

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE KASDI MERBAH Ouargla
Faculté des Nouvelles Technologies de L'Information et de la Communication
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE ET DES TELECOMMUNICATIONS



Mémoire
En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique
Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Electronique
Spécialité : Automatique

Présenté par : REMITA Tarek & SAOUD Hocine

Thème

Conception d'un système d'asservissement standard
(température/pression) à base d'un PIC16F877A

Soutenu publiquement
Le : 07/06/2015

Devant le jury composé de :

M. Mehaouchi Azeddine	MAA	Président	UKM Ouargla
M. Elaggoune Hocine	MAA	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
M. Hammouchi Fatah	MAA	Examineur	UKM Ouargla
M. Bouzidi Mansour	MAA	Examineur	UKM Ouargla

Année Universitaire : 2014/2015

Dédicaces

Je dédie ce travail :

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

Merci à Dieu
SAOUD Hocine

Je dédie ce travail :

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

REMITA Tarek

Remerciements

Nous remercions Dieu le clément de nous avoir éclairé dans le chemin du savoir.

Nous tenons à remercier tout particulièrement notre encadreur :

M.EL AGGOUNE Hocine

Et le Co-encadreur :

M.CHAA Mourad

Pour leur suivi et leurs orientations éclairées et leurs conseils si précieux, nous tenons à leur exprimer notre reconnaissance pour leurs nombreuses mises au point.

Nous souhaitons remercier vivement :

M. MEHAOUCHI Azeddine

Pour nous avoir fait l'honneur d'accepter et de présider le jury de soutenance de notre projet de fin d'étude ; qu'il trouve ici l'expression de notre respect et de notre reconnaissance.

Nous souhaitons également exprimer notre sincère gratitude à :

M.HAMMOUCHI Fateh et M.BOUZIDI Mansour

Pour nous avoir fait l'honneur d'examiner et de valoriser ce mémoire au titre de membre du jury.

Nous tenons aussi à remercier ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin en particulier les enseignants du département Electronique et Télécommunications pour la réalisation de ce travail.

Table des matières

Dédicace	i
Remerciements	ii
Table des matières	iii
Liste des figures	v
Introduction générale	1
1. Processus (Four à cloche)	
1.1. Introduction.....	3
1.2. LAF : Laminoir à Froid.....	4
1.2.1. Décapage.....	4
1.2.2. Tandem.....	4
1.2.3. Fours de recuits.....	5
1.2.4. Skin pass.....	5
1.3. Fours de recuits.....	6
1.4. Processus de recuit.....	7
1.5. Schéma électrique de la boucle de régulation.....	10
1.6. Conclusion.....	11
2. Eléments de conception de base	
2.1. INTRODUCTION	12
2.2. Microcontrôleur (PIC16F877A)	12
2.2.1. Structure matérielle interne et simplifiée du PIC16F877A	13
2.2.2. L'unité de traitement (CPU : Central Processing Unit)	14
2.2.3. Les mémoires.....	14
2.2.4. L'horloge.....	14
2.2.5. Les ports d'entrée / sortie.....	14
2.2.6. Caractéristique de base du PIC 16F877A.....	14
2.3. Moteur pas à pas « 55SI-25 DAWC ».....	15
2.3.1. Caractéristiques générales du 55SI-25 DAWC.....	15
2.3.2. Câblage et code couleur	15
2.3.3. Mode de commande.....	16
2.4. Afficheur LCD (Light Control Display).....	17
2.4.1. Fonctionnement d'un afficheur LCD.....	17
2.5. Capteur de température LM35.....	18
2.5.1. AVANTAGE DU CAPTEUR LM 35	18
2.5.2. DIFFERENTES VERSIONS DU LM 35.....	19
2.5.3. LES CARACTERISTIQUES DE LM 35.....	19
2.5.4. LE CIRCUIT INTEGRE DU LM35.....	19
2.6. Conclusion	19

3. Conception d'un système d'asservissement standard (Température/Pression) à base d'un PIC 16F877A

3.1.	Introduction.....	20
3.2.	Schéma synoptique	20
3.3.	Parie hard	22
3.3.1.	Circuit électronique de base	22
3.3.2.	Composants utilisés dans la carte électronique	23
3.3.3.	Principe de fonctionnement de chaque partie de la carte.....	23
3.3.4.	Circuit imprimé	26
3.4.	Partie soft	27
3.4.1.	Organigramme	27
	A. Organigramme de la sécurisation du système	27
	B. Organigramme du programme principal	28
3.4.2.	Ecriture du programme	29
3.4.3.	Transfert du programme	29
3.5.	Test final.....	30
3.6.	Conclusion	30
	Conclusion générale	31
	Bibliographie	33
	Annexe	

Liste des figures

Figure 1.1.	Présentation de la chaîne de production dans ArcelorMittal-Annaba.....	3
Figure 1.2.	Décapage.....	4
Figure 1.3.	Tandem.....	5
Figure 1.4.	Tandem de deux cages (Laminage à froid).....	5
Figure 1.5.	Skin pass.....	5
Figure 1.6.	Configuration d'une base de Recuit chargée.....	6
Figure 1.7.	Bassin Four de recuit.....	8
Figure 1.8.	Système de Réglage Gaz/Air.....	8
Figure 1.9.	Système de sécurité.....	9
Figure 1.10.	Base chargée.....	9
Figure 1.11.	Schéma électrique de la boucle de régulation.....	10
Figure 2.1.	Brochage du PIC16F877A.....	12
Figure 2.2.	Architecture simplifiée du PIC16F877A.....	13
Figure 2.3.	Moteur 55SI-25DAWC.....	15
Figure 2.4.	Schéma du moteur 55SI-25DAWC.....	16
Figure 2.5.	Commande d'un moteur PAP.....	17
Figure 2.6.	Afficheur LCD.....	17
Figure 2.7.	Schéma fonctionnel d'un LCD.....	17
Figure 2.8.	Les différentes versions du lm 35.....	19
Figure 2.9.	Brochage du lm 35.....	19
Figure 3.1.	Schéma synoptique.....	21
Figure 3.2.	Circuit électronique de base.....	22
Figure 3.3.	Circuit imprimé coté composant.....	26
Figure 3.4.	Universal IC Writer II.....	29
Figure A-1	Simulation.....	c
Figure A-2	LM35 vu du bas.....	d
Figure A-3	PIC 16F877A.....	e
Figure A-4	Structure interne du PIC 16F877A.....	e
Figure A-5	Connexion des pattes de l'ULN2003A.....	f
Figure A-6	Schéma décrivant l'entrée/sortie d'une patte de l'ULN2003A.....	f
Figure A-7	Perçage de la carte électronique.....	g
Figure A-8	Vu du haut du boîtier.....	g

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La régulation industrielle ou l'asservissement des systèmes industriels dont la vocation première signifie l'action de régler automatiquement une grandeur de telle sorte que celle-ci garde constamment sa valeur ou reste proche de la valeur désirée, quelles que soient les perturbations qui peuvent subvenir.

L'objectif global de la régulation peut se résumer par ces trois mots clefs : mesurer ; comparer ; corriger. Cependant, chaque procédé possède ses exigences propres, chaque appareil possède ses propres conditions de fonctionnement. Il est donc indispensable que la régulation soit conçue pour satisfaire aux besoins particuliers liés à la sécurité, aux impératifs de production et aux matériels.

Une boucle de régulation doit comporter au minimum les éléments suivants : Un capteur de mesure ; Un transmetteur souvent intégré au capteur ; Un régulateur ; Un actionneur. Elle est souvent complétée par : Un enregistreur ; Des convertisseurs ; Des sécurités.

Dans le monde de la sidérurgie, une étape de recuit des feuilles de bobines métalliques est indispensable, après une opération de laminage à froid, afin que ces feuilles de bobines reprennent leurs caractéristiques mécaniques perdues pendant l'opération de laminage.

Dans ce cadre et pour ce familiarisé avec le domaine industriel en général et le domaine sidérurgique, l'objectif de notre travail consiste à la construction d'un système d'asservissement standard (température/ pression) à base d'un Microcontrôleur (le PIC16F877A, l'outil de commande) qui sera utiliser au control de la température du Four à cloche, en passant par la surveillance de la pression de Gaz et de l'Air qui constituent le combustible du four.

Dans ce mémoire on a défini des objectifs à atteindre et un cahier de charge a traité dont son traitement est la réponse à La question suivante : Comment on peut en

arriver à réaliser un système d'asservissement standard de la température d'un four à cloche et en même temps en exerçant la surveillance de la pression de Gaz et de l'Air ? Autrement dit comment construire une boucle de régulation complète qui sera composée des organes principaux.

L'organe de mesure de la température sera assuré par un simple capteur de température le LM35, et l'affichage des différents paramètres sera assuré par un afficheur LCD, l'organe d'action utilisé est un moteur pas à pas.

Et pour bien amener notre travail on a organisé le mémoire de la façon suivante :

ORGANISATION

Ce mémoire est décomposé en trois chapitres, et il est organisé de la façon suivante :

- ***Chapitre 1*** : Ce chapitre est dédié à la présentation du processus en question et démonstration du fonctionnement du four à cloche.
- ***Chapitre 2*** : Ce chapitre est consacré à la description des éléments de bases de la conception du système d'asservissement.
- ***Chapitre 3*** : Ce chapitre traite la conception et la réalisation pratique du système d'asservissement « Conception d'un système d'asservissement standard (température/pression) »
- ***Conclusion*** : Finalement, en clôture ce travail par une conclusion générale.

Chapitre I
Processus (Four à cloche)

1. PROCESSUS (FOUR A CLOCHE)

1.1. INTRODUCTION

Le complexe sidérurgique d'El Hadjar ArcelorMittal Annaba est situé à 12 Km du port d'Annaba (ALGERIE).

La proximité de la mer rend l'atmosphère du complexe humide, chaude et saline, de plus, pendant la période sèche elle se charge de poussières fines, abrasives, de nature diverse et conductrices.

Le climat de référence du site d'El-Hadjar est défini par les conditions suivantes :

- Température sèche ambiante moyenne : 35 °C
- Humidité relative : 75 %
- Pression atmosphérique : 750 mm Hg
- Des températures de l'ordre de 45°C, peuvent être atteintes durant l'été.

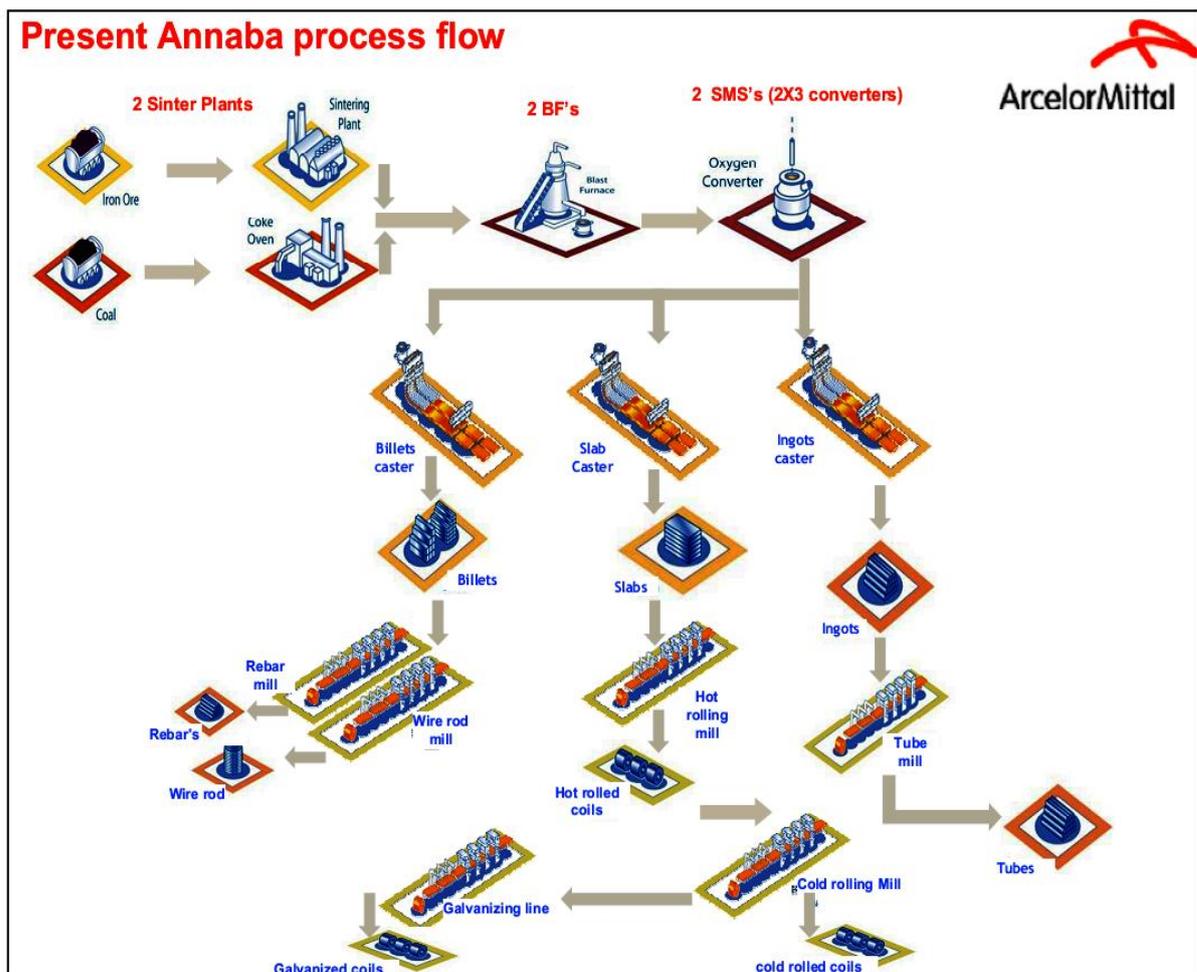


Figure1.1. présentation de la chaîne de production dans ArcelorMittal-Annaba

Le complexe est composé des unités de productions suivantes (**Figure1.1**):

1. La PMA : Préparation Matières Premières et Agglomération.
2. HF un et deux : Hauts Fourneaux (HFx).
3. AC1 et AC2 : Aciérie à oxygène n°1 (Bramès) et Aciérie à oxygène n°2 (Billetes)
4. ACE : Aciérie électrique.
5. LAC : Laminoir à chaud.
6. LAF : Laminoir à Froid.
7. RPA : Revêtements et Parachèvements (Galvanisation à Chaud).
8. LFR : Laminoir à fils et ronds.
9. LRB : Laminoir à Ronds à Béton.

