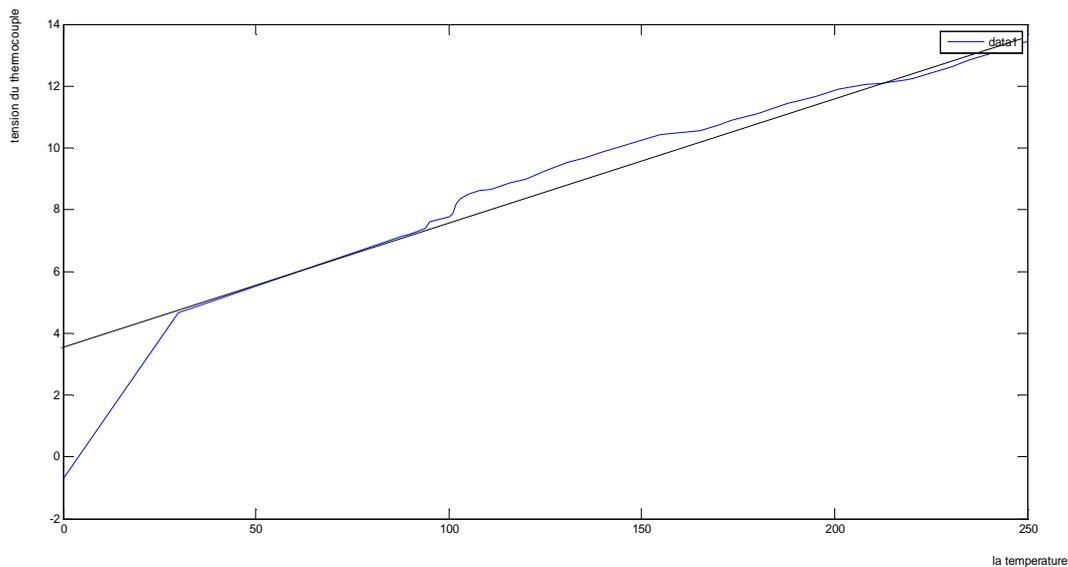
<b>T (°C)</b>	0	19	30	88	90	95	100	105	110
<b>U (mV)</b>	-0.7	4.4	4.68	7.14	7.20	7.60	7.75	8.50	8.58

<b>T (°C)</b>	115	120	125	130	135	140	145	150	155	165
<b>U (mV)</b>	8.8	9	9.27	9.50	9.66	9.88	10.05	10.23	10.43	10.56

<b>T (°C)</b>	170	175	180	185	190	195	200	205	210
<b>U (mV)</b>	10.75	10.95	11.11	11.35	11.51	11.64	11.90	12	12.07

<b>T (°C)</b>	215	220	225	230	235	240	245	250
<b>U (mV)</b>	12.15	12.24	12.49	12.61	12.86	13.03	13.30	13.42

**Tableau I-1** : Tension du thermocouple en fonction de la température



**Figure I-5** : Variation de la tension du thermocouple en fonction de la température

Nous avons effectué l'étalonnage du thermocouple et nous avons approximé la courbe de variation de sa tension en fonction de sa température par une droite, dont nous avons calculé graphiquement ses paramètres. Ce qui nous permettra de calculer aisément et de manière plus précise la température à la sortie du système (le four).

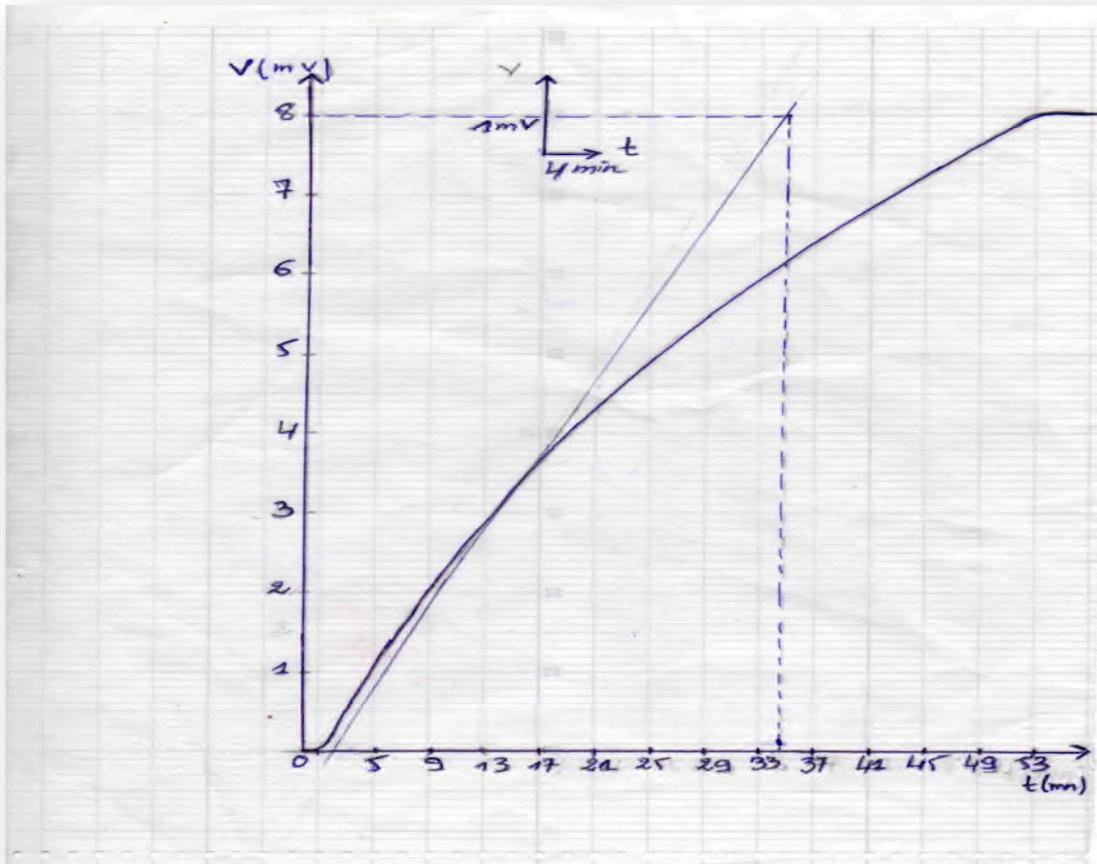
## I.6 Identification du four à moufle LM 111.0

Après avoir mis le thermocouple dans l'enceinte du four, nous avons relié sa sortie à un enregistreur et appliqué un échelon de 100V. La caractéristique de chauffage obtenue est représentée sur la figure I.6.

Nous avons limité la tension à 100V qui correspond à une température maximum de 350°C au lieu de 220V qui correspond à la température maximale du four 1100°C et cela pour des raisons de sécurité du thermocouple.

D'après la caractéristique de la figure I.6 (issu à partir d'un enregistreur de vitesse 15cm/h), nous remarquons que l'allure est une réponse sous forme d'un 'S', donc nous pouvons appliquer la méthode de Strejc pour trouver la fonction de transfert qui est sous forme :

$$G(s) = K \frac{e^{-\tau s}}{(1+Ts)^n}$$



**Figure I.6:** Caractéristique du chauffage du four LM 111.0

Tel que :

K : Le gain statique

$\tau$  : Le retard pur

T : La constante du temps

S : Operateur de Laplace

n : L'ordre du système

**Étapes de calcul :**

1. Calcul de K

$$\text{On a } K = \frac{y^\infty}{E^\infty} \quad \text{avec : } E^\infty = 100\text{v} \quad \text{et} \quad y^\infty = 8 \times 10^{-3}\text{v}$$

$$K = \frac{8 \times 10^{-3}}{100} = 8 \times 10^{-5} \rightarrow k = 8 \times 10^{-5}$$

2. Calcul de n :

On tire T1mes (mesuré) et T2mes (mesuré) dans la courbe et on aura :

$$T1\text{mes} = 0.5\text{cm} \quad \text{et} \quad T2\text{mes} = 8.1\text{cm}$$

$$T1\text{mes} = 120\text{s} \quad \text{et} \quad T2\text{mes} = 1944\text{s}$$

$$\frac{T1\text{mes}}{T2\text{mes}} = \frac{0.5}{8.1} = 0.06 \cong 0$$

D'après le tableau de Strejc n= 1

3. Calcul de T

$$\frac{T2\text{mes}}{T} = 1 \quad \rightarrow T = T2\text{mes} = 1944\text{s}$$

4. Calcul de
- $\tau$

$$\text{On a } T1\text{mes} = 0.6\text{cm} \quad \text{et} \quad \frac{T1c}{T} = 0 \quad T1c = 0 \quad Tc: T\text{calculé}$$

On a la relation suivante :

$$\tau = T1\text{mes} - T1\text{cal} \rightarrow \tau = 120\text{s}$$

$$\text{donc } G(s) = 8 \times 10^{-5} \frac{e^{-120s}}{(1 + 1944s)} = \frac{8 \times 10^{-5}}{(e^{+120s})(1 + 1944s)}$$

$$e^{+120s} \approx 1 + 120s$$

$$G(s) = \frac{8 \times 10^{-5}}{(1 + 120s)(1 + 1944s)}$$

Nous avons utilisé une méthode classique pour identifier le four. Le modèle trouvé est une fonction de transfert du second ordre.

## I.7 Le Schéma de régulation

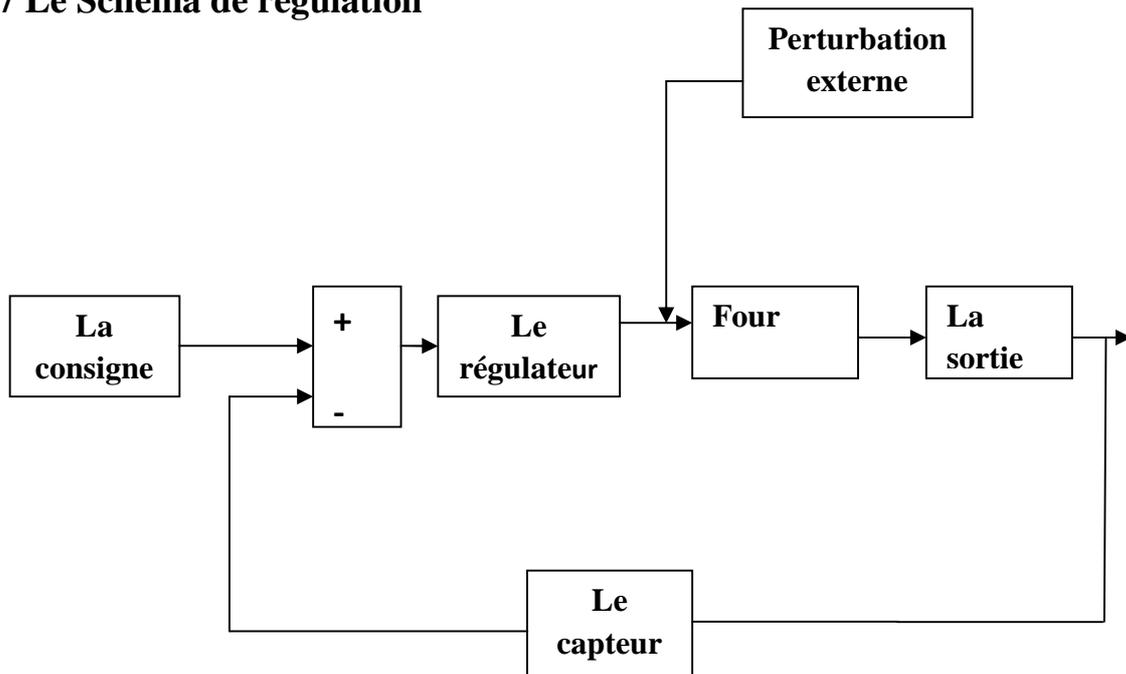


Figure I.7: Schéma de régulation

## I.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait le point sur les fours en général et spécifiquement les fours à résistances, comme le LM 111.00 qui est l'objet de notre système d'étude (le système à commander). Nous avons choisi le capteur qui lui convient à savoir le thermocouple du type T (température maximum 400°C). Nous avons identifié ce système en vue de le réguler et passer à la prochaine étape, qui est l'étude du microcontrôleur PIC 16f877A.



**Chapitre II :**  
***Description et mise***  
***en œuvre du***  
***microcontrôleur***  
***PIC 16F877-A***

## II.1 Introduction

Les microcontrôleurs ont grandement contribué à l'évolution des circuits électroniques, des circuits électroniques câblés vers des circuits imprimés programmables, qui permettent en programmant ces derniers d'effectuer plusieurs tâches précises. La multiplicité de ses ports (entrées/sorties) a l'avantage de brancher plusieurs périphériques issues du monde extérieur tels que : les diodes lumineuses(LED), les amplificateurs pour commander des moteurs, haut-parleurs, les boutons poussoirs, les interrupteurs. De plus l'évolution actuelle des microcontrôleurs permet la reprogrammation de leurs mémoires grâce à la mémoire permanente flash.

## II.2 Généralités sur les microcontrôleurs

Un microprocesseur est un composant électronique qui traite une information d'une manière automatique [6]. Il est constitué :

- d'une UCT (unité centrale de traitement) qui contient une UAL, registres<sup>1</sup>, UC<sup>2</sup>.

En ajoutant une mémoire centrale et des périphériques (compteur, convertisseurs analogiques/numériques, les timers, les ports E/S parallèles ou séries, bus de données et d'adresses). Tout cela est intégré dans un seul circuit nommé microcontrôleur.

## II.3 Définition des PICs

Ce sont des microcontrôleurs commercialisés par la firme américaine microchip, ils sont communément appelés picchips, microchip utilise PIC pour décrire ses séries de PIC microcontrôleurs (PIC12, PIC14...), même s'il n'est pas spécifiquement défini le mot PIC est généralement supposé dire programmable interface contrôler [7].

La dénomination est sous copyright de microchip, donc les autres fabricants n'ont pas le droit d'utiliser ce terme pour leurs propres microcontrôleurs [8].

---

<sup>1</sup> C'est une zone de stockage des données de travail de l'UAL

<sup>2</sup> Unité de contrôle, envoie des ordres ou commande à tout les autres éléments du calculateur afin d'exécuter un programme

## II.4 Les différentes architectures des PICs

### II.4.1 Architecture en matière de représentation

#### a. Architecture Von –Neumann

C'est une architecture qui est utilisée par la majorité des ordinateurs modernes, [9] à un bus de données unique, ses données peuvent être écrites ou lues par une unité quelconque et un bus de contrôle qui permet la synchronisation et la commande des autres unités, par l'unité centrale comme le montre la figure II.1 ci-dessous.

#### b. Architecture Harvard

C'est une évolution par rapport à l'architecture de Von –Neumann avec une structure interne plus complexe, elle sépare les deux espaces mémoires de programme.

Les bus de données et programmes sont séparés, comme le montre la figure II.2 ci-dessous. C'est un modèle plus rapide que celui de Von-Neumann[9].

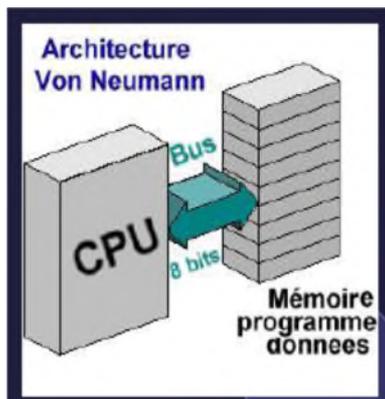


Figure II.1 : Von Neumann

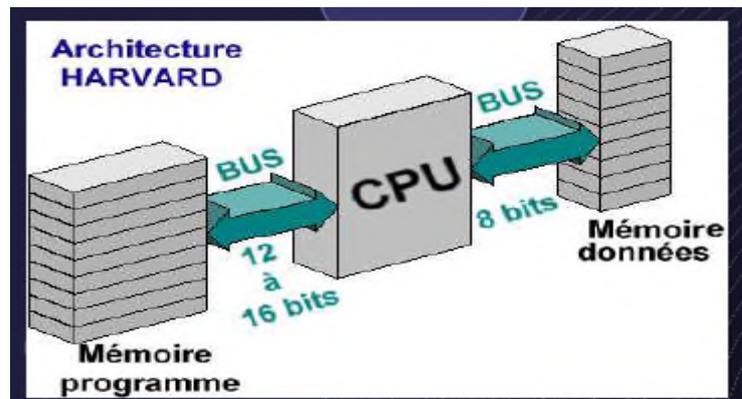


Figure II.2 : Architecture Harvard

### II.4.2 Architecture en matière de traitement des instructions

#### c. Architecture CISC (Complex Instruction Set Computer)

Elle est utilisée pour des processeurs de type x86 qui sont fabriqués par Intel, AMD, Cyrix,...etc. Cette structure permet d'exécuter plusieurs instructions complexes qui demandent plusieurs cycles d'horloges, ce qui fait diminuer sa rapidité d'exécution.

#### d. Architecture RISC (reduced instruction set computer)

C'est une structure à jeu d'instruction<sup>3</sup> réduit, d'où sa nomination RISC, ce qui simplifie le décodage et réduit le temps de développement (time to market), donc on atteint des vitesses d'exécution très grandes. Concernant les compilateurs, ils sont capables de bien utiliser les jeux d'instructions en RISC que les jeux d'instructions CISC [10].

