

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou**



**Faculté de Génie Electrique et d'Informatique**  
**Département de l'Electronique**  
**En vue d'obtention du diplôme Master en Electronique**  
**Option : Electronique Industrielle**

**THEME :**

**Conception et réalisation d'un régulateur  
PID numérique à base d'un microcontrôleur  
PIC 16f877a**

**Proposé par M: zeroual.A**

**Dirigé par M: Hamiche.Hamid**

**Travail réalisé par :**

**M: Aous.Walid**

**M: Seddaoui. Ghiles**

**Année universitaire: 2013/2014**



## *Remerciement*

*En premier lieu nous remercions notre Allah le tout puissant qui nous a aidé à faire ce modeste travail.*

*Nos vifs remerciements vont s'adresser à M. Hamiche pour son aide et ces conseils précieux.*

*Un grand merci pour notre encadreur au sein de SONATRCH M. Zeroual et surtout un grand merci pour M. Boussaâdi qui nous a aidé tous au long de la durée du stage et les membres de jury qui ont accepté de juger notre travail.*

*En fin nous remercions tous les enseignants et ceux qui ont aidé de près et de loin à la réalisation de ce travail.*







# dédicace

*A mes chers parents pour leur contribution à  
chaque travail que j'ai pu accomplir tout au long  
de ma vie. Ainsi qu'à mon frère et mes sœurs qui  
m'ont toujours soutenu  
Quelle que soit la  
difficulté.*

*Sans oublier tous mes amis et proches. et mon  
promoteur M. Hamiche et mon Encadreur M. Zeroual et  
un grand merci pour M. Boussaadi .*

**WALID**





# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes chers parents.*

*A mes chères sœurs.*

*A mes chers frères.*

*A mon binôme et sa famille.*

*A tous mes amis et camarades.*

*A mon promoteur M. Hamiche.*

*A mon encadreur M. Zeroual.*

*A M. Boussaadi qui nous aidé tout au long de la réalisation de ce travail*

*GHILÈS*



# Sommaire

# Sommaire

---

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

## **Chapitre I : Présentation de la raffinerie d'Alger**

|  |    |
|--|----|
| I-1 Introduction .....   | 3  |
| I-2 Les différentes installations de la raffinerie d'Alger ..... | 3  |
| I-2-1 Unité de distillation atmosphérique .....                  | 3  |
| I-2-2 Unité de reforming catalytique .....                       | 4  |
| I-2-3 Unité de gaz plant .....                                   | 4  |
| I-2-4 Unité de mélange (ETHYLATION) .....                        | 4  |
| I-2-5 La salle de contrôle .....                                 | 4  |
| I-2-6 Le laboratoire .....                                       | 5  |
| I-3 Description de l'unité 100 .....                             | 5  |
| I-3-1 Le circuit de brut .....                                   | 5  |
| I-3-2 Four F101 .....  | 6  |
| I-3-2 La colonne de distillation C 101 .....                     | 7  |
| I-3-2-1 Le circuit résidus .....                                 | 7  |
| I-3-2-2 Le circuit gasoil lourd .....                            | 7  |
| I-3-2-3 Le circuit gasoil léger .....                            | 8  |
| I-3-2-4 Le circuit kérosène .....                                | 8  |
| I-3-2-5 Le circuit solvant lourd .....                           | 8  |
| I-3-2-6 Reflux inférieur (fond) .....                            | 9  |
| I-3-2-7 Reflux intermédiaire .....                               | 10 |
| I-3-2-8 Reflux de tête RT .....                                  | 10 |
| I-3-3 La colonne de débutanisation C104 .....                    | 10 |
| I-3-4 La colonne de redistillation C 105 .....                   | 10 |
| I-4 Configuration du réseau électrique .....                     | 11 |
| I-4-1 Poste 11 .....   | 11 |
| I-4 -2 Poste 12 .....  | 12 |
| I-4-3 Poste 131 .....  | 12 |
| I-4-3 Poste 132 .....  | 13 |
| I-4 -4 Le poste 1311 .....                                       | 13 |
| I-5 Conclusion .....   | 13 |

# Sommaire

---

## Chapitre II : Régulation analogique et numérique

|  |    |
|--|----|
| II-1 Introduction .....  | 14 |
| II-2 Régulation Analogique.....                                  | 14 |
| II-2-1 Principe général de la régulation analogique .....        | 14 |
| II-2-1-1 Comportement en régulation .....                        | 15 |
| II-2-1-2 Comportement en asservissement .....                    | 16 |
| II-2-1-3 La régulation en boucle ouverte .....                   | 16 |
| II-2-1-4 La régulation en boucle fermée .....                    | 17 |
| II-2-1-5 Structure et comportement des processus .....           | 18 |
| II-2-2 Eléments constituant une boucle de régulation .....       | 19 |
| II-2-3 Les différents types de régulateurs analogiques .....     | 20 |
| II-2-3-1 Régulateur proportionnel.....                           | 20 |
| II-2-3-2 L'action intégrale .....                                | 20 |
| II-2-3-3 L'action dérivée.....                                   | 21 |
| II-2-3-4 Le régulateur Proportionnel Intégral PI.....            | 22 |
| II-2-3-5 Le régulateur proportionnel dérivé PD.....              | 22 |
| II-2-3-6 Régulateur Proportionnel Intégral Dérivée (P.I.D) ..... | 22 |
| II-2-4 Différentes structures des régulateurs PID.....           | 22 |
| II-3 Régulateurs numériques .....                                | 23 |
| II-3-1 Schéma général .....                                      | 24 |
| II-3-2 Les caractéristiques du régulateur PID numérique .....    | 24 |
| II-3-3 Différences avec la régulation analogique .....           | 25 |
| II-3-3-1 L'acquisition.....                                      | 25 |
| II-3-3-2 L'échantillonnage.....                                  | 25 |
| II-3-3-3 La quantification.....                                  | 26 |
| II-3-4 Les différentes actions PID numériques : .....            | 26 |
| II-3-4-1 L'action proportionnelle.....                           | 27 |
| II-3-4-2 L'action dérivée.....                                   | 27 |
| II-3-4-3 L'action intégrale .....                                | 27 |

# Sommaire

---

|   |    |
|---|----|
| II-3-5 Les différents types de régulateurs numériques.....  | 27 |
| II-3-5-1 Le régulateur proportionnel.....                   | 27 |
| II-3-5-2 Le régulateur Proportionnel Dérivée PD.....        | 27 |
| II-3-5-3 Le régulateur Proportionnel Intégral PI.....       | 28 |
| II-3-5-4 Régulateur Proportionnel Intégral Dérivée PID..... | 28 |
| II-3-6 Comment régler les coefficients d'un PID .....       | 29 |
| II-3-7 Conclusion .....                                     | 30 |

## **Chapitre III : Conception électronique et outils logiciels du régulateur PID**

|   |    |
|---|----|
| III-I Introduction .....                                      | 31 |
| III-2 Composants électroniques .....                          | 31 |
| III-2-1 Partie commande .....                                 | 31 |
| III-2-1-1 Le microcontrôleur PIC 16F877a .....                | 31 |
| A- Choix.....   | 32 |
| B- Les ports d'entrée/sortie .....                            | 34 |
| C- Organisation externe du PIC 16F877A .....                  | 36 |
| D- Le convertisseur analogique numérique du PIC 16F877A ..... | 38 |
| III-2-1-2 Clavier matriciel.....                              | 39 |
| A- Choix.....   | 39 |
| B- Utilisation .....  | 39 |
| III-2-1-3 L'afficheur LCD .....                               | 40 |
| A-Choix.....  | 40 |
| III-2-1-4 RS 232.....   | 41 |
| III-2-1-5 Le schéma synoptique de la carte commande.....      | 41 |
| III-2-1-6 Le schéma général de la carte commande .....        | 42 |
| III-2-1-7 circuit d'implémentation de la carte commande ..... | 42 |
| III-2-1-8 Typon de la carte de commande .....                 | 43 |
| III-2-2 Partie puissance .....                                | 43 |

## Sommaire

---

|  |           |
|--|-----------|
| III-2-2-1 Schéma général de la carte puissance .....                             | 44        |
| III-2-2-2 Circuit d'implémentation de la carte puissance .....                   | 44        |
| III-2-2-3 Typon de la carte de puissance .....                                   | 45        |
| III-2-3 Partie alimentation .....  | 45        |
| III-2-3-1 Schéma général de la carte d'alimentation .....                        | 45        |
| III-2-3-2 circuit d'implémentation de la carte d'alimentation .....              | 46        |
| III-2-3-3 Typon de la carte d'alimentation .....                                 | 46        |
| III -3 Partie logicielle .....   | 47        |
| III.3.1 Présentation de Proteus .....  | 47        |
| III-3-2 Logiciel de programmation du microcontrôleur PIC .....                   | 48        |
| III-3-2-1 Les étape de programmation avec Le compilateur PIC C Compiler de CCS . | 49        |
| A- Création d'un nouveau projet.....   | 49        |
| B - Configuration des propriétés du PIC .....                                    | 50        |
| C- Compilation du paragramme .....   | 51        |
| III-3-3 Présentation du programmeur Win Pic 800 .....                            | 51        |
| III-4 Partie programmation.....  | 53        |
| III-4-1 Réalisation du programme.....  | 53        |
| III-4-2 Organigramme du prograamme .....   | 53        |
| III-5 Conclusion .....   | 54        |
| <br>   |           |
| <b>Conclusion générale .....</b>   | <b>55</b> |

**Annexes.**

**Bibliographie.**

# Liste des composants

# Liste des composants

---

## 1-Carte de commande :

- R1 R2 R3 R4 R5 R6 : 330. .
- R8 R9 R10 R11 R12 R13 : 330. .
- R14 : 470.
- C1 C2 : 15 pf.
- C3 : 100 nf.
- C4 C5 : 100 uf.
- C6 C7 C8 C9 : 1uf.
- C10 : 100 nf.
- J1 : DB 9 Conn.
- J2 : sil 6.
- J4 : sil 2
- Quartz : 20MHZ.
- D1 : 1n4148.
- U1 : PIC16f877a.
- U2 :LM7805.
- U3 : MAX 232.
- Bouton poussoir : BP.
- Clavier 4\*4.
- Afficheur LCD 16\*2.

## 2- carte puissance :

On a utilisé des résistances de puissance

- R1 : 100 .
- R2 : 100.
- R3 : 4,7k.
- Q 1 : IRFP 460.
- Q2 : TIP122.
- J1. J2. J3 : sil 2.

## 3- Carte d'alimentation :

- C1 : 220 uf .
- C2 : 10uf.
- C3. C4. C5 : 100 uf.
- J1 : sil 3.
- J2. J3. J4: sil2.
- U1 : LM7805.
- U2 : LM7824.
- U3 : LM7812.
- Pont de diode.

# Liste des figures

# Liste des figures

---

|   |    |
|---|----|
| Figure I-1: Régulateur ABB IM C505-F .....                                  | 05 |
| Figure II-1 : Schéma de principe de la régulation analogique .....          | 15 |
| Figure II-2 : Comportement en régulation .....                              | 16 |
| Figure II-3 : Comportement en asservissement.....                           | 16 |
| Figure II-4 : Schéma générale d'une régulation en boucle ouverte .....      | 17 |
| Figure II-5 : Schéma générale d'une régulation en boucle fermée .....       | 18 |
| Figure II-6 : Représentation d'un processus .....                           | 18 |
| Figure II-7: Schéma de principe d'une boucle de régulation analogique ..... | 19 |
| Figure II-8 : Structure générale d'une régulation numérique.....            | 24 |
| Figure II-9: Exemple de quantification .....                                | 26 |
| Figure III-1 : Description de la configuration du PIC 16F877 .....          | 32 |
| Figure III-2 : Microcontrôleur PIC16f877a .....                             | 32 |
| Figure III-3: Architecture interne du PIC. ....                             | 34 |
| Figure III-4 : Structure générale du PIC 16f877a .....                      | 36 |
| Figure III-5 : Circuit d'alimentation du PIC .....                          | 37 |
| Figure III-6 : circuit d'horloge du PIC .....                               | 37 |
| Figure III-7 : circuit de réinitialisation du pic .....                     | 38 |
| Figure III-8 : Principe de conversion analogique / numérique .....          | 38 |
| Figure III-9: Clavier matriciel 4*4 .....                                   | 39 |
| Figure III-10: Schéma de connexion du clavier .....                         | 39 |
| Figure III-11: Afficheur LCD 2*16 .....                                     | 40 |
| Figure III-12 : Schéma de connexion de l'afficheur LCD .....                | 40 |
| Figure III-13 : Schéma de connexion du port série RS232 .....               | 41 |
| Figure III-14: Schéma synoptique de la carte commande.....                  | 41 |
| Figure III-15: Schéma électrique de la carte commande.....                  | 42 |
| Figure III-16 : Circuit électrique de la carte commande .....               | 42 |
| Figure III-17 : Typon de la carte commande.....                             | 43 |

# Liste des figures

---

|  |    |
|--|----|
| Figure III-18: Schéma électrique de la carte de puissance.....         | 44 |
| Figure III-19 : Circuit électrique de la carte puissance .....         | 44 |
| Figure III-20: Typon de la carte puissance.....                        | 45 |
| Figure III-21 : Schéma électrique de la partie alimentation.....       | 45 |
| Figure III-22: Circuit d'implémentation de la carte alimentation ..... | 46 |
| Figure III-23 : Typon de la carte d'alimentation.....                  | 46 |
| Figure III-24 :Ares Proteus .....                                      | 47 |
| Figure III-25: CCS PIC C compiler .....                                | 49 |
| Figure III-26 : PIC C Compiler .....                                   | 49 |
| Figure III-27 : Fenêtre de création d'un nouveau projet .....          | 49 |
| Figure III-28: Configuration du PIC. ....                              | 50 |
| Figure III-29: Compilation du programme.....                           | 51 |
| Figure III-30: Win PIC 800.....  | 52 |
| Figure III-31 : Programmeur .....                                      | 52 |

# Introduction générale

# Introduction générale

---

## Introduction générale

Les régulateurs Proportionnel Intégrale Dérivé dits PID répondent à plus du 90% des besoins industriels et le nombre de régulateurs installés dans une usine pétrolière, par exemple, se compte par milliers.

Malheureusement, malgré l'expérience acquise au fil des ans, les valeurs choisies pour les paramètres P, I et D ne sont pas toujours satisfaisantes, ni adaptées au processus à régler.

L'histoire des régulateurs est déjà longue et il peut être intéressant de rappeler quelques étapes importantes. Les premiers régulateurs apparaissent vers 1750 pour régler la vitesse des moulins à vent, suivi en 1788 du fameux contrôleur de vitesse d'une machine à vapeur de James Watt.