1.2.LAF : Laminoir à Froid

Le laminage à froid permet de réduire l'épaisseur des produits et de les rendre plus lisses. La température de l'acier est alors de 94 °C environ ou identique à la température ambiante. Des capteurs installés entre les différentes cages de finition permettent à l'opérateur de détecter les variations de température et de procéder, le cas échéant, à des ajustements. Le laminoir à froid est composé de quatre lignes de productions principales qui sont les suivantes :

1.2.1. Décapage : cette ligne continue, mise en service en 1974, reçoit les bobines du LAC pour décalaminage mécanique et chimique, planéité et cisailage des rives. Sa capacité annuelle est de 750 000 t. La largeur des bobines varie entre 600 et 1350 mm et l'épaisseur entre 1,5 et 4,5 mm.



Figure1.2. Décapage

1.2.2. Tandem: les bobines décapées sont laminées jusqu'à épaisseur finale désirée. Il traite les bandes pour l'obtention de tôles fines et tôles galvanisées. L'épaisseur de sortie varie entre 0,16 et 2 mm suivant le système d'arrosage. Sa capacité annuelle est de 900 000 t.



Figure1.3. Tandem

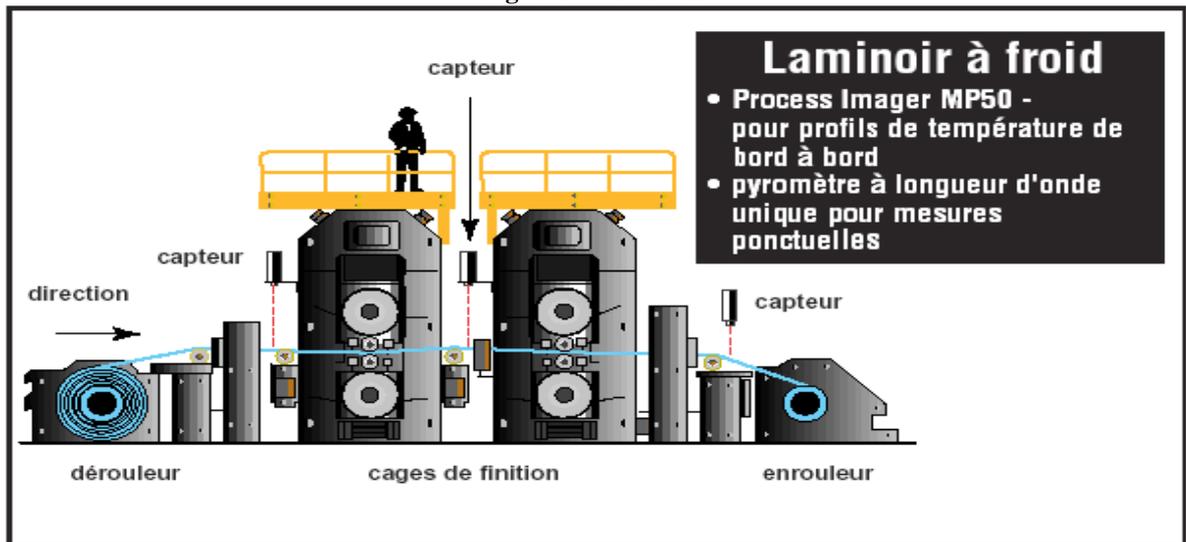


Figure1.4. Tandem de deux cages (Laminage à froid)

1.2.3. Fours de recuits (site en question) : voir ci-dessous.

1.2.4. Skin pass :

A partir des bobines venant des bassins de recuit, le skin pass a pour rôle d'effectuer un écrouissage superficiel sur la bande et lui donner une planéité et une rugosité selon l'exigence du client. Sa capacité annuelle est de 530 000 t. La LAF emploie 260 personnes.



Figure1.5. Skin pass

1.3. Fours de recuits

Le recuit sous cloche de protection consiste en un recuit, sans oxydation, de tôles laminées à froid sous forme de bobines pour permettre à la tôle écrouie de reprendre ses qualités initiale (caractéristique mécanique) en vue d'un emboutissage ultérieur.

La configuration d'une base de recuit (**Figure1.6.**) se compose d'une turbine, pour l'extra cool, d'une base de recuit, de trois thermocouple, l'un pour la régulation de la température ; l'un pour la fusion qui contrôle la fusion de la base de recuit ; et un thermocouple de contact qui sert au refroidissement des bobines métallique, sur la base de recuit on trouve les quatre bobines et entre chaque deux bobines il y a un convecteur, au sommet de la quatrième bobine on trouve un convecteur chapeau, sur le tout, on met une coiffe de protection (**Figure1.10**) et en fin le four à cloche.

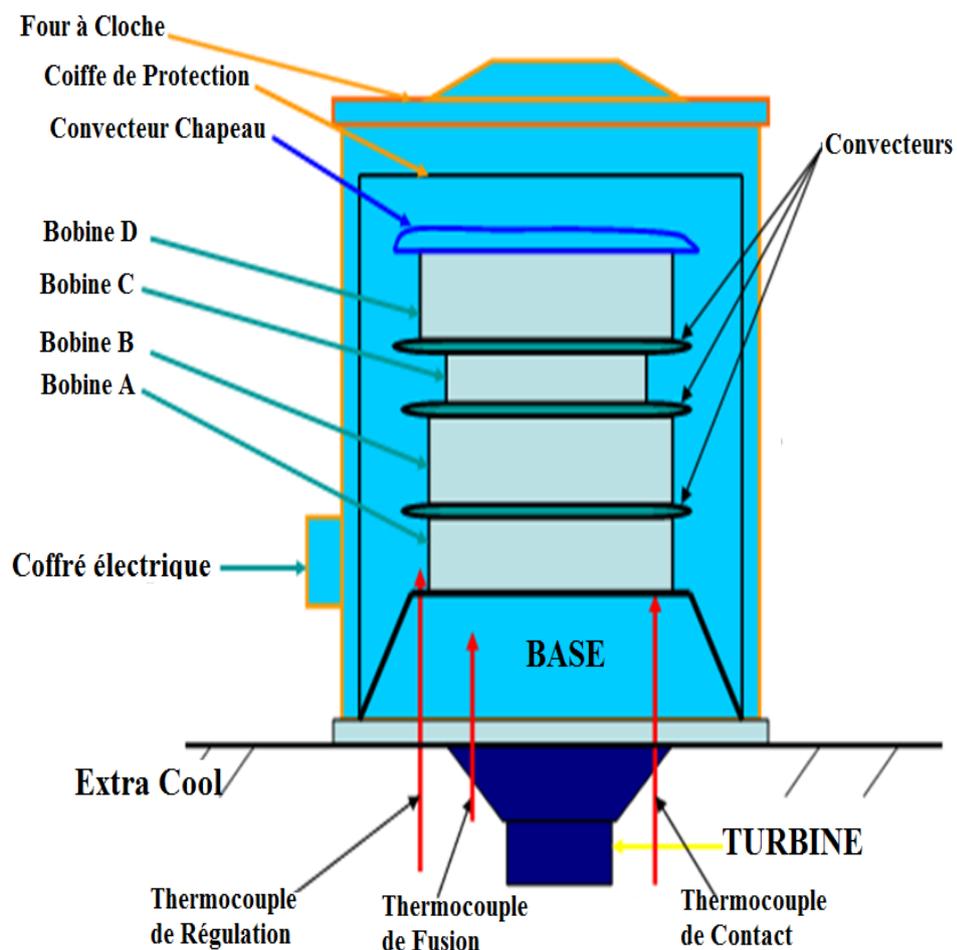


Figure1.6. Configuration d'une base de Recuit chargée

1.4. Processus de recuit

Après la préparation de la base de recuit (**Figure1.7**), on met le four à cloche en marche (en appuyant sur le bouton poussoir « marche », qui se trouve dans la coffré électrique ou au niveau de la salle de contrôle) :

1. le ventilateur démarre et génère de l'air. (**Figure1.9**)
2. On soulève le bras du clapet de sécurité (**Figure1.9**), et le servomoteur ouvre les vannes papillons de l'air et de gaz (**Figure1.8**), en recevant l'ordre de l'ouverture du régulateur (HONEYWELL VERSAPAK 7485).
3. Le système allume les bruleurs qui se situant au tour du four.
4. Par mesure de sécurité trois pressostats (**Figure1.9**), présent sur la canalisation de l'air (un pressostat) et du Gaz (deux pressostats), leurs rôles est de contrôler :
 - Le seuil du débit bas de l'Air.
 - Le seuil du débit bas de Gaz.
 - Le seuil du débit haut de Gaz.

Si ces conditions ne sont pas atteint, le clapé de sécurité se déclenche après une temporisation de 10 Secondes presque, en mettant le four à cloche à l'état d'arrêt.

5. Un thermocouple de régulation (**Figure1.6**), est relié au régulateur (HONEYWELL VERSAPAK 7485). Dès que la température de recuit atteint le seuil demandé (740°C) le servomoteur ferme les vannes papillons Gaz et Air.