### II.5 Les différentes familles de PICs

Il existe trois grandes familles de PICs :

1. La famille base line : emploie des mots d'instructions de 12 bits pour certains PICs (12c508) et 14 bits pour d'autres PICs (12F675).
2. La famille Mid-range<sup>4</sup>: emploie des mots d'instructions de 14 bits (16F84-16F876-16F877).
3. La famille High-End : emploie des mots d'instructions de 16 bits.

### II.6 Identification d'un PIC

Un PIC est identifié par un code de la forme suivante :

**xx(L) XXyy-zz :**

- **xx** : famille du PIC (12, 14, 16, 18)
  - ✓ L : tolérance plus importante de la plage de tension.
- **XX** : type de mémoire, peut être soit de type : C, CR ou F.
  - ✓ C : est la mémoire de type EPROM ou EEPROM (rarement), elle est effaçable par UV (ultra-violet).
  - ✓ CR : mémoire de type ROM.
  - ✓ F : mémoire flash, effaçable électriquement avec un accès plus rapide et reprogrammable.
- **yy** : indique le modèle du PIC (son identité)
- **zz** : la fréquence d'horloge maximale supportée par le PIC.

---

<sup>3</sup> Une instruction est définie par son code opératoire, valeur numérique binaire difficile à manipuler par l'être humain.

<sup>4</sup> Moyenne puissance.

### Concernant le PIC 16F877-A

- 16 : indique la famille du PIC (Mid-Rang).
- F : indique le type de la mémoire utilisée (Flash).
- 877 : identité du PIC.
- A : fréquence maximale d'horloge qui est de 20MHZ.

## II.7 Le choix d'un PIC

Le choix d'un PIC pour une application dépend principalement de :

1. Nombre d'entrées/sorties de l'application.
2. Du type de la mémoire utilisée RAM, EPROM, FLASH et de sa taille (elle dépend de la programmation des PICs).
3. De l'existence ou non d'une mémoire EEPROM.

D'autres choix sont aussi pris en compte tels que :

1. La disponibilité du composant sur le marché.
2. La facilité de sa mise en œuvre.
3. Son prix d'achat.

## II.8 Caractéristiques du PIC 16F877A

Le PIC 16F877-A peut supporter une fréquence de 20MHZ maximum, il possède les caractéristiques suivantes :

PIC	Flash	RAM	EEPROM	I/O	A/D	Port//	Port série
16F877A	8kbit	368oct	256oct	33	8	PSP	USART/MSSP

**Tableau II.1** : Caractéristique du PIC16f877A[11].

## II.9 Structure du PIC 16F877-A

La diversité des domaines d'utilisation des PICs, a fait que ces produits se présentent sous différentes formes et structures, pour lesquelles soit adaptées pour chaque domaine

d'utilisation. Nous allons présenter dans ce qui suit les structures susceptibles des PIC sa savoir la structure externe et interne.

### **II.9.1 Structure externe**

Le schéma de la figure (II.3) (annexe 1) représente la structure externe du PIC 16F877-A

Le PIC 16F877-A comprend :

- 33 pins d'entrées/sorties.
- Quatre pins pour l'alimentation : deux connections VDD et deux connections VSS.

Le nombre important des entrées/sorties provoquent le véhicule du courant dans le PIC qui provoque à son tour une dissipation thermique et pour cette raison, on fait appel à ces deux pins de part et d'autre du PIC.

- Deux pins pour l'oscillateur.
- RESET(MCLR) : qui sert à initialisé le microcontrôleur en cas de la mise sous tension et remise à zéro externe.
- Deux broches OSC1 et OSC2 ou CLKIN et CLKOUT, qui permettent de faire fonctionner l'oscillateur interne du PIC ou l'oscillateur externe qui peut être un quartz, un oscillateur RC, un résonateur céramique.

### **II.9.2 Structure interne**

Le schéma bloc de la figure (II.4) (annexe 1), représente la structure interne du PIC 16F877-A.

On trouve à l'intérieur d'un microcontrôleur des éléments d'une structure à base d'un microprocesseur qui sont réunis dans un seul circuit intégré et ces éléments sont :

- Une mémoire de donnée (RAM et EEPROM)
- Une mémoire de programme (FLASH, ROM, OTPROM, UVPROM ou EEPROM)
- Un chien de garde
- 13 sources d'interruptions
- Générateur d'horloge
- Interface parallèle pour la connexion des entrées/sorties

- Interfaces séries (synchrone ou asynchrone) ;
- Les bus de données et d'adresses ;
- D'autres périphériques (compteur/timer, convertisseurs analogiques/numériques (10 bits) à 8 canaux, etc).

## **II.10 Organisation de la mémoire**

Les PICs utilisent l'architecture Harvard, un bus pour les données et l'autre pour le programme, donc il faut considérer deux espaces mémoires, l'un pour le programme et l'autre pour les données, ainsi que les registres internes.

La mémoire d'un PIC 16F877 est divisée en 3 sections :

Mémoire de programme Flash

Mémoire de données RAM

Mémoire de données EEPROM

### **II.10.1 Mémoire de programme**

Elle contient les programmes qui sont écrits par l'utilisateur. Le PIC 16F877A dispose d'un compteur de programme de 13 bits capable d'adresser 8Kx 14bits d'espace mémoire de programme. Cette mémoire est principalement utilisée pour stocker les programmes qui sont écrites (implantées) pour être utilisé par le PIC, les PICs 16F876A/877A ont également 8K\*14bits d'espace mémoire flash. A Chaque fois que nous écrivons un nouveau programme pour le contrôleur, il faut supprimer l'ancien en même temps. La figure II.5 (annexe1) montre le plan de la mémoire de programme et de la pile [7].

Le PC (Compteur Programme) contient l'adresse de la prochaine instruction à exécuter dans la mémoire programme. Le compteur est incrémenté automatiquement à l'instruction suivante durant l'exécution de l'instruction en cours.

L'exécution du programme principal commence à l'adresse 0000 (Vecteur Reset). L'adresse 0004 est réservée pour l'interruption de service routine (ISR).

### **II.10.2 Organisation de la mémoire de donnée**

La mémoire de données de PIC16F877A est séparée en plusieurs banques, contenant les registres à usage général(GPR) et les registres des fonctions spéciales (SFR). Ces banques varient en fonction du type du microcontrôleur, le PIC16F877A n'a que quatre banques (BANK 0, BANK1, BANK 2, etBANK3). Chaque banque contient 128octets de mémoire adressable comme le montre la figure II.6 (annexe 1).

L'espace mémoire RAM adressable est de **512** positions de 1 octet chacune :

- 96 positions sont réservées au SFR (Spécial Function Registers) qui sont les registres de Configuration du PIC.
- Les 416 positions restantes constituent les registres GPR (General Propose Registers) ou RAM Utilisateur. Sur le 16F876 et 16F877, 3 blocs (1,2 et 3) de 16 octets chacun ne sont pas implantés physiquement, d'où une capacité de RAM utilisateur de 368 GPR [7].

### **II.10.3 La mémoire de données EEPROM**

C'est une zone de mémoire non-volatile (EEPROM) de 256 octets utile pour stocker des données semi permanentes. La mémoire EEPROM peut être lue et écrite pendant le fonctionnement normal. Le mappage<sup>5</sup> de l'EEPROM se fait à travers les registres des fonctions spéciales. Il y'a six SFR utilisées pour lire et écrire cette mémoire: EECON1 EECON2 EEDATA EEDATH EEADR EEADRH.

La mémoire de données EEPROM permet de lire et d'écrire un seul octet. Les opérations d'écriture de la mémoire EEPROM effectuent automatiquement un effacement avant l'écriture de la nouvelle donnée. (Effacement avant l'écriture) [7].

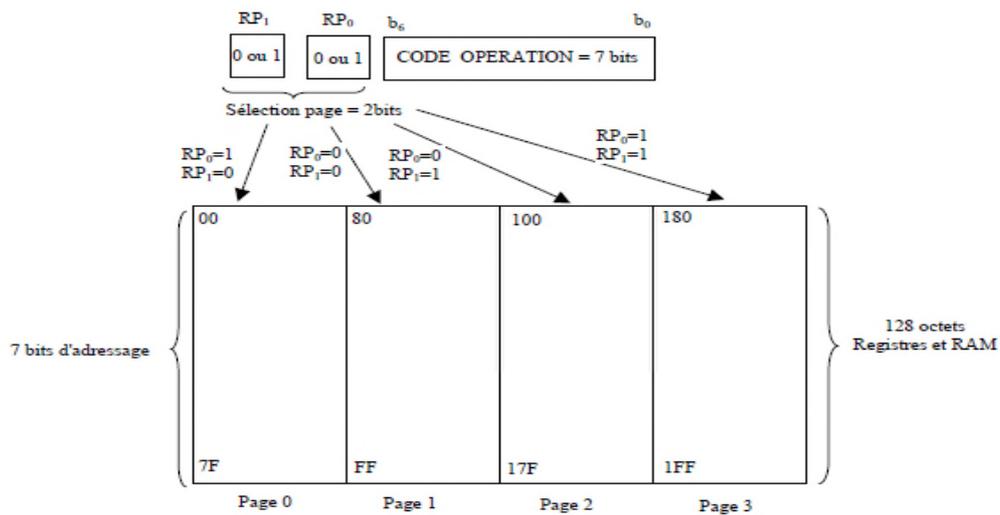
## **II.11 Mode d'adressage du PIC 16f877A**

### **II.11.1 L'adressage direct**

Pour ce type d'adressage, on précise dans l'instruction la valeur de l'adresse à laquelle on veut accéder. La partie adresse est codée sur 7 bits ce qui permet d'adresser 128 positions, or on a 512 positions, donc il nous faut 9 bits d'adresses, pour les avoir on fait appelle à deux bits qui se situes dans le registre de configuration STATUS qui sont RP0 et RP1 [12], ce qui permet d'accéder en adressage direct à l'intégralité de la RAM. Elle nous permet aussi de sélectionner le type de page dans la RAM qu'on veut utiliser.

---

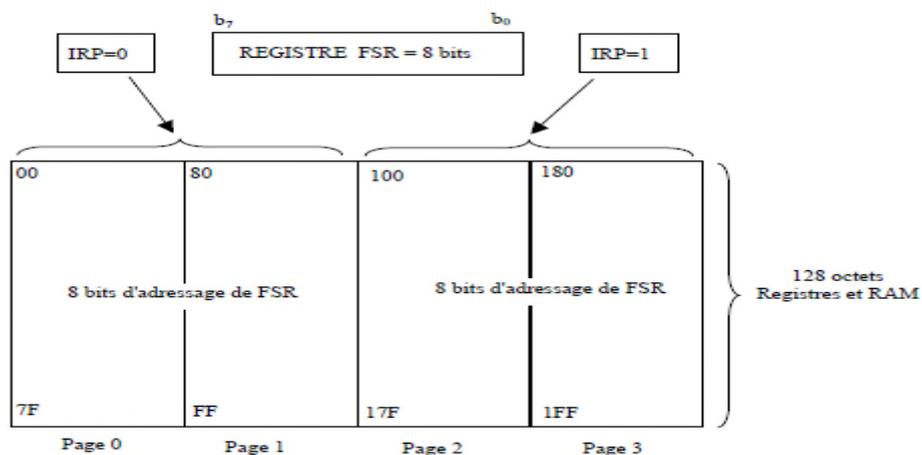
<sup>5</sup> Accéder en lecture ou en écriture



**Figure II.7 :** Schéma explicatif de l'adressage direct [14]

### II.11.2 L'adressage indirect

Ce mode d'adressage utilise le registre de pointage FSR<sup>6</sup> de 8 bits [12], ce qui permet d'adresser la moitié de la RAM (256 positions de 00h à FF), donc il manquera un bit pour avoir 9 bits nécessaires pour adresser l'autre moitié de la RAM, ce bit sera IRP du registre STATUS.



**Figure II.8 :** Schéma explicatif de l'adressage indirect [14].

<sup>6</sup>Function special register, registre de fonction spéciale de mémoire, ce registre permet l'adressage indirect qui est un mode plus sophistiqué d'accès aux données.

## II.12 Les périphériques du PIC 16f877A

Le PIC 16f877A contient cinq ports d'entrées/sorties (I/O), nommés :

A, B, C, D et E permettent au PIC de communiquer avec le monde extérieur.

### II.12.1 Les ports d'entrées /sorties

Tous les ports peuvent être configurés soit en entrée ou en sortie, selon le bit qui se situe au registre TRIS (registre de direction) de chaque port.

- Si le bit de TRISX se met à 1 la broche de portx se place en entrée.
- Si le bit de TRISX se met à 0 la broche de portx se place en sortie.

#### a) Le port A

Ce port est formé de 6 bits (pins) d'entrées/sorties de RA0 à RA5, les 5 pins (RA0 à RA3) et RA5 peuvent être utilisés comme des entrées sorties numériques, soit comme entrées analogiques. La broche RA4 peut être utilisée [12] :

- Entrée/sortie numérique.
- Comme entrée horloge pour le timer TMR0.

Si le registre TRISA=1, les pins se placent en entrées.

Si le registre TRISA=0, les pins se placent en sorties.

#### b) Le Port B

Il possède 8 pins d'entrées sorties de RB0 à RB7.

RB0 : peut-être entrée d'interruption externe

RB1 : entrée de l'USART.

RB2 : sortie ou horloge de l'USART.

RB3 : E/S du module capture/compare /PWM.

RB4 : contrôle du mode de programme.

RB6 : E/S du timer 1.

RB7 : entrée d'horloge pour timer 1.

Donc la configuration de direction se fait à l'aide de registre TRISB.

**c) Le port C**

C'est un port bidirectionnel à 8 bits de RC0 à RC7. Toutes ces broches peuvent être utilisées soit comme entrées/sorties ou comme broches d'accès aux différentes ressources internes (USART, CCP, Timer 1), à l'aide du registre TRISC.

**d) Le port D**

C'est un port bidirectionnel à 8 bits qui ne partage avec aucune ressource interne ce port dispose d'un mode de fonctionnement particulier qui s'appelle le mode esclave parallèle (PSP) [12].

**e) Le port E**

Ce port contient seulement 3 bits de RE0 à RE2, qui ne sont pas concernés de TRISE, ils sont implémentés pour d'autres fonctions.

- Les pins REX peuvent être utilisés avec la ressource PSP.
- Les pins peuvent être utilisés comme entrées analogiques.

### **II.12.2 Le port D en mode PSP (port parallèle<sup>7</sup> esclave)**

Le mode PSP permet la prise du contrôle du port D du PIC par un microprocesseur, ou tout autre système extérieur ainsi ce système aura la possibilité d'écrire des valeurs sur le port D et de lire des valeurs du programme PIC préparées à son intention [15].

Le port D passera en entrée et en sortie selon la décision du système extérieur et sera de même pour le moment de lecture de l'écriture, les transferts se font de manière asynchrone avec le programme du PIC.

### **II.12.3 Master Synchrone Port Série Module (MSSP)**

Maître Port série<sup>8</sup> synchrone<sup>9</sup> module, est une interface série utile pour communiquer les données du PIC avec le monde extérieur, que ce soit avec le PC, avec des afficheurs des mémoires de type EEPROM, des détecteurs de température, des horloges en temps réel...etc en utilisant des transmissions série synchrones.

---

<sup>7</sup> En sous-entend par le mot parallèle le mode de communication entre 2 microprocesseurs (mot de 8 bits, 16 bits, ou plus suivant le processeur ou l'interface).

<sup>8</sup> Une liaison série est une liaison qui transfère les données bit après bit (en série)

<sup>9</sup> La notion synchrone signifie que l'émetteur/récepteur fournira un signal de synchronisation qui déterminera non seulement le début et la fin de chaque octet, mais également la position de chaque état stable des bits.

### II.12.4 Module USART

L'USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) est l'un des deux modules de communication série dont dispose le PIC 16F876/877, (il est aussi connu sous le nom de serial communications interface ou SCI), l'USART peut être configuré comme un système asynchrone full duplex<sup>10</sup> qui peut communiquer avec des périphériques tels que : les ordinateurs personnels et il peut aussi être configuré comme un système synchrone half duplex<sup>11</sup>, qui peut communiquer avec des périphériques tel que les circuits intégrés A/N ou N/A, et les EEPROM séries ...etc

L'USART peut être configuré dans les modes suivants [15] :

- Asynchrone (full duplex)
- Synchrone- Master (half duplex)
- Synchrone-Slave (half duplex)

Le module MSSP a une fréquence de quartz égale à celle du PIC, permet de travailler avec des vitesses plus basses que pour le module USART.

### II.12.5 Module CCP

Ces deux modules (ccp1, ccp2) peuvent fonctionner dans l'un des trois modes ci-dessous [15] :

- Mode capture « **CAPTURE** » : ce mode permet en outre d'effectuer des mesures de temps.
- Mode comparaison « **COMPARE** » : ce mode permet entre autres de générer deux des évènements périodiques.
- Mode **PWM** signifie « **Pulse Width Modulation** », ce qu'on pourrait traduire par modulation de largeur d'impulsion, il s'agit d'un signal binaire de fréquence fixe dont le rapport cyclique peut être modulé par logiciel. Le rapport cyclique d'un signal binaire à fréquence fixe peut être défini comme étant le rapport entre le temps où il se trouve à l'état «1» par rapport au temps total d'un cycle.