En 1942, Ziegler et Nichols [1] ont proposé deux démarches permettant de trouver facilement les paramètres optimums pour une installation donnée. Au fil des ans, les propositions de Ziegler et Nichols ont été adaptées ou modifiées selon les besoins.

Au début des années 1990 et dans le but de fournir des règles d'ajustement simples mais plus performantes que celles de Ziegler-Nichols, Åström et ses collaborateurs ont analysé le comportement dynamique d'un grand nombre de processus. Cette analyse a conduit à l'établissement de tableaux servant aux calculs des paramètres P, I et D à partir de mesures simples.

La raffinerie d'Alger qui est un complexe pétrolier construit par une société française est un exemple d'installation commandée par des régulateurs P.I.D. Dans cette installation les régulateurs de marque dite ABB [2] sont utilisés. ABB résulte de la fusion en 1988 des sociétés ASEA Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget et Brown, Boveri & Cie .

L'avantage de ces régulateurs réside dans la réduction de la consommation d'énergie. Ils participent à la qualité de production industrielle, tels que les chaudières, fours industriels, la distribution du solvant lourd et léger, et dans bien d'autres secteurs d'activité.

## Introduction générale

---

L'inconvénient de ces régulateurs, en cas de panne l'utilisateur ne peut pas accéder au programme pour le configurer, car chaque régulateur a été conçu pour une tâche spécifique, on peut citer la régulation de niveau, débit, température ... etc. En plus, on peut citer l'inconvénient de la difficulté de faire la maintenance et la programmation de ce type de régulateur.

Notre projet de fin d'étude consiste à concevoir et à réaliser un régulateur de même fonctionnalité mais facile à programmer et à maintenir. Pour ce faire notre régulateur est construit autour d'un microcontrôleur PIC16f877a qui présente un nombre important de ports d'entrée sortie et un espace mémoire très suffisant.

Notre mémoire est structuré comme suit :

- Dans le premier chapitre, nous allons commencer par la présentation de la raffinerie d'Alger et ces différentes installations.
- Dans le second chapitre, nous allons présenter quelques notions sur la régulation analogique et numérique.
- Le troisième chapitre est consacré à la conception électronique et les outils logiciels utilisés lors de la conception du régulateur PID.
- Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion générale et quelques perspectives

# Chapitre I : Présentation de la raffinerie d'Alger

**I-1 Introduction :**

La raffinerie d'Alger est le premier complexe pétrolier construit en Algérie par la société française nommée FOSTER –WEELKER France.

Cette raffinerie a pour objectif de traiter le pétrole brut de Hassi-Messaoud seul ou en mélange, avec des proportions variables, avec le condensât de Hassi-R'mel.

Le projet de la raffinerie d'Alger a été lancé en Décembre 1959 et sa mise en service a eut lieu le 15 Février 1964.

Ce complexe est situé à 20 Km au sud d'Alger et occupe un terrain d'une superficie de 180 Hectares.

La raffinerie est alimentée en pétrole brut par un oléoduc piqué au niveau de Beni – Manssour sur le pipe reliant Hassi-Messaoud à Bejaia.

**I-2 Les différentes installations de la raffinerie d'Alger [3]:**

La raffinerie d'Alger comporte les installations principales suivantes :

- Unité de distillation atmosphérique \*unité 100\*.
- Unité de reforming catalytique \*unité 200\*.
- Unité de gaz plant \*unité 300\*.
- Unité de mélange -ETHYLATION- pour la fabrication des essences (normal et super).
- Une salle de contrôle.
- Une centrale Thermoélectrique.
- Un laboratoire.

**I-2-1 Unité de distillation atmosphérique [4]:**

Cette unité, appelée aussi unité 100, permet le fonctionnement du brut en produits suivants :

- Un mélange d'hydrocarbures légers qui, après traitement à l'unité 300 donnera :
  - Des gaz incondensables (C1/C2), brûlés dans les fours de la raffinerie.
  - Gaz liquéfié de pétrole GPL : Propane et Butane commerciaux.
- L'essence légère, entrant dans la constitution de la carburante auto.
- Un solvant léger et lourd, alimentant l'unité de platforming (unité 200).
- Le Kérosène, fournissant les produits commerciaux : pétrole lampant et l'aéro-carburant.

- Un gasoil lourd, entrant dans la constitution du gasoil moteur et des fuels.
- Un résidu de distillation, matière de base pour la constitution des fuels légers et lourds.

### **I-2-2 Unité de reforming catalytique :**

Cette unité appelée aussi unité 200, assure la production d'essence à haut indice d'octane à partir de solvant fractionné dans la section précédente de distillation atmosphérique (unité 100).

Le réformât produit est utilisé comme constituant de base pour la fabrication de carburant auto normal et super. Les gaz liquéfiés obtenus comme sous produits des réactions de reforming sont envoyés à l'unité 300(Gaz-Plant).

Cette unité à lit catalytique fixe comprend une section de prétraitement du solvant servant de chargé à l'unité de reforming proprement dit et un réacteur de garde pour réduire la charge et empêcher l'empoisonnement du catalyseur.

### **I-2-3 Unité de gaz plant :**

Cette unité appelée aussi unité 300, permet la séparation et les traitements des gaz liquéfiés, elle été dimensionnée pour traiter le produit pur liquéfiable venant des accumulateurs de tête des débutaniseurs de l'unité de distillation atmosphérique et de l'unité de reforming catalytique afin d'obtenir du propane et butane commerciaux.

### **I-2-4 Unité de mélange (ETHYLATION) :**

L'ethylation est une opération qui permet d'obtenir l'essence normale et super par l'addition du PTE (Plomb Tetra Ethyl) au mélange platformat essence légère.

### **I-2-5 La salle de contrôle :**

Le nombre important d'appareils de mesure équipant une unité de raffinage a conduit à la nécessité de concentrer dans une salle de contrôle toutes les informations nécessaires ( $T^0$ ,P,Q,..) au bon fonctionnement de l'unité Centrale thermoélectrique .

Toutes les boucles de régulation qu'elles soient simples ou en cascade sont gérées par des régulateurs IM C505-F ABB dans la salle de contrôle.



Figure I-1 : Régulateur ABB IM C505-F

### **I-2-6 Le laboratoire :**

La raffinerie possède un laboratoire de contrôle où sont effectués sur les différents produits intermédiaire ou finis un certain nombre de tests classiques qui ont pour but de contrôler les spécifications des produits pétroliers selon les normes.

### **I-3 Description de l'unité 100 :**

Elle se compose des circuits essentiels suivants :

#### **I-3-1 Le circuit de brut :**

Il se compose de deux parties :

- Le circuit de brut depuis la pompe d'alimentation de l'unité jusqu'au ballon flash D102.
- Le circuit de brut flash depuis le ballon jusqu'au four F101.

Le brut est stocké dans trois réservoirs à toit flottant de 35.000 m<sup>3</sup> chacun : A301, A 302, A 303.

La pompe de l'alimentation P 101 refoule le brut à l'unité à travers un circuit d'échangeur E 101 en deux passes parallèles E 101 C.B.A et E 101 F.E.D.

Où il est réchauffé par échange avec le reflux circulant de tête (RT).

A la sortie de les échangeurs E101 les deux circuits se réunissent pour entrer dans le dessaleur électrostatique D101 afin d'éliminer les sels contenus dans le brut et éviter la corrosion et le bouchage des faisceaux des échangeurs.

Le brut passe ensuite dans les échangeurs E102 C.B.A qui élève la température du brut de 110 C° à 160 C° par échange avec le reflux circulant intermédiaire (RI) de la colonne C 101, avant son entrée dans le ballon flash D102.

Les fractions légères et l'eau entraînées par le brut se vaporisent et sortent en tête du ballon D102 pour être réinjectées dans le brut à la sortie du four F101. La fraction non vaporisée du brut tombe au fond du ballon D102, on l'appelle brut flashé.

La pompe P102A reprend le brut flashé du ballon D102 et le refoule à travers un circuit d'échangeurs avant l'entrée au four F101.

Ces échangeurs sont parcourus par des produits à refroidir comme suite :

| <b>Echangeur</b>   | <b>Fluide froid</b> | <b>Fluide chaud</b>             |
|--------------------|---------------------|---------------------------------|
| <b>E103</b>        | <b>Brut</b>         | <b>Kérosène</b>                 |
| <b>E104</b>        | <b>Brut</b>         | <b>Gasol lourd</b>              |
| <b>E105 A et B</b> | <b>Brut</b>         | <b>Gasol léger</b>              |
| <b>E106</b>        | <b>Brut</b>         | <b>Reflux intermédiaires RI</b> |
| <b>E107 A et B</b> | <b>Brut</b>         | <b>résidu</b>                   |

A la sortie des E107 (A et B).le brut flashé est à 220 C° environ. Avant l'entrée au four le courant du brut flashé se divise en huit circuits parallèles à l'intérieur des quelles le débit est maintenu constant.

### **I-3-2 Four F101 :**

L'entrée du brut flashé dans la zone de convection se fait donc en huit passes.

Après cinq rangées dans cette zone, les huit circuits sont réunis deux par deux par deux pour former quatre passes .deux dans la chambre de radiation droite et deux dans la chambre de radiation gauche.

Dans chaque chambre, les deux passes se séparent sous le toit du four et descendent chacune le long d'un deux murs verticaux pour se réunir à la sortie du four. Les circuits se réunissent ensuite en une seule ligne. Qui recevra avant l'entrée dans la colonne C101 les produits légers venant du ballon D102.

**I-3-2 La colonne de distillation C 101 :****I-3-2-1 Le circuit résidu :**

Le résidu s'écoule sur six plateaux N° (1-6) et on injecte au fond de la colonne de la vapeur d'eau surchauffée qui joue le rôle de fluide d'entraînement.

La pompe P101 refoule le résidu à travers une série d'échangeurs ou les calories disponibles sont utilisées au rebouillage est à la préchauffe des produits les plus froids.

- E110 : rebouilleur du strippeur C.103 A du solvant lourd.
- E117 : rebouilleur du strippeur 102 du kérosène.
- E107 A et B : préchauffeurs de brut avant son entrée au four.

Il passe ensuite dans les aéroréfrigérants E 116 AR, d'où il sort à une température de 70°C environ. Puis le résidu est acheminé au stockage, mélangé avec le gasoil lourd pour constituer le fuel lourd ou mélangé avec les gasoils lourds et légers pour constituer le fuel léger.

**I-3-2-2 Le circuit gasoil lourd :**

C'est le premier soutirage situé au dessus de la zone d'expansion au plateau N°11 où le liquide s'écoule par gravité sur plateau collecteur vers le strippeur C 103. Cet appareil possède cinq plateaux à clapets, le stripping est réalisé par injection de vapeur basse pression surchauffée sous le plateau inférieur N°1.

Les vapeurs sortent de la tête du strippeur et retournent dans la colonne C 101 au dessus du plateau N°12.

Le gasoil lourd strippé s'accumule au fond du stripper, d'où il est repris par la pompe P112 puis refroidie dans l'échangeur E104 par échange avec le brut et envoyé ensuite dans le sécheur sous vide C 103 B ou l'eau restée dissoute après stripping à la vapeur, est évaporisée sous vide.

Ce gasoil lourd séché qui se ressemble au fond de sécheur C 103B est repris par la pompe P 109 puis refoulé vers l'aéroréfrigérant E 115AR.

A la sortie de cet aéroréfrigérant, le gasoil lourd est à température de 50°C.

**I-3-2-3 Le circuit gasoil léger :**

Ce gasoil est soutiré des plateaux N°17 ou 19 et s'écoule par gravité vers le strippeur C 102, qui est analogue au strippeur C 103C.

Le strippeur C 102 est réalisé par injection de vapeur surchauffée. Les vapeurs qui sortent en tête du strippeur retournent dans la colonne C 101 au dessus du plateau N°20.

Le gasoil léger strippé est refroidi dans les échangeurs E 105 A et B de 195 à 305°C, par échange de calories avec le brut flashé puis envoyé vers le sécheur sous vide C 102B.

Cet appareil est identique au C 103B le gasoil léger séché est repris dans la pompe P 108 et envoyé vers l'échangeur E 120 puis vers le stockage.

**I-3-2-4 Le circuit kérosène :**

Le kérosène est soutiré de la colonne au niveau des plateaux N°25 ou 27 il est en suite strippé dans le strippeur C 102A. Ce strippeur est équipé de huit 8 plateaux.

Le stripping est réalisé, non pas par l'injection de la vapeur mais à l'aide d'un rebouilleur E 117 ou circule le résidu à 340°C cette température étant suffisante pour vaporiser les têtes de kérosène.

Le liquide arrivant sur le plateau N°1 du strippeur C 102A passe ensuite dans le rebouilleur E 117, se réchauffe puis retourne au strippeur sous plateau N°1 et s'accumule au fond de strippeur, tandis que les fonctions légères vaporisées gagnent le sommet et rentrent dans la colonne C 101 au dessus du plateau N°28.

La partie kérosène strippée est reprise par la pompe P 107(A et B) qu'elle refoule dans l'échangeur E 103, ou elle réchauffe le brut flashé une autre partie peut être envoyée vers le rebouilleur E 304 de l'unité 300.

La totalité du kérosène passe ensuite dans l'aéroréfrigérant E 113AR et le réfrigérant à eau E 113 avant d'être expédiée à 40°C aux réservoirs de stockages C6,B6,C7 et B1.

**I-3-2-5 Le circuit solvant lourd :**

Le solvant lourd soutiré aux plateaux N°37 ou 39 est traité de la même façon que le kérosène.

Il est strippé dans le strippeur C 103A identique au C 102A.

Les vapeurs de tête strippés retournent à la même colonne C 101 au dessus du plateau N°40, le stripping étant réalisé par l'intermédiaire du rebouilleur E 110.

Le solvant lourd strippé est repris par la pompe P 106 et refoulé dans l'aéroréfrigérant E 112AR et le réfrigérant E 112 d'où il sort à 40°C, il est envoyé au réservoir de stockage A 104 seul ou mélangé en ligne avec le solvant léger pour alimenter par la suite le platformig (U 200).

Circuit des vapeurs de tete de la colonne C 101 :

Les vapeurs sortant en tete de la colonne C 101 sont un mélange contenant :

- L'essence total (essence léger, solvant léger).
- Le butane, le propane et les gaz plus légers incondensables.
- La vapeur d'eau utilisée pour stripping.

Elles sortent de la colonne sous une pression de 1,2 bar à une température d'environ 105 °C et traversent une série d'aéroréfrigérants E 109 AR puis deux réfrigérants à eau disposés en parallèle E 109 A et B avant d'arriver au ballon D 101 à une température de 40°C.

Les hydrocarbures (sauf méthane et l'éthane) sont alors condensés de même que la vapeur d'eau.