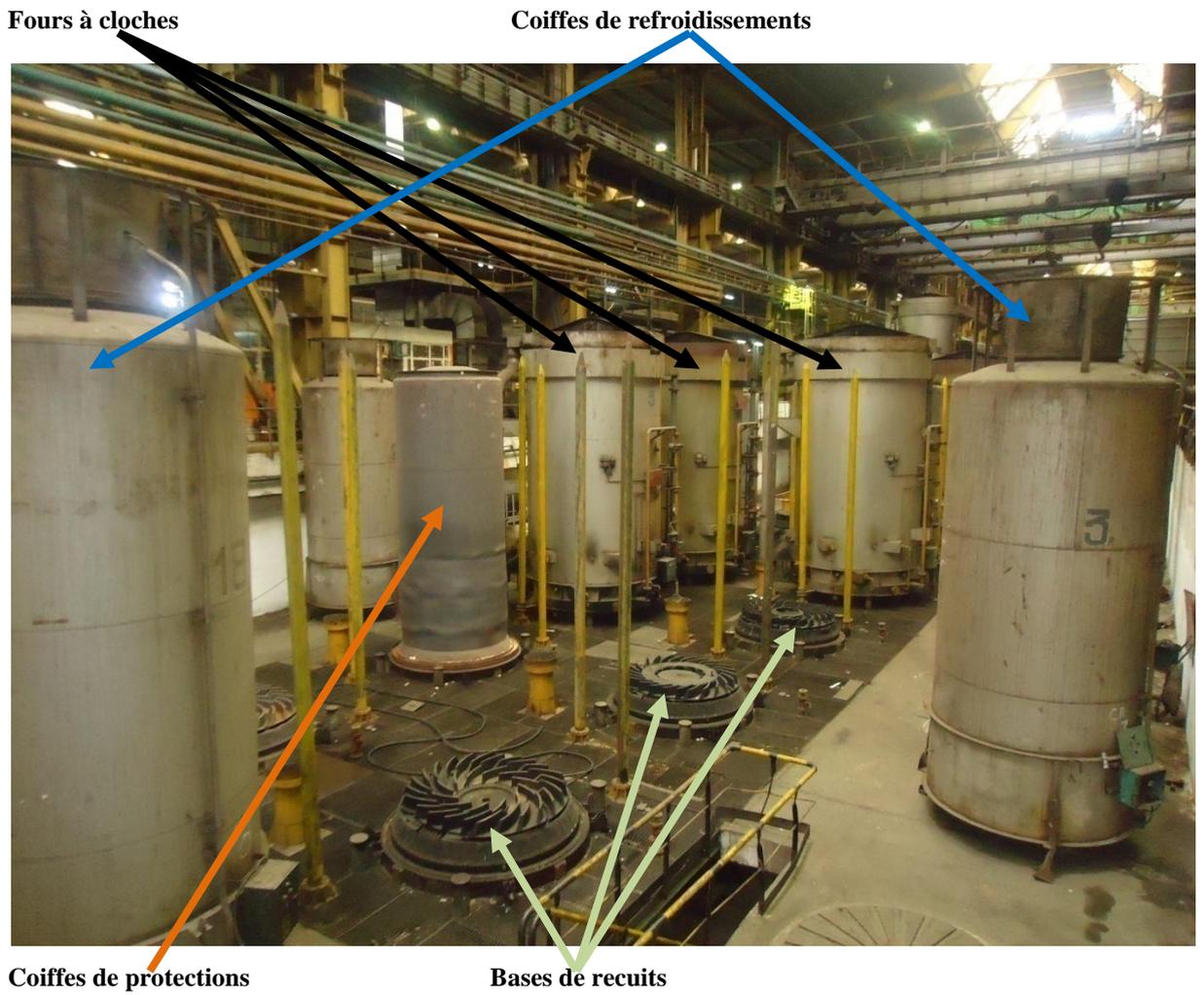


Figure1.7. Bassin Four de recuit

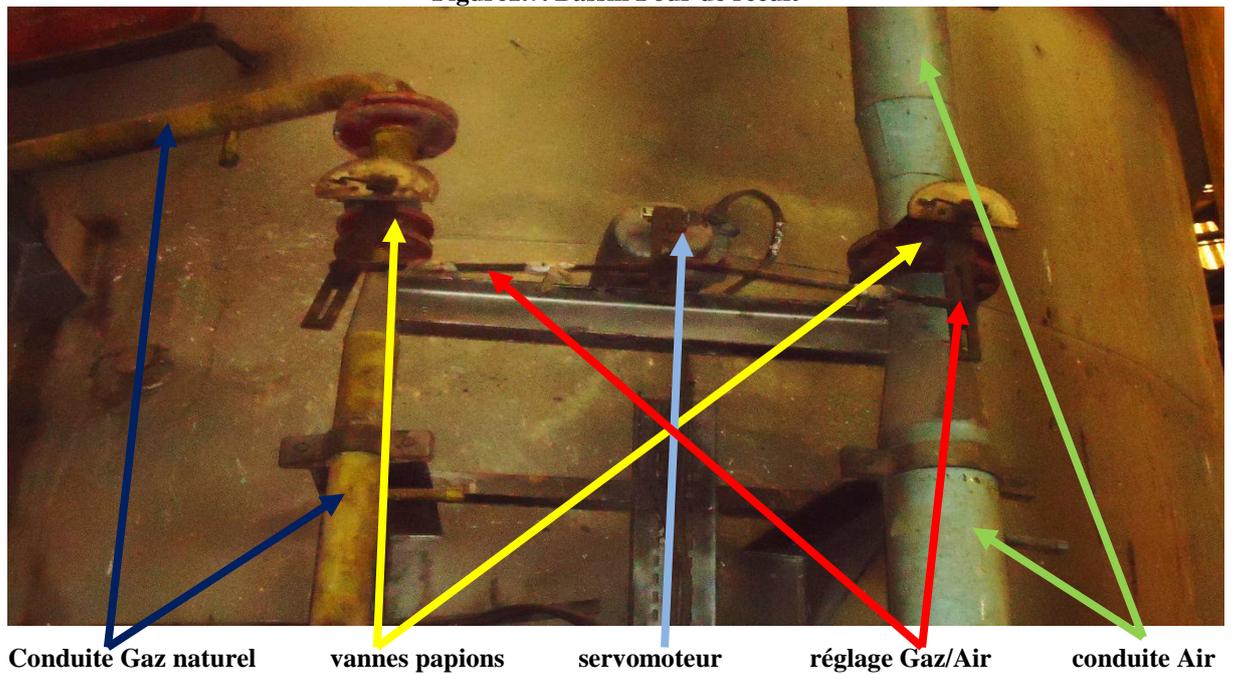


Figure1.8. Système de Réglage Gaz/Air

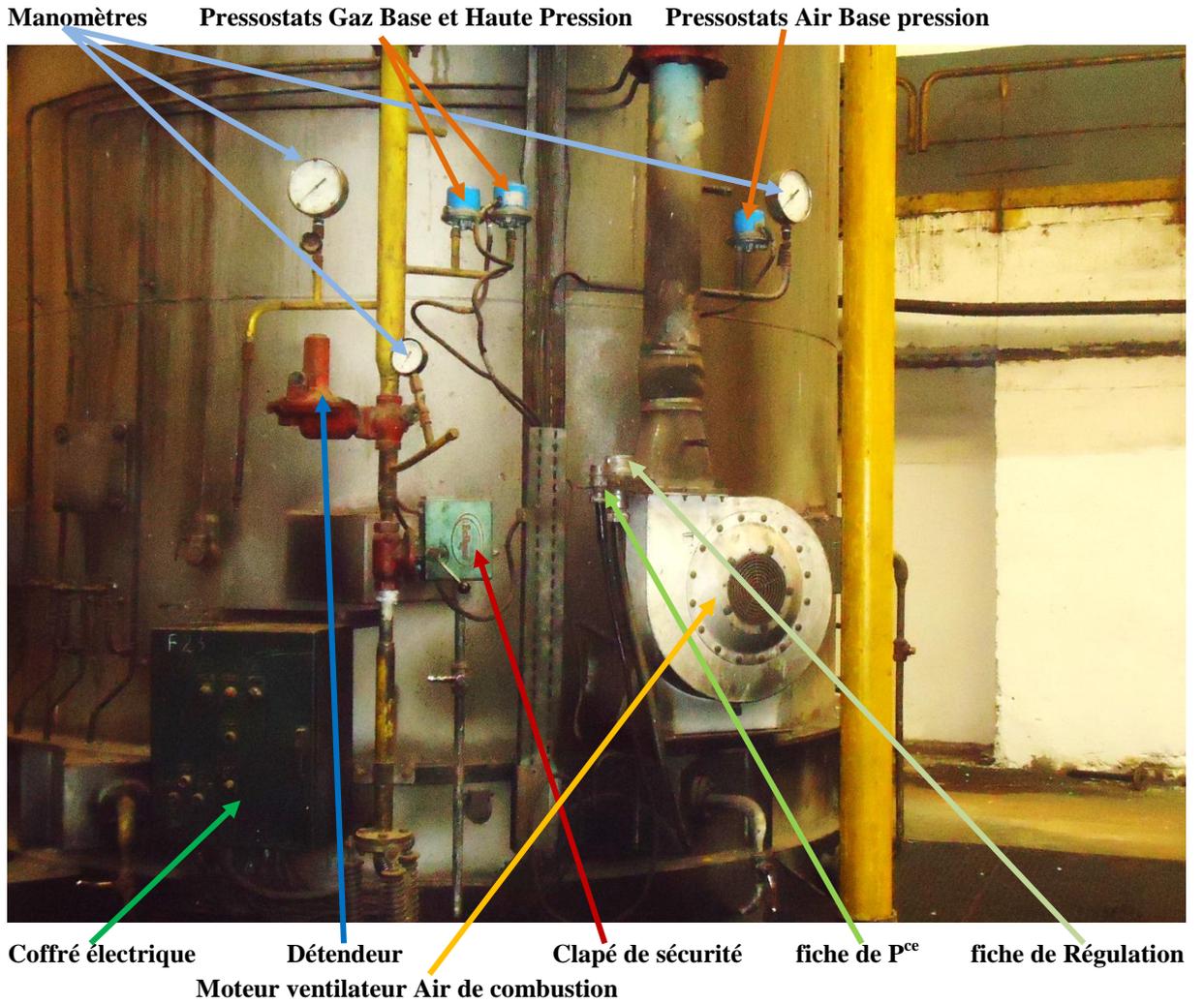


Figure1.9. Système de sécurité

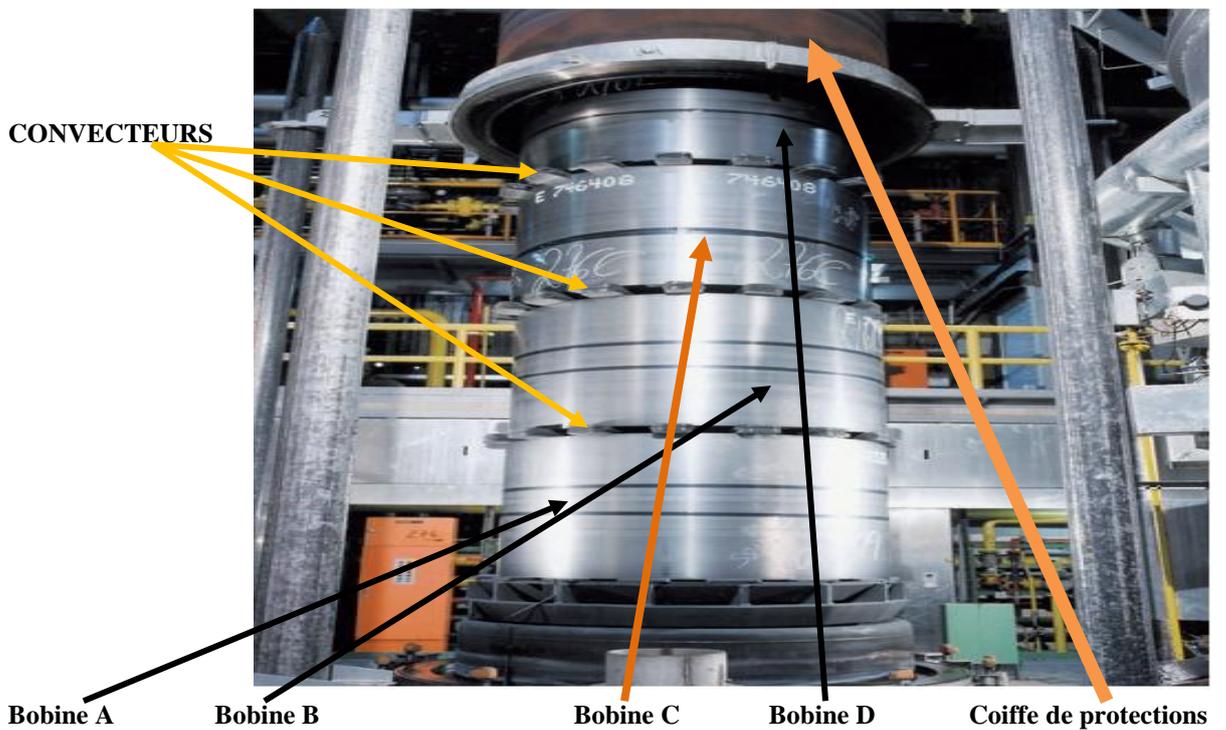


Figure1.10. Base chargée

Sur le schéma électrique de la boucle de la régulation (**Figure1.11**), l'état initial des trois pressostats, qui contrôle les seuils de la pression basse de l'air et du gaz et le seuil de la pression haute du gaz naturel, ne sont pas identique. On remarque alors que les deux pressostats de la pression basse air et gaz sont à état initial ouvert, et celui de la pression haute du gaz naturel est à état initial fermé, ces condition seront prit en considération l'or de la conception du système d'asservissement.

1.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons décrit l'une des étapes les plus importantes, dans le domaine de la sidérurgie, qui est le recuit des bobines métallique. Aussi la configuration d'une base de recuit chargé, et enfin le four à cloche d'où on s'est inspiré du système d'asservissement de la température et de la surveillance de la pression de l'air et du gaz naturel de ce dernier pour la conception de notre système, tout en retenant les différentes modification des principales éléments de conception du système que nous abordons dans le chapitre suivant.

Chapitre II
Éléments de conception de base

2. ELEMENTS DE CONCEPTION DE BASE

2.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous allons voir et décrire les éléments de conception de base de notre système d'asservissement.

2.2. Microcontrôleur (le PIC16F877A)

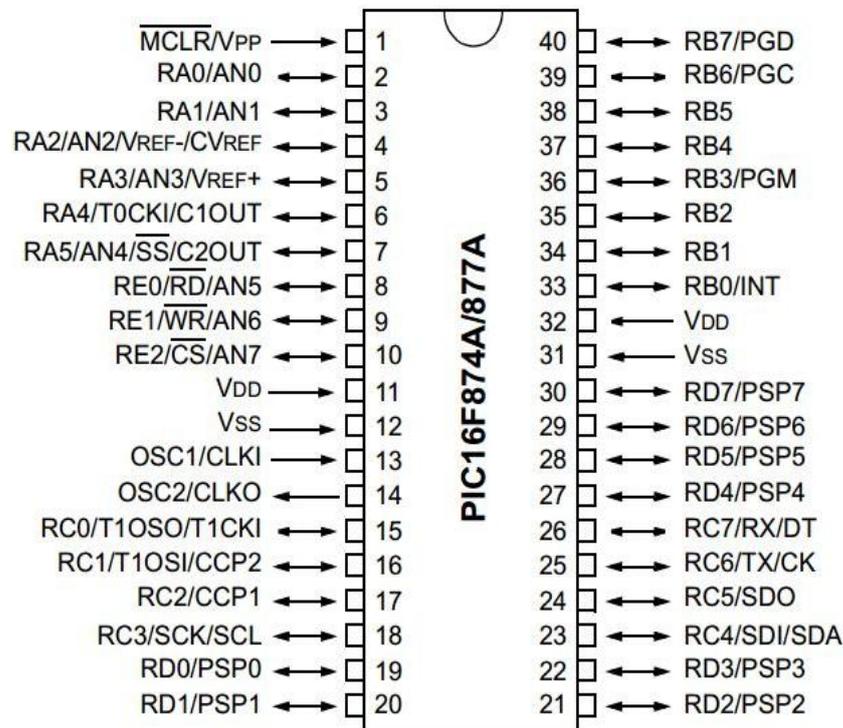


Figure2.1. Brochage du PIC16F877A

Les PIC (Programmable Interface Controller) forment une famille de microcontrôleurs développés par la société Microchip. Il existe plusieurs centaines de modèles regroupés dans différentes séries (PIC12, PIC16, PIC18, etc.).[1]

Il existe trois grandes familles de PIC :

- La famille Base-Line, qui utilise des mots d'instructions de 12 bits.
- La famille Mid-Range, qui utilise des mots de 14 bits.
- La famille High-End, qui utilise des mots de 16 bits.

Leurs identifications utilisent simplement leurs numéros :

La référence d'un microcontrôleur PIC est de la forme NN LLL XXX.

NN : indique la catégorie du PIC, c'est un :

- Mid-range
- Base-Line
- High-End

LLL : est un ensemble d'une, deux ou trois lettres qui indique le type de mémoire de programme contenue dans le circuit et si la plage de tension d'alimentation est normale ou étendue .

- « C » : indique que la mémoire programme est un EPROM ou une EEPROM.
- « CR » : indique le type de mémoire CR(ROM).
- « F » : la mémoire programme est de type FLASH (ce qui est notre cas).
- XXX : est un ensemble de deux ou trois chiffres constituant la référence du circuit.

[2][3][4]

Exemple :

Microcontrôleur PIC16F876-20

16 : indique la famille mid-range (milieu de gamme).

F : mémoire utilisé de type FLASH.

876 : identité.

20 fréquence d'horloge.

2.2.1. Structure matérielle interne et simplifiée du PIC16F877A

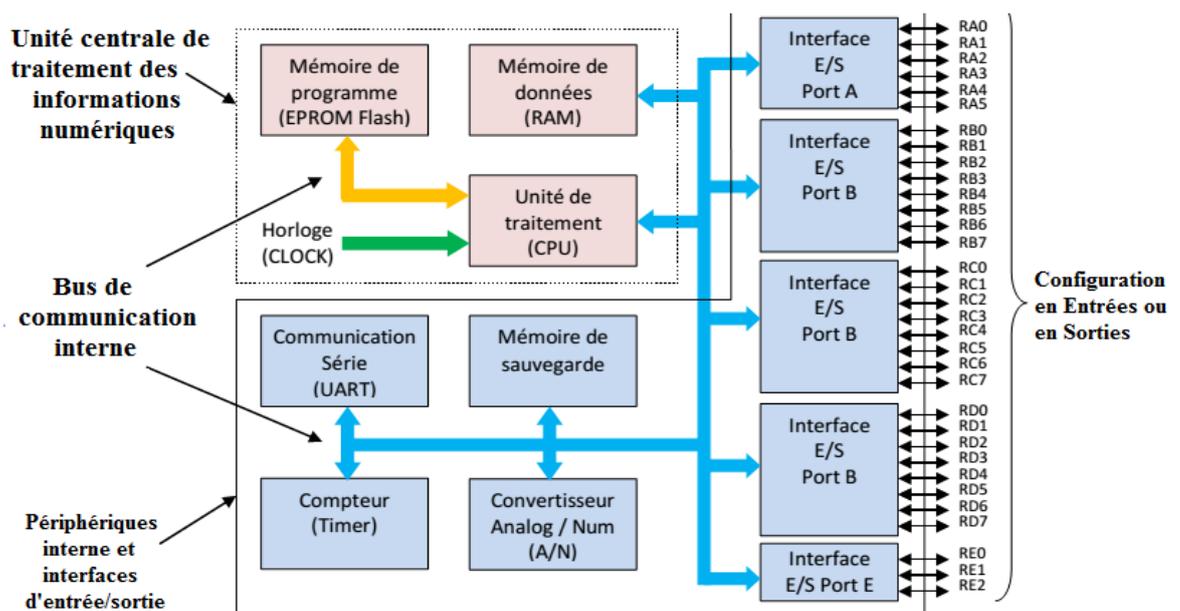


Figure2.2. Architecture simplifiée du PIC16F877A

2.2.2. L'unité de traitement (CPU : Central Processing Unit)

L'unité de traitement numérique exécute les instructions du programme (codées sur 14 bits). elle traite et produit des opérations sur des informations numériques uniquement.