Ces modules sont associés aux broches **RC2/CCP1** et **RC1/T1OSI/CCP2** suivant le mode choisi.

---

<sup>10</sup> Le PIC peut envoyer et recevoir des données en même temps

<sup>11</sup> Ça veut dire que le PIC ne pourra émettre et recevoir en même temps en utilisant l'USART en mode synchrone.

### II.12.6 L'horloge du microcontrôleur

Le signal d'horloge sert à cadencer le fonctionnement du microcontrôleur.

Deux pates 13 et 14 sont présentées sur le boîtier du PIC. La première nommée OSC1/CLKIN et la deuxième OSC2/CLKOUT, ces deux broches peuvent être utilisées de plusieurs manières, tout dépend de l'oscillateur ou de l'horloge employé, peut être externe (oscillateur à quartz, un oscillateur RC et un résonateur céramique) ou interne [16].

- avec l'oscillateur à quartz, on peut avoir des fréquences allant jusqu'à 20MHZ, selon le type du microcontrôleur.
- Avec un oscillateur RC, capable de fonctionner jusqu'à 4MHZ mais avec une stabilité de fréquence plus faible que les versions à quartz.
- Dans certains cas l'horloge externe peut être utilisée pour synchroniser le PIC.

Le PIC 16f877A travaille à des fréquences d'horloge à quartz avec deux capacités qui servent à stabiliser la fréquence qui peut aller jusqu'à 20MHZ.

### II.12.7 Les instructions du PIC

Le PIC 16f877A a un jeu de 35 instructions, chaque instruction est codée sur 14 bits et qui sera exécutée en un cycle d'horloge (sauf les instructions du saut qui seront exécutées en deux cycles). Il existe quatre types d'instructions : [12]

- **Instructions orientées registre :**

Ce sont des instructions qui se trouvent dans la RAM (soit dans FSR ou case mémoire quelconque(GPR), qui manipulent 1 octet.

- **Instructions orientées bits :**

Ce sont des instructions qui manipulent directement un bit d'un registre, soit FSR ou GPR.

- **Instructions opérant sur une constante :**

Ce sont des instructions qui existent dans l'accumulateur (W) pour la constante K.

- **Instructions de saut et appel de procédure :**

Elles permettent le saut d'une position à une autre dans le programme et de continuer l'exécution du programme à partir de cette position.

Pour exécuter une instruction il faut :

$$T_{cyc} = T_{osc} * 4 \quad \text{Tel que :}$$

$T_{cyc}$  : temps d'un cycle d'instruction

$T_{osc}$ : la période de l'horloge du PIC.

Au moment de la programmation du PIC, il est obligatoire de l'informer du type d'horloge qui a été utilisé.

## II.12.8 Les Timers

### II.12.8.1 Le Timer0

C'est un compteur à 8 bits qui peut compter de 0 à 255, ayant les caractéristiques suivantes [12]:

- Il est incrémenté en permanence (il ajoute une valeur à chaque fois), soit par une horloge interne ou externe appliqué à la broche RA4.
- Le choix de l'horloge se fait selon le bit TOCS qui se trouve dans le registre OPTION :
  - ✓ Si TOCS=0 : l'horloge interne.
  - ✓ Si TOCS =1 : l'horloge externe.
- Dans le cas de l'horloge externe, le bit TOSE qui se situe dans le registre OPTION permet de choisir le front sur lequel le timer s'incrémente (si c'est un front montant il commence le comptage de 0 à 1, si c'est un front descendant le comptage sera de 1 à 0).

Si :

- ✓ TOSE=0 : incrémentation sur le front montant.
- ✓ TOSE=1 : incrémentation sur le front descendant.
- Quel que soit l'horloge appliquée (interne ou externe), on peut la passer dans un diviseur de fréquence programmable.
- Si on désire suspendre le comptage du temps, on fait passer le timer0 en mode compteur et cela à condition que la pin RA4 ne soit pas affecté à une autre utilisation.
- Le timer0 contient un registre de contrôle.

### II.12.8.2 Le Timer1

Ce timer est capable de compter sur 16 bits, il est accessible en lecture et en écriture par l'intermédiaire des registres TMR1H et TMR1L.

Le TMR1 (TMR1H et TMR1L) s'incrémentent de h'0000 jusqu'à h'FFFF' et repasse ensuite à h'0000 pour continuer le comptage. Ce timer peut fonctionner en 3 modes différents [12] :

- Timer synchrone (horloge interne), dans ce mode TMR1 est incrémenté par l'horloge système.
- Compteur synchrone (horloge externe), dans ce mode le timer1 est incrémenté à chaque front montant de l'horloge externe synchronisé sur l'horloge système.
- Compteur asynchrone (horloge externe), dans ce mode de fonctionnement l'horloge externe incrémente le timer indépendamment de l'horloge du système.

Si on veut compter à partir du 0 il faut mettre ses deux registres (TMR1H, TMR1L) à zéro.

- Le timer1 contient aussi un registre de contrôle.

### II.12.8.3 Le Timer2

C'est un compteur sur 16 bits accessible en lecture et en écriture [12].

- Le timer2 est incrémenté par l'horloge interne, quand il atteint la valeur du registre PR2 (se situe en h'92 bank1, accessible en lecture et en écriture), le comparateur génère un signal qui remet TMR2 à 0 et incrémente le poste diviseur.
- TMR2 est remis à 0 à chaque RESET ou écriture en PIC.
- L'entrée du comparateur est l'horloge cycle interne :  $f_{osc}/4$  qui passe à travers un prédiviseur programmable et sa sortie passe dans un poste diviseur programmable sur 4 bits (1 à 16) et quand cette sortie passe par la valeur dans PR2, il y'aura une interruption.
- Le contrôle du timer2 se fait par le registre T2CON en h'12' Bank 0.

### II.12.9 Les interruptions

L'interruption est un arrêt momentané du programme principal, causé par la survenance d'un événement spécifique dont le traitement est urgent, le programme

s'interrompre et passe au traitement de cet événement avant de reprendre à l'endroit où il a été interrompu. C'est une rupture de séquence asynchrone, c'est à dire non synchronisée<sup>12</sup> avec le déroulement normal du programme.

Chaque interruption est associée à deux bits [12] :

- ✓ Un bit de validation qui permet d'autoriser ou non une interruption.
- ✓ L'autre bit permet au programmeur de savoir de quelle interruption il s'agit. (identification de l'interruption).

Ses deux bits se mettent à 1 lorsque l'événement déclencheur d'une interruption intervient et que cette dernière est validée.

Le programme arrêtera toutes les instructions qui sont entrainées d'être exécutées et exécutera l'interruption qui est à l'adresse 4 en suivant les étapes suivantes :

1. L'adresse contenue dans le PC (Program Counter) est sauvegardée dans la pile puis sera remplacée par la valeur 0004. (adresse de la routine d'interruption).
2. Le bit GIE se met à 0 afin d'éviter le dérangement du PIC pendant l'exécution d'une interruption, et à la fin de cette exécution le bit GIE se place à 1 (autorisant ainsi un autre événement).

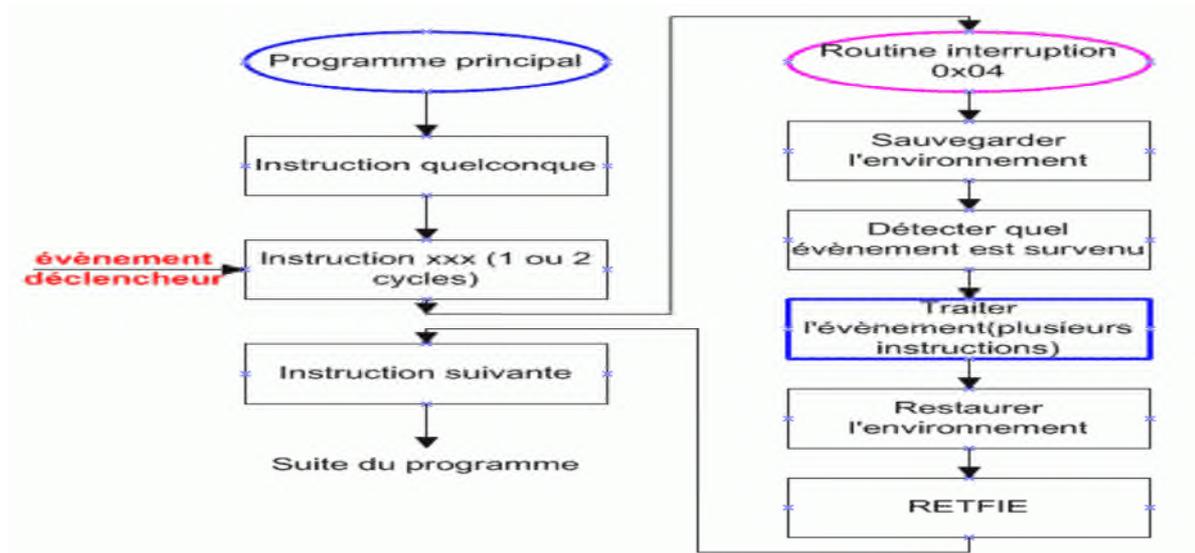
Routine d'interruption est un sous-programme particulier, déclenché par l'apparition d'un événement spécifique.

Le contenu du PIC est rechargeable à partir de la pile ce qui permet au programme de reprendre là où il s'est arrêté.

---

<sup>12</sup> Par opposition avec les ruptures de séquences synchrones, provoquées par le programme lui-même (goto, call, btfs...).

## Mécanisme d'interruption des PICs



**Figure II.9:** Mécanisme d'interruption [15]

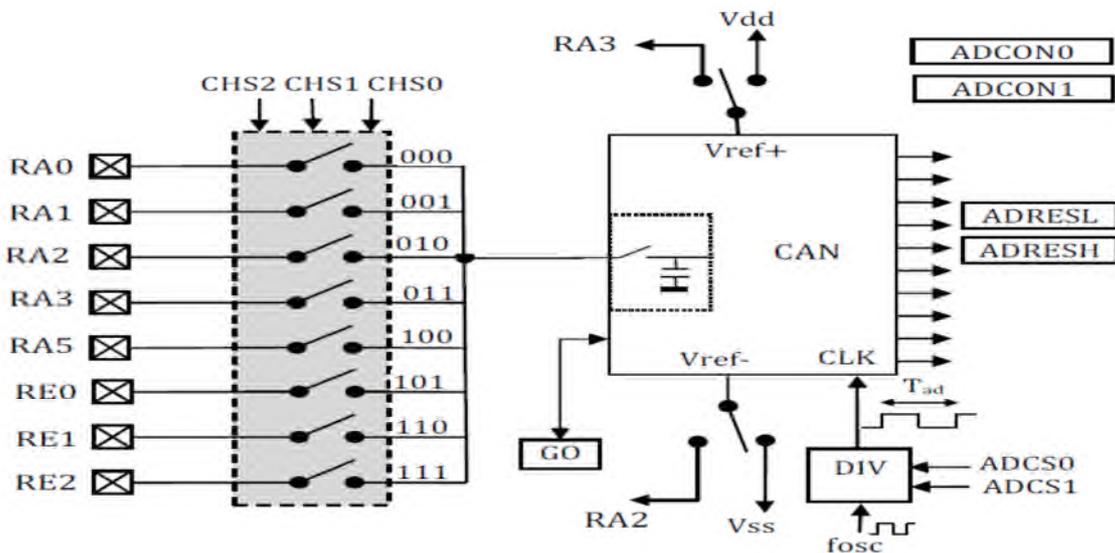
Les interruptions peuvent provenir de plusieurs sources qui sont internes ou externes :

- Des interruptions externes sont déclenchées par :
  - ✓ La présence d'un niveau logique haut sur la broche RB0.
  - ✓ Changement des états logiques sur les broches RB4 à RB7.
- Des interruptions internes, elles sont déclenchées par :
  - ✓ Débordement des timer1 et timer2 chaque interruption est associée à un timer.
  - ✓ Fin de la conversion A/N du CAN.
  - ✓ Ecriture dans la mémoire EEPROM de données.
  - ✓ Circuit de capture et de comparaison ou CCP.
  - ✓ Port série synchrone ou SSP.
  - ✓ Réception ou émission des données sur le port série (USART)
  - ✓ Port parallèle esclave ou PSP.

### II.12.10 Le convertisseur analogique numérique

La valeur analogique est la valeur de la tension appliquée sur une pin de notre PIC et comme l'électronique interne du PIC ne comprend que les valeurs binaires donc il faut transformer cette valeur en numérique, ce procédé s'appelle numérisation et pour effectuer

cette tâche on aura besoin d'un convertisseur analogique numérique. Il possède huit canaux, cinq entrées de ses canaux sont les pins RA0 à RA3 plus RA5, sont nommés de AN0 à AN4 et les trois autres sont les pins RE0, RE2, RE3 qui sont nommés de AN5 à AN7.



**Figure II.10:** Module de conversion A/N [12]

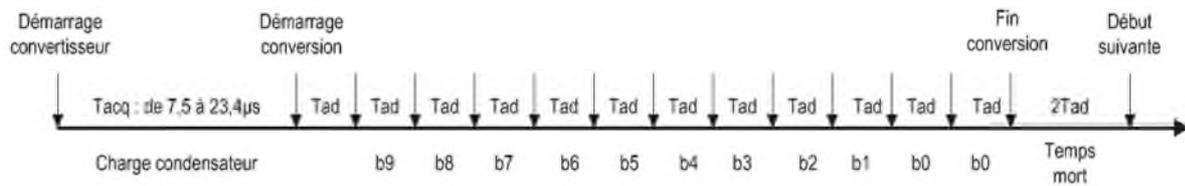
Ce convertisseur permet un échantillonnage sur 10 bits, donc le signal numérique peut prendre 1024 valeurs possibles.

#### a. Déroulement d'une conversion

La conversion se déroule selon ces étapes suivantes :

1. Le PIC connecte la pin sur laquelle se trouve la tension à numériser à un condensateur interne qui va se charger via une résistance interne jusqu'à la tension appliquée.
  - Par défaut les PICs considèrent la valeur minimale correspondant à leurs VSS d'alimentation et la valeur maximale correspondant à la tension positive d'alimentation VDD (il est possible d'utiliser d'autres valeurs).
2. La pin est déconnectée du condensateur et elle sera connectée sur le convertisseur analogique numérique interne.
3. Le PIC procède à la conversion [12] :
  - 1) A la fin de l'acquisition, le bit GO\_DONE se positionne.
  - 2) L'interrupteur S s'ouvre (pour assurer le blocage de la tension).
  - 3) La conversion commence, elle est réalisée en 12TAD.

- 4) A la fin le bit GO\_DONE repasse à 0 (le drapeau ADIF=1), et le résultat est chargé dans les registres ADRESL et ADRESH. Figure II.11 (annexe1)



**Figure II.12:** Le cycle de conversion

Le module de conversion met  $2TAD$  supplémentaires pour fermer l'interrupteur S ce qui démarre une nouvelle conversion et ainsi de suite.

### b. Le temps d'acquisition

C'est le temps nécessaire pour que le condensateur interne atteigne une tension proche de la tension à convertir, il se charge via la résistance interne et celle de la source qui est connecté à la pin. Les résistances augmentent avec la température, donc le temps d'acquisition ( $T_{acq}$ ) dépend de la température et aussi du temps de création des circuits internes.

$T_{acq} = T_{amp} + T_c + T_{cof}$  avec :

$T_{amp}$  : le temps de création des circuits internes (typiquement  $= 2\mu s$ ).

$T_c$  : temps de charge du condensateur.

$T_{cof}$  : le temps qui dépend du coefficient de température (nécessaire que pour  $T > 25^\circ$ ).

- Le condensateur interne à une valeur de 12pF.

### c. Le temps de conversion

Le temps de conversion  $= 12TAD$  avec :

$TAD$  : c'est le temps de conversion d'un bit, dépend de la fréquence du quartz de prédiviseur (div).

$$TAD = \text{div} * 1 / f_{osc}$$

- Le choix de diviseur doit être ajusté pour que  $TAD > 1.6\mu s$ .

- Pour notre PIC 16f877, avec un quartz 20MHZ, il faut choisir div=32 ce qui donne :
  - ✓ TAD=1.6µs ;
  - ✓ Tcon=12TAD =12\*1.6=19.2µs.

	Div	20Mhz	5Mhz	4Mhz	2Mhz	1Mhz
00	2	0,1 µs	0,4 µs	0,5 µs	1 µs	2 µs
01	8	0,4 µs	1,6 µs	2 µs	4 µs	8 µs
10	32	1,6 µs	6,4 µs	8 µs	16 µs	32 µs
11	RC	Non utilisable				≈4 µs

**Tableau II.2:** temps de conversion d'un bit TAD [12]

#### d. La fréquence d'échantillonnage

La période d'échantillonnage nommée  $T_e$ , doit d'être supérieure à  $T_{e_{min}}$ .  
 $T_{e_{min}} = T_{con} + 2 * T_{ad} + T_{acq}$  [12]

Si on tient compte du théorème de Shannon,  $f_e > 2 * f_{max}$  avec  $f_{e_{max}} = 1 / T_{e_{min}}$

#### e. La valeur numérique obtenue

$$N = (v_a - V_{ref-}) / Q$$

Avec : N : la valeur numérique obtenue.