Dans le ballon D 101 (accumulateur de tete) deux couches se séparent :

- l'eau qui s'accumule dans l'appendice du ballon et ensuite il est évacué ensuite à l'égout.
- les hydrocarbures présents dans l'accumulateur au dessus de la couche d'eau sont repris par la pompe P11 sont refoulés dans les échangeurs E 118 et 119 d'où ils sortent à 85°C, puis à travers le E 120.

Les hydrocarbures essence SR, solvant léger, GPL sont ensuite envoyés dans la colonne de débutanisation C 104.

#### **I-3-2-6 Reflux inférieur (fond) :**

Ce reflux est prélevé sur le soutirage de gasoil léger allant au strippeur C 102C par la pompe P 105 qui refoule dans deux directions :

- vers les rebouilleurs de la colonne de débutanisation C 104,E 121 A et B.
- vers l'échangeur E 106 ou le brut flashé est préchauffé par le reflux.

Ces deux circuits se réunissent pour retourner dans la colonne C 101 au-dessus du plateau N°20.

**I-3-2-7 Reflux intermédiaire :**

Le reflux est soutiré au plateau N°34 refroidi dans les échangeurs E 102 A, B et C puis repris par la pompe P 104. il est ensuite envoyé vers la colonne C 101 au-dessus du plateau N°35.

**I-3-2-8 Reflux de tête RT :**

Ce reflux est soutiré au plateau N°47 refroidi dans deux circuits parallèles par les échangeurs E101 D, E et F d'une part et E101 A, B et C d'autre part où il cède ses calories au brut venant de la pompe P 101 de l'alimentation A, B et C.

Le reflux est repris par la pompe P 103 A, B et refoulé dans l'aéroréfrigérant E 108 AR il est ensuite renvoyé sur le plateau de tête N°49 et permet de régler la température de tête de colonne C 101.

**I-3-3 La colonne de débutanisation C104 :**

Cette colonne appelée aussi débutaniseur est équipée de 39 plateaux à clapets.

Après condensation les vapeurs de tête de colonne C 101 (constituées essentiellement d'essence totale, de butane, de propane et de gaz incondensables) s'accumulent dans le ballon D 101 formant ainsi la charge de la section stabilisation (débutanisation et redistillation).

L'alimentation de la colonne C 104 peut se faire au niveau de plateau N°20, après avoir refoulé par la pompe P 111 en traversant les échangeurs E 118, E 119 et E120.

Le rôle du débutaniseur (C 104) est de séparer les gaz butane, propane et les gaz incondensables le distillat du ballon D 113 s'accumule ou une partie de LGP est expédiée au stockage alors que l'autre partie sert de reflux.

Le résidu forme d'essence totale dite stabilisée qui est le fond de la colonne C 104 à une température voisine de 200 °C, cette température est maintenue par l'intermédiaire de deux rebouilleurs E 121 A et B, ce résidu alimente la colonne de redistillation C 105 pour être fractionné en essence légère et en solvant léger.

**I-3-4 La colonne de redistillation C 105 :**

Cette colonne de redistillation est équipée de 24 plateaux à clapet.

Son rôle est de fractionner la charge en essence légère aussi essence SR servant de base pour le carburant auto et solvant léger.

Les vapeurs d'essences légères se condensent à travers l'aéroréfrigérant E 124AR s'accumulent dans le ballon D 104.

Une partie de cette essence est réinjectée dans la colonne servant ainsi de reflux, tandis que l'autre partie est expédiée au stockage.

Le résidu formé de solvant léger quitte le fond de colonne C 105 à une température voisine de 120°C puis passe à travers l'échangeur E 118, l'aéroréfrigérant E 127AR et le condenseur à eau E 127, qui sert comme l'alimentation de l'unité 200 de platforming.

#### **I-4 Configuration du réseau électrique :**

Le réseau électrique de RA1G est constitué de plusieurs postes (1, 11, 12, 131, 132, 1311).

Il faut savoir que RA1G possède actuellement deux points d'alimentation :

- Une alimentation depuis le réseau de distribution SONELGAZ en 63kV 50 par une ligne aérienne, comportant :
  - un disjoncteur de protection.
  - un transformateur 63kV/5,5kV d'une puissance de 8000kVA.
  
- une alimentation autonome par un Groupe Turbo Alternateur d'une puissance de 6MW.

L'ensemble de la Raffinerie est alimenté en 5,5kV depuis un tableau général de distribution (TGD) situé dans le **poste 1**. Il a pour fonction l'alimentation des autres postes. Ce tableau est alimenté d'une part par le réseau SONELGAZ à travers un transformateur 63kV/5,5kV, et d'autre part par le GTA. Chaque source aboutit sur une tranches (E, C) qui sont à leur tour couplé à travers un disjoncteur de couplage. Le poste 1 est équipé de deux bobines FALLOU destinées à fixer le régime du neutre de l'installation électrique.

##### **I-4-1 Poste 11 :**

Ayant pour fonction l'alimentation des utilités de la raffinerie Ce poste est composé de:

- D'un tableau 5,5kv de type débrochable. Il est destiné à alimenter les moteurs 5.5kV des utilités ainsi que le tableau basse tension du poste au travers de transformateurs.

- D'un tableau basse tension de type débrochable alimenté depuis le tableau 5,5kV du poste 11 au travers de deux transformateurs 5,5kV/380V.
- D'un tableau basse tension. Ce tableau est alimenté depuis le tableau basse tension au travers de deux arrivées à permutation automatique. Il est également alimenté en secours, au travers d'une troisième arrivée, depuis un groupe électrogène de secours à démarrage automatique.
- D'un tableau basse tension « éclairage » de type fixe.
- Deux chargeurs de batterie (125 et 48 V) destinés à l'alimentation des circuits de commande.

**I-4 -2 Poste 12 :**

Ayant pour fonction principale d'alimenter les unités de production Ce poste est composé de :

- D'un tableau 5,5kv de type débrochable. Il est destiné à alimenter les moteurs 5.5kV des unités de production ainsi que les tableaux basse tension de ces mêmes unités au travers de transformateurs.
- D'un tableau basse tension de type débrochable, destiné à alimenter l'unité 100.
- D'un tableau basse tension « Tableau général de distribution » de type débrochable destiné à alimenter les tableaux basse tension suivants :
  - le tableau basse tension destiné à alimenter l'unité 200.
  - le tableau basse tension destiné à alimenter l'unité 300.
  - le tableau basse tension destiné à alimenter l'éclairage.
- Deux chargeurs de batterie (125 et 48 V) destinés à l'alimentation des circuits de commande.

**I-4-3 Poste 131 :**

Ayant pour fonction principale d'alimenter la pomperie de mouvement de produits et d'expédition Ce poste est composé de :

- D'un tableau 5,5kv de type débrochable. Il est destiné à alimenter les moteurs 5.5kV de la pomperie d'expédition ainsi que le tableau basse tension de cette même pomperie au travers d'un transformateur.

Ce tableau reçoit également une alimentation issue du poste 132.

- D'un tableau basse tension destiné à alimenter la pomperie.

#### **I-4-3 Poste 132 :**

Ayant pour fonction principale d'alimenter la pomperie Incendie, la zone de stockage GPL (pompes, rampe) ainsi que les bâtiments administratifs .Ce poste est composé de :

- D'un tableau 5,5kv de type débrochable à un seul jeu de barres.

Ce tableau reçoit également une alimentation issue du poste 131.

- D'un chargeur de batterie 48 V destinés à l'alimentation des circuits de commande.

#### **I-4 -4 Le poste 1311 :**

Destiné principalement à alimenter les consommateurs du parc de stockage (hélicoagitateurs) Ce poste est composé de :

- D'un tableau basse tension de type fixe extérieur.

- D'un transformateur 5,5kV/380V – 400kVA.

#### **I-5 Conclusion :**

Les hydrocarbures restent la source d'énergie la plus utilisée pour le bon fonctionnement de l'économie mondiale et ils continueront de jouer un rôle stratégique tant que l'homme n'aura pas trouvé d'autres sources d'énergie en quantités suffisantes afin de subvenir aux besoins grandissant de l'humanité.

La raffinerie d'Alger est l'une des plus importantes industries pour l'économie nationale car elle couvre la région centre du pays avec ces différents produits finis ou semis finis.

# Chapitre II

## Régulation analogique et numérique

**II-1 Introduction:**

La régulation consiste à agir de façon à ce qu'une mesure soit égale à une consigne notée  $C$ . Si l'on cherche à atteindre une consigne (de position ou de température), on parlera de poursuite ou asservissement, si l'on cherche à éliminer des perturbations pour qu'une valeur reste constante (ex : garder la température intérieure de la voiture constante quelle que soit la température extérieure), on parlera de régulation.

La régulation est 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 survenir.

Un régulateur est un mécanisme automatique qui élabore un signal de commande noté  $U$  en fonction de l'écart de réglage  $M-C$  selon un algorithme (ou  $M$  est la grandeur mesurée).

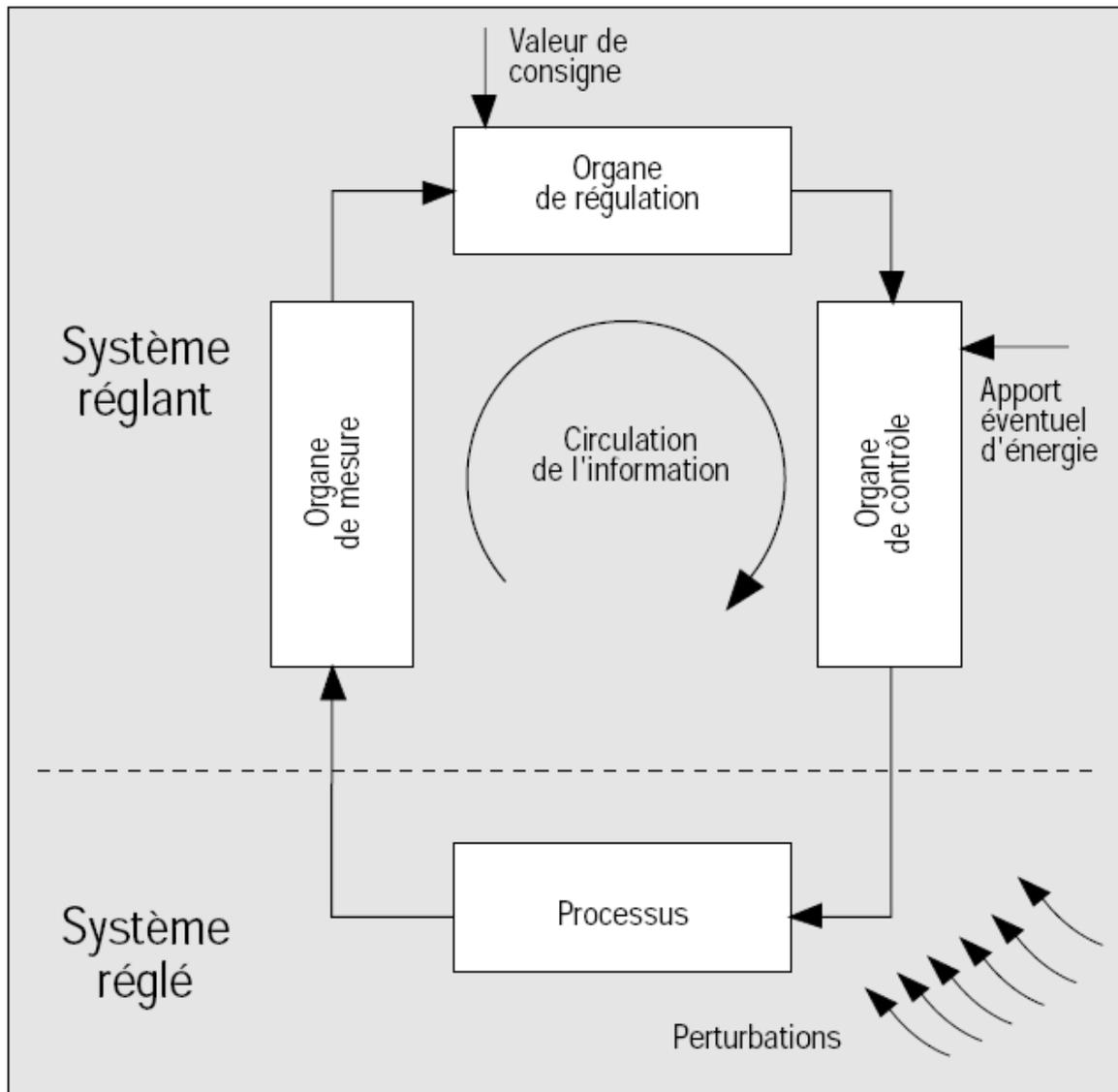
Depuis l'apparition et le développement des systèmes informatiques (microprocesseurs, micro-ordinateurs, microcontrôleurs), leur utilisation en commande et régulation des systèmes industriels ne cesse de s'accroître.

Ce développement résulte essentiellement de la souplesse de réalisation des régulateurs numériques : la mise au point et le réglage consistent essentiellement à déterminer les coefficients d'une équation dite équation récurrente, qui constitue le cœur d'un programme de calcul exécuté en boucle par un processeur. Le coût de développement et de maintenance d'un tel régulateur est donc nettement plus avantageux que la réalisation des cartes analogiques spécifiques, nécessaires à la réalisation de régulateurs analogiques.

**II-2 Régulation Analogique :****II-2-1 Principe général de la régulation analogique :**

Dans la plupart des appareils et installations industrielles, tertiaires et mêmes domestiques, il est nécessaire de maintenir des grandeurs physiques à des valeurs déterminées, en dépit des variations externes ou internes influant sur ces grandeurs. Le niveau d'un réservoir d'eau, la température d'une étuve, le débit d'une conduite de gaz, étant de nature variables, doivent donc être réglés par des actions convenables sur le processus considéré. Si les perturbations influant sur la grandeur à contrôler sont lentes ou négligeables, un simple réglage (dit en boucle ouverte) permet d'obtenir et de maintenir la valeur demandée (par exemple : action sur un robinet d'eau). Dans la majorité des cas, ce type de

réglage n'est pas suffisant, parce que trop grossier ou instable. Il faut alors comparer, en permanence, la valeur mesurée de la grandeur réglée à celle que l'on souhaite obtenir et agir en conséquence sur la grandeur d'action, dite grandeur réglante. On a, dans ce cas, constitué une boucle de régulation et plus généralement une boucle d'asservissement. Ceci est illustré par la figure ci-dessous. [4]



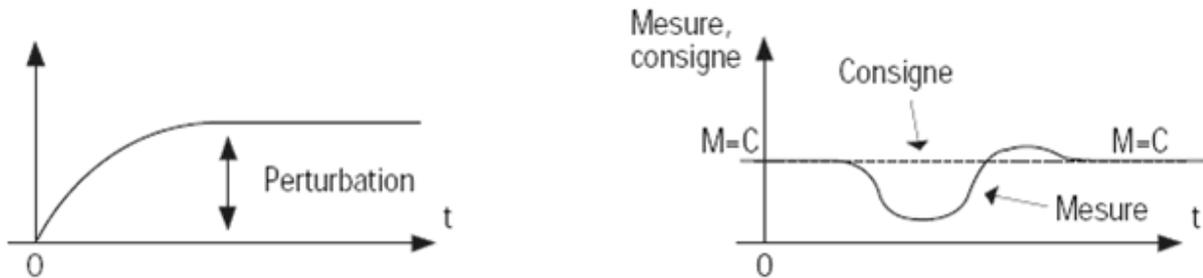
**Figure II-1 : Schéma de principe de la régulation analogique.**

Le choix des éléments de la chaîne de régulation est dicté par les caractéristiques du processus à contrôler, ce qui nécessite de bien connaître le processus en question et son comportement.