2.2.3. Les mémoires

Elles se divisent en trois blocs distincts :

- la mémoire de programme de type **EPROM** Flash de capacité (8 kilo de mots de 14 bits). Cette mémoire est destinée à être lue uniquement. Elle contient les ordres (instructions) que doit effectuer le **CPU**.
- la mémoire de données de type **RAM** de capacité (368 octets) est utilisée pour le stockage temporaire des données et résultats. Le CPU peut lire cette mémoire mais aussi modifier son contenu.
- la mémoire de sauvegarde de type **EEPROM** (256 octets) qui peut être lue et écrite depuis le programme. Ces octets sont conservés après une coupure de courant et sont très utiles pour conserver des paramètres semi-permanents. [5]

2.2.4. L'horloge

Signal qui cadence l'exécution des instructions. Chacune des instructions du programme est traitée en un cycle machine : une période de l'horloge avec une division interne par 4. Exemple : avec une horloge externe de 8MHz, la fréquence cycle est de 2 MHz soit une durée d'exécution d'une instruction de 500ns. [3]

2.2.5. Les ports d'entrée / sortie

Pour communiquer avec l'extérieur le PIC dispose de 5 ports (PORT A, PORT B, PORT C, PORT D et PORT E).

Les ports sont bidirectionnels, ce qui signifie qu'ils peuvent être configurés et utilisés comme des entrées ou des sorties. [2]

2.2.6. Caractéristique de base du PIC 16F877A

Les caractéristiques à retenir du 16F877A sont :

- Une large gamme de tension de fonctionnement (4V à 5.5V)
- 33 broches (pin) pouvant être configuré comme entrée/sortie, répartie sur cinq ports (PORT A, PORT B, PORT C, PORT D, PORT E.), un registre interne, TRIS, permet de définir le sens de chaque broche.

- ADC (Analog to Digital Convert) permet la conversion analogique numérique.
- Les interruptions : les interruptions se situent au port B, elle se trouve à la broche RB0/INT mais aussi dans RB4/ RB5/ RB6/RB7.
- USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) permet une communication entre le PIC et un PC par l'intermédiaire RS-232.
- Un timer : c'est un registre interne au micro contrôleur, il s'incrémente au grès d'une horloge, ce registre peut servir par exemple pour réaliser des temporisations, ou bien encore pour faire du comptage. [2][6]

2.3. Moteur pas à pas « 55SI-25 DAWC »

Un moteur pas à pas est un moteur dont la rotation du rotor s'effectue par déplacements angulaires successifs sous l'action d'impulsions électriques appliquées sur les bobinages statoriques. Malgré les différences existant entre les moteurs pas à pas, le résultat recherché est l'avance d'un seul pas, c'est-à-dire la rotation de leur axe suivant un angle déterminé à chaque impulsion que l'une ou l'autres bobines différentes recevra[7]. Cet angle, qui varie selon la constitution interne du moteur, est en général compris entre 0.9° et 90° . [8][9]

Le moteur 55SI-25DAWC (**Figure2.3**), connu aussi sous le nom de 55SI-25DAYA, est un moteur pas à pas unipolaire très connu et très facile a utilisé pour des petits automatismes ou des réalisations à commande numérique.

2.3.1. Caractéristiques générales du 55SI-25 DAWC

- Tension nominale : 12 Volts.
- Courant nominal : 330 mA.
- Résistance de bobine : 36 Ohms.
- Inductance : 37mH.
- Degré d'angle : 7.5° .
- Nombre de pas par tour : 48.
- Diamètre moteur : 55 mm.
- Hauteur moteur hors axe et palier : 25 mm.



Figure2.3. Moteur 55SI-25DAWC

2.3.2. Câblage et code couleur

Le moteur unipolaire possède 5,6 ou 8 fils, Il a toujours un, deux ou quatre fil commun selon le nombre de fils que contient le moteur, il est parfois facile de distingué ces fils, par leur ressemblance de couleur [9]. Sur la figure ci-dessus (**Figure2.3**) le moteur *55SI-25DAWC* contient six fils, la reconnaissance de ces derniers nécessite un multimètre afin d'établir le tableau suivant :

	Blanc 1	Blanc 2	Brun	Jaune	Bleu	Rouge
Blanc 1	X	inf	36 Ω	inf	inf	36 Ω
Blanc 2	inf	X	inf	36 Ω	36 Ω	inf
Brun	36 Ω	inf	X	inf	inf	72 Ω
Jaune	inf	36 Ω	inf	X	72 Ω	inf
Bleu	inf	36 Ω	inf	72 Ω	X	inf
Rouge	36 Ω	inf	72 Ω	inf	inf	X

Tbleau2.1. Câblage du moteur *55SI-25DAWC*

Le symbole X signifie que c'est le même fil, pour le symbole **inf** il signifie que c'est une résistance infinie, c'est-à-dire, que les deux fils ne sont pas connectés. Evidemment, c'est un moteur a quatre bobines, qui ont chacun un connecteur commun blanc, le tableau ci-dessus nous montre que le rouge et le brun sont les bobines connectées avec blanc 1 et que le jaune et le bleu sont la paire avec blanc 2. A partir de ce tableau, on peut mettre un schéma, représenté par la (**Figure2.4**), qui nous aidera à piloter notre moteur.

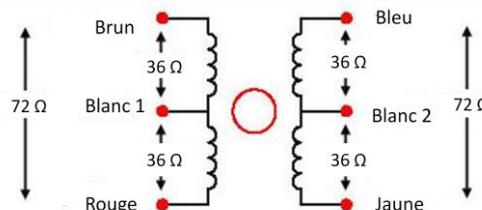


Figure2.4. Schéma du moteur *55SI-25DAWC*

2.3.3. Mode de commande

La rotation du moteur s'effectue par une séquence d'alimentation des divers enroulements de phases en unipolaire ou en bipolaire. Cependant, avec un pas unipolaire les bobines doivent être entraîné dans une certaine séquence, sinon le moteur ne tourne pas du tout, ou n'aura que peu de pouvoir. Il existe trois méthodes distinctes pour piloter les moteurs :

- Commande par pas entier, une phase ON (**Figure2.5.a**) (dite mode monophasé)
- Commande symétrique en pas entier, deux phase ON (**Figure2.5.b**) (dite mode biphasé)

- Commande asymétrique en demi pas, une ou deux phases ON (**Figure2.5.c**) [8] [9]

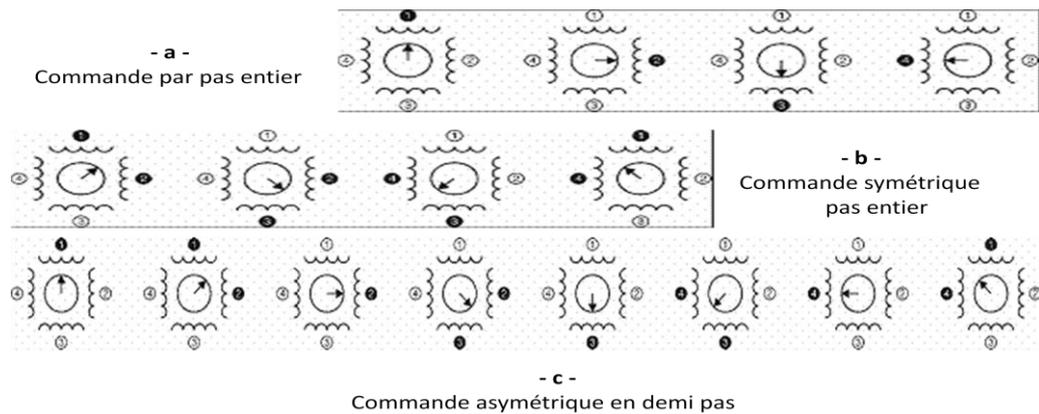


Figure2.5. Commande d'un moteur PAP

2.4. Afficheur LCD (Light Control Display)

Vue l'indispensabilité de l'affichage des paramètres de fonctionnement des processus qui nécessitent des organes de mesures, on trouve les afficheurs LCD (composants grands publics) qui répond à ces besoins. Grâce à la commande par un microcontrôleur ces afficheurs permettent de réaliser un affichage de messages aisés. Ils permettent également de créer ses propres caractères. [10]



Figure2.6. Afficheur LCD

2.4.1. Fonctionnement d'un afficheur LCD

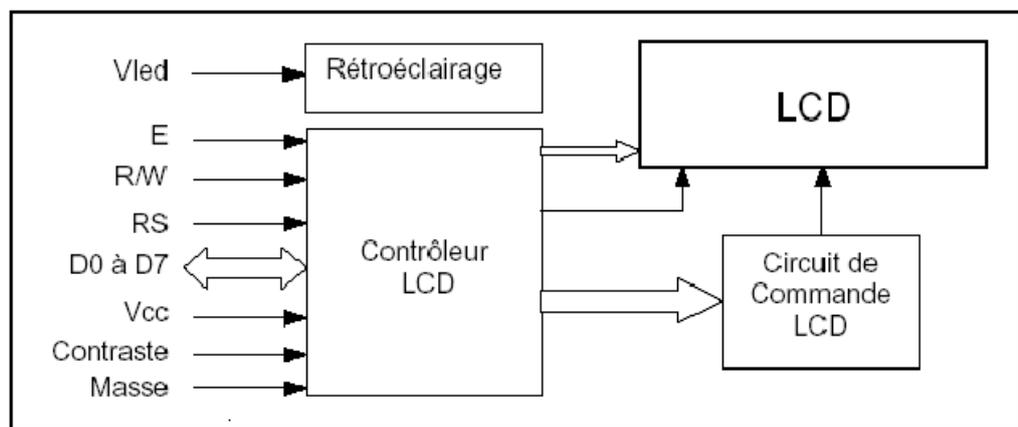


Figure2.7. Schéma fonctionnel d'un LCD

2.5.2. DIFFERENTES VERSIONS DU LM 35 :

Voici le brochage des différentes versions du LM35, disponible sous 3 boîtiers différents.

Les références CZ et DZ se présentent en boîtier TO-92: on s'orientera vers l'une ou l'autre.

[13]

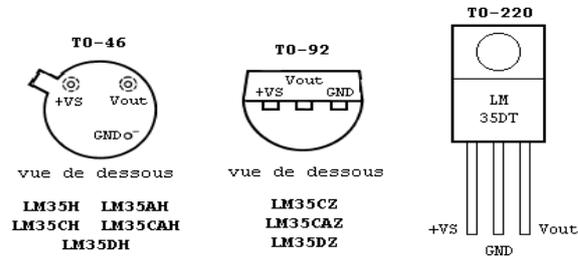


Figure2.8. Les différentes versions du lm 35

2.5.3. LES CARACTERISTIQUES DE LM 35 :

- Proportionnelle à la température (en ° C).
- Ce capteur ne nécessite pas de calibrage externe.
- Précision de capteur (lm35) = 0.5° C.
- Sur une gamme de température de -55°C à +150°C.
- Son coefficient est de 10mV/°C.
- Le capteur peut être alimenté entre 4V et 30V, il est alimenté en 0 - 5 V. [12][13]

2.5.4. LE CIRCUIT INTEGRE DU LM35 :

Brochage de la puce

1 : Alimentation du capteur (+5 V).

2 : Tension de sortie Vs.

3 : Masse.

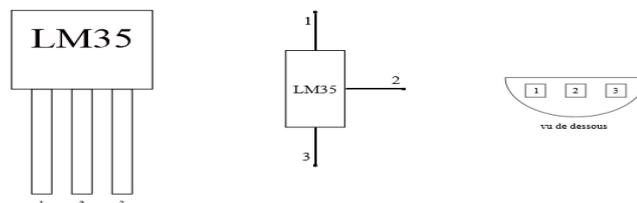


Figure2.9. Brochage du lm 35

2.6. CONCLUSION

Nous avons traité dans ce chapitre l'aspect matériel de notre projet, organe de mesure ; organe de commande ; organe d'affichage et l'organe d'action. Le prochain chapitre sera consacré aux différents circuits et aux différentes étapes que nous avons utilisé pour réaliser le système d'asservissement.

Chapitre III
Conception d'un système d'asservissement
Standard (température/pression) à base d'un
PIC16f877A

3. *CONCEPTION D'UN SYSTEME D'ASSERVISSEMENT STANDARD (TEMPERATURE/PRESSION) A BASE D'UN PIC16F877A*

3.1. Introduction

Le chapitre présent concerne les différentes étapes dédiées à la conception d'un système d'asservissement standard (température/pression) à base d'un PIC 16F877A. L'objectif est de réaliser une carte électronique basée sur une unité de calcul, le microcontrôleur, qui est chargé d'assurer les consignes des paramètres déterminés par un cahier de charge. La conception d'un système de régulation d'un processus nécessite une analyse préalable de celui-ci et une modélisation de son comportement, celui-ci pouvant éventuellement être très simple.

3.2. Schéma synoptique

L'idée est de réaliser un dispositif, autonome, lorsqu'il est implanté dans le milieu où il est destiné à piloter le processus. La carte en question, le dispositif, est composée principalement de quatre parties :

- Partie commande.
- Partie capteur.
- Partie communication.
- Partie actionneur.