Q : le pas de quantification.

$$Q = (v_{ref+} - v_{ref-}) / 1024$$

$V_a$  : la tension analogique à convertir

$V_{ref+}$  : la tension maximale analogique

$V_{ref-}$  : la tension minimale analogique (masse).

### II.13 Le Mode SLEEP

Le mode « SLEEP » ou « power down » est un mode particulier dans lequel on peut placer le PIC grâce à l'instruction « SLEEP » en sommeil et ainsi faire cesser l'exécution de son programme.

- Le mode SLEEP est principalement utilisé lorsque le PIC doit attendre des temps très longs entre 2 actions.
- Ce mode permet donc d'économiser de l'énergie, et de limiter le vieillissement du PIC en le plaçant au repos le plus souvent possible.
- En mode SLEEP les pins conservent leur niveau (1 ou 0)

### II.14 La logique de RESET

C'est le redémarrage du programme au début de sa séquence c'est-à-dire depuis l'adresse 0x00 causé par un événement spécifique ou par un saut volontaire, de la part de l'utilisateur de type « GOTO 0x00 »

#### Les 6 types de reset

- 1) Apparition de la tension d'alimentation après une coupure
- 2) Application d'un niveau bas sur la pin MCLR durant le déroulement du programme
- 3) Application d'un niveau bas sur la pin MCLR durant le mode « SLEEP »
- 4) Débordement du WATCHDOG durant le déroulement du programme
- 5) Débordement du WATCHDOG durant le mode « SLEEP »
- 6) Remontée de la tension d'alimentation après une chute partielle

### II.15 Le Watchdog (chien de garde)

Le chien de garde est capable de surveiller le bon fonctionnement du programme que le microcontrôleur exécute. Il intervient lorsque l'exécution du programme est en boucle infinie, il le vérifie et le remet à zéro (reset) pour relancer le programme.

Lorsque le programme est court, le PIC peut savoir où se situe le problème, et il va le vérifier mais si le programme est long, le PIC ne peut pas le savoir et c'est là où le chien de garde intervient.

## **II.16 Conclusion**

Nous avons traité tout au long de ce chapitre les microcontrôleurs, spécifiquement le PIC16f877 à savoir ses caractéristiques, son architecture interne et externe, sa capacité ...etc. Partant de cette étude, on peut déduire que le microcontrôleur 16F877A peut bien jouer le rôle d'une unité de contrôle pour notre système et maintenant nous pouvons passer à la conception et la réalisation, puisque le composant le plus important dans notre système nous est déjà familier.

# ***Partie pratique***

**Chapitre III :**  
**Conception et**  
**réalisation**

### III.1 Introduction

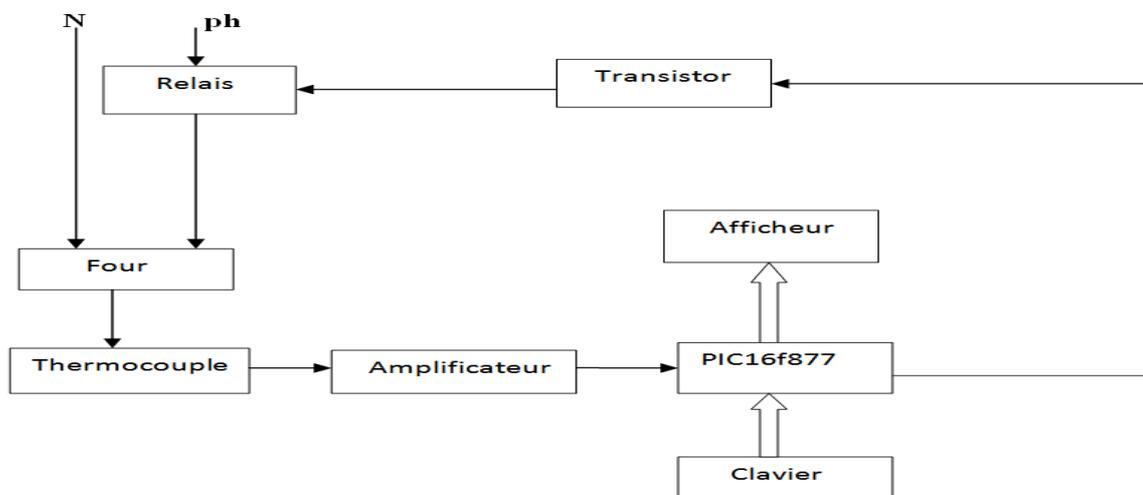
Une carte électronique est un ensemble de composants électroniques, réunis sur une plaque de manière à former un circuit destiné à un usage précis. Dans ce chapitre nous décrivons les différentes étapes qui nous permettront la conception et la réalisation d'une carte électronique : l'étude, le choix des composants nécessaires, le teste sur la plaquette d'essai, la réalisation comme circuit imprimé et enfin la soudure des composants.

### III.2 Conception

La conception a été répartie en plusieurs cartes qui sont :

- carte d'alimentation
- carte d'instrumentation
- carte intelligente qui contient en plus de l'élément essentiel qui est le PIC (vue dans le chapitre II) :
  1. Afficheur LCD
  2. Clavier matriciel
  3. L'horloge
  4. Un bouton poussoir

Le schéma de la figure ci-dessous donne une vue générale sur le principe de fonctionnement de la commande que nous avons utilisé, depuis l'introduction et la validation de la valeur dans le clavier jusqu'à la régulation.



**Figure III.1:** Schéma synoptique du système de commande

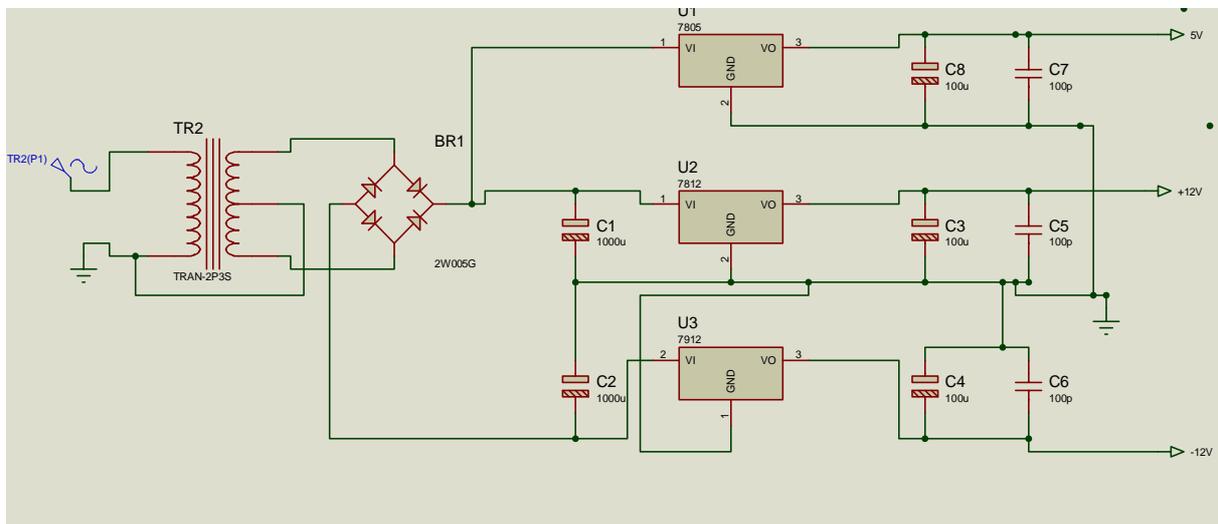
### III.2.1 Carte d'alimentation

Nous avons réalisé une carte d'alimentation (figure III.2) à trois tensions de sorties 12v, -12v et 5v nécessaires pour alimenter les composants de la carte de commande à savoir :

1. Amplificateur TL082 alimenté par une tension 12v et -12v,
2. Relais alimenté par 12v
3. PIC 16F877A et les différents circuits intégrés sont alimentés par une tension de 5 v.

Pour réaliser cette carte, nous avons utilisé les composants suivants :

- Transformateur 220/2x12
- Pont de redresseur (redresser la tension)
- Trois régulateurs : LM7805 pour le 5v, LM7812 pour le 12v et LM7912 pour le -12v.
- Des Capacités placées avant les régulateurs, pour la protection contre les surchauffes, et celles placées après sont des capacités de filtrage pour maintenir la tension stable.



**Figure III.2** : Circuit d'alimentation

### III.2.2 Carte d'instrumentation (Amplificateur)

La tension fournie par le thermocouple est très faible (de l'ordre du millivolt), pour l'amplifier nous avons utilisé un amplificateur d'instrumentation (figure III.3), composé d'amplificateurs de type TL082 à deux étages avec deux résistances de 22k $\Omega$  et deux

résistances de 2.2kΩ. Le but est d'avoir une tension dans la gamme utilisée par le PIC (entre 0 et 5v).

La température maximale à mesurer est de 250°C.

Nous avons déjà établi la loi de la tension du thermocouple en fonction de la température (voir chapitre I) :

$$U = 0.0397 \times \theta + 3.4950$$

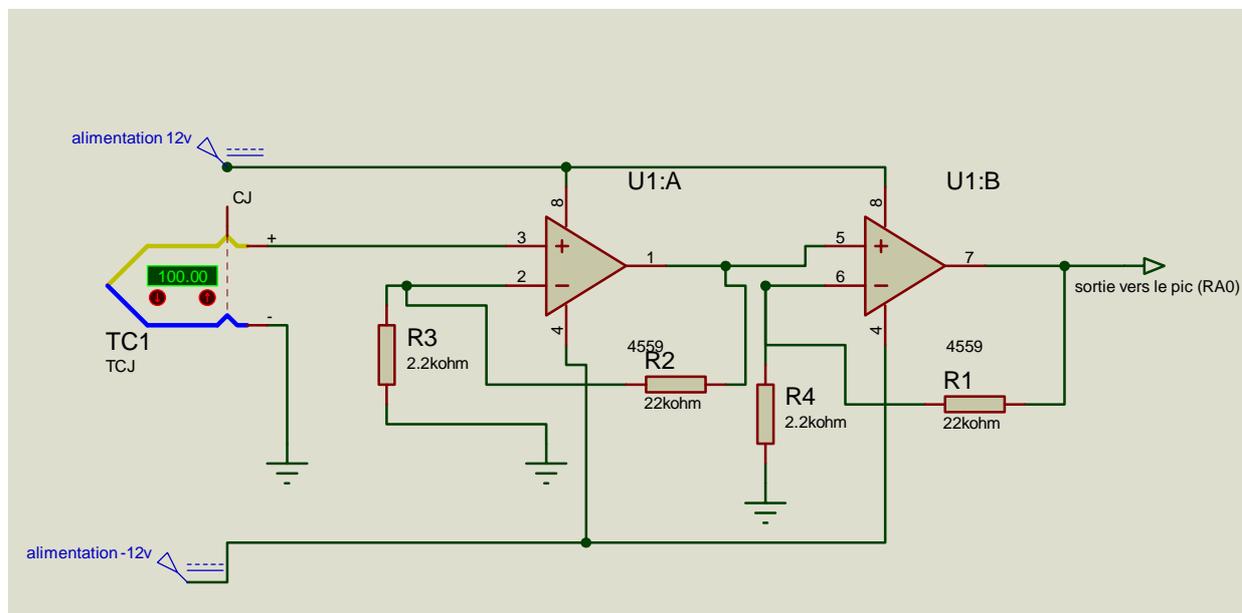
Pour  $\theta = 250^\circ\text{C}$ ,  $U=13.42\text{mv}$

La tension maximale du PIC est limitée à 5v. Nous avons besoin de trouver un gain pour avoir une tension suffisante qui ne dépasse pas cette limite.

Nous avons la loi du gain de l'amplificateur d'instrumentation suivante :

$$Ad = \left(1 + \frac{R}{R_g}\right) \times \left(1 + \frac{R}{R_g}\right) \quad \text{avec : } R = 22 \text{ k}\Omega \text{ et } R_g = 2.2 \text{ k}\Omega \Rightarrow Ad = 121$$

Nous avons aussi trouvé 121 en pratique. De cette façon nous aurons une gamme de tension suffisante pour attaquer le PIC.



**Figure III.3 :** Amplificateur d'instrumentation.

### III.2.3 Carte intelligente

Voir figure III.4

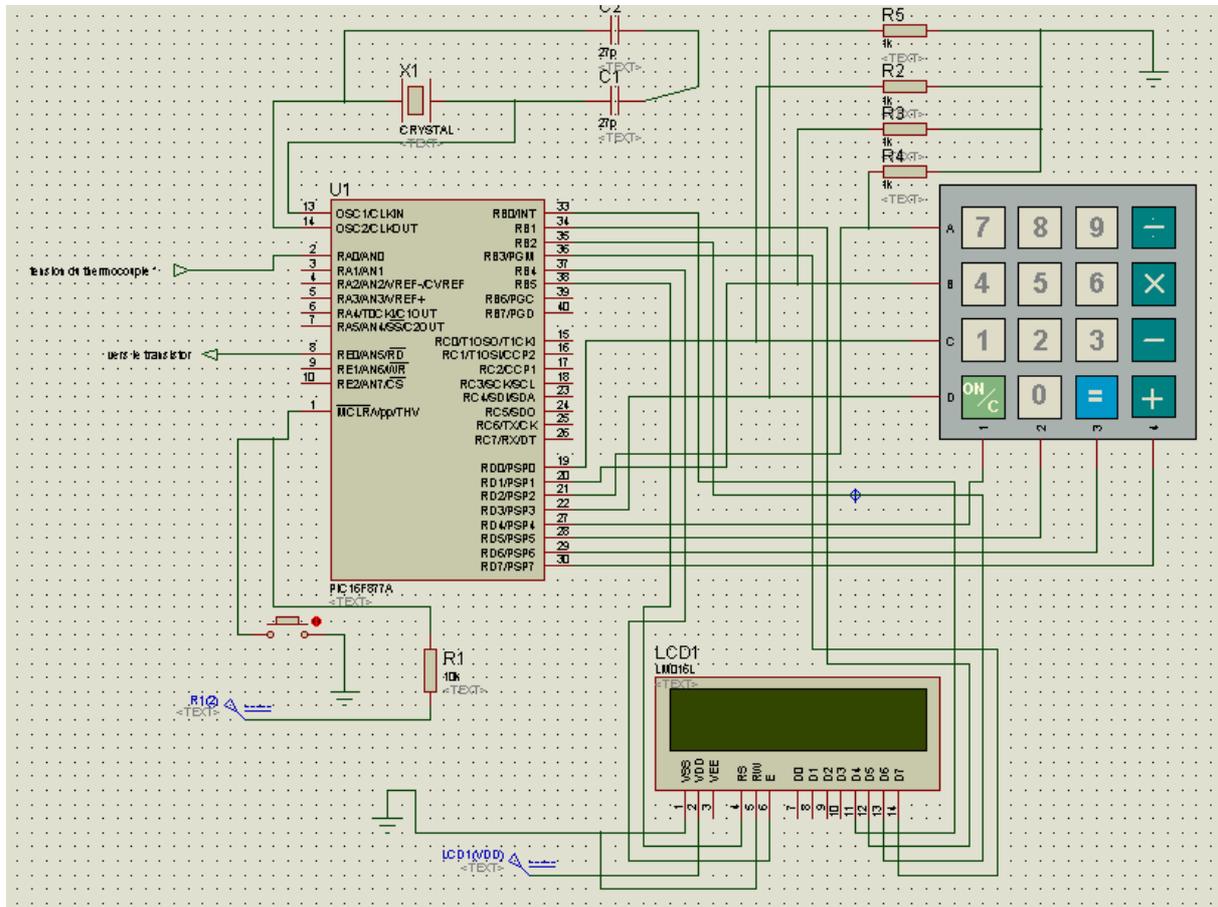


Figure III.4 : Circuit de la carte intelligente

#### III.2.3.1 Afficheur à cristaux liquide

Nous avons utilisé un afficheur LCD (Liquid, Cristal, Display) de type accès parallèle (transmet les informations à afficher sous forme parallèle avec une possibilité de transmettre sur quatre ou huit bits), pour afficher la température de consigne à introduire. L'écran est alimenté en 5v par la carte d'alimentation, le LCD utilisé est de 2x8 caractères.

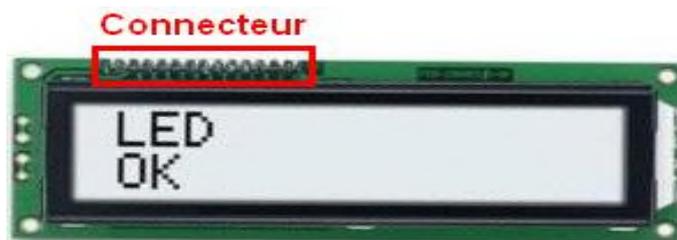


Figure III.5 : Photo d'un afficheur LCD

### III.2.3.2 Caractéristiques de l'afficheur LCD

L'afficheur LCD a trois signaux de contrôles, ainsi 4 ou 8 lignes d'entrées/sorties pour le bus de données. Il peut fonctionner soit avec un bus de données de 4 bits ou sur un bus de données de 8 bits.

#### **Bus de données de 4 bits :**

L'afficheur LCD utilise 7 lignes (3 signaux de contrôles et 4 lignes pour le bus de données).