### **II-2-1-1 Comportement en régulation :**

La consigne est maintenue constante et il se produit sur le procédé une modification (ou une variation) d'une des entrées perturbatrices.

L'aspect régulation est considéré comme le plus important dans le milieu industriel, car les valeurs des consignes sont souvent fixes. Néanmoins, pour tester les performances et la qualité d'une boucle de régulation, on s'intéresse à l'aspect asservissement. (Voir la figure ci-dessous).

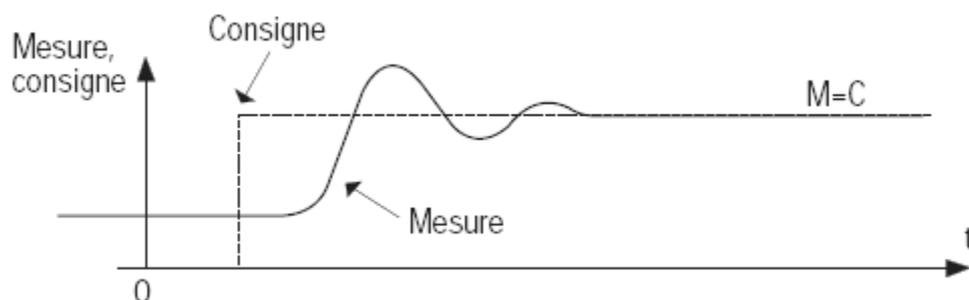


**Figure II-2 : Comportement en régulation**

### **II-2-1-2 Comportement en asservissement :**

L'opérateur effectue un changement de la valeur de la consigne, ce qui correspond à une modification du point de fonctionnement du processus.

Si le comportement en asservissement est correct, on démontre que la boucle de régulation réagit bien, même lorsqu'une perturbation se produit.



**Figure II-3 : Comportement en asservissement**

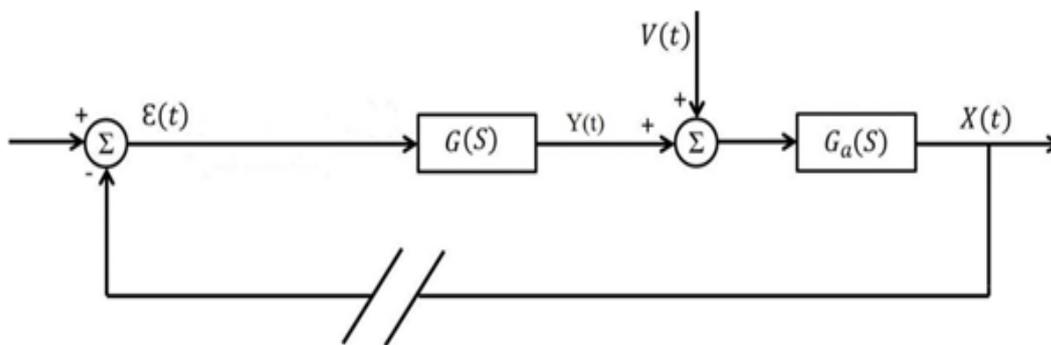
### **II-2-1-3 La régulation en boucle ouverte :**

Dans un asservissement en boucle ouverte, l'organe de contrôle ne réagit pas à travers le processus sur la grandeur mesurée (celle-ci n'est pas contrôlée). Une régulation en boucle ouverte ne peut être mise en œuvre que si l'on connaît la loi régissant le fonctionnement du processus (autrement dit, il faut connaître la corrélation entre la valeur mesurée et la grandeur réglant).

Contrairement à un asservissement en boucle fermée, un asservissement en boucle ouverte permet d'anticiper les phénomènes et d'obtenir des temps de réponse très courts. De plus, il n'y a pas

d'oscillation à craindre (car il s'agit d'un système dynamiquement stable). Enfin, l'asservissement en boucle ouverte est la seule solution envisageable lorsqu'il n'y a pas de contrôle final possible.

Au niveau des inconvénients, la régulation en boucle ouverte impose de connaître la loi régissant le fonctionnement du processus, et il est très fréquent que l'on ne connaisse pas la loi en question. Autre inconvénient sérieux, il n'y a aucun moyen de contrôler, à plus forte raison de compenser, les erreurs, les dérives, les accidents qui peuvent intervenir à l'intérieur de la boucle ; autrement dit, il n'y a pas de précision ni surtout de fidélité qui dépendent de la qualité intrinsèque des composants. Enfin, la régulation en boucle ouverte ne compense pas les facteurs perturbateurs. Ceci est illustré par la figure ci-dessous.



**Figure II-4 : Schéma générale d'une régulation en boucle ouverte**

#### II-2-1-4 La régulation en boucle fermée :

Dans ce qui vient d'être dit, la variable de sortie (de la chaîne de régulation), ou grandeur réglante, exerce une influence sur la valeur de la variable d'entrée (de la chaîne de régulation) ou variable contrôlée, pour la maintenir dans des limites définies : il s'agit d'une régulation ou d'un asservissement en boucle fermée.

L'action de la grandeur réglante sur la variable contrôlée s'opère à travers le "processus" qui boucle la chaîne.

Dans une régulation en boucle fermée, une bonne partie des facteurs perturbateurs sont automatiquement compensés par la contre-réaction à travers le procédé. Autre avantage, il n'est pas nécessaire de connaître avec précision les lois, le comportement des différents composants de la boucle, et notamment du processus, bien que la connaissance des allures statistiques et dynamiques des divers phénomènes rencontrés soit utile pour le choix des composants.

Parmi les inconvénients d'une régulation en boucle fermée, il faut citer le fait que la précision et la fidélité de la régulation dépendent de la fidélité et de la précision sur les valeurs mesurées et sur la consigne.

Autre inconvénient, sans doute plus important, le comportement dynamique de la boucle dépend des caractéristiques des différents composants de la boucle, et notamment du processus, en faite un mauvais choix de certains composants peut amener la boucle a entrer en oscillation.

Enfin, la régulation en boucle fermée n'anticipe pas. Pour que la régulation envoie une commande à l'organe de contrôle, il faut que les perturbations ou les éventuelles variations de la valeur de consigne se manifestent sur la sortie du processus : ceci peut exiger un délai parfois gênant. (Voir la figure ci-dessous).

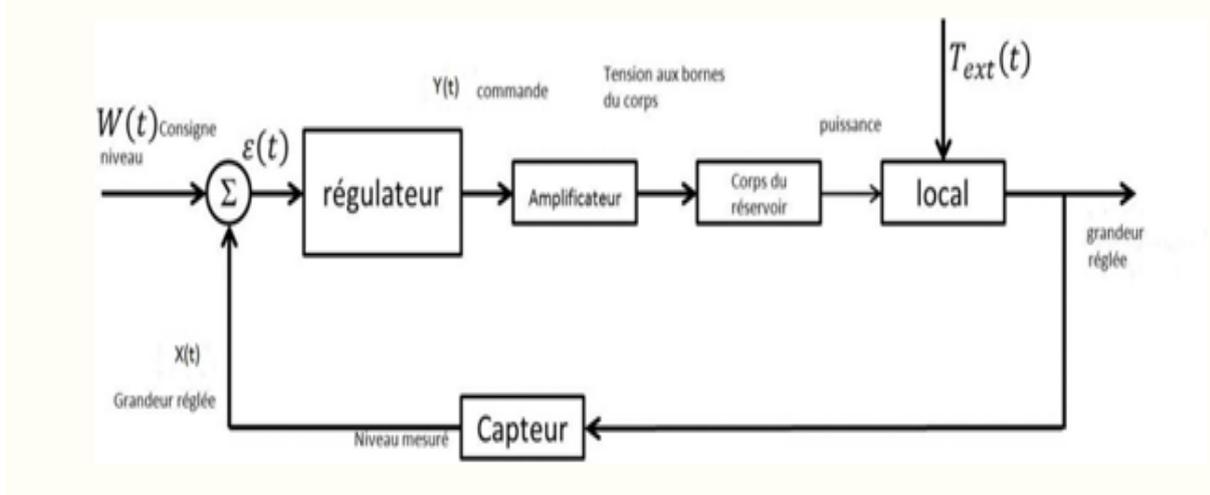


Figure II-5 : Schéma générale d'une régulation en boucle fermée

**II-2-1-5 Structure et comportement des processus :**

Si un processus possède une grandeur réglant U et une grandeur réglée S, son comportement peut être représenté soit par une équation différentielle reliant les valeurs de S et de U en fonction du temps, soit par une représentation dite fonction de transfert déduite de la transformation de Laplace appliquée à cette équation différentielle.

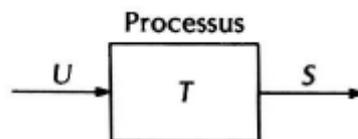


Figure II-6 : Représentation d'un processus

Dans ce dernier cas, le comportement du processus est décrit par la relation :

$$S(p) = T(p) U(p) \quad (1)$$

Dans laquelle  $T(p)$  est la fonction de transfert considérée,  $p$  la variable de Laplace. Toutefois, ces relations s'appliquent seulement à des systèmes dont les variables varient de manière continue, et dans lesquels une grandeur réglante  $U$  n'exerce son action que sur une seule grandeur réglée  $S$ , il s'agit donc de processus mono variables continus.

### II-2-2 Éléments constituant une boucle de régulation [5]:

Une boucle de régulation (Voir la figure ci-dessous) doit comporter au minimum les éléments suivants :

- Un capteur de mesure.
- Un transmetteur.
- Un régulateur.
- Un actionneur.
- Des convertisseurs.

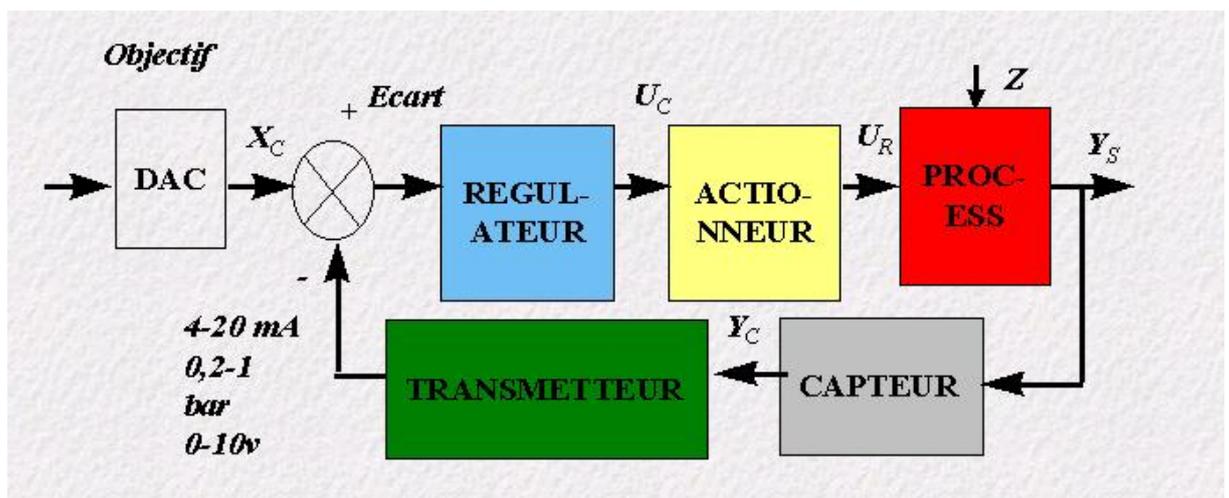


Figure II-7: Schéma de principe d'une boucle de régulation analogique

Yc : Mesure, elle provient du capteur (grandeur à régler), elle est normalisée (4 - 20 mA, 0,2 -1 bar, 0-10v).

Xc : Consigne externe (elle provient d'un instrument extérieur).

Uc : Sortie du régulateur, signal de commande, qui actionne l'organe de réglage (vanne par exemple).

Ys : La sortie du process.

Z : Perturbation externe.

Le régulateur reçoit deux informations :

- Le signal de mesure Yc provenant du capteur.
- la consigne Xc.

En fonction de l'écart entre ces deux valeurs et de l'algorithme de calcul pour lequel il a été configuré, il délivre un signal de sortie dirigé vers l'actionneur afin d'annuler cet écart et de ramener la mesure vers la valeur de consigne.

### **II-2-3 Les différents types des régulateurs analogiques :**

#### **II-2-3-1 Régulateur proportionnel :**

Le rôle de l'action proportionnelle est de minimiser l'écart entre la consigne et la mesure et elle réduit le temps de montée et le temps de réponse. On constate qu'une augmentation du gain  $K_c$  du régulateur entraîne une diminution de l'erreur statique et permet d'accélérer le comportement global de la boucle fermée. On tente de prendre des valeurs de gain élevées pour accélérer la réponse du procédé mais on est limité par la stabilité de la boucle fermée. En effet, une valeur trop élevée du gain augmente l'instabilité du système et donne lieu à des oscillations.

Le régulateur est à action proportionnelle si le signal de commande  $U(t)$  est proportionnel à l'écart  $\varepsilon(t)$ .

La description temporelle du régulateur proportionnel est alors la suivante :

$$U(t) = K_c * \varepsilon(t) \quad (2)$$

#### **II-2-3-2 L'action intégrale :**

L'action intégrale agit proportionnellement à la surface de l'écart entre la consigne et la mesure, et elle poursuit son action tant que cet écart n'est pas nul. On dit que l'action intégrale donne la précision statique (Elle annule l'erreur statique). L'action intégrale est conditionnée par le temps d'intégrale  $T_i$ .

Comme dans le cas de l'action proportionnelle, un dosage très important de l'action intégrale engendre une instabilité de la boucle de régulation. Pour son réglage, il faut la aussi trouver un compromis entre la stabilité et la rapidité.