La partie commande qui compte le PIC16F877A, le cerveau du système, dont le rôle est la distribution des tâches à exécuter par chaque composant, en fonction de l'évolution des paramètres à surveillés, acquis par la partie capteur qui contient les différents capteurs utilisés. La partie communication est responsable d'informer sur l'état du système. Par une comparaison entre les conditions prédéterminées et l'évolution des paramètres transmises par les capteurs, le microcontrôleur doit ordonner, si c'est nécessaire, à la partie actionneur de changer son état afin d'obtenir un retour convenable aux conditions recherchées.

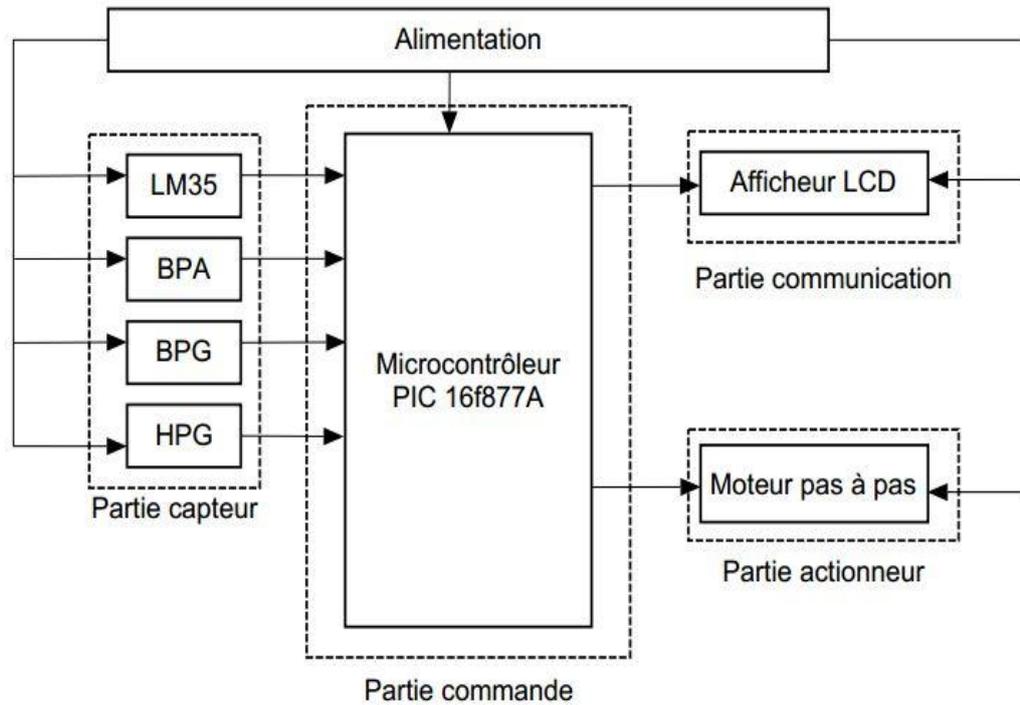


Figure3.1. Schéma synoptique

3.3. Partie hard

3.3.1. Circuit électronique de base

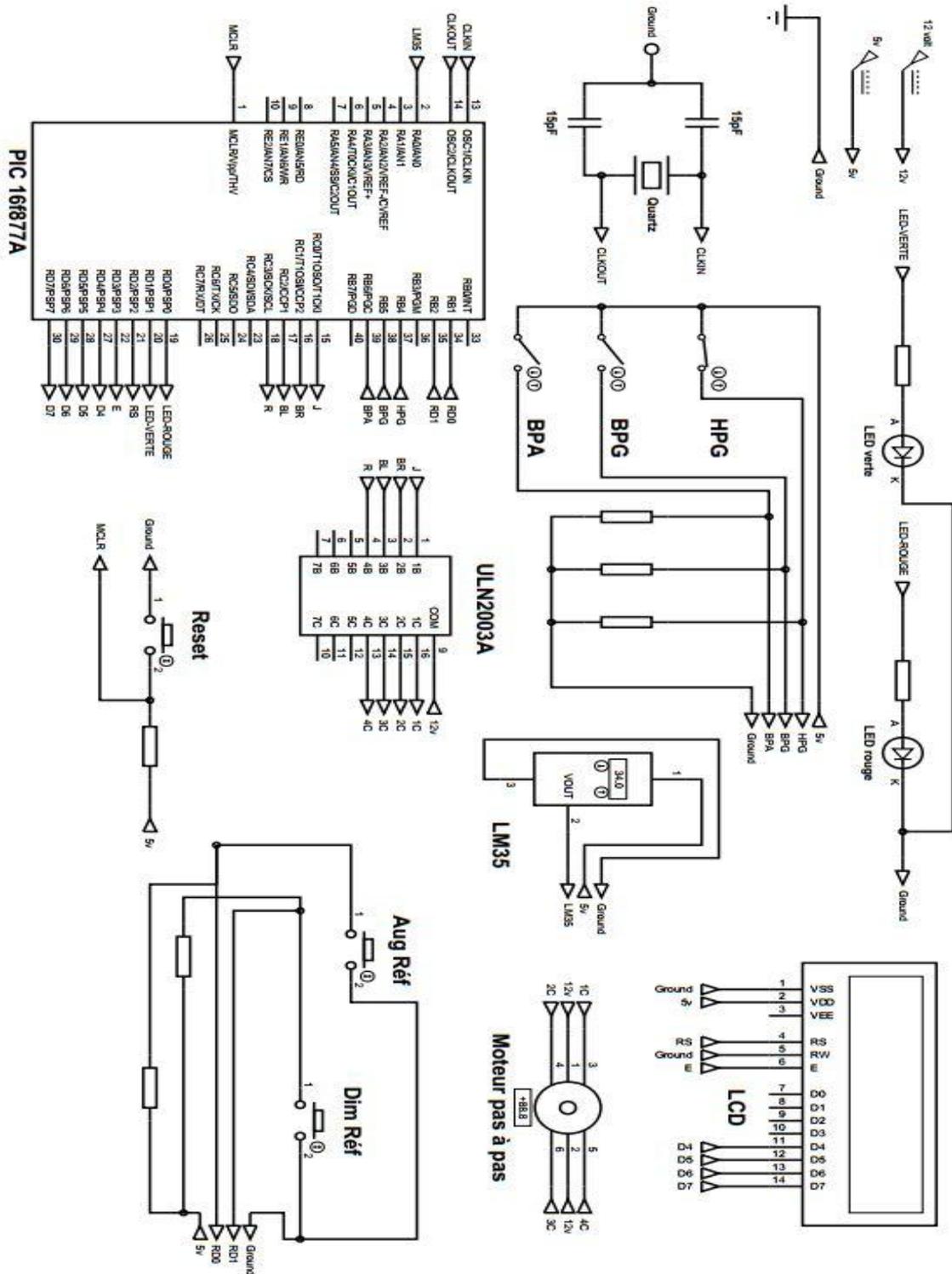
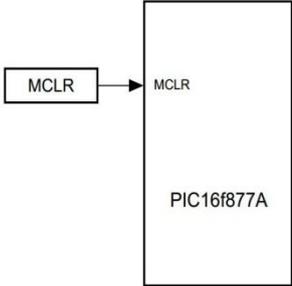
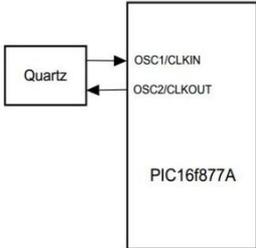
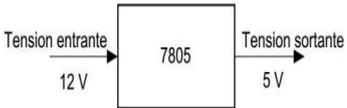
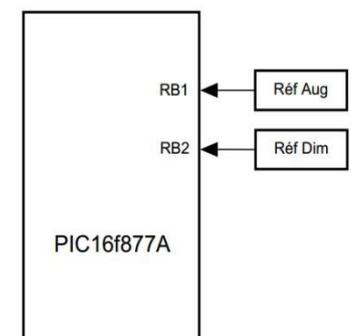
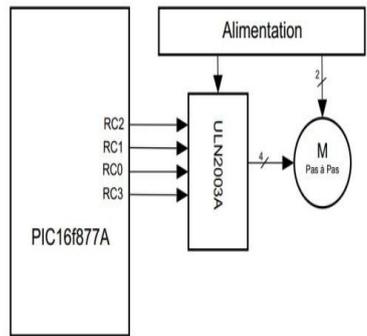
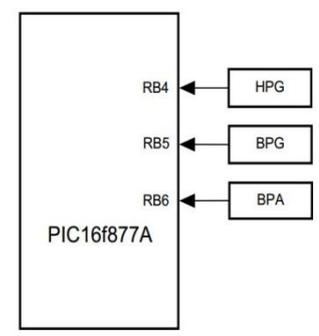


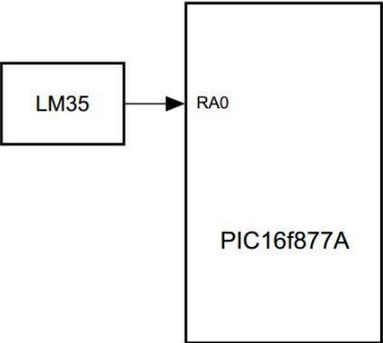
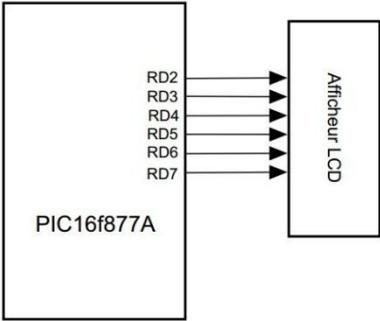
Figure3.2. Circuit électronique de base

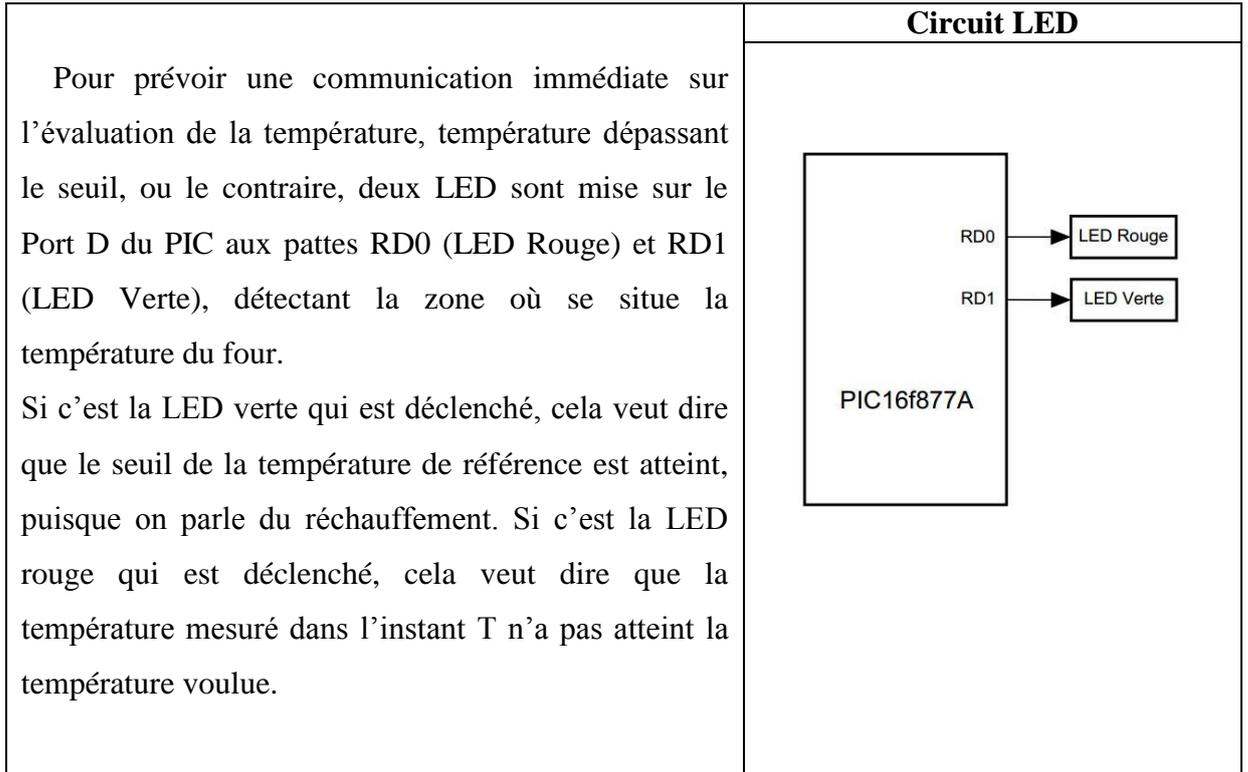
3.3.2. Composant utilisés dans la carte électronique « voir annexe »

3.3.3. Principe de fonctionnement de chaque partie de la carte

Explication	Circuit Reset
<p>Cette patte se trouve concrètement au premier emplacement dans le PIC, elle permet la remise à zéro du programme, c'est-à-dire, que le programme redémarre du début.</p> <p>L'initialisation du programme s'effectue si une tension basse, zéro volt, est mise sur cette patte. Un système de commutation avec un bouton poussoir et une résistance, pour la fixation du courant entrant, est mis sur cette patte pour aider à la réinitialisation. [2][3][5]</p>	
<p>La synchronisation du microcontrôleur doit être présente pour le pilotage de ce dernier, elle se fait à l'aide d'un quartz de 4 Mhz, mis avec deux condensateurs de filtrage, de valeur prédéterminé par le data sheet du PIC16f877A, pour avoir un signal carré.</p> <p>Les pattes concernées par le cortège du pilotage à l'aide d'un quartz sont présent dans le PIC aux numéros 13 et 14. [1][4][6]</p>	<p style="text-align: center;">Circuit Quartz</p> 
<p>Pour alimenté notre circuit, il est nécessaire d'utilisé un régulateur de voltage. Le circuit fonctionne avec 5 volts, donc on utilise le L7805 pour générer la tension demandé.</p> <p>Pour améliorer la régulation de la tension il est préférable d'utiliser en entrée une tension supérieure à 7 volts, on ajoutant des condensateurs, pour éliminer les oscillations et avoir une tension continue.</p>	<p style="text-align: center;">Circuit Alimentation</p> 