#### **Bus de données de 8 bits :**

L'afficheur à cristaux liquide utilise 11 lignes (3 signaux pour le contrôle et 8 lignes pour le bus de données).

Les trois signaux de contrôle sont : **E**, **R/W** et **RS**

**E**(Enable) : entrée de validation

**R/W** (Read/Write) : indique l'écriture d'une donnée dans l'afficheur ou la lecture des données.

**RS** (Registre Select) :

Si RS=1 : cela veut dire on transmet une donnée

Si RS=0 : cela veut dire on transmet une commande

### III.2.3.3 Commande d'un afficheur LCD

Pour commander l'afficheur LCD, il existe deux modes de fonctionnement : le mode 8 bits et le mode demi-octet (4 bits). Pour notre application nous allons utiliser le mode 4 bits.

- **Mode 4 bit :**

Ce mode ne demande que 4 broches, ce qui permet de diminuer le nombre de fils utilisés pour commander l'afficheur et de libérer des pins sur le microcontrôleur, dans ce mode seuls les 4 bits de poids fort (D4 à D7) de l'afficheur sont utilisées pour transmettre les données et les lire, les 4 bits de poids faible sont alors connectés à la masse.

- Les données sont écrites ou lues en envoyant séquentiellement les 4 bits de poids fort suivi des 4 bits de poids faible.
- Une impulsion positive d'au moins 450ns doit être envoyée sur la ligne E pour valider chaque demi octet, un peu plus lent que le mode 8 bits (mais c'est loin d'être un problème).

En mode écriture le transfert d'information du microcontrôleur (en sortie) vers le module LCD (entrée).

En mode lecture, le transfert d'information du module LCD (sortie) vers le microcontrôleur (entrée).

### III.2.3.4 Schéma fonctionnel

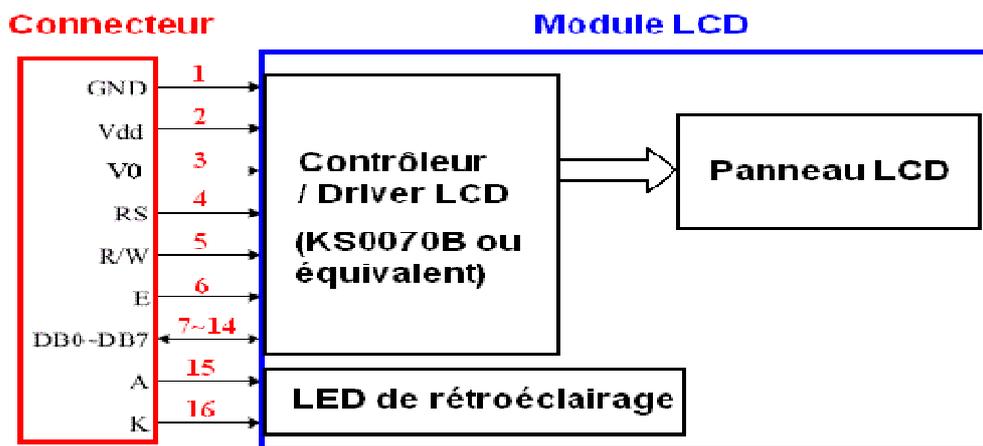


Figure III.6 : Schéma fonctionnel de l'afficheur LCD

### III.2.3.5 Fonction des broches LCD

Le tableau III.1 résume les différentes broches de l'afficheur.

Numéro de broche du connecteur	symbole	Type	Description
1	GND	Alimentation	masse (0v)
2	Vdd	Alimentation	+5v (alimentation du contrôleur interne)
3	V0	Alimentation	Alimentation du panneau LCD (réglage contraste)
4,5 et 6	RS, R/W, E	Entrées	RS=1 : sélection du registre de données, si RS=0 : sélection du registre de commande R/W=1:lecture/W=0 : écriture E=entrée de validation
7-14	DB0-DB7	Entrées/sorties	Bus de données bidirectionnel En mode écriture : bus configuré en entrée En mode lecture : bus configuré en sortie

**Tableau III.1** : Fonction des broches du connecteur (LCD)

Les broches 15(anode) et 16(cathode) ne sont présentées que sur les afficheurs LCD avec rétro-éclairage.

### III.2.3.6 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement de l’afficheur est simple, les broches (D4 à D7) de l’afficheur sont connectés au port B du PIC (RB0 à RB3), on transmettra les données sur quatre bits.

La broche RB4 du port B génère des impulsions d’horloge nécessaire pour cadencer et valider tous les échanges entre l’afficheur et le PIC.

La broche RB5 du PIC indique au contrôleur que les bits présents sur D4 à D7 véhiculent une instruction à exécuté (si RS=0) ou bien un caractère à affiché (si RS=1).

La broche (R/W) est connectée à la masse, c'est-à-dire en mode écriture (les niveaux de RS et R/W sont pris en compte par LCD sur le front montant de E et les 4 bits DB7-DB4 sont pris en compte sur le front descendant de E). Si cette broche est à 1, le contrôleur nous offre la possibilité de lire certains paramètres internes à l'afficheur, il fournit les 4 bits de poids fort. Les 4 bits DB3-DB0 sont fournis par LCD après le deuxième front montant de E.

### III.2.3.7 Clavier matriciel

Ce type de clavier est simple et courant (Figure III.7), il est composé de lignes et de colonnes, à l'intersection de chaque touche correspond à un contact électrique entre une ligne et une colonne (une interruption sera générée), ici il s'agit d'un clavier matricé de 12 touches avec quatre lignes et trois colonnes à huit pins connectés au port D du PIC, les pins du clavier 1 à 4 (les lignes) connectés aux broches (RD0 à RD3) du PIC et en parallèle avec chacune de ces broches nous avons relié des résistances de  $1k\Omega$  vers la masse. Les pins (de 5 à 7) du clavier qui sont les colonnes, connectés aux broches (RD4 à RD6) du PIC.



Figure III.7 : Clavier matriciel

### III.2.4 L'horloge

Nous avons choisi un quartz pour cadencer tous les échanges internes ou externes au PIC, elle est connectée aux broches (OSC1 et OSC2) du PIC, sa fréquence est de 4MHz au lieu de 20MHz qui est la fréquence maximum supportée par le PIC16F877A (vue dans le chapitre II), tant que le système (four) est lent pour répondre. Il est conseillé de relier le quartz via 0V avec deux condensateurs (22pF) pour stabiliser la fréquence.

### III.3 Réalisation

Nous avons quatre circuits imprimés : le premier est le circuit d'alimentation, le deuxième est le circuit d'amplification, le troisième est le circuit imprimé de puissance enfin le circuit qui contient les composants électroniques suivant :

Le PIC, le quartz, l'afficheur LCD, clavier. (Voir annexe2 les circuits imprimés : FigureIII.8, FigureIII.9, FigureIII.10, FigureIII.11). Ensuite nous avons effectué la dernière tâche qui consiste à souder tous les composants électriques (appart le PIC qui doit être insérer dans un support), pour achever la réalisation de la carte électronique (voir les cartes réelles Annexe2 : Figure III.12, Figure III.13 Figure III.14, Figure III.15 Figure III.16). La simulation de notre carte a été effectuée à l'aide de logiciel proteus 7.1 (ISIS et ARES).

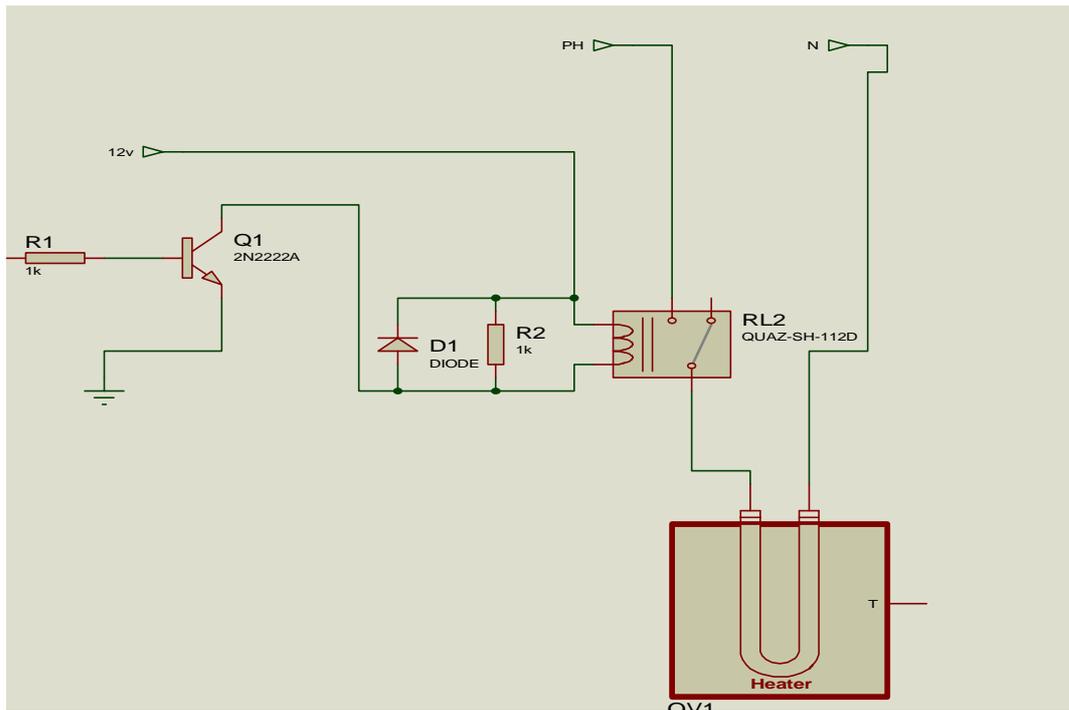
### III.4 Liaison de communication PIC- PC

La liaison RS232 est l'un des moyens les plus utilisés pour communiquer entre le microcontrôleur et un PC. Si le port RS232 (port série) se fait de plus en plus rare sur les ordinateurs portables, on le trouve encore sur les ordinateurs de bureau et étant donné que nous disposons des PC portables, qui sont en générale dotésque des ports USB [17], nous allons utiliser un connecteur USB pour relier le PIC16f877 au PC.

### III.5 Circuit de puissance

Les ports du PIC16f877A envoient soit 0v ou 5v en sortie, donc la commande de notre système (four) se fait en Tout Ou Rien (figure III.17).

Le PIC envoie un signal de commande Tout Ou Rien au transistor qui est relie en série avec le relais, ce dernier est le pré actionneur du système qui fera connecter le système au réseau (si la température mesurée est en dessous de la température désirée) ou déconnecter du réseau (si la température mesurée est en dessus de celle du consigne). Comme le PIC débite un courant faible qui est de l'ordre de milliampère le transistor amplifiera ce courant assurant ainsi l'excitation de la bobine de notre relais(ce dernier agit comme un interrupteur).



**FigureIII.17** : Circuit de puissance

- **Principe de fonctionnement**

La mise de la pin E0 du port E du PIC au niveau haut débloque le transistor et la bobine sera excitée (alimentée par 12v) ainsi l'alimentation du four, la mise au niveau bas bloque le transistor et la bobine ne sera plus excitée ce qui provoque la mise hors tension du four jusqu'à ce que sa température s'établisse à la température de consigne.

Nous avons inséré une résistance de 200Ω en parallèle avec une diode pour protéger le circuit de puissance contre les courants de décharges de la bobine du relais lors de l'ouverture de l'interrupteur de ce dernier.

### III.6 Conclusion

Nous avons décrit dans ce chapitre les différentes étapes de conception et réalisation des différentes cartes électroniques : carte d'alimentation, carte d'amplification et la carte intelligente. Nous avons en outre réalisé le circuit de puissance et utilisé le programmeur de PIC de type USB pour relier le PIC au PC en vue de le programmer. Cette étape de programmation sera abordée dans le prochain chapitre.

**Chapitre IV :**  
***Programmation et***  
***essais***

## IV.1 Introduction

Nous allons aborder dans ce chapitre, la dernière partie de notre projet qui consiste à programmer le microcontrôleur, et faire des essais pratiques par la suite. Concernant la programmation, elle doit d'être adaptée au système de commande et gérer au mieux les différents périphériques (afficheur, clavier, ...etc.) reliés à la carte intelligente et elle sera représentée sous forme de différents organigrammes afin d'illustrer les différentes parties du programme, ensuite nous allons entamer la simulation. Une fois la simulation réussie, le programme écrit sur PC sera transféré au PIC via le programmeur.

## IV.2 Présentation du langage JAL

Il existe plusieurs langages pour programmer un microcontrôleur. Nous programmerons le PIC en JAL (Just Another Language) [17], qui est un langage de haut niveau semblable au Pascal, il a été créé pour faciliter la programmation des PICs, il est disponible, évolué et soutenu par une large communauté internationale d'utilisateurs. Ses bibliothèques en font un langage configurable et extensible, et nous pouvons même le combiner avec l'assembleur.

### IV.2.1 Les bibliothèques de JAL

Les bibliothèques contiennent des fonctions supplémentaires qu'il est possible d'ajouter à JAL. Elles permettent par exemple de lire un signal analogique, d'utiliser l'afficheur LCD, et de faire bien d'autres choses encore. Ces bibliothèques ont été assemblées en une combinaison parfaite qui facilite la programmation et la transposition d'un programme vers d'autres microcontrôleurs, ces bibliothèques garantiront également la compatibilité de tous les programmes.

### IV.2.2 Editeur de texte (JALedit)

Nous pouvons utiliser JAL en ligne de commande, mais un éditeur de texte comme JALedit sera beaucoup plus pratique. JALedit est gratuit et ses points forts sont nombreux :

- Coloration syntaxique
- Affichage des variables, constantes et procédures utilisées par le programme
- Ajout ou suppression des commentaires de bloc
- Compilation et téléchargement en un clic

- Table ASCII, calculatrice et terminal incorporés
- Export html des sources (pour mise en ligne)
- Sauvegarde automatique
- Messages du compilateur écrits dans une fenêtre séparée
- Plusieurs fichiers peuvent être ouverts en même temps
- Curseur sur ligne fautive en cas d'erreur

### IV.3 Organigramme et programmation

#### IV.3.1 programme principal

Le programme principal est constitué d'un ensemble de sous-programme, destiné à gérer le processus de régulation, l'organigramme ci-dessous indique une représentation générale du programme de régulation.

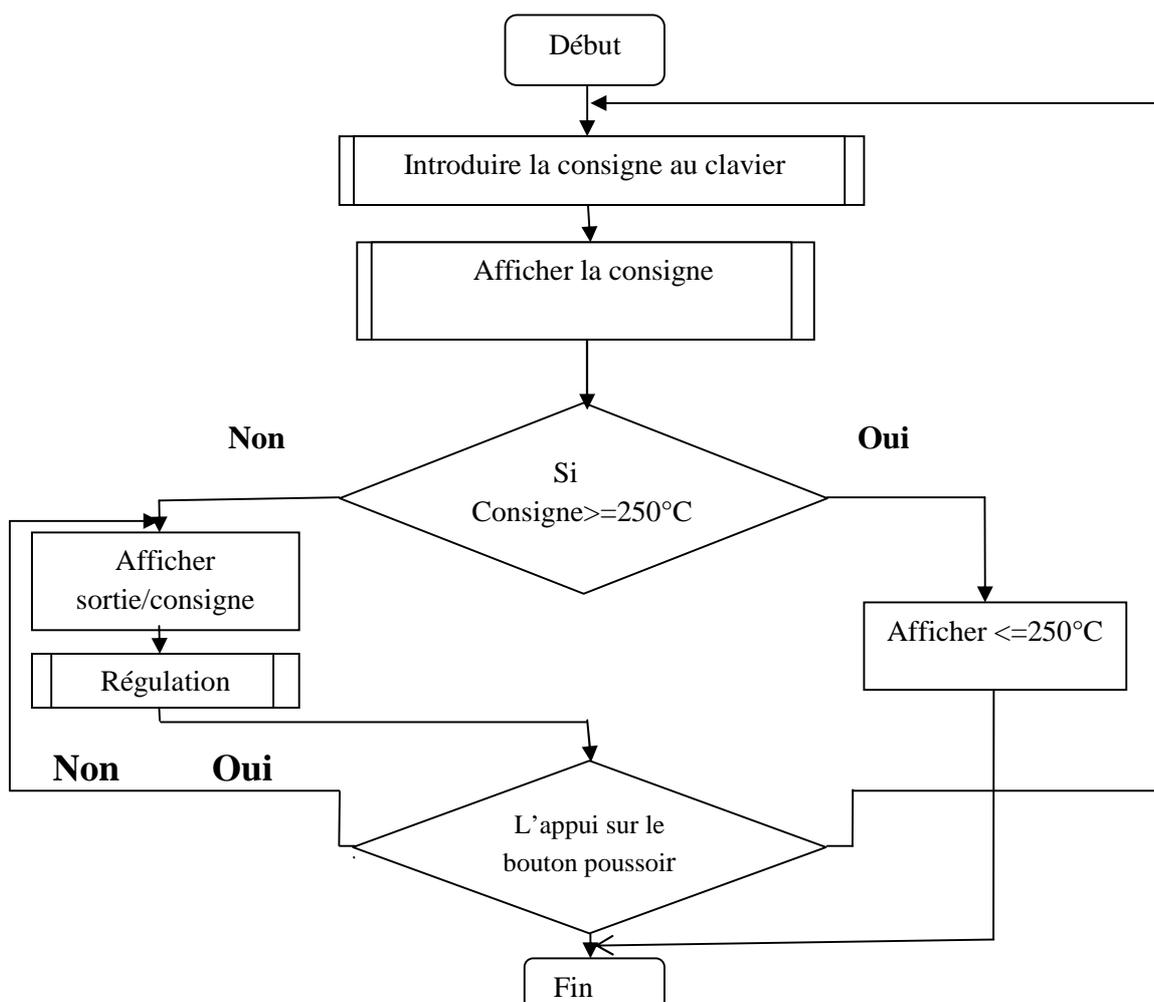


Figure IV.1 : Organigramme principal

En commençant par introduire une consigne sur le clavier, la consigne et la sortie seront affichées sur LCD, si la consigne est supérieure à 250°C l'afficheur affiche le message « <=250°C », si c'est le contraire (la condition n'est pas vérifiée) il y'aura une régulation de la température. Si nous appuyons sur le bouton poussoir de réinitialisation, le programme recommencera dès le début et si c'est non la régulation se poursuit.