L'ajout du terme intégral permet d'améliorer la précision mais en contrepartie, il introduit malheureusement un déphasage de  $(-\pi/2)$  ce qui risque de rendre le système instable du fait de la diminution de la marge de phase. [6]

Le régulateur est à action intégrale si le signal de commande  $U(t)$  est l'intégrale de l'écart  $\varepsilon(t)$ .

Donc la description temporelle du régulateur proportionnel est alors la suivante :

$$U(t) = \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau \quad (3)$$

$T_i$  : La constante d'intégration.

### II-2-3-3 L'action dérivée :

C'est une action  $U$  qui tient compte de la vitesse de variation de l'écart entre la consigne et la mesure, elle joue aussi un rôle stabilisateur, contrairement à l'action intégrale.

En effet, elle délivre une sortie variant proportionnellement à la variation de l'écart  $\varepsilon$

$$U(t) = T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \quad (4)$$

L'action dérivée va ainsi intervenir uniquement sur la variation de l'erreur ce qui augmente la rapidité du système (diminution des temps de réponses). L'action dérivée permet aussi d'augmenter la stabilité du système par apport de phase  $(+\pi/2)$  ce qui augmente la marge de phase). L'annulation de cette action en régime statique impose donc de ne jamais l'utiliser seule : l'action dérivée n'exerce qu'un complément à l'action proportionnelle. [7]

$T_d$  : La constante de dérivation.

**II-2-3-4 Le régulateur Proportionnel Intégral PI :**

Pour un régulateur intégral pur, le régime dynamique est relativement long. D'un autre côté, le régulateur proportionnel réagit immédiatement aux écarts de réglage mais il n'est pas en mesure de supprimer totalement l'erreur statique. La combinaison des actions proportionnelles et intégrales permet d'associer l'avantage du régulateur P, c'est-à-dire la réaction rapide à un écart de réglage, à l'avantage du régulateur I qui est l'élimination de l'écart statique.

La fonction de transfert du régulateur proportionnel intégral est alors la suivante :

$$C(p) = kc \left( 1 + \frac{1}{Ti p} \right) \quad (5)$$

**II-2-3-5 Le régulateur proportionnel dérivé PD :**

Il combine l'action proportionnelle et l'action dérivée. Cette forme de régulateur n'est pas réalisable, on donne sa fonction de transfert :

$$C(p) = Kc (1 + Td p) \quad (6)$$

**II-2-3-6 Régulateur Proportionnel Intégral Dérivée (P.I.D) :**

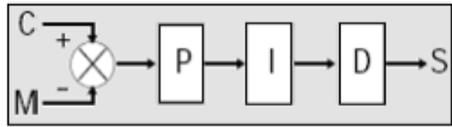
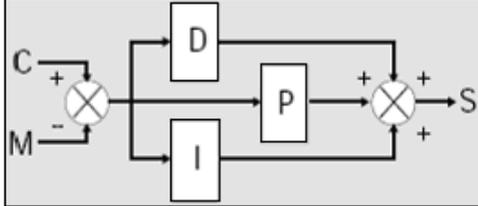
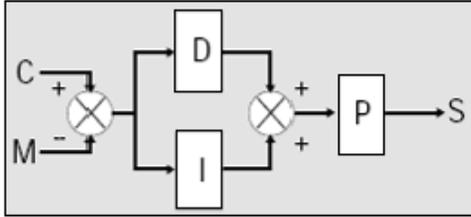
Par la présence de l'action intégrale, il permet d'annuler l'écart statique. La présence de l'action dérivée permet d'améliorer la stabilité et la rapidité du système.

On donne sa fonction de transfert :

$$c(p) = kc \left( 1 + \frac{1}{ti p} + td p \right) \quad (7)$$

**II-2-4 Différentes structures des régulateurs PID :**

Dans un régulateur PID, il existe plusieurs façons d'associer les paramètres P, I et D. en effet, le correcteur PID peut avoir une structure série, parallèle ou mixte, illustré dans le tableau suivant. (Voir le tableau II-1). [8]

| Structure du régulateur PID | Schéma et fonction de transfert   |
|-----------------------------|---|
| Série                       |  $K_p \left( \frac{T_i + T_d}{T_i} + \frac{1}{pT_i} + pT_d \right)$ |
| Parallèle                   |  $K_p + \frac{1}{pT_i} + pT_d$                                      |
| Mixte                       |  $K_p \left( 1 + \frac{1}{pT_i} + pT_d \right)$                    |

**Tableau II-1 : Différentes structures des régulateurs PID**

**II-3 Régulateurs numériques :**

Depuis l'apparition et le développement des systèmes informatiques (microprocesseurs, micro-ordinateurs, microcontrôleurs), leur utilisation en commande et régulation des systèmes industriels ne cesse de s'accroître.

Ce développement résulte essentiellement de la souplesse de réalisation des régulateurs numériques : la mise au point et le réglage consistent essentiellement à déterminer les coefficients d'une équation dite équation récurrente, qui constitue le cœur d'un programme de calcul exécuté en boucle par un processeur. Le coût de développement et de maintenance d'un tel régulateur est donc nettement plus avantageux que la réalisation de cartes analogiques spécifiques, nécessaires à la réalisation de régulateurs analogiques.

Cependant, le traitement numérique présente quelques différences importantes par rapport au traitement analogique: [9]

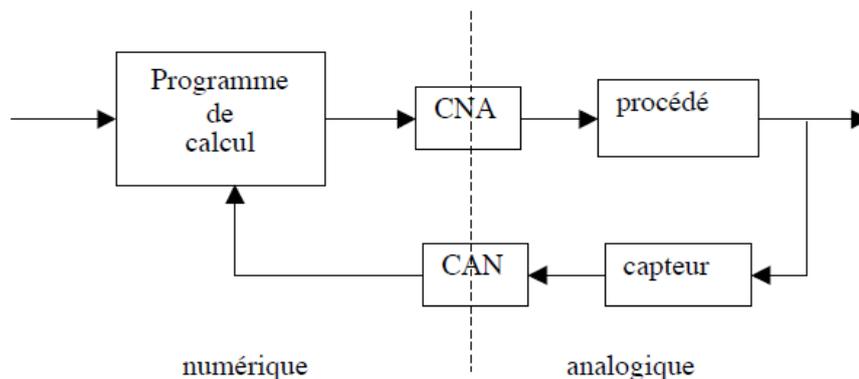
- Les valeurs des grandeurs physiques constituant les signaux analogiques doivent être représentés par des nombres.
- Les opérations numériques réalisées par le processeur ne se font pas instantanément: il faut donc introduire la prise en compte de la durée du calcul.

En fait, vu d'un calculateur numérique, le temps ne peut pas s'écouler de façon continue telle qu'on le perçoit dans le monde physique. Le temps se définit sur un ensemble discret (ensemble dénombrable, isomorphe à l'ensemble des entiers) d'instant : les instants d'échantillonnage, séparés par un intervalle de temps régulier : la période d'échantillonnage.

Il est donc nécessaire de définir des outils mathématiques nouveaux, adaptés au temps discret, pour représenter ces signaux et systèmes échantillonnés, puis d'adapter les outils et méthodes de l'automatique analogique (à temps continu) à la conception de régulateurs numériques.

### II-3-1 Schéma général :

La structure générale d'une boucle de régulation numérique est donnée par la figure suivante :



**Figure II-8 : Structure générale d'une régulation numérique**

### II-3-2 Les caractéristiques du régulateur PID numérique:

Le régulateur standard le plus utilisé dans l'industrie est le régulateur PID (Proportionnel Intégral Dérive), car il permet de régler à l'aide de ses trois paramètres les performances (amortissement, temps de réponse, ...) d'un processus modélisé par un deuxième ordre.

Nombreux sont les systèmes physiques qui, même en étant complexes, ont un comportement voisin de celui d'un deuxième ordre. Par conséquent, le régulateur PID est bien adapté à la plupart des processus de type industriel et est relativement robuste par rapport aux variations des paramètres du procédé, quand on n'est pas trop exigeant sur les performances de la boucle fermée par rapport à celles de la boucle ouverte (par exemple, accélération très importante de la réponse ou augmentation très importante de l'amortissement en boucle fermée). [10]

Si la dynamique dominante du système est supérieure à un deuxième ordre, ou si le système contient un retard important ou plusieurs modes oscillants, le régulateur PID n'est plus adéquat et un régulateur plus complexe (avec plus de paramètres) doit être utilisé, au dépend de la sensibilité aux variations des paramètres du procédé. [11]

### **II-3-3 Différences avec la régulation analogique :**

- Signal mesuré échantillonné et quantifié par un convertisseur analogique/ numérique ("Analog to digital converter" ou "A/D converter")
- Signal réglant fourni sous la forme d'une suite de nombres : obtention d'une tension de commande par un convertisseur numérique/analogique ("Digital to analog converter" ou "D/A converter") → signal de commande résultant constant sur la période d'échantillonnage

#### **II-3-3-1 L'acquisition :**

La mesure se présente devant la carte d'entrée de l'automate sous la forme d'un signal continu compris entre deux bornes. Il faut une cohérence entre la carte d'entrée et la façon dont est transporté le signal.

La valeur fournie par le capteur transmetteur est une valeur continue. Comme l'automate travaille en numérique, il est donc nécessaire de transformer cette valeur continue en valeur discrète.

Cette conversion se fait sous deux dimensions :

- Échantillonnage : nous ne prenons la mesure que de temps en temps,
- Quantification : nous n'avons pour ranger la mesure qu'un certain nombre de bits.

#### **II-3-3-2 L'échantillonnage :**

La valeur fournie par le capteur est mesurée de manière régulière suivant une fréquence, qui peut correspondre au temps de cycle de l'automate.

Entre deux échantillonnages, la mesure considérée a une valeur fixe égale à la valeur prise lors de l'échantillonnage. Selon le théorème de Shannon, la connaissance d'un signal implique que l'échantillonnage s'effectue à une fréquence double de la fréquence du signal à étudier.

En général, les mesures sont échantillonnées suivant le temps de cycle de l'automate qui est suffisamment rapide face aux fréquences des signaux à traiter dans les procédés.

### II-3-3-3 La quantification :

C'est une opération mathématique visant à affecter à un signal analogique – un nombre fini de symboles. Car un signal analogique par définition a une infinité de valeurs différentes (puisque c'est un signal continu) et la quantification justement permet de remplacer cette infinité de valeurs par un nombre fini de valeurs.

C'est aussi ce qu'on appelle une **numérisation** (passage de l'espace continue à l'espace discrétisé d'un signal) ou bien encore une **CAN (conversion analogique-numérique)** qui d'ailleurs est une des applications la plus courante de la quantification. (Voir la figure ci-dessous).

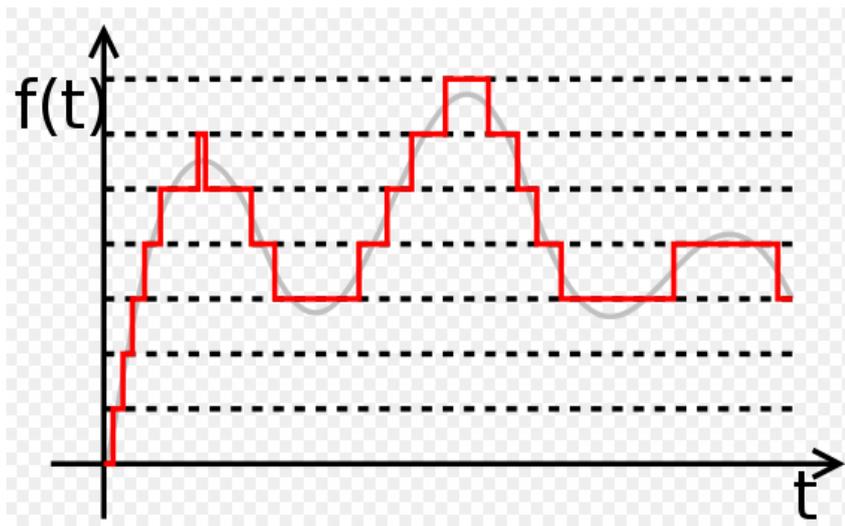


Figure II-9: Exemple de quantification

### II-3-4 Les différentes actions PID numériques :

En pratique, à une catégorie donnée de systèmes à asservir correspond un type de correcteur adopté. Pour effectuer un choix judicieux, il faut connaître les effets des différentes actions : proportionnelle, intégrale et dérivée. [12]

**II-3-4-1 L'action proportionnelle :**

Dans le cas discret, la sortie du régulateur est déduite à partir de la relation (2) :

$$u(k) = kc * \varepsilon(k) \quad (8)$$

$K_p$  est le coefficient de proportionnalité de l'erreur à régler de façon manuelle.

**II-3-4-2 L'action dérivée :**

Elle délivre une sortie variant proportionnellement à la vitesse de variation de l'écart  $\varepsilon$ .

Dans le cas discret, à partir de la formule (4) on a :

$$u(k) = \frac{td}{te} (\varepsilon(k) - \varepsilon(k - 1)) \quad (9)$$

**II-3-4-3 L'action intégrale :**

Pour le cas discret, à partir de la formule (3), on aura :

$$u(n) = \frac{te}{ti} \sum_{k=0}^n \varepsilon(k) = u(n - 1) + \frac{te}{ti} \varepsilon(n) \quad (10)$$

**II-3-5 Les différents types de régulateurs numériques :****II-3-5-1 Le régulateur proportionnel :**

Le régulateur proportionnel permet d'améliorer le temps de réponse du système. La commande de ce régulateur est proportionnelle à l'erreur.

**Commande =  $K_c$  \* erreur**

**II-3-5-2 Le régulateur Proportionnel Dérivée PD :**

La commande de ce régulateur est proportionnelle à l'erreur, mais aussi proportionnelle à la dérivée de l'erreur. La dérivée de l'erreur correspond à la variation de l'erreur d'un échantillon à l'autre et se calcule simplement en faisant la différence entre l'erreur courante et l'erreur précédente (c'est une approximation linéaire et locale de la dérivée).

$$\text{Commande} = K_c * \text{erreur} + T_d * (\text{erreur} - \text{erreur précédente})$$

$T_d$  est le coefficient de proportionnalité de la variation de l'erreur. Il faut régler ce coefficient manuellement.

### **II-3-5-3 Le régulateur Proportionnel Intégral PI :**

Pour un régulateur intégral pur, le régime dynamique est relativement long. D'un autre côté, le régulateur proportionnel réagit immédiatement aux écarts de réglage mais il n'est pas en mesure de supprimer totalement l'erreur statique. La combinaison des actions proportionnelles et intégrales permet d'associer l'avantage du régulateur P, c'est-à-dire la réaction rapide à un écart de réglage, à l'avantage du régulateur I qui est la compensation exacte de la grandeur pilote.