<p>Pour une facilité de variation de la référence de température à régler, dite consigne de température, il est essentiel de mettre un dispositif pratique, sans avoir à modifier le programme dans le PIC, dans notre système. La référence varie à l'aide de deux boutons poussoir, l'un pour augmenter (Réf Aug) et l'autre pour diminuer (Réf Dim), se trouvent sur le port B du PIC aux pattes 34 et 35.</p>	<p style="text-align: center;">Circuit Référence</p> 
<p>Le séquenceur utilisé pour l'aiguillage des impulsions sur les différentes bobines du moteur est le circuit intégré ULN2003A. L'ULN2003A est un réseau de transistors Darlington, à sept entrées de niveau logique qui passent à sept sorties, qui supporte une tension maximale de 50V et des charges de courant jusqu'à 500mA pour chaque sortie. Le moteur sera alimenté par les deux fils commun, en 12V, et le séquenceur fournira les quatre fils restant en 0V. Le port responsable de commander le moteur pas à pas est le Port C, donc il sera configuré comme sortie. [8][9][14]</p>	<p style="text-align: center;">Circuit Actionneur</p> 
<p>Les capteurs utilisés pour le contrôle de pression sont des pressostats, ce sont des dispositifs détectant le dépassement d'une valeur prédéterminée. Les trois pressostats sont remplacés par des interrupteurs, connectés au port B sur les pattes RB4 ; RB5 et RB6, ils interviennent pour interruption dans le programme principal et dans le programme de la sécurisation du système. Les trois capteurs contrôlent les seuils suivant :</p> <ul style="list-style-type: none"> • HPG : Haute Pression Gaz. • BPG : Basse Pression Gaz. • BPA : Basse Pression Air. 	<p style="text-align: center;">Circuit Capteur de Pression</p> 

<p>Le LM35 est un capteur de température, c'est un capteur qui fourni un signal de sortie analogique, 10mV par degré Celsius, qui est proportionnel à la température mesurée. C'est un capteur à 3 broches. La tension d'alimentation maximale est de 30 V, mais le capteur fonctionne normalement à 5 V. Lorsqu'il est utilisé à 5V, le courant d'alimentation est d'environ 60µA. La précision typique est de ±0,5 à 25°C. Le model utilisé est le LM35DZ, qui a une plage de 0°C à 100°C. [12] [13]</p> <p>Il est connecté à la patte RA0, dans le port A, permettant une conversion analogique numérique par le microcontrôleur. [4][6]</p>	<p style="text-align: center;">Circuit Capteur de Température</p> 
<p>L'affichage est une partie importante dans la plupart des applications à base de microcontrôleur. L'écran LCD (liquid crystal display) est utilisé afin de permettre une communication de l'état du système à l'opérateur. Ces dispositifs viennent dans différentes formes et tailles. Certains écrans LCD n'ont qu'une seule ligne, tandis que d'autres peuvent avoir jusqu'à quatre. L'écran utilisé est un 2x16, c'est-à-dire, deux lignes et seize colonnes, facilitant ainsi l'affichage de message envoyé par le PIC. [6][10][11] L'afficheur est connecté au port D, aux pattes RD2, RD3, RD4, RD5, RD6, RD7.</p>	<p style="text-align: center;">Circuit LCD</p> 



3.3.4. Circuit imprimé

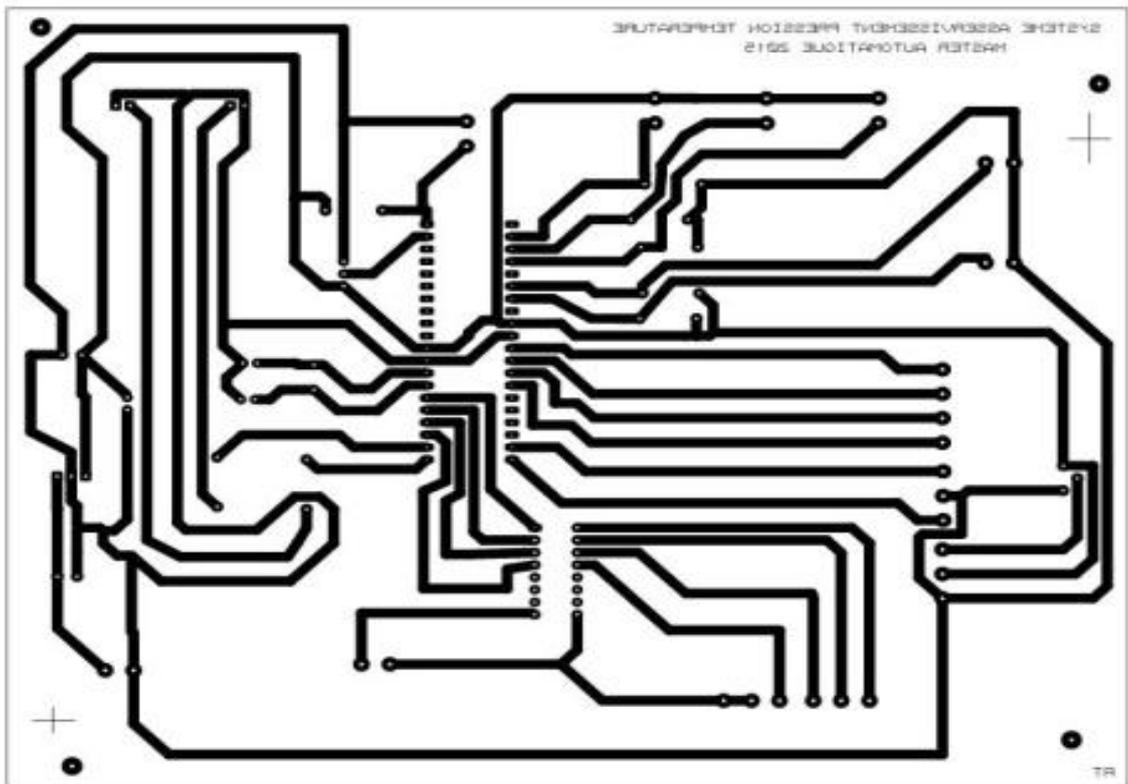
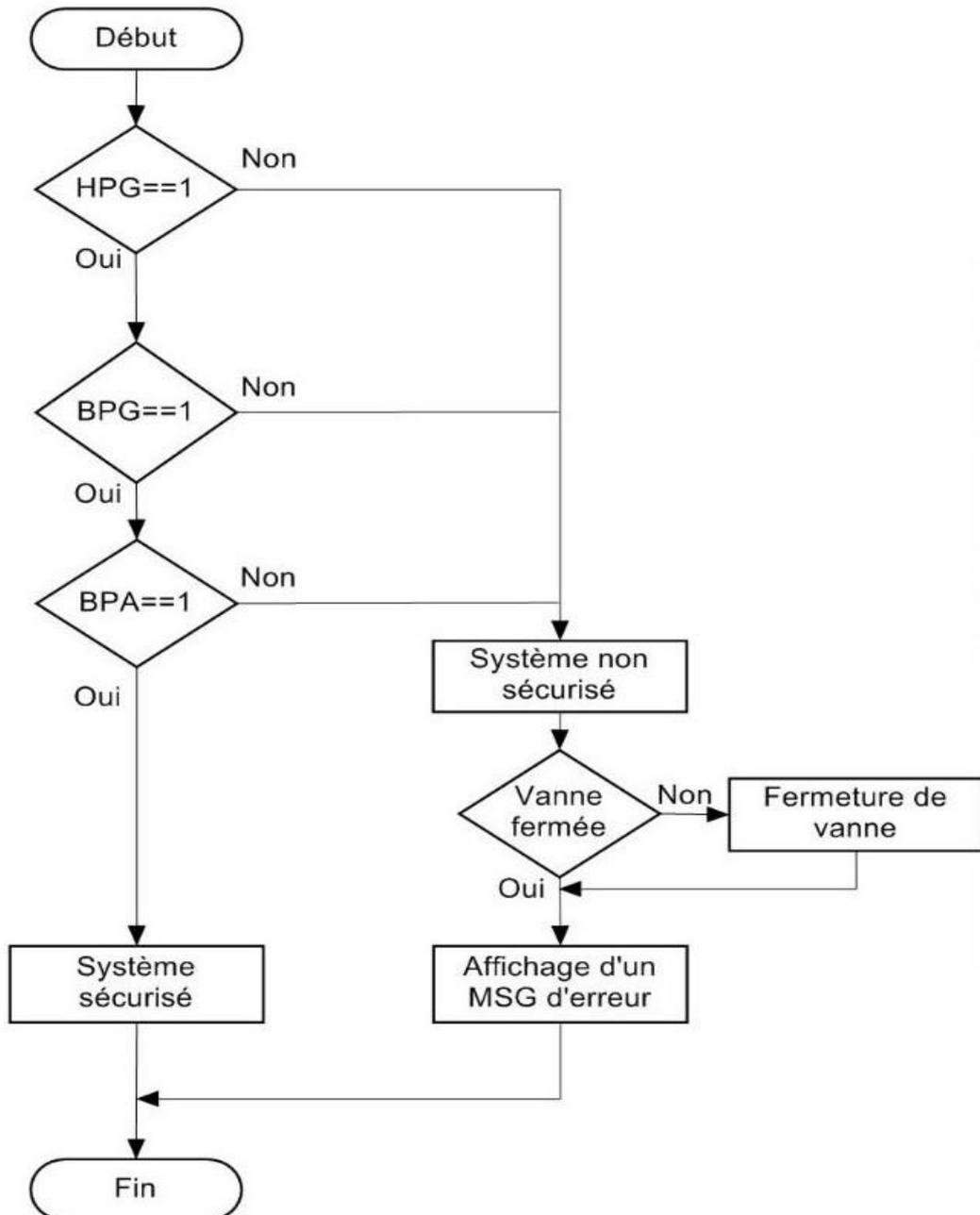


Figure3.3. Circuit imprimé coté composant

3.4. Partie soft

3.4.1. Organigramme

A. Organigramme de la sécurisation du système

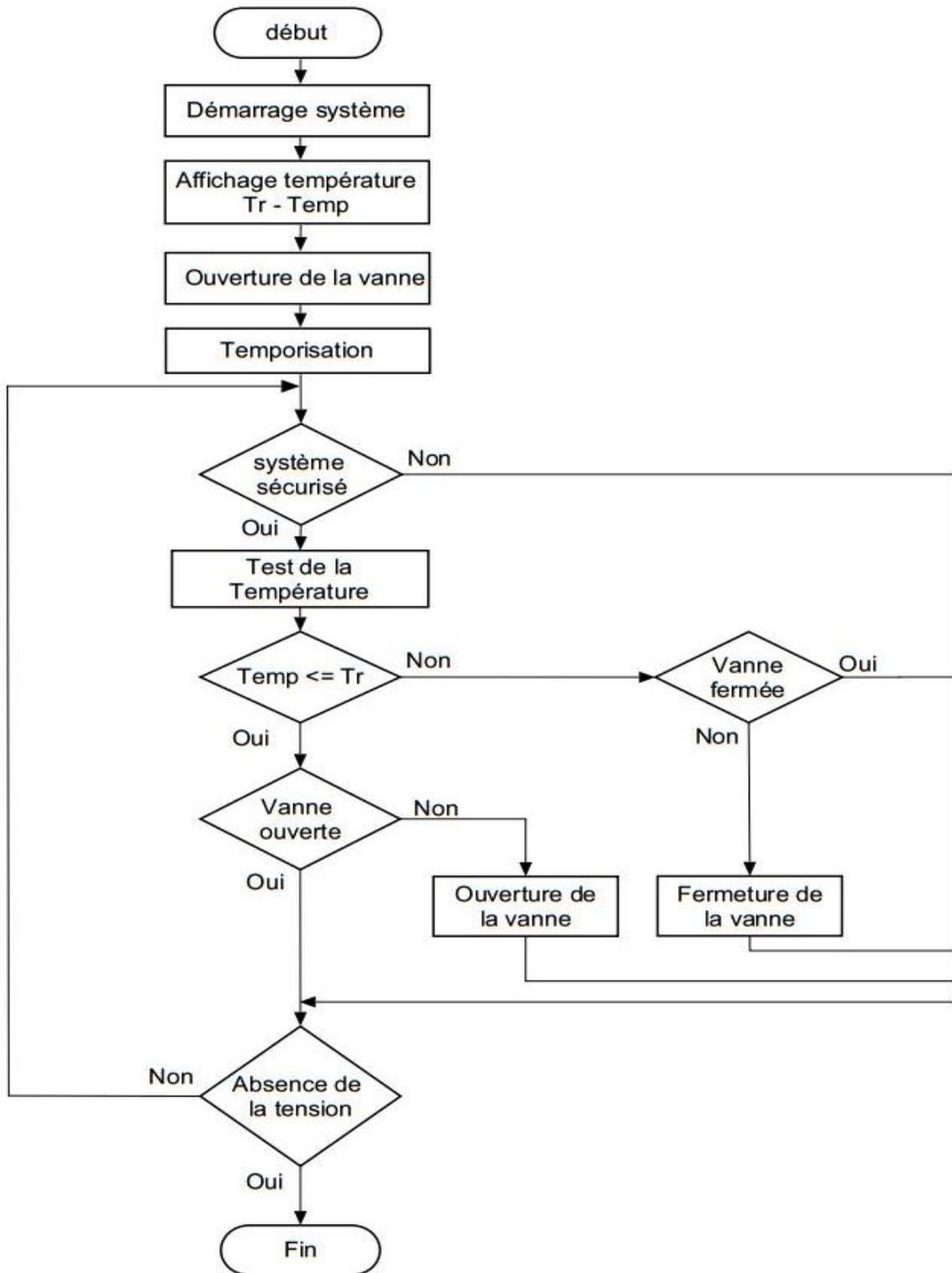


HPG : haute pression gaz (état initial égal à 1).

BPG : basse pression gaz (état initial égale à 0).

BPA : basse pression air (état initial égale à 0).

B. Organigramme du programme principal



Tr : la référence de la température (consigne).

Temp : la température mesurée.

3.4.2. Ecriture du programme

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

3.4.3. Transfert du programme

Le transfert du programme à la mémoire flash du microcontrôleur, PIC 16f887A, s'effectue à l'aide d'un logiciel, Universal IC Writer II, fournit avec le programmeur LEAPER-56. Les étapes du transfert du fichier code (.HEX) sont les suivant :

- 1- La connexion du programmeur au PC via une fiche USB.
- 2- L'ouverture du programme Universal IC Writer II, et l'insertion du PIC 16f877A.
- 3- Définir le model du microcontrôleur à programmer.
- 4- L'ouverture du fichier source, et la configuration du type d'horloge utilisé dans notre système.
- 5- Le transfert du programme au PIC peut se faire.