### IV.3.2 Organigramme de l'afficheur LCD

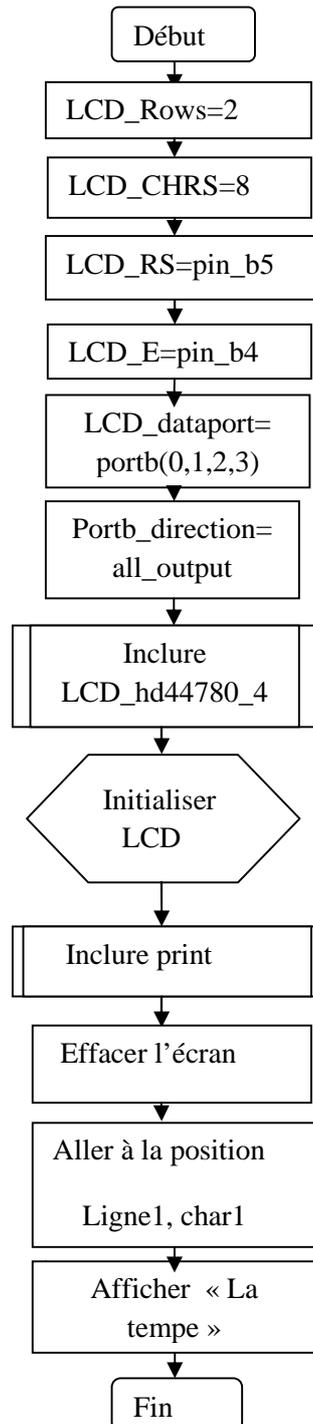
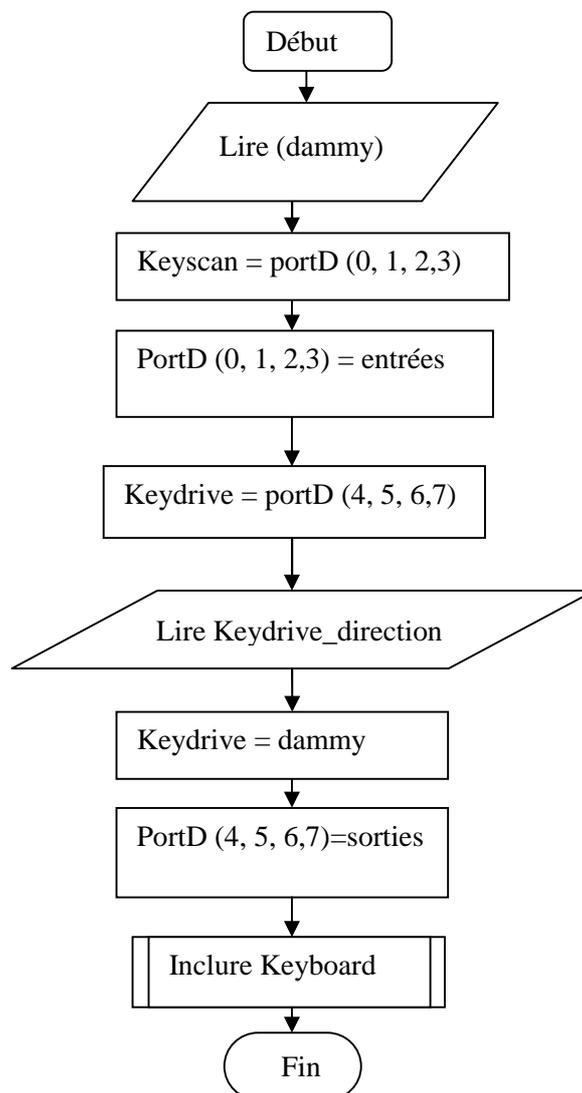


Figure IV.2 : Organigramme de l'affichage

Cet organigramme résume les étapes à suivre pour afficher le caractère « la tempe » sur l'afficheur LCD. En commençant à déclarer tout d'abord les différentes variables, pour définir le nombre de lignes et de caractères de l'afficheur. Pour identifier les pins de données et de commande du LCD, nous avons introduit les constantes LCD\_RS, LCD\_EN et LCD\_dataport, ensuite faire appel à la bibliothèque LCD et affichage (print) qui contient les commandes qui nous permettent : d'initialiser l'afficheur, positionner le curseur, introduire la chaîne de caractère « la tempe » dans une constante et enfin afficher les caractères.

### VI.3.3 Organigramme du clavier

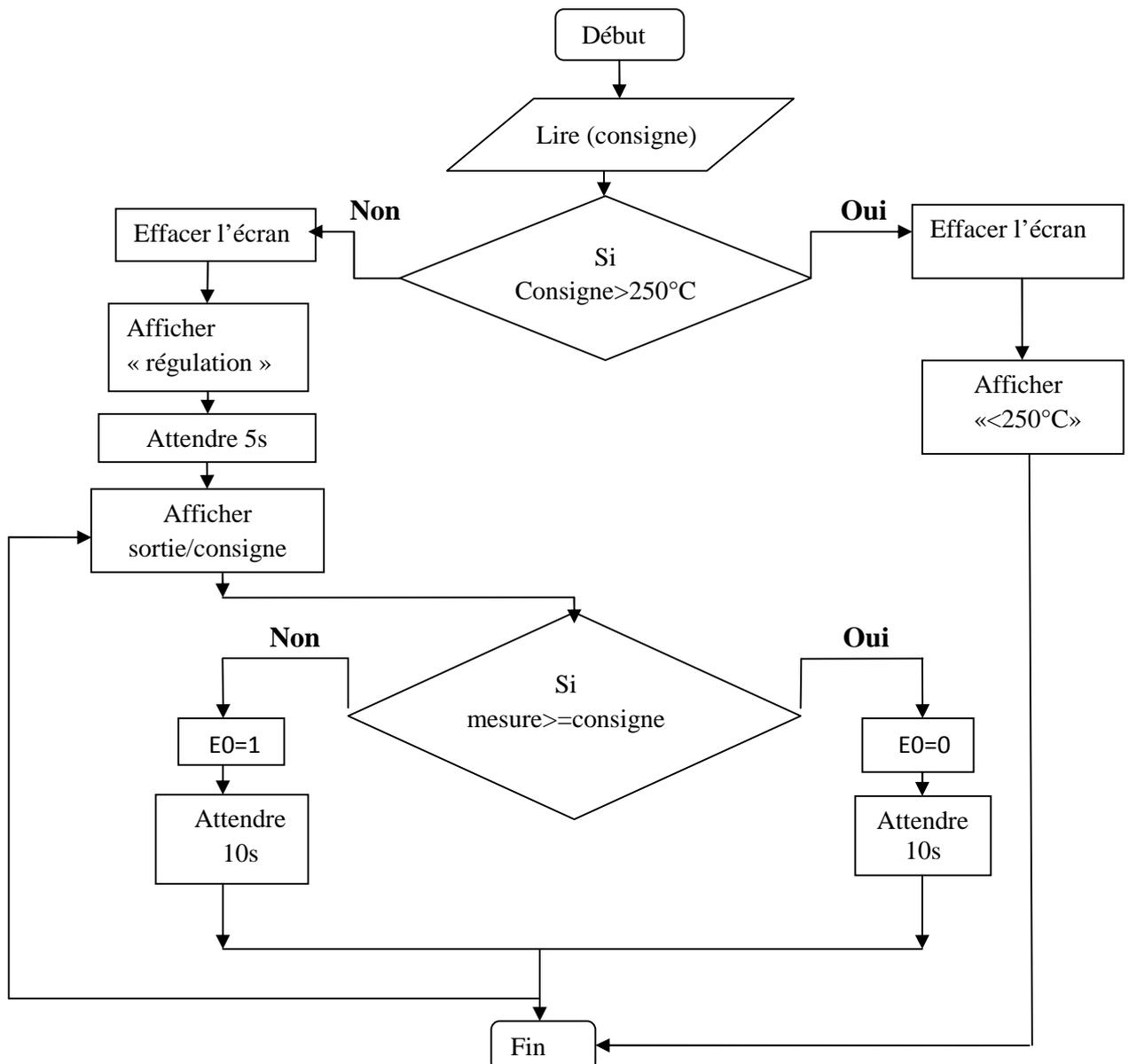


**Figure IV.3 :** Organigramme du clavier

Cet organigramme explique comment accéder aux touches du clavier, en commençant par la lecture de la variable dammy puis pour faire savoir au PIC le port à utiliser, nous avons

introduit une constante dont les valeurs sont les nombres de pins bas du portD (de 0 à 3) en entrées (les lignes du clavier), et une autre variable dont les valeurs sont le nombre de pins haut du portD (de 4 à 7) (colonnes du clavier), avant de mettre les pins du colonnes du clavier en sorties, nous avons déclaré la variable `Keydrive_direction` qui est dans la variable `dammy`, puis nous avons fait appelle à la bibliothèques `Keyboard` afin d'utiliser toutes les commandes du clavier.

#### IV.3.4 Organigramme de la régulation de température



**Figure IV.4 :** Organigramme de la régulation de température

Le sous-programme en dessus permet de faire la régulation, en introduisant les valeurs consignes qui sont les chiffres que nous avons composés sur le clavier (introduites dans une

variable consi). Si la consigne est supérieur à  $T_{max}$  ( $250^{\circ}\text{C}$ ), l'écran s'efface et affiche le message «<250°C », si non (à condition qu'elle ne soit pas inférieure à la température ambiante 25 à  $30^{\circ}$ ) l'écran s'efface ensuite affiche le message « Régulation » et le processus attend 5 secondes pour afficher la sortie et la consigne. Pour la régulation nous avons introduit une condition (si mesure  $\geq$  consigne), si cette condition est vérifiée la pin E0 se met à 0, et le processus de régulation attend 10s (un temps très suffisant pour que le relais s'ouvre). Si la condition n'est pas vraie, la pin E0 se met à 1, l'interrupteur du relais se ferme et le processus de régulation attend 10s. La boucle se répète à l'infini jusqu'à ce qu'on appui sur le bouton poussoir (RESET) pour initialiser le PIC et le remettre à zéro.

#### IV.4 Simulation

Afin de vérifier le programme avant de le transférer dans le microcontrôleur, nous avons effectué des simulations à l'aide d'un outil du logiciel ISIS PROTEUS spécialisé (figureIV.5). Les tests effectués sont destinés pour vérifier le bon déroulement du programme.

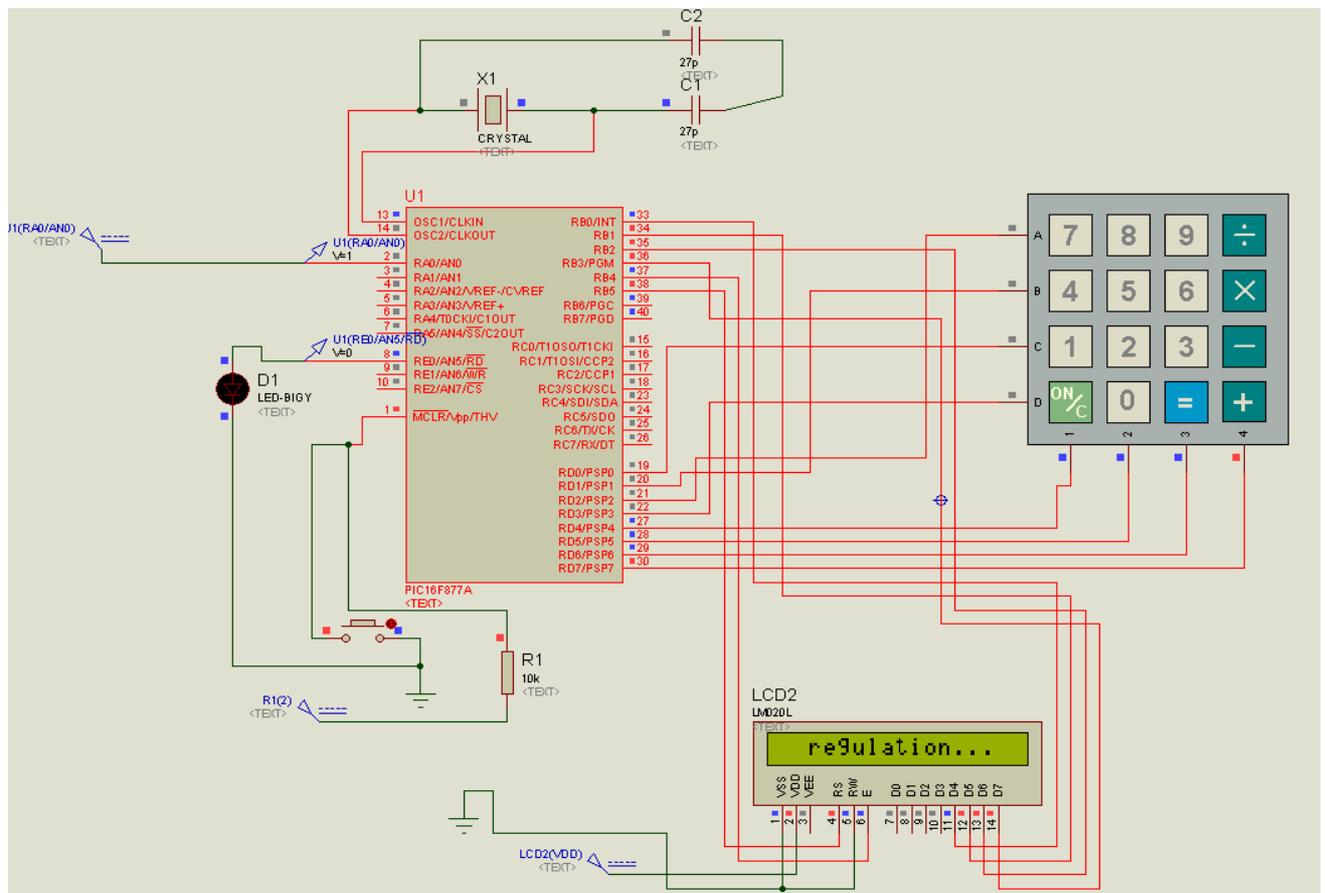


Figure IV.5 : Simulation sur logiciel ISIS PROTEUS

## IV.5 Transfert du programme vers le microcontrôleur

Après les tests du programme par simulation, nous pouvons transférer le programme vers le microcontrôleur pour procéder aux essais pratiques, pour cela nous avons utilisé un logiciel PICKit (figure IV.6). Ce programme permet en particulier de transférer le fichier compilé (.hex) à l'aide de JALEdit vers le PIC, après avoir été détecté par le logiciel, nous lui transférons le fichier concerné (.hex) et enfin nous procédons à une vérification (verify) qui nous permet de bien confirmer le transfert complet du programme vers le PIC.