La commande de ce régulateur est proportionnelle à l'erreur, mais aussi proportionnelle à l'intégrale de l'erreur. On rajoute donc à la commande générée par le régulateur proportionnel, la somme des erreurs commises au cours du temps.

On donne l'algorithme de commande du régulateur PI :

$$\text{Commande} = K_c * \text{erreur} + T_i * \text{somme des erreurs}$$

### **II-3-5-4 Régulateur Proportionnel Intégral Dérivée PID :**

L'action conjuguée PID permet une régulation optimale en associant les avantages de chaque action : la composante P réagit à l'apparition d'un écart de réglage, la composante D s'oppose aux variations de la grandeur réglée et stabilise la boucle de régulation et la composante I élimine l'erreur statique. Et c'est pour cela que ce type de régulateur est le plus utilisé en milieu industriel.

Un régulateur PID est obtenu par l'association de ces trois actions et il remplit essentiellement les trois fonctions suivantes :

- Il fournit un signal de commande en tenant compte de l'évolution du signal de sortie par rapport à la consigne.
- Il élimine l'erreur statique grâce au terme intégrateur.
- Il anticipe les variations de la sortie grâce au terme dérivateur

Les paramètres du régulateur PID sont le gain proportionnel  $Kp$ , le temps intégral  $Ti$  et le temps dérivatif  $Td$ , les temps étant exprimés en secondes.

Ici, la commande est à la fois proportionnelle à l'erreur, proportionnelle à la somme des erreurs et proportionnelle à la variation de l'erreur.

On donne l'algorithme de commande du régulateur PID :

$$\text{Commande} = Kc * \text{erreur} + Ti * \text{somme des erreurs} + Td * (\text{erreur} - \text{erreur précédente})$$

Vous devez donc faire une mesure sur votre système pour pouvoir calculer l'erreur et ainsi appliquer le PID. Cette mesure est à faire régulièrement à une certaine fréquence d'échantillonnage.

Tous les x millisecondes, calculez :

- Erreur = consigne – mesure.
- Somme des erreurs = erreur + somme des erreurs.
- Variation d'erreur = erreur - erreur précédente.
- Commande = KP\* erreur + TI \* somme des erreurs + TD \* variation d'erreurs.
- Erreur précédente = erreur.

L'équation générale du PID numérique :

$$u(k) = kc \varepsilon(k) + Ti \sum_{i=0}^n \varepsilon(k) + Td \frac{\varepsilon(k) - \varepsilon(k-1)}{\Delta} \quad (11)$$

### II-3-6 Comment régler les coefficients d'un PID :

Le réglage des coefficients  $Kp$ ,  $Ti$  et  $Td$  d'un PID peut se faire à la main par essais/erreurs. Tout d'abord, sachez qu'il ne sert à rien de vouloir régler les trois coefficients en même temps Il y a trop combinaisons possibles et trouver un triplet performant relèverait de l'exploit. Il vaut mieux y aller par étape.

- Tout d'abord, il faut mettre en place un simple régulateur proportionnel (les coefficients TI et TD sont donc nuls). Par essais/erreurs, il faut régler le coefficient  $K_p$  afin d'améliorer le temps de réponse du système. C'est-à-dire qu'il faut trouver un  $K_p$  qui permet au système de se rapprocher très vite de la consigne tout en faisant attention de garder la stabilité du système.
- Une fois ce coefficient réglé, on peut passer au coefficient  $T_i$ . Celui-là va permettre d'annuler l'erreur finale du système afin que celui-ci respecte exactement la consigne. Il faut donc régler  $T_i$  pour avoir une réponse exacte en peu de temps tout en essayant de minimiser les oscillations apportées par l'intégrateur.
- Enfin, on peut passer au dernier coefficient  $T_d$  qui permet de rendre le système plus stable. Son réglage permet donc de diminuer les oscillations.

### **II-3-7 Conclusion :**

La technologie numérique permet d'avoir une grande souplesse : opération arithmétique, auto ajustage des coefficients, possibilité d'émettre ou de recevoir des données.

La différence fondamentale dans la présentation de ces régulateurs est un clavier opérateur, intégré ou indépendant (micro console), permettant d'émettre ou de recevoir des données.

La technologie numérique permet d'avoir :

- Equilibrage automatique.
- Choix du signal d'entrée (courant, tension, fréquence,...).
- Affichage précis des données.
- Possibilité d'avoir plusieurs entrées.

Chapitre III :  
Conception  
électronique et outils  
logiciels du régulateur  
PID

### **III-I Introduction :**

Il s'agit ici d'étudier les différents éléments qui constituent la carte de commande d'un régulateur PID.

Ce système aura pour but d'activer la partie puissance pour la commande des dispositifs électroniques et mécaniques.

La structure principale de notre régulateur est composée d'un microcontrôleur PIC16f877a qui assure la programmation des codes d'activation.

Ce système de commande représente le cerveau du régulateur PID, il est constitué de parties bien visibles et d'autres qui sont invisibles.

Dans ce chapitre, nous présentons notre régulateur PID avec ses différents composants électroniques qui sont :

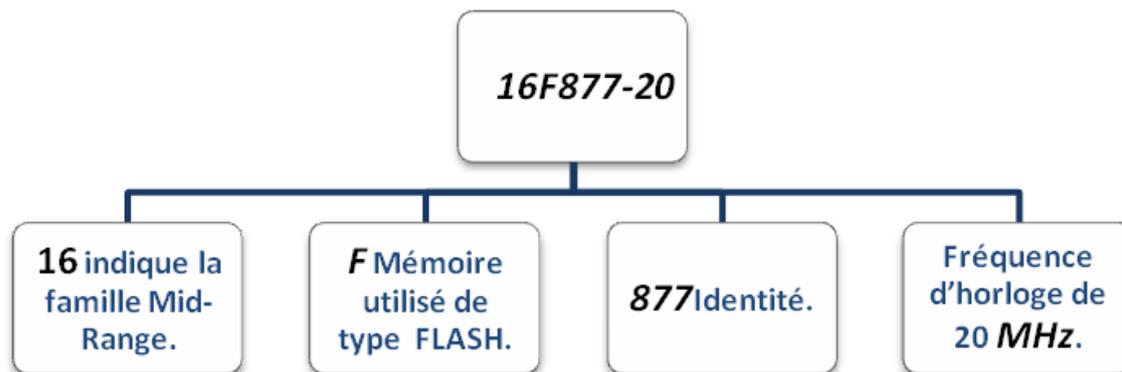
- Un microcontrôleur PIC 16f877a.
- Le régulateur de tension qui va alimenter notre circuit.
- Le quartz qui détermine la fréquence du pic.
- L'écran LCD 16\*2.
- Le clavier électronique 16 touches.
- Max232 qui relie la carte au PC.

### **III-2 Composants électroniques :**

#### **III-2-1 Partie commande :**

##### **III-2-1-1 Le microcontrôleur PIC 16F877a :**

Un PIC16f877-20 est un PIC MID-RANGE(16) ou la mémoire programme est de type FLASH (F) et réinscriptible de type 877 et capable d'accepter une fréquence d'horloge de 20MHz (voir la figure III-1). Pour plus de détail sur ce PIC il faut se référer à l'annexe B.



**Figure III-1 : Description de la configuration du PIC 16F877**

#### **A- Choix :**

Le microcontrôleur PIC16f877a est l'élément central du projet. Il coordonne les échanges entre les différents périphériques qui composent l'application. Son choix est donc d'une certaine importance.

L'utilisation d'un microcontrôleur Microchip se révèle intéressante. En effet sa grande souplesse d'utilisation ainsi que sa facilité de programmation permettent de concevoir des applications très robustes.

La famille PIC 16F de Microchip est parfaitement adaptée à ce projet, les références 16 et 24 bits du constructeur étant à proscrire à défaut de lourds calculs à effectuer. De plus, les outils de développement proposés sont particulièrement aboutis.

Un grand nombre de périphériques communiquent avec le PIC, ce dernier doit donc posséder de nombreuses lignes de données (Voir la Figure III-2).



**Figure III-2 : Microcontrôleur PIC16f877a**

En effet, le clavier matriciel possède huit lignes de communications, l'afficheur LCD (Liquid Cristal Display) et nécessite sept lignes de communication, Enfin, étant programmé en langage C, la taille de sa mémoire de programme est loin d'être négligeable.

L'architecture interne du PIC 16F877a est composée de :

- 33 Ports Entrée-Sortie bidirectionnels pouvant produire 25 mA par sortie.
- Une fréquence de fonctionnement allant jusqu'à 20MHz.
- Jeu d'instructions de 35 instructions.
- Une mémoire de programme de type FLASH sur 8K mots (1 mot=14 bits).
- Une mémoire de données de type RAM sur 368 octets.
- Une mémoire de données de type EEPROM sur 256 octets.
- Une pile (Stack) à 8 niveaux.
- 14 sources d'interruptions.
- Un chien de garde WDT (Watch Dog Timer).
- Timer0 (compteur 8-bits avec pré-diviseur).
- Timer1 (compteur 16-bits avec pré-diviseur et possibilité d'utiliser une horloge externe).
- Timer2 (compteur 8-bits avec pré-diviseur et post-diviseur).
- Un convertisseur Analogique-Numérique 10-bits à 8 entrées multiplexées.
- Deux modules de capture/comparaison/PWM.
- Ports Entrées/Sorties : A, B, C, D et E.
- Une interface de communication série asynchrone et synchrone (USART/SCI)
- Une interface de communication série synchrone (SSP/SPI et I2 C).
- Tension de fonctionnement entre 2.0V et 5.5V.

La figure (III-3) illustre l'architecture interne du PIC 16f877a.

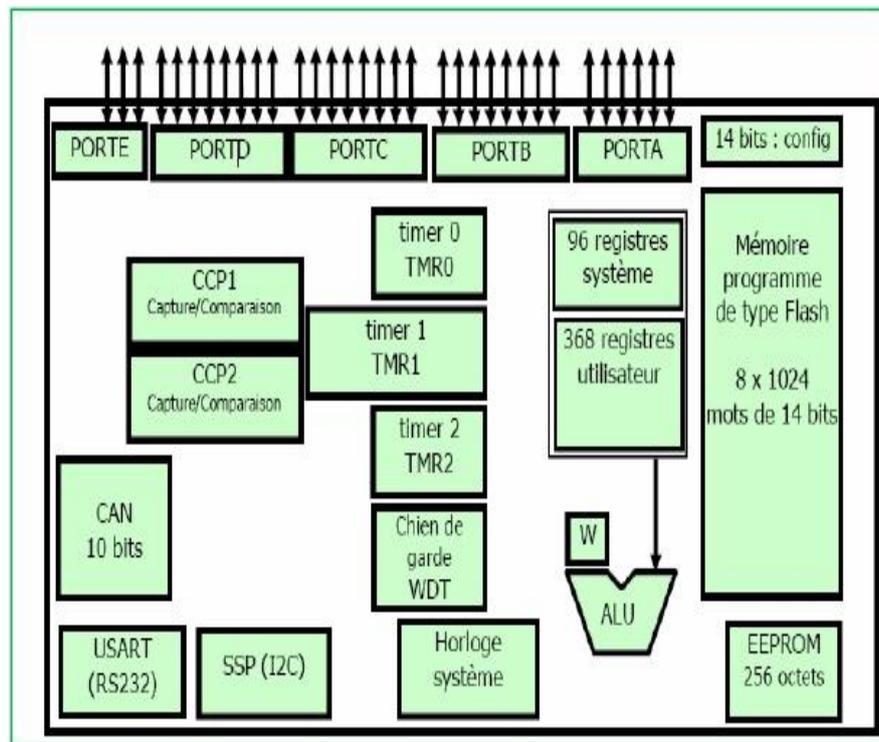


Figure III-3: Architecture interne du PIC.

**B- Les ports d'entrée/sortie :**

Les PIC16F877a contient les 5 ports suivants :

- Port A : 6 pins I/O numérotées de RA0 à RA5.
- Port B : 8 pins I/O numérotées de RB0 à RB7.
- Port C : 8 pins I/O numérotées de RC0 à RC7.
- Port D : 8 pins I/O numérotées de RD0 à RD7.
- Port E : 3 pins I/O numérotées de RE0 à RE2.

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

- Le positionnement d'un bit à « 1 » place la pin en entrée.
- Le positionnement de ce bit à « 0 » place la pin en sortie. Notez, comme pour tous les ports, que la mise sous tension du PIC, et tout autre reset, force tous les bits utiles de TRISx à 1, ce qui place toutes les pins en entrée. En plus pour configurer TRISX avec notre compilateur, il faut agir sur la valeur set\_tris\_x 0.

### ➤ **Le port A :**

Le port A est formé de six pins donc six entrées/sorties numérotées de RA0 à RA5 qui peuvent être utilisées comme des entrées pour le convertisseur analogique numérique ou utilisées pour le TIMER 0. Dans ce dernier cas, la pin RA4 sera utilisée comme entrée pour configurer TOCKI est de type drain ouvert.

On peut utiliser ce port, soit pour la conversion analogique /numérique, soit en mode (I/O). Dans notre projet, on a utilisé RA0 comme entrée pour le CAN.

**Remarque :** RA4 qui est toujours en collecteur ouvert (mise à 0) c'est-à-dire mise en sortie.

### ➤ **Le port B :**

Rien de particulier à dire sur ce port, qui possède 8 pins d'entrée/sortie classiques numérotées de RB0 à RB7.

On note que RB0 qui est en entrée est de type « trigger de Schmitt » quand elle est utilisée en mode interruption « INT ». La lecture simple de RB0 se fait de façon tout à fait classique, en entrée de type TTL.

### ➤ **Le port C :**

Tout d'abord au niveau programmation, c'est un port tout ce qu'il y a de plus classique, comportant 8 pins de RC0 à RC7. On trouve donc un registre TRISC localisé dans la banque 1, qui permet de décider quelles sont les entrées et quelles sont les sorties. Le fonctionnement est identique à celui des autres TRIS, à savoir que le positionnement d'un bit à « 1 » place la pin en entrée, et que le positionnement de ce bit à « 0 » la place en sortie.

Au niveau électronique, on remarque que toutes les pins, lorsqu'elles sont configurées en entrées, sont des entrées de type « trigger de Schmitt » ; ce qui permet d'éviter les incertitudes de niveau sur les niveaux qui ne sont ni des 0V, ni des +5V, donc, en général, sur les signaux qui varient lentement d'un niveau à un autre.

### ➤ **Le port D :**

Ce port n'est présent que sur les PIC16F877. Il fonctionne de façon identique aux autres, dans son mode de fonctionnement générale. Les 8 pins I/O, en mode entrée, sont de type « trigger de Schmitt »

Ce port est très utilisé en mode parallèle esclave (slave).