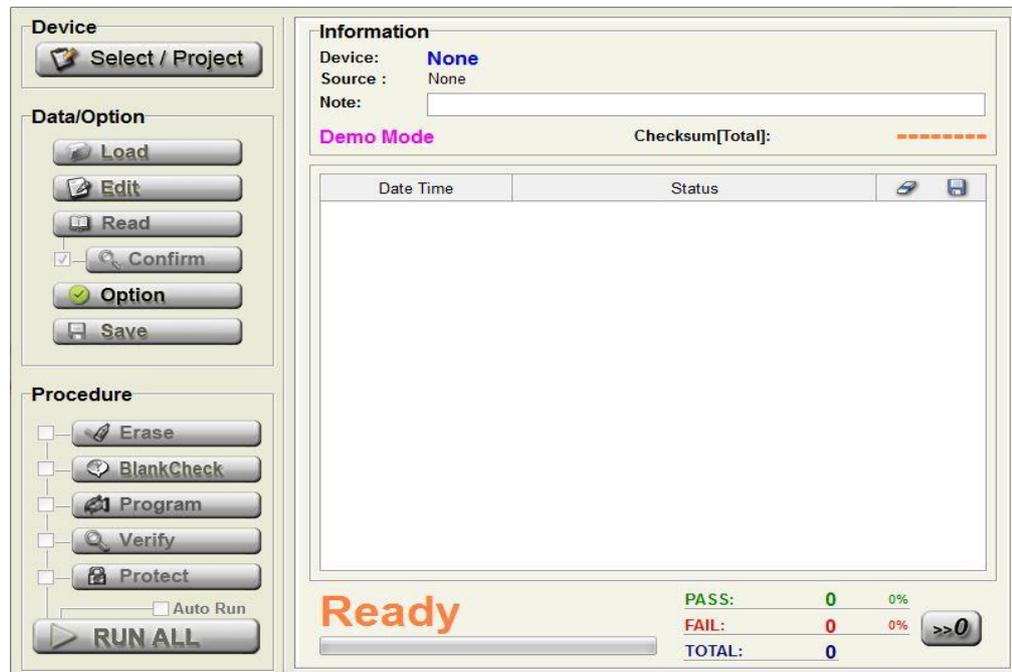


Figure3.4. Universal IC Writer II

3.5. Test final

Après la réalisation de la carte électronique, il est important de ne pas avoir un court circuit entre les pistes en cuivre du circuit imprimé. On contrôlant la continuité de toutes les pistes les tests finals peuvent être faits.

Le premier test est de contrôler chaque partie du système indépendamment, c'est-à-dire, de tester la partie communication en exécutant un programme pour l'affichage d'un message, par exemple, sur l'écran LCD, le capteur de température sera testé avec les LED de signalisation, qui déterminerons si le capteur fonctionne bien et si le seuil est respecté par le contrôleur, enfin l'actionneur sera commandé pour effectué un tour dans un sens et puis dans l'autre sens. Le deuxième test sera d'additionner différentes parties du système, l'écran et le capteur de température seront sous un même sous-système, puis on ajoutera le Circuit Référence pour voir le fonctionnement des boutons poussoir destiné à varier la température de référence, le Circuit Capteurs de Pression sera lui aussi testé avec l'écran pour une vérification du fonctionnement du système de sécurité.

Après s'être assuré que toutes les parties sont fonctionnelles et que le circuit ne présente aucun défaut, l'assemblage de toutes les parties du système pourront être réalisés.

3.6. Conclusion

Dans ce chapitre on a abordé les différentes étapes, du côté matériels ou du côté programme, qui constituent la carte électronique en question. Aussi les différents circuits utilisés ont été présentés.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

- La stratégie établit pour ce travail vise d'être près du domaine industrielle, et d'avoir une connaissance préalable des différents constructeurs des Instruments de régulation et d'automatisation comme ABB, Siemens, DMAG.
- Concevoir et la réalisation pratique d'un système d'asservissement standard (Pression/Température) avec un PIC16f877A, inspiré d'un processus existant dans une usine de sidérurgie en respectant un cahier de charge imposé, était l'objectif primordial de notre projet.
- En perspectives, nous pouvons signaler que ce travail n'est qu'une simple application dans le domaine industriel d'asservissement des système qui est une des étapes incontournable dans la régulation industrielle, la surveillance, et la supervision des systèmes industriels.
- Comme nous avons eu l'opportunité d'utiliser le logiciel « PROTEUS », logiciel de simulations et de conception de circuits imprimés et la procédure de fabrication d'un circuit imprimé.
- Les démarches suivies, nous ont permis d'acquérir la rigueur nécessaire à ce type de travaux afin d'arriver au résultat escompté. Nous avons opté pour la réalisation d'un objet utile et dont le fonctionnement est sur.
- Le montage remplit sa fonction : il peut être utilisé pour la régulation de la température en tenant compte par les contraintes imposées par les grandeurs en jeux (pression, débit).
- En continuité de ce travail, on propose quelques perspectives qu'on peut envisager comme suite à ce travail se traduisent par :
 - L'ajout d'un sous-système de communication à distance radio ou Wi-Fi par exemple.

- L'application d'autre technique permettant la connexion via PC où l'archivage des données sera essentiellement important, permettant ainsi de diagnostiqué le système dans différent intervalles de temps.
- Mettre un système de commande par clavier intégré dans le boitier, pour plus de confort et de facilité pour l'opérateur à ordonné le comportement du processus.
- **F**inalement l'un des enjeux les plus importants de l'automatisation concerne aujourd'hui l'augmentation de la fiabilité, de la disponibilité et le sécurité des processus technologiques. Pour cela la surveillance reste l'un des occupations primordiales de toute les Activités Humaine.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- [1] Vaugon, B., Wang, P., & Chailloux, E. (2011). Les microcontrôleurs PIC programmés en Objective Caml. Vingt-deuxièmes Journées Francophones des Langages Applicatifs (JFLA 2011), volume Studia Informatica Universalis, 177-207.
- [2] Sandhu, H. (2008). Making PIC microcontroller instruments and controllers. McGraw-Hill, Inc..
- [3] Tavernier, C. (2007). Microcontrôleurs PIC 10, 12, 16. Dunod, Paris.
- [4] Microchip, P. M. R. M. (1997). Family Reference Manual. DS33023A, Microchip Technology Inc.
www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/33023a.pdf
- [5] Tavernier, C. (2005). Programmation en C des PIC. Dunod, Paris.
- [6] Microchip, P. I. C. (2001). 16F877A Data Sheet.
www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582C.pdf
- [7] Chateigner, G., Boes, M., Bouix, D., Vaillant, J., & Verkindère, D. (2006). Manuel de génie électrique-Rappels de cours, méthodes, exemples et exercices corrigés: Rappels de cours, méthodes, exemples et exercices corrigés. Dunod, Paris.
- [8] OGUIC, P. (2004). Moteurs pas-à-pas et PC ; 2ème édition. Dunod, Paris.
- [9] Wildi, T., & Sybille, G. (2000). Electrotechnique. De Boeck Supérieur.
- [10] Ibrahim, D. (2012). Using LEDs, LCDs and GLCDs in microcontroller projects. John Wiley & Sons.
- [11] data sheet LCD.
www.picaxe.com/docs/led008.pdf
- [12] Ibrahim, D. (2002). Microcontroller-based temperature monitoring and control. John Wiley & Sons.
- [13] Sensors, L. P. C. T. datasheet, National Semiconductor.
www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf
- [14] Data sheet ULN2003A.
www.ti.com/lit/ds/symlink/uln2003a.pdf

ANNEXE

A- DIFFERENTS CYCLES DE RECUIT (CAUFFE)

FER BLANC : Température de régulation 680°C- qualité T1-T2

TONNAGE	Largeur de bande				
	550 à 649	650 à 749	750 à 849	850 à 949	950 à 149
< 25	17h 30	19h 00	20h 00	21h 00	22h 00
25 à 30 T	18h 00	20h 00	20h 30	22h 00	23h 00
30 à 35 T	19h 30	20h 30	21h 30	23h 30	24h 00
35 à 40 T	20h 30	21h 30	23h 00	24h 30	25h 30
40 à 45 T	21h 30	22h 30	24h 00	25h 30	26h 30
45 à 50 T	22h 30	24h 00	25h 00	27h 00	28h 00
50 à 55 T	24h 30	25h 00	27h 00	28h 30	30h 00
55 à 60 T	25h 30	27h 00	29h 00	30h 30	32h 00

Qualité T3 régulation 680°C.

TONNAGE	Largeur de bande				
	550 à 649	650 à 749	750 à 849	850 à 949	950 à 149
< 25	15h 00	16h 00	17h 00	18h 00	19h 00
25 à 30 T	16h 00	17h 00	18h 15	19h 45	20h 45
30 à 35 T	17h 30	19h 00	19h 45	20h 45	21h 45
35 à 40 T	19h 30	20h 00	20h 45	21h 30	23h 15
40 à 45 T	20h 00	21h 00	22h 30	23h 15	24h 45
45 à 50 T	21h 00	22h 30	24h 00	24h 45	26h 15
50 à 55 T	22h 00	23h 30	24h 30	26h 15	27h 45
55 à 60 T	23h 15	24h 45	26h 00	27h 30	29h 45

Remarque : Pour les épaisseurs ≤ 0.24 mm afficher la température de régulation à 660°C.

B- Règles techniques d'Operations

Consommation d'eau pour l'Exta-Cool : 7m^3 /tonne recuite

Consommation du Gaz HNX : 10Nm^3 /tonne (Bobine non dégraissée)

10Nm^3 /tonne (Bobine dégraissée)

Puissance de raccordement en Gaz naturel : 500.000 Four/N par Four

Nature de courant électrique : 380 Volt

220 Volt (Eclairage)

127 Volt (commande)

24 Volt (Signalisation)

C- Composant utilisés dans la carte électronique :

Composant	Définition	Quantité
Microcontrôleur	PIC16f877A	01
Afficheur LCD	16x2	01
Circuit intégré	ULN2003A	01
Moteur pas à pas	55SI-25DAWC	01
Capteur de température	LM35	01
Quartz	4Mh	01
Bouton poussoir		03
Commutateur		03
LED	Rouge Verte	01 01
Capacité	15pF 100nF 100µF	02 01 02
Résistance	10KΩ 360Ω	06 02

D- Simulation du système

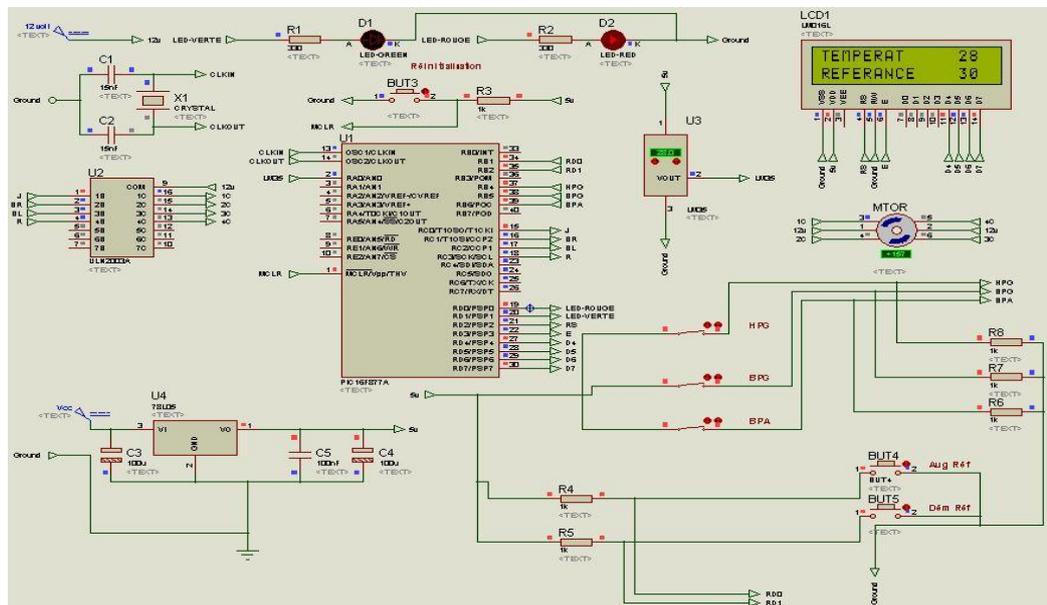


Figure A-1 Simulation

E- Brochage LM35



Figure A-2 LM35 vu du bas

F- Configuration du capteur de température (LM35) :

Le capteur de température, LM35, donne une relation, tension/température, qui est de 10mV/1°C. Pour l'affichage et la comparaison de la température il est nécessaire de convertir la tension de sortie, donnée par le capteur, en valeur de température proprement dit.

Le CAN interne du microcontrôleur dispose de huit canaux d'entrée analogique et donne 10bit numérique en sortie, soit $2^{10}=1024$ (de 0 à 1023). Dans notre projet, la tension de référence au CAN est la même que la tension d'alimentation du microcontrôleur, à savoir 5V. La résolution du CAN peut être calculée comme suit :

$$R = \frac{V_{réf}}{1023}$$

Le capteur donne une tension qui sera convertie par le convertisseur analogique numérique du PIC. La relation est donnée comme suit :

$$ADC_{val} = \frac{V_{in}}{R}$$

Où :

- V_{in} : la tension donnée par le capteur.
- ADC_{val} : la valeur donnée par le convertisseur A/N.
- R : la résolution du convertisseur A/N.
- $V_{réf}$: la tension d'alimentation.