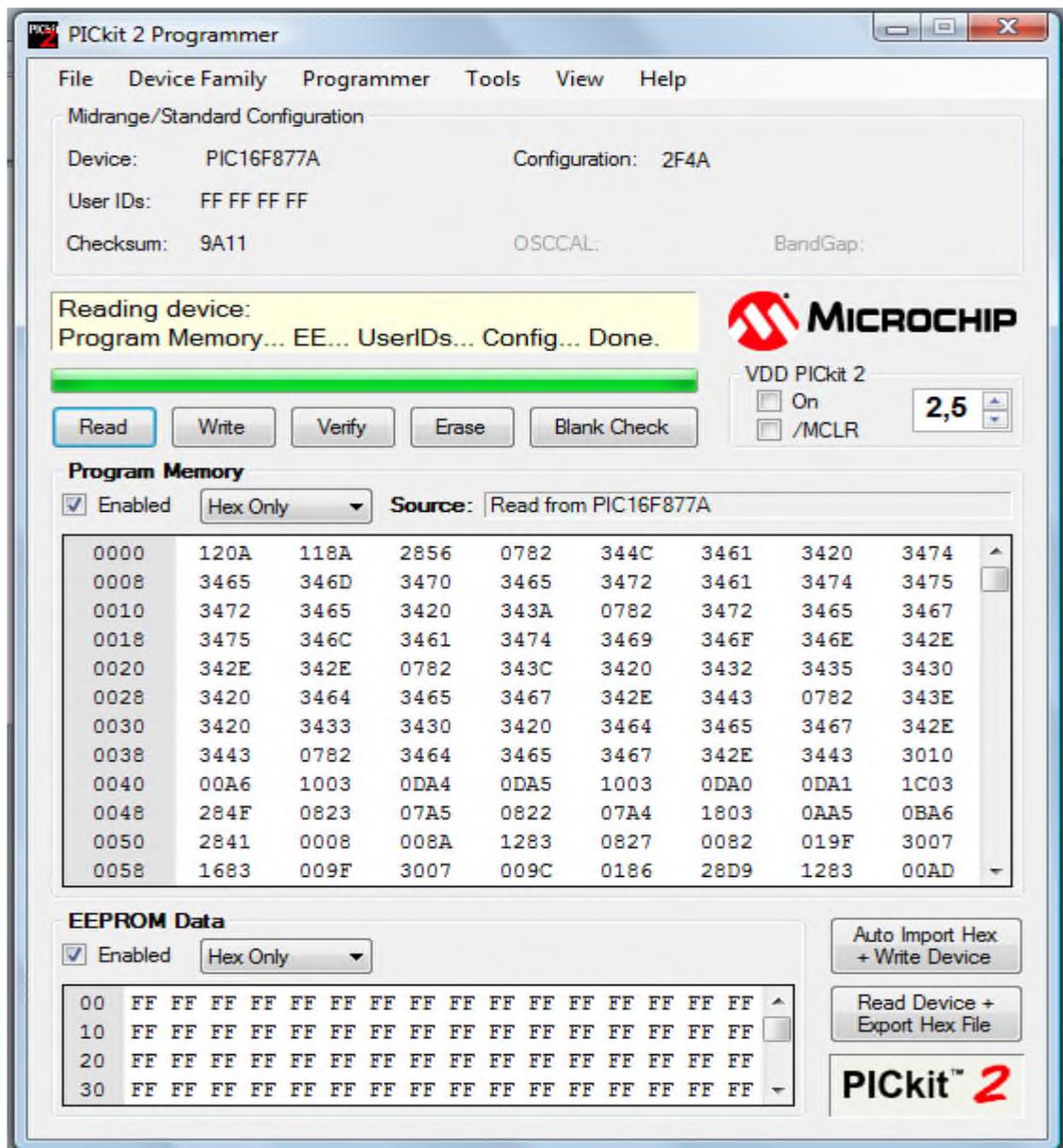


Figure IV.6 : Vue de logiciel PICKit

## IV.6 Essais pratiques

### IV.6.1 Essai sans perturbation

Pour vérifier le bon fonctionnement des cartes et du système de commande en général, nous avons effectué quelques essais pratiques, en introduisant les différentes consignes.

Nous avons utilisé un thermomètre pour vérifier si la sortie tend à suivre la consigne.

Nous avons relevé les différentes sorties pour chaque consigne introduite et le temps nécessaire pour la régulation, les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau suivant :

La Température initiale du four est de 22°C. Une tension  $U=100V$  et un courant  $I=0.9A$  constants sont appliqués au four.

Consignes (°C)	30	45	55	65	75	85	95	105	115	125	135
Sorties (°C)	25	42	53	61	72	80	90	98	110	118	129
Temps de regulation (minutes )	1.30	2	1.42	1.18	1.30	1.30	1.30	1.19	1.19	1.30	1.38

Consignes (°C)	145	155	165	175	185	195	205	215	225	235	245	250
Sorties (°C)	137	150	163	171	183	191	203	213	225	231	243	247
Tempsde regulation (minutes )	1.25	3.49	3	3.13	5.5	2.46	5.18	3.26	6	7	6.23	6.37

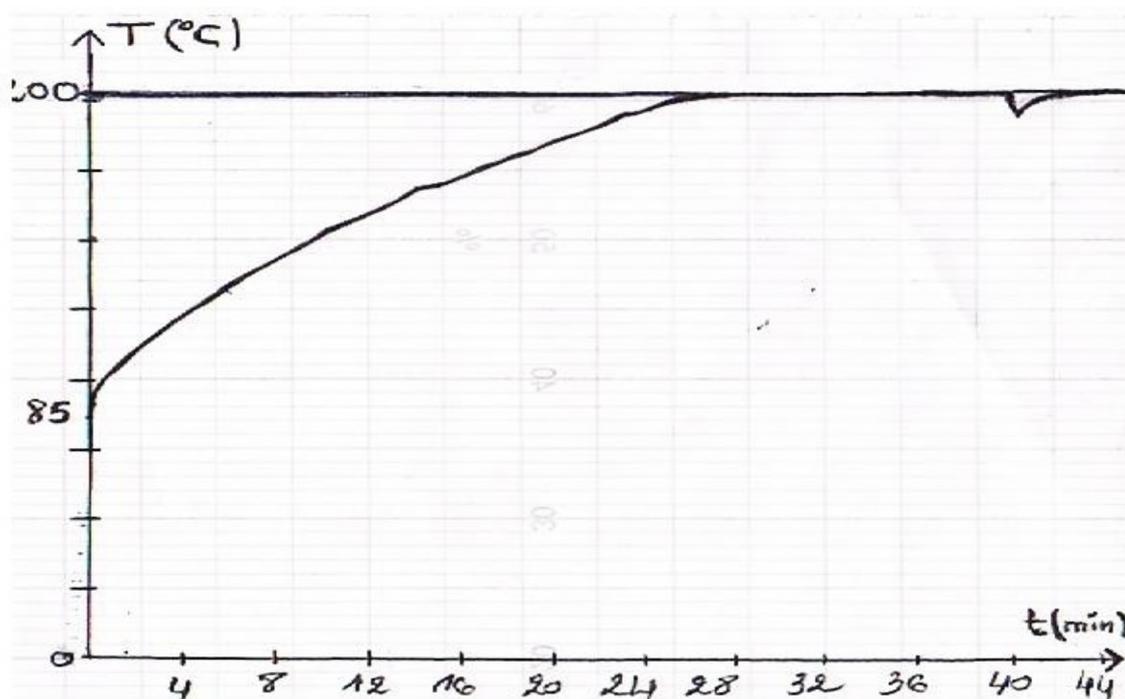
**Tableaux IV.1** : Les différents essais de la régulation de température

Nous remarquons d'après les résultats obtenus dans les tableaux ci-dessus que nous avons pu maintenir la grandeur réglée à une valeur proche de celle de la consigne. Nous

pouvons dire que la sortie tend à suivre la consigne. Plus la consigne est grande, plus l'écart consigne-sortie est faible et plus le temps de régulation plus important.

#### IV.6.2 Essai avec perturbation

La température initiale est de  $85^{\circ}\text{C}$ , une tension  $U=100\text{v}$  et un courant  $I=0.9\text{A}$ , constants sont appliqués au four. Le graphe ci dessous est tracé à l'aide d'un enregistreur y-t. Il représente la variation de la température de sortie en fonction du temps pour une consigne fixée à  $200^{\circ}\text{C}$ .



**Figure IV.7:** L'évolution de la température de sortie du four par rapport à une consigne fixée

D'après cette courbe, la température de sortie augmente en fonction du temps et se stabilise à une température proche de la consigne après 26 minutes.

Une régulation de température Tout Ou Rien permet d'obtenir une température constante avec de très faibles fluctuations de température autour d'une valeur finale.

D'après cette courbe nous avons constaté également que lorsque les résistances de chauffe ne sont plus alimentées, la température du four continue toujours à augmenter car les matériaux restituent l'énergie qu'ils ont emmagasiné avec un certain retard, il s'agit du phénomène « d'inertie thermique ».

Une fois le régime établi, nous avons appliqué une perturbation en ouvrant la portière du four pendant 30 secondes, après une petite baisse la régulation a rattrapé la perturbation.

### **IV.7 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents organigrammes développés et les programmes correspondants pour assurer la bonne régulation du système. Nous avons décrit les logiciels JALedit et PICKit. Les différents essais pratiques effectués ont montré que la sortie atteint la consigne à un faible écart près. L'essai avec la perturbation a montré le bon fonctionnement de la régulation.

# ***Conclusion Générale***

## Conclusion Générale

Notre objectif dans ce présent travail consiste en la conception et la réalisation d'une carte de commande à base d'un PIC 16F877A, en vue d'améliorer le contrôle et le maintien de la température à l'intérieur du four électrique, tout en éliminant efficacement les perturbations extérieures.

Nous avons présenté les fours électriques et détaillé celui que nous avons utilisé. A l'aide d'un thermocouple et d'un enregistreur nous l'avons identifié par la méthode de Strejc. La fonction de transfert obtenue est du deuxième ordre.

Le principe de fonctionnement du microcontrôleur PIC 16f877A et son architecture ont été présentés.

Nous avons réalisé les différentes cartes d'alimentation, d'amplification, de puissance et la carte intelligente à base du PIC 16f877A. Grâce au langage JAL, qui est un langage de haut niveau, nous avons pu programmer le PIC de manière performante. Les essais pratiques ont permis de vérifier le bon fonctionnement du dispositif réalisé et la bonne performance de la régulation de la température.

Nous avons pu constater durant ce projet, que la technique de commande numérique que nous avons utilisée qui est la commande en Tout Ou Rien, convient au mieux au système à cause de sa grande inertie thermique. De plus la commande numérique est plus flexible que la commande analogique grâce aux avantages qu'elle représente :

- Il y'a moins de dépendance entre la partie matérielle du régulateur et la loi de réglage.
- Pour modifier la régulation il suffit d'agir sur le programme sans toucher aux composants.

Comme perspectives, nous proposons quelques améliorations pour le système :

- ✓ Insérer un système de sécurité en cas de défaillance du système.
- ✓ Elaborer un système d'acquisition de données sur un PC.
- ✓ Contrôler d'autres paramètres comme l'humidité,...
- ✓ Contrôler plusieurs fours en même temps.

# ***Bibliographie***

# Bibliographie

- [1] Jean-François BOURGOIS, Alain GIRAULT, Richard JAUME, Marianne Le BOULCH, four électrique à résistances. Présentation générale, SEE Techniques de l'ingénieur article : D5910 et Date de parution, 02/2005.
- [2] Siegfried WILHELM, four à moufle de laboratoire LM 111.00/LM111.01 mode Notice du laboratoire de mesures.
- [3] Généralités sur la mesure de température, <http://www.thermatecproess.com>, consulté le 20 janvier 2013
- [4] Roger LACROIX, couples thermoélectrique et mesure de température, technique de l'ingénieur article : R2590, 02/2005.
- [5] Dominique OTTELLO, les thermocouples, <http://aviatecho.free.fr/files/thermocouples.pdf>. Consulté le 20 janvier 2013
- [6] Philippe MORENTON et Martin BOURGES, Introduction au microcontrôleur et à sa programmation, [www.larondetechnology.com](http://www.larondetechnology.com), consulté le 25 janvier 2013
- [7] John IOVINE, PIC microcontroller project book, second edition 2004, page 13.
- [8] Bigonoff, la programmation des PIC (PREMIER PARTIE), [www.abcelectronique.com/bigonoff/load part1.php](http://www.abcelectronique.com/bigonoff/load%20part1.php), consulté le 25 janvier 2013
- [9] Thomas GRENIER et Dominique TOURNIER, Famille pic 16, [www.creats.insa-lyon.fr.pdf](http://www.creats.insa-lyon.fr/pdf), consulté le 30 janvier 2013
- [10] Jérôme VICENTE, Les microcontrôleurs, [insti.polytech.univ/mrs.fr.pdf](http://insti.polytech.univ/mrs.fr/pdf), consulté le 30 janvier 2013
- [11] Les microcontrôleurs (PICs de Microship) 1ère Partie, [www.technologuepro.com.pdf](http://www.technologuepro.com/pdf), consulté le 30 janvier 2013
- [12] A.OUMNAD, MICROCONTROLEURS Famille Mid-Range de Microchip (LE PIC 16F876/877), [www.oumnad.123.fr/microcontroleurs/pic16f877.pdf](http://www.oumnad.123.fr/microcontroleurs/pic16f877.pdf), consulté le 30 janvier 2013.
- [13] F.Senny, Introduction aux microcontrôleurs et à leur assembleur illustration par le PIC16F877), [www.montefiore.ulg.ac.be/~senny/download/ELEN040\\_TranspPIC16F877](http://www.montefiore.ulg.ac.be/~senny/download/ELEN040_TranspPIC16F877), Université de Liège (Faculté des Sciences Appliquées), consulté le 20 janvier 2013
- [14] MICROCONTROLEURS PIC 16F876 et 16F877, Daniel.menesplier [.free.fr/doc/pic16f877.pdf](http://.free.fr/doc/pic16f877.pdf), 2001, consulté le 25 janvier 2013

- [15] Bigonoff, LA PROGRAMMATION DES PIC, (SECONDE PARTIE),  
[www.abcelectronique.com/bigonoff/load part2.php](http://www.abcelectronique.com/bigonoff/load_part2.php), consulté le 30 janvier 2013
- [16] Christian TAVERNIER, les microcontrôleurs PIC, page 14 et 15, 3eme édition2005.
- [17] Bert VAN DAM, 50 nouvelles applications des microcontrôleurs PIC page 199 et 200,  
Elektor 1ere édition janvier 2012.

# ***Annexes***

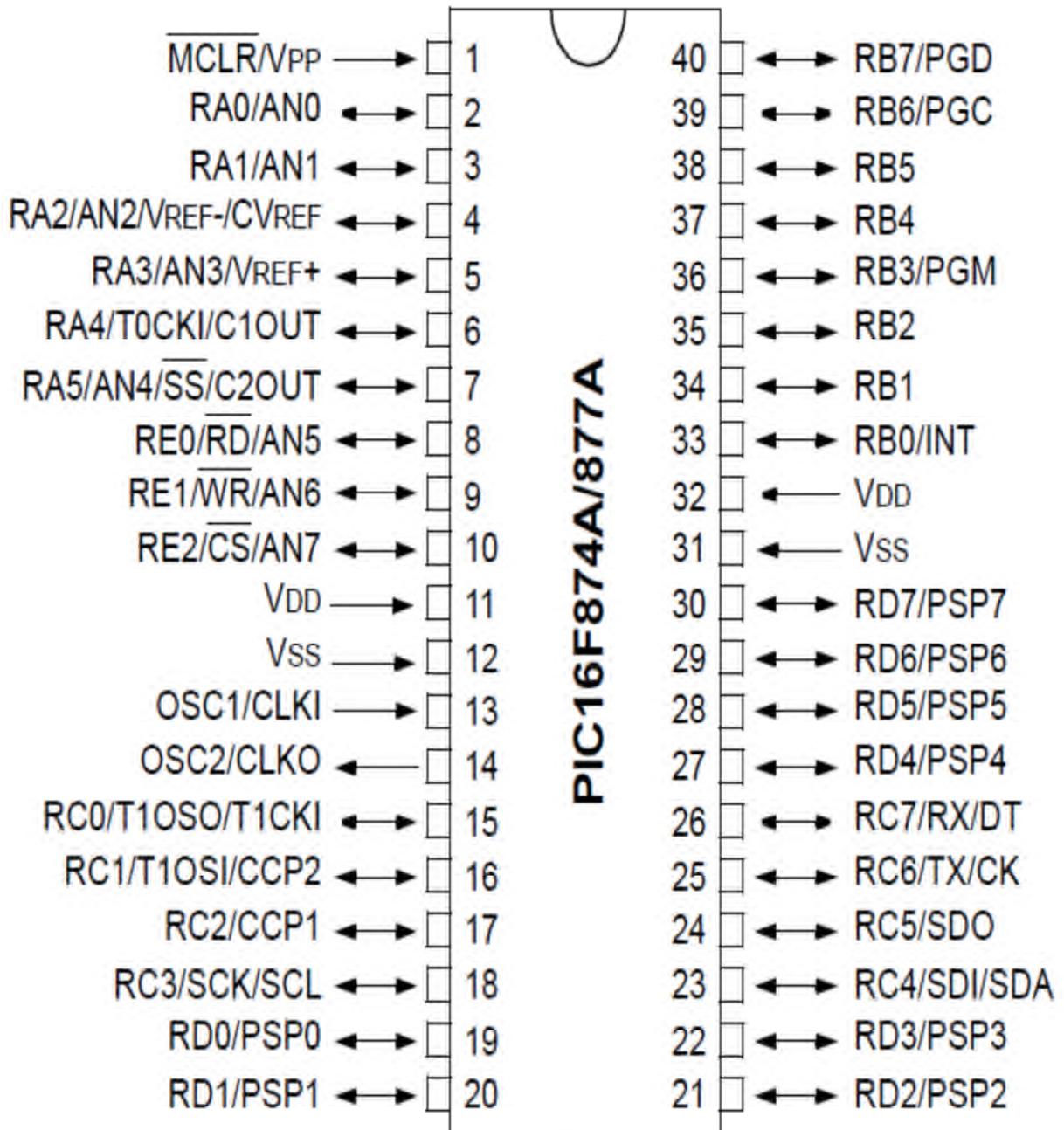


Figure II.3 : La structure externe du PIC 16f877 [12].