➤ **Le port E :**

Ce port n'est présent que sur les PIC de type 16F877, le port E possède trois pins donc trois entrées/sorties, RE0 a RE2, il est utilisé comme entrées au convertisseur analogique numérique et aussi il peut contrôler le port parallèle slave c'est-à-dire le port D.

On remarque que les pins RE X peuvent également être utilisés comme pins d'entrées analogiques. C'est de nouveau le registre ADCON1 qui détermine si ce port sera utilisé comme port I/O ou comme port analogique

**C- Organisation externe du PIC 16F877A :**

L'intégration du pic 16f877a dans un schéma électronique est des plus aisées. L'alimentation se fait à travers deux broches VDD qui requièrent une tension de 5v.

Un découplage à travers un condensateur est recommandé par le constructeur .la broche MCLR permet un reset matériel du microcontrôleur mais cela n'étant pas utile à l'application, la fonctionnalité est désactivée par la connexion du pin au VCC. En plus de ca, la masse du microcontrôleur doit être connectée à la masse du circuit grâce aux deux entrées VSS. La figure (III-4) montre la structure générale du PIC 16f877a.

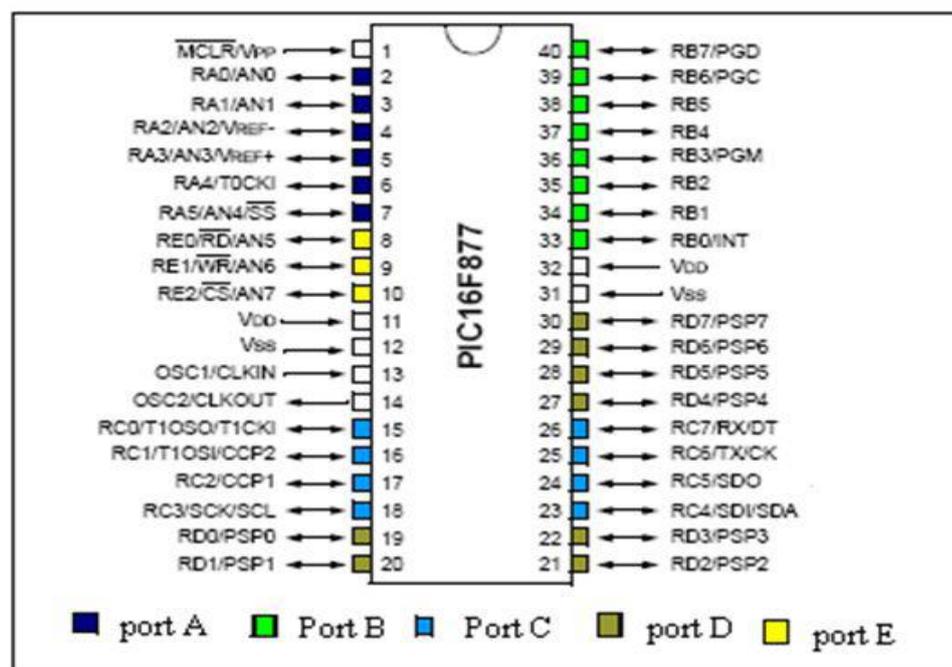
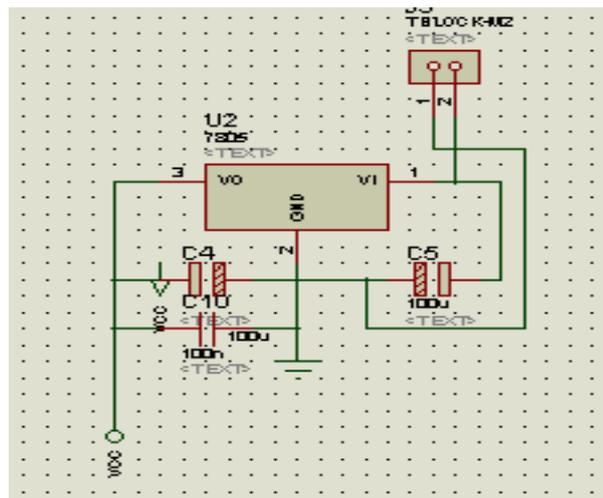


Figure III-4 : Structure générale du PIC 16f877a

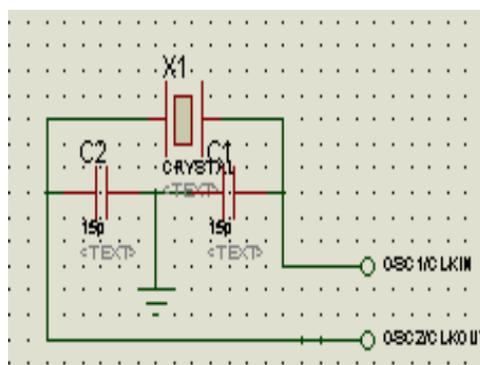
L'architecture externe du PIC 16f877a comprend 40 pins dont :

- 33 pins d'entrées\ sorties multiplexées avec d'autres fonctions :
- 4 pins pour l'alimentation : VDD et VSS .On remarque qu'on a deux connexions « VDD » et deux connexions « VSS ». La présence de ces 2 pins s'explique pour une raison de dissipation thermique. Les courants véhiculés dans le pic sont loin d'être négligeables du fait des nombreuses entrées/sorties disponibles. (Voir la Figure III-5).



**Figure III-5 : Circuit d'alimentation du PIC**

- Les broches OSC1 et OSC2 ou CLKIN et CLOUT permettent de faire fonctionner l'oscillateur interne du PIC qui peut être un quartz, un résonateur céramique, un oscillateur externe ou un réseau RC. dont le rôle est de créer des impulsions de fréquences élevées. Dans notre cas, on va utiliser une horloge à base de quartz 20 MHz et deux capacités de 15pF pour la nécessité du fonctionnement du PIC, reliées aux pins « OSC1, OSC2 pate 13, 14». (Voir la figure III-6) .



**Figure III-6 : circuit d'horloge du PIC**

- La broche MCLR sert à initialiser le PIC en cas de la mise sous tension, Un circuit de reset (réinitialisation) sera connecté à MCLR afin de réinitialiser (redémarrer) le système en cas de besoin« pin 1». (Voir la figure III-7).

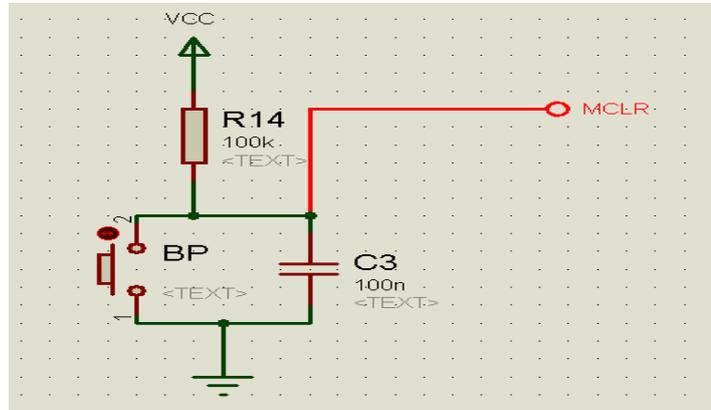


Figure III-7 : circuit de réinitialisation du pic

**D- Le convertisseur analogique numérique du PIC 16F877A :**

La fonction conversion analogique-numérique consiste à transformer une grandeur électrique en une grandeur numérique exprimée sur N bits. Cette grandeur de sortie représente, dans le système de codage qui lui est affecté, un nombre proportionnel a la grandeur analogique d’entrée. Ceci est illustré par la figure ci-dessous.

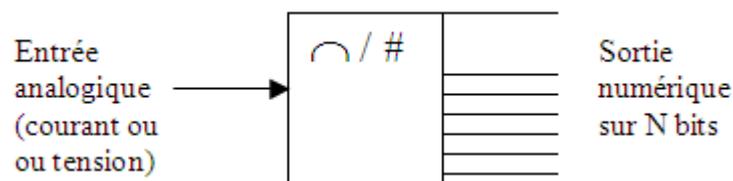


Figure III-8 : Principe de conversion analogique / numérique

Le CAN intégré dans le 16F877A est un CAN de 10 bits. La résolution 10 bits du PIC permet d’attribuer 1024 valeurs numériques a notre signal d’entrée.

**III-2-1-2 Clavier matriciel :**

**A- Choix :**

Le clavier numérique est plus aisé et plus pratique à utiliser, il représente le moyen de communication entre l'utilisateur et la machine.



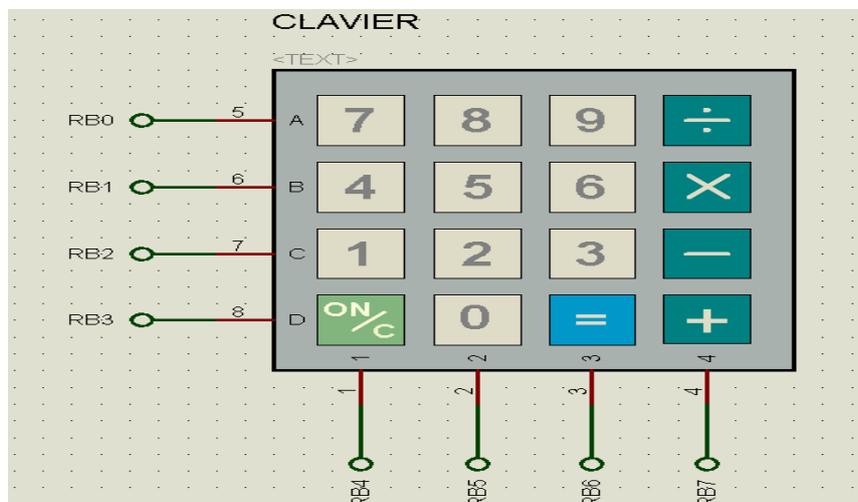
**Figure III-9: Clavier matriciel 4\*4**

Le code étant numérique, donc il nous suffit de choisir un clavier seize touches capable de charger facilement les données et d'autres touches pour valider et effacer les données de l'écran.

**B-Utilisation :**

On propose d'implémenter un clavier matriciel sur le port B du PIC 16f877a qui possède des résistances appelées pullups pour éviter d'encombrer la carte avec d'autres résistances.

Cette application pourra servir pour implémenter les différents paramètres du régulateur PID. Le schéma de connexion du clavier est donné par la figure ci-dessous.



**Figure III-10: Schéma de connexion du clavier**

**III-2-1-3 L'afficheur LCD :**

**A-Choix :**

Tout projet qui nécessite tant de convivialité ou de contrôle pour l'utilisateur doit comporter un afficheur.

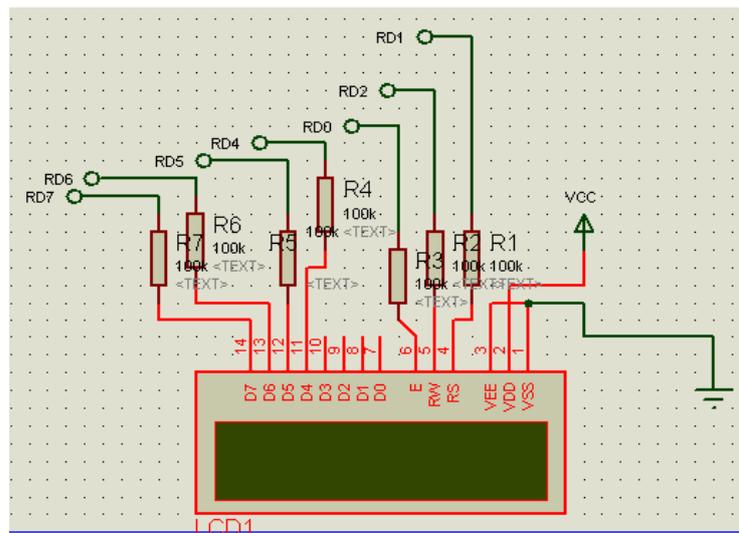
En effet, celui-ci permet de manière très rapide de révéler n'importe quelle information qui pourrait être utile au programmeur ou à l'utilisateur.

L'afficheur LCD alphanumérique est le composant idéal pour ce type d'application : le nombre de caractères étant limité mais suffisant, il se contrôle aisément à travers un microcontrôleur. Un exemple d'un afficheur LCD 2\*16 est donné par la figure III-11



**Figure III-11: Afficheur LCD 2\*16**

Le modèle utilisé comporte deux lignes de seize caractères qui permettent de créer une petite interface utilisateur efficace et dispose d'un rétro éclairage offrant la possibilité de lire des informations dans l'obscurité et qui ajoute une touche moderne et attractive au boîtier.



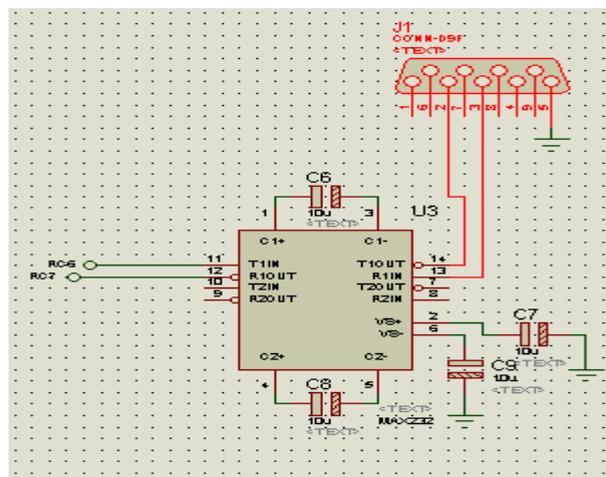
**Figure III-12 : Schéma de connexion de l'afficheur LCD**

**III-2-1-4 RS 232 :**

Le protocole RS232 est apparu en 1962, et bien qu'il est vieux, il est toujours beaucoup utilisé en industrie pour la communication entre un ordinateur via un port série et un système électronique.

Les communications sont en Full duplex, c'est-à-dire capable de fonctionner dans les deux sens, ainsi la carte peut envoyer des informations et en recevoir.