La relation tension/température est de 10mV/1°C, donc il ne reste qu'à convertir la valeur donnée ADC_{val} par le CAN pour avoir la température mesuré :

$$\text{Temp} = \frac{ADC_{val} * V_{réf}}{10}$$

G- PIN DIAGRAMS du PIC 16f877A

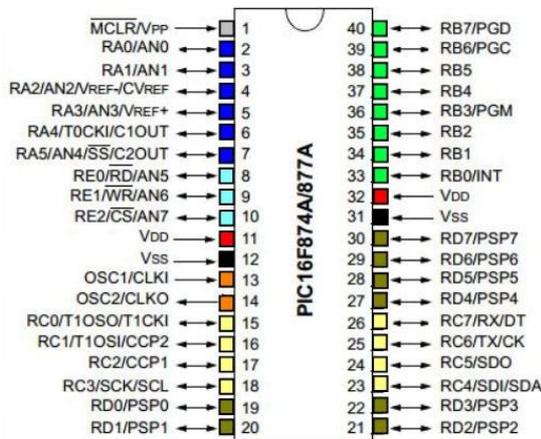
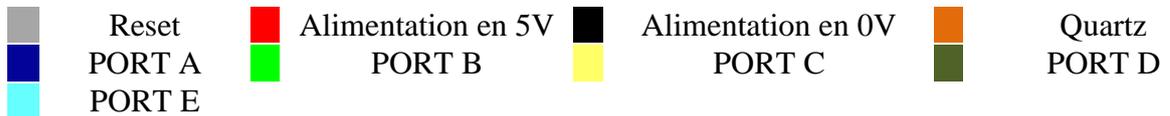


Figure A-3 PIC 16F877A



H- PIC16F874A/877A BLOCK DIAGRAM

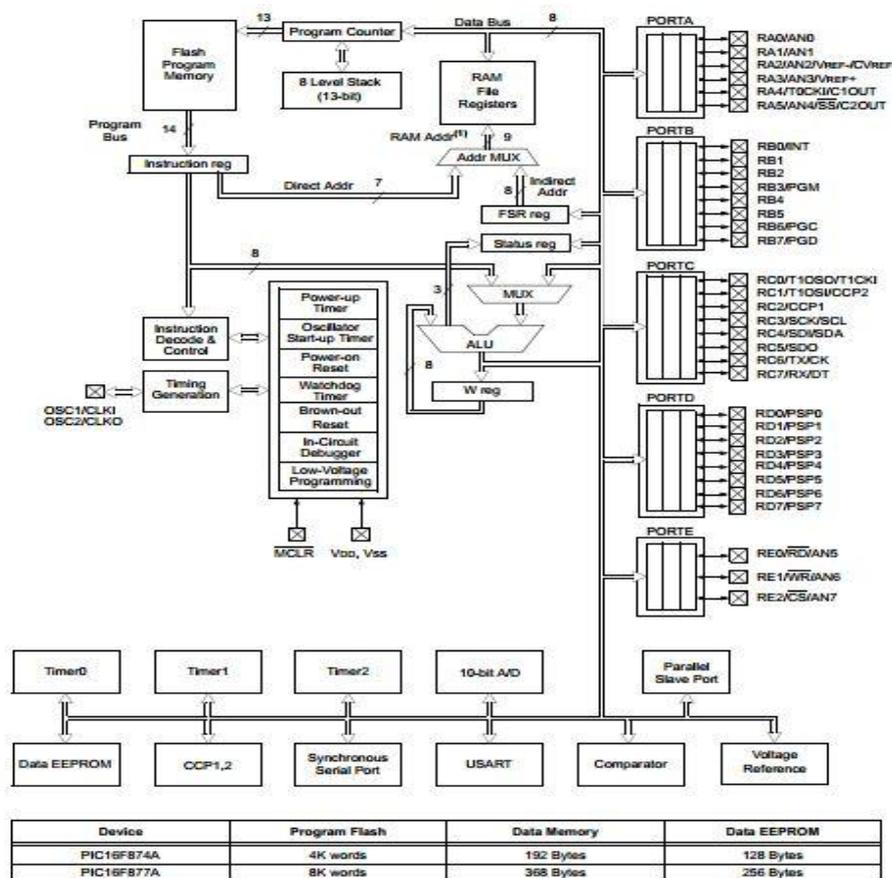


Figure A-4 Structure interne du PIC 16F877A

I- Connexion des pattes de l'ULN2003A

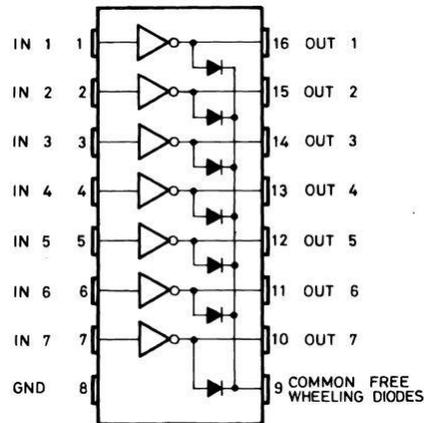


Figure A-5 Connexion des pattes de l'ULN2003A

J- Schéma diagramme

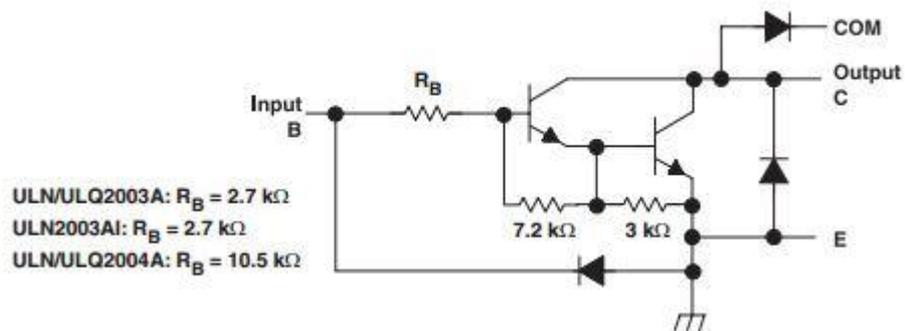


Figure A-6 Schéma décrivant l'entrée/sortie d'une patte de l'ULN2003A

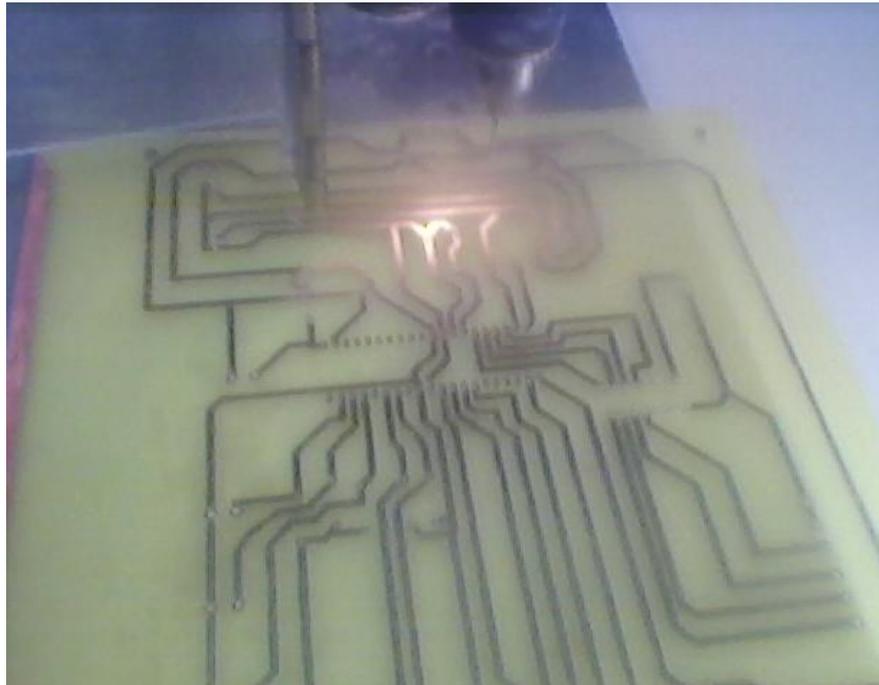


Figure A-7 Perçage de la carte électronique

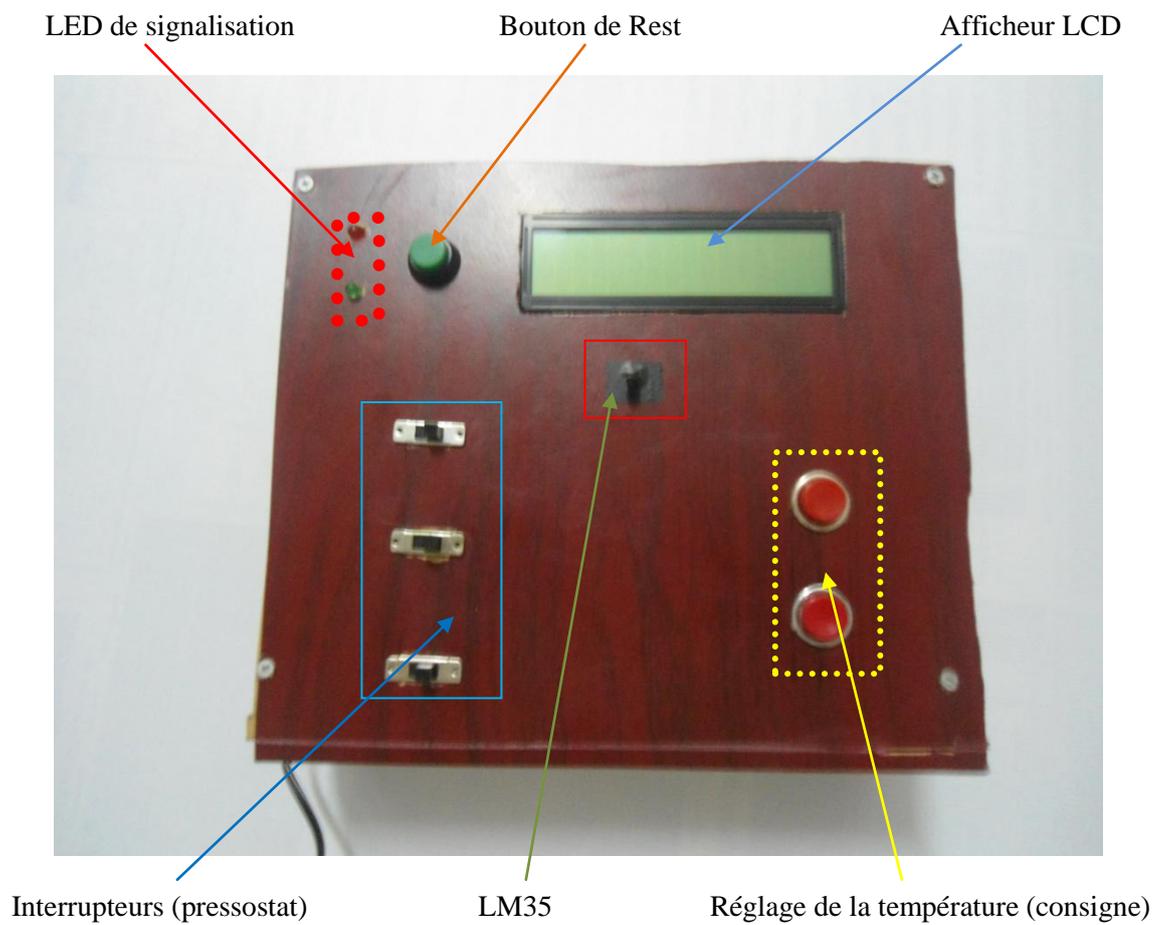


Figure A-8 Vu du haut du boîtier

ملخص

العمل المقدم في هذه المذكرة هو عبارة عن انجاز جهاز لمراقبة حرارة فرن "four à cloche" يستعمل بميدان صناعة الحديد والصلب لإعادة الخصائص الميكانيكية للملفوفات الورقية الحديدية التي فقدتها خلال عملية الدرفلة على البارد، مع مراقبة ضغط الغاز الطبيعي والهواء المستعملان كوقود لطهي الملفوفات الحديدية. يتكون هذا النظام بالأساس على عضو التحكم المتمثل في (PIC 16F877A)، وعضو لقياس درجة الحرارة (LM35) وثلاثة أجهزة لمراقبة الضغط، اثنان لمراقبة ضغط الغاز وواحد لمراقبة ضغط الهواء، بالإضافة أن الجهاز مزود بشاشة LCD للرؤية المعلومات الأساسية عن عمل هذا الجهاز (مؤشر درجة الحرارة أو التغيرات التي تحدث أثناء العملية). كما يتم التحكم في نسبة تدفق الغاز و الهواء بواسطة محرك خطوي "Moteur pas à pas".

Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire est dédié à la réalisation d'un système de régulation standard de température et de pression, inspiré d'un système d'asservissement de la température et de la surveillance de la pression de l'Air et du Gaz naturel d'un four à cloche. Le mélange de ces deux grandeurs (Gaz et Air) est le combustible du four afin de recuire des bobines de feuilles métallique. Ces Fours ont les trouve au sein de l'entreprise ArcelorMittal-Annaba à l'unité « laminoir à froid (LAF)» au niveau de la sous unité « fours de recuits ».

Le système en question est à base d'un microcontrôleur (le PIC 16F877A) représentant l'organe de commande, un capteur de température LM35 à la place d'un thermocouple qui doit assurer la mesure de la température du four en permanence, et de trois pressostats, deux pour la surveillance des haute et base pressions du gaz naturel et un pour la surveillance de la pression base de l'air, en plus il est équipé d'un afficheur LCD (Light Control Display) pour l'affichage de paramètres de fonctionnement (Indication de la température ou les défauts survenant lors de son fonctionnement). Le réglage du débit combustible du gaz et de l'air sera effectué par un moteur pas à pas (L'organe d'action).

Mots clés : Système d'asservissement, microcontrôleur, PIC16F877A, LM35, Moteur pas à pas, ULN2003A, LCD(Light Control Display), Carte électronique, Système embarqué.

Abstract

The work presented in this thesis is dedicated to the implementation of a standard system for regulating temperature and pressure, based on a control system of the temperature and the pressure monitoring Air and Natural Gas a bell furnace. The mixture of these two quantities (gas and air) is the fuel to the furnace annealing coils of steel sheets. These ovens were found in the company ArcelorMittal Annaba to the unit "cold rolling mill (LAF)" at the subunit "annealing ovens".

The system in question is based on a microcontroller (PIC16F877A) representing the control member, a LM35 temperature sensor instead of a thermocouple, which must ensure the extent of the continuously furnace temperature, and three switches, two for monitoring high and basic natural gas pressures and one for monitoring the air pressure base, in addition it is equipped with a LCD display (Light Control Display) for display settings operation (temperature indication or defects occurring during operation). The setting of the fuel gas flow and the air will be performed by a stepping motor (The action organ).

Keywords: servo system, microcontroller, PIC16F877A, LM35, stepping motor, ULN2003A, LCD (Light Control Display), Electronic card, embark system.