# Annexe1

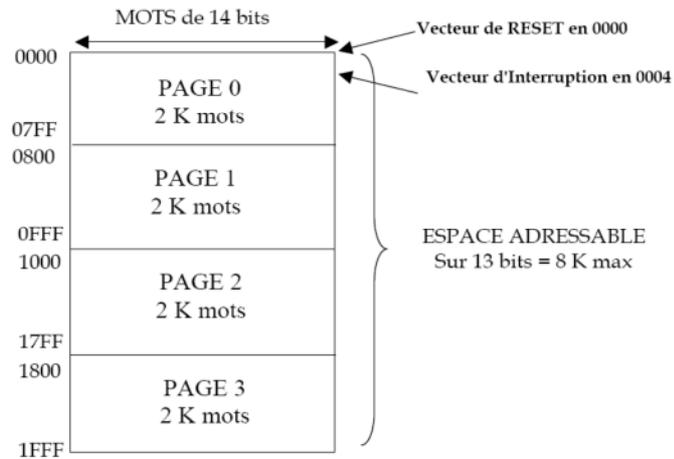


Figure II.5: organisation de l'espace programme [14]

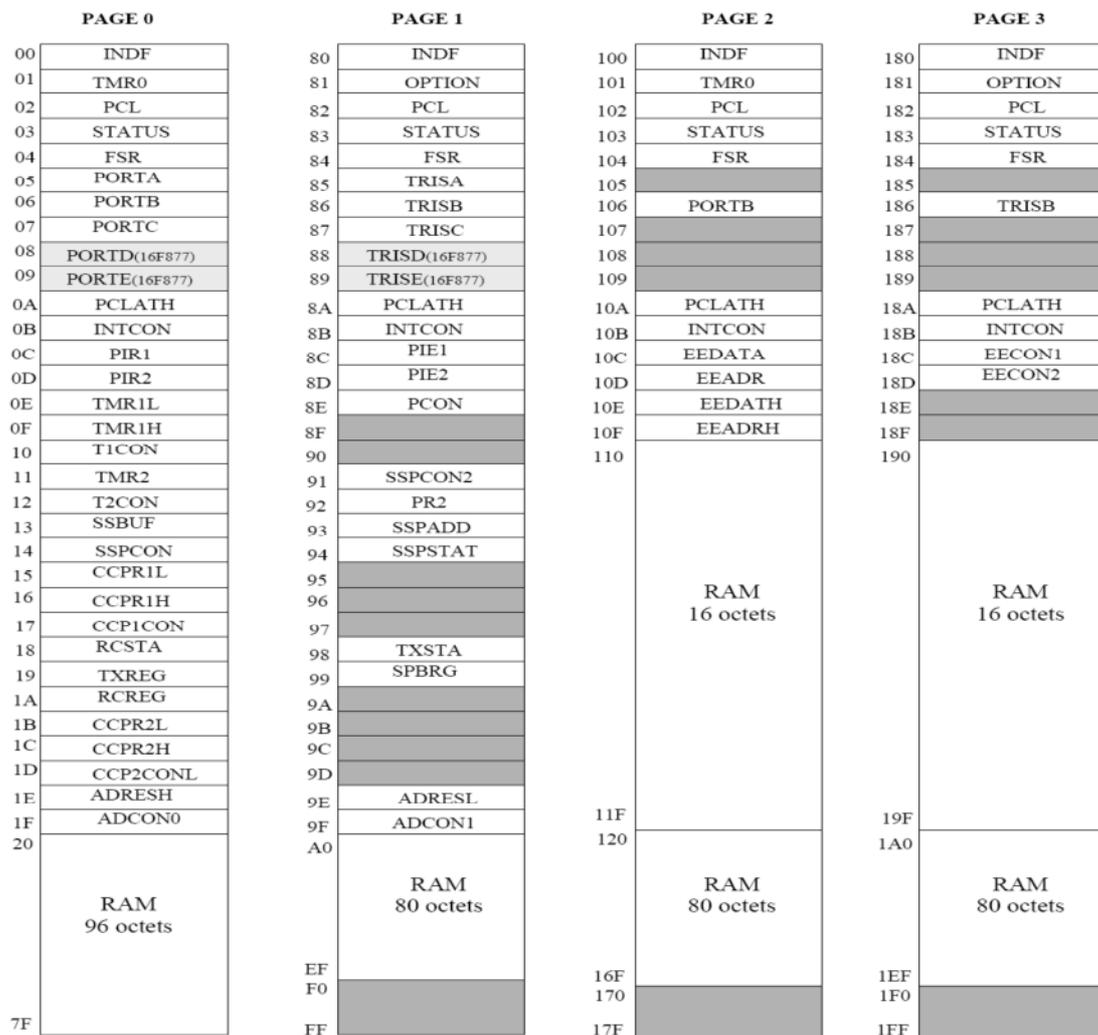
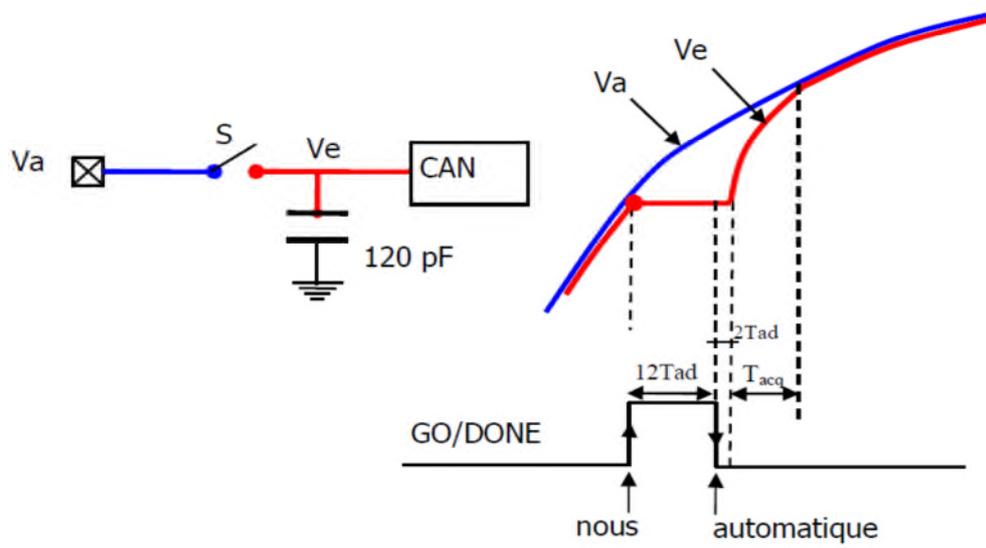


Figure II.6: mémoire de données [14]

## Annexe1

---



**Figure II.11:** Schéma explicatif du déroulement d'une conversion [12]

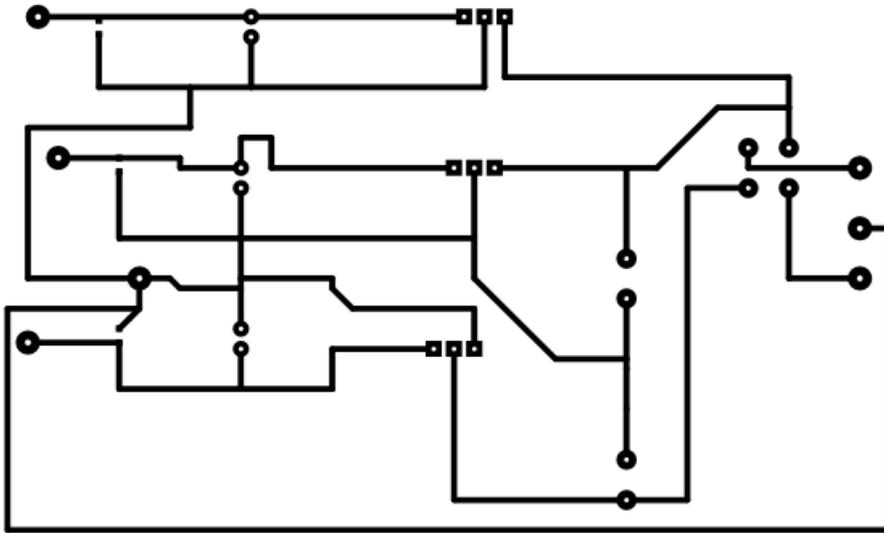


Figure III.8 : Circuit imprimé de la carte d'alimentation

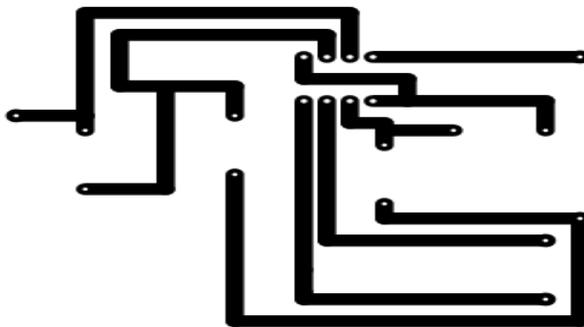


Figure III.9 : Circuit imprimé de la carte d'amplification

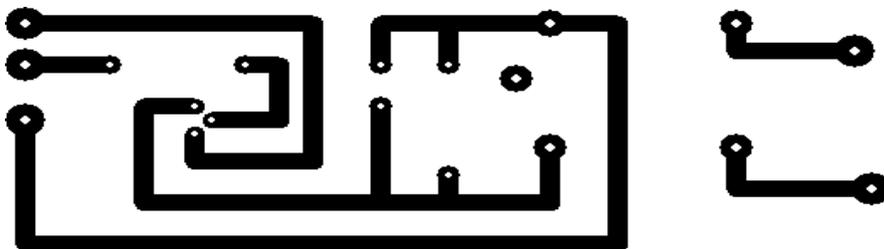


Figure III.10 : Circuit imprimé de puissance

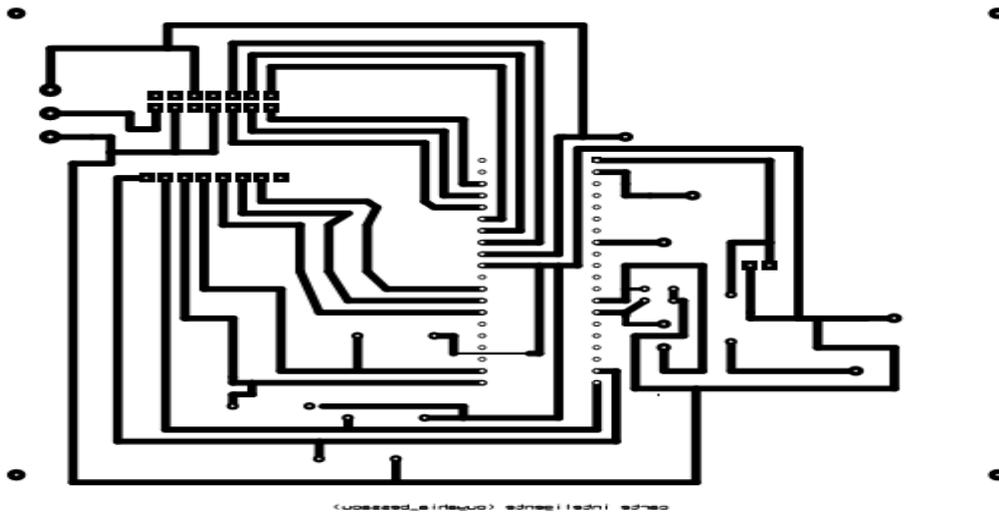


Figure III.11 : Circuit imprimé de la carte intelligente

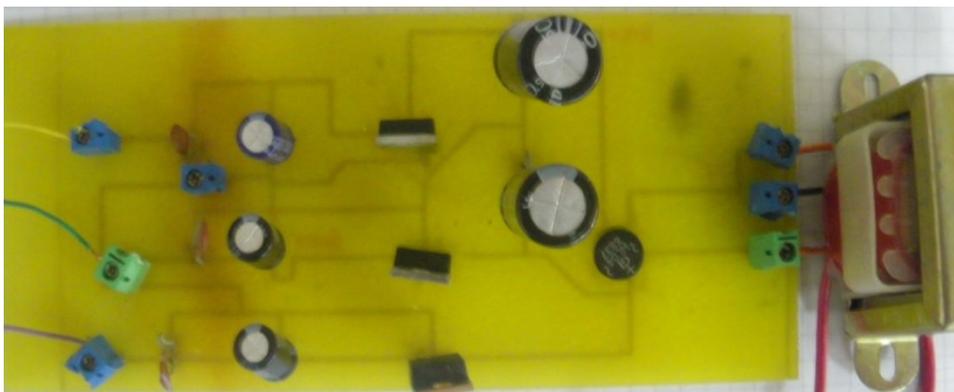


Figure III.12 : Image réelle de la carte d'alimentation

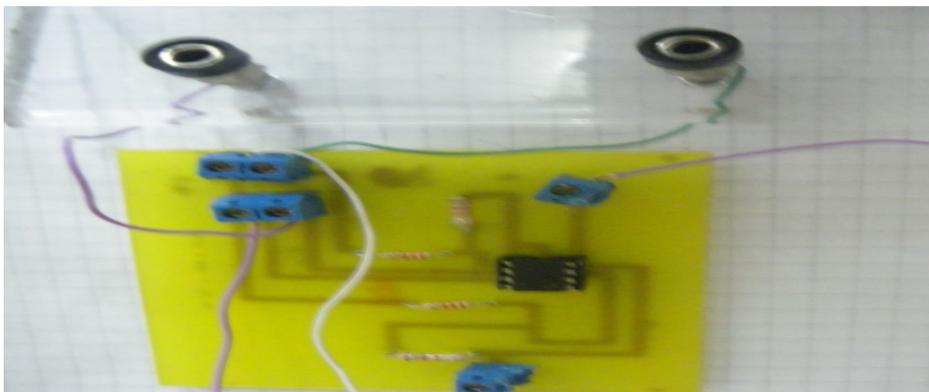
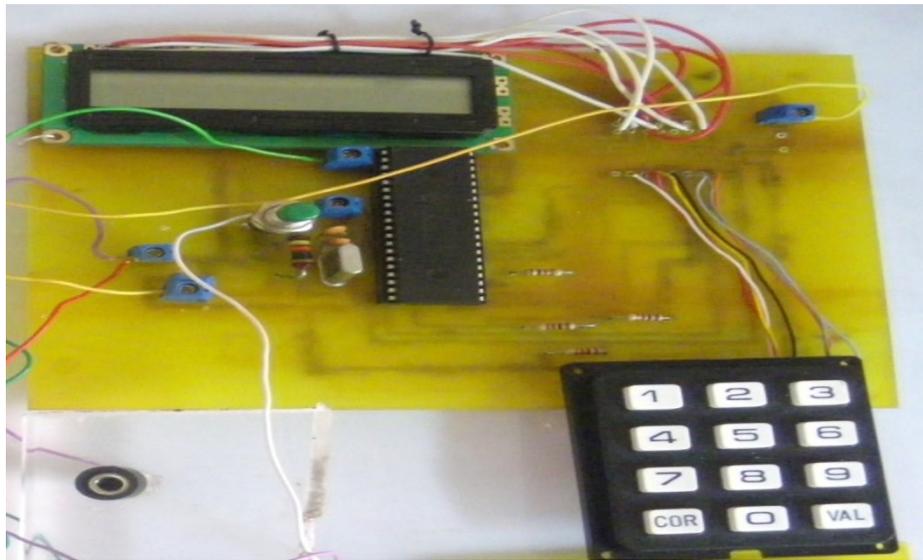


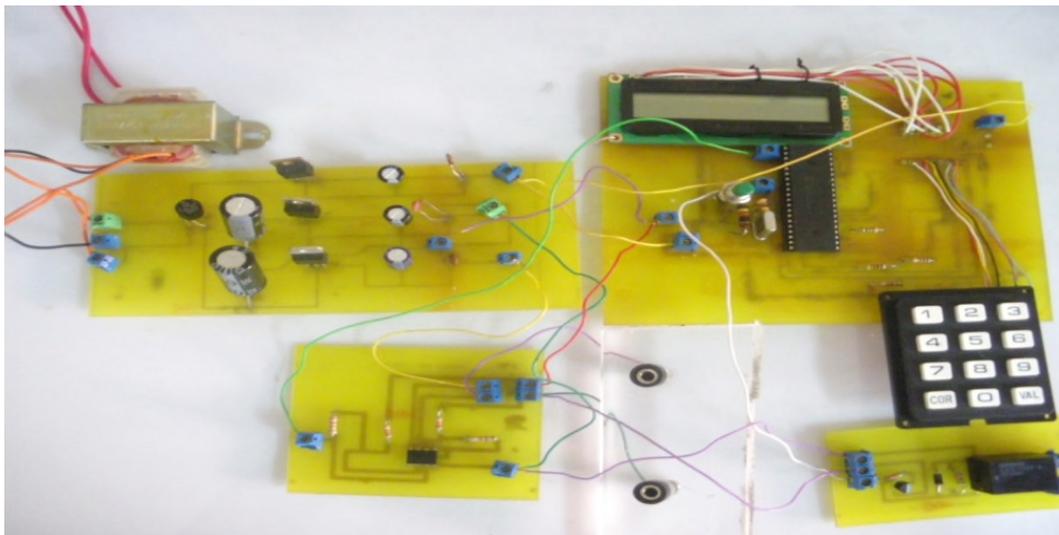
Figure III.13 : Image réelle de la carte d'amplification



**Figure III.14 :** Image réelle du circuit de puissance



**Figure III.15 :** Image réelle de la carte intelligente



**Figure III.16 :** Image réelle de la carte de commande globale

## Annexe2

---

## Annexe2

---