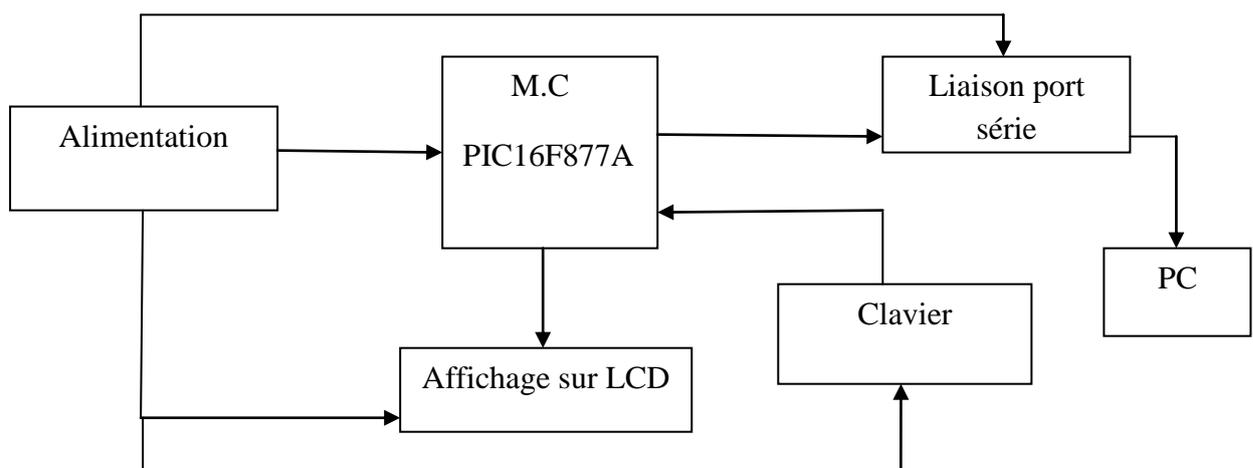
Ce mode exige l'installation d'un circuit intégré nommé MAX 232 pour adapter les signaux. (Voir la figure III-13).



**Figure III-13 : Schéma de connexion du port série RS232**

**III-2-1-5 Le schéma synoptique de la carte commande :**

Le schéma synoptique de la carte commande est illustré par la figure ci-dessous :



**Figure III-14: Schéma synoptique de la carte commande**

III-2-1-6 Le schéma général de la carte commande :

Le schéma général de la carte commande est illustré par la figure ci- dessous :

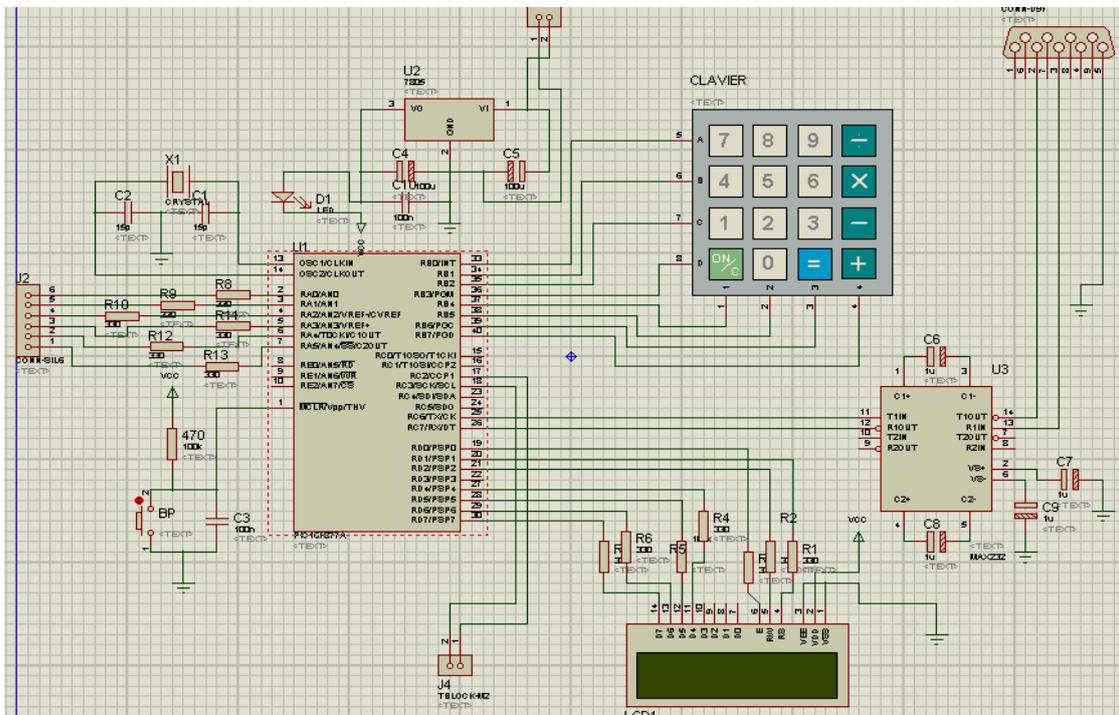


Figure III-15: Schéma électrique de la carte commande

III-2-1-7 circuit d'implémentation de la carte commande :

Le circuit d'implémentation de la carte commande est illustré par la figure ci- dessous :

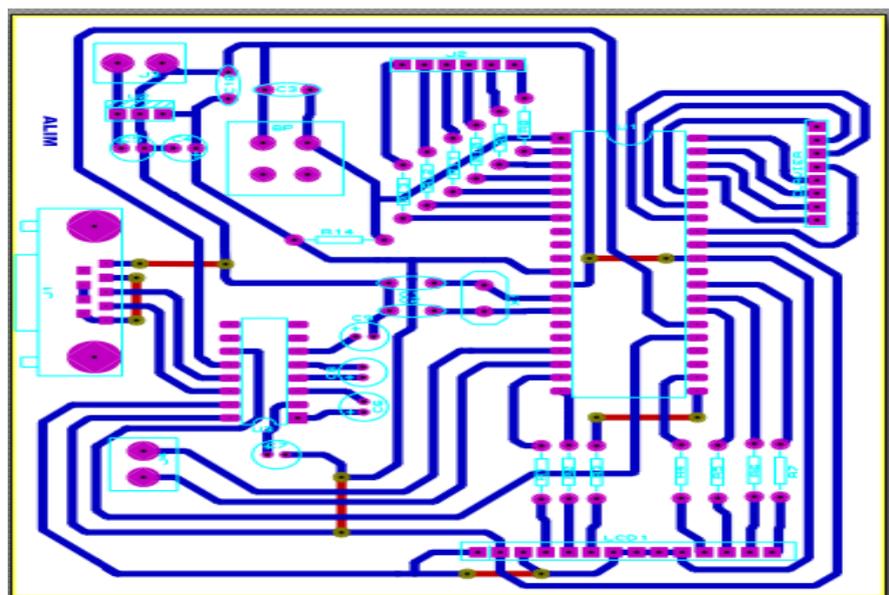
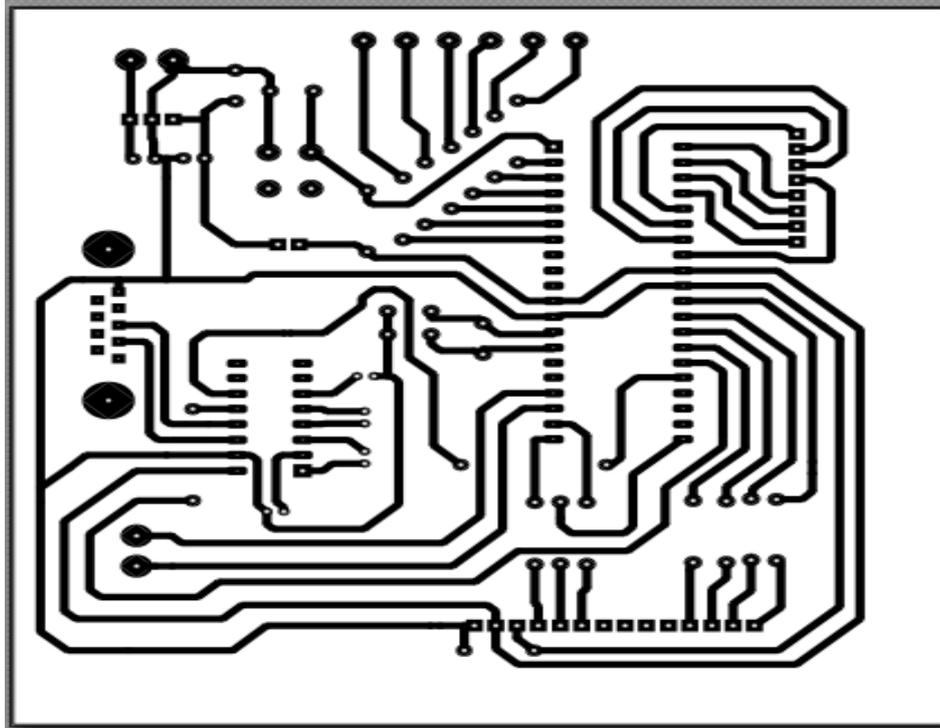


Figure III-16 : Circuit électrique de la carte commande

**III-2-1-8 Typon de la carte de commande :**

Le typon de la carte de commande est donné par la figure ci- dessous :



**Figure III-17 : Typon de la carte commande**

**III-2-2 Partie puissance :**

Comme son nom l'indique cette carte effectue le rôle d'amplificateur de puissance. Cette carte est composée de deux parties :

- Transistor Darlington TIP122 afin de contrôler le transistor de puissance qui a son tour contrôle le Peltier en réaction au signal PWM.
- Transistor de puissance IRFP460 qui a pour but la transformation des signaux PWM appliqués sur l'actionneur.

La carte de puissance sera alimentée par une tension de 24v afin de commander un système.

### III-2-2-1 Schéma général de la carte puissance :

Le schéma général de la carte puissance est donné par la figure ci-dessous :

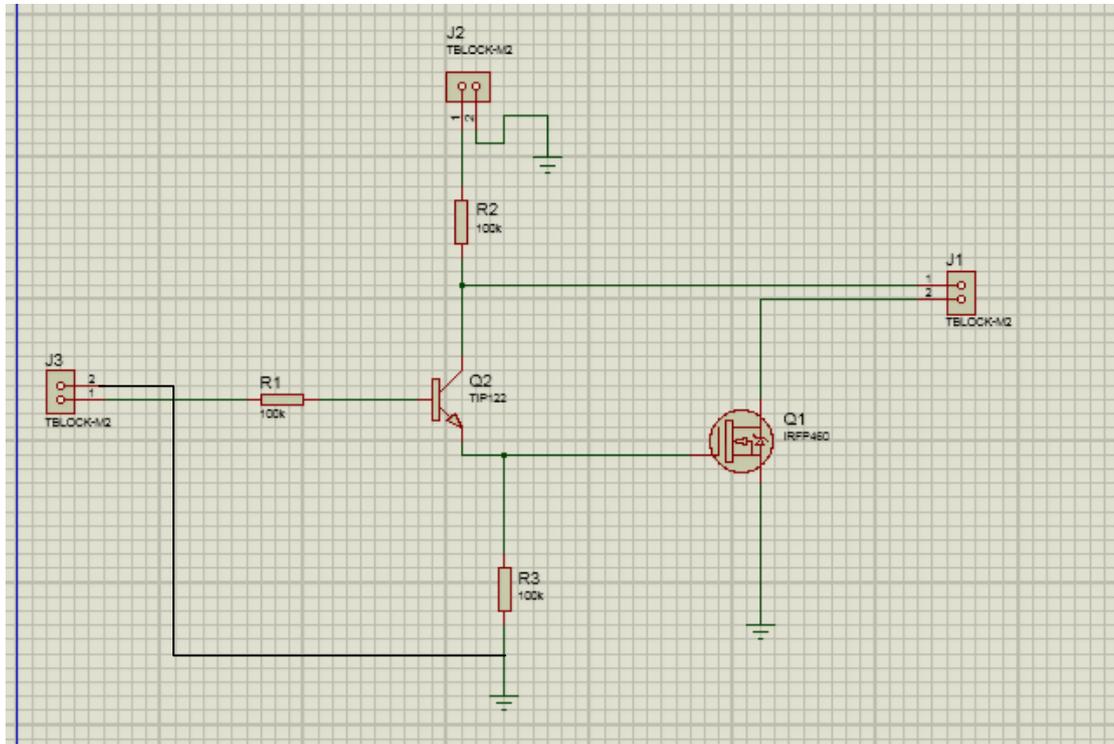


Figure III-18: Schéma électrique de la carte de puissance

### III-2-2-2 Circuit d'implémentation de la carte puissance :

Le circuit d'implémentation de la carte puissance est illustré par la figure ci- dessous :

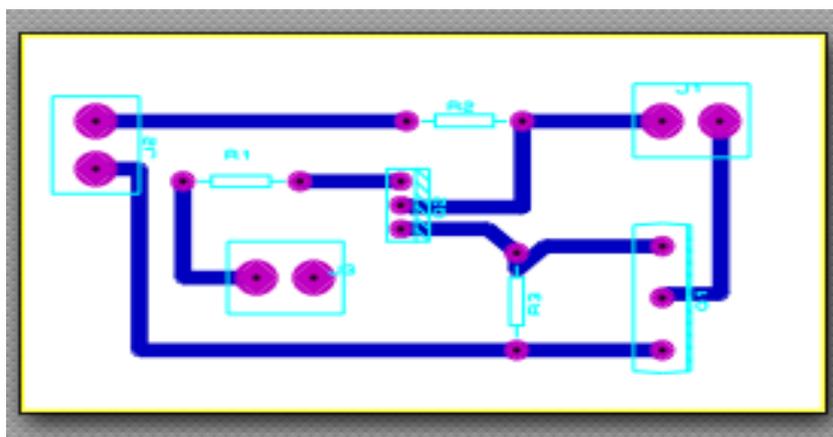
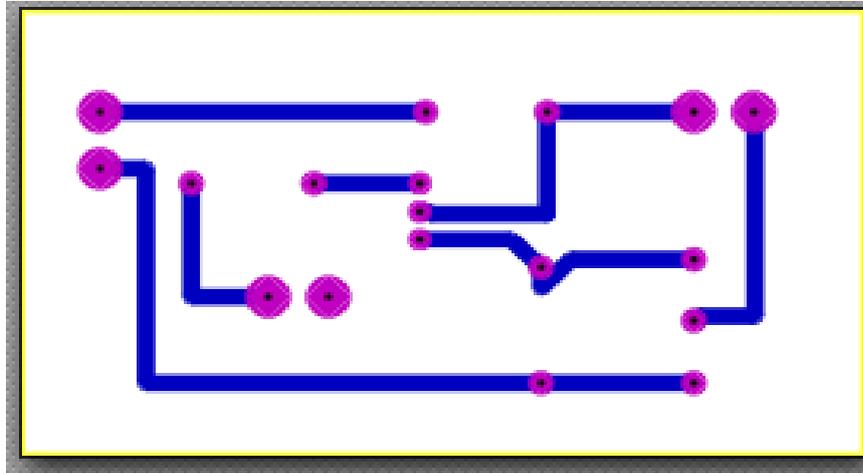


Figure III-19 : Circuit électrique de la carte puissance

**III-2-2-3 Typon de la carte de puissance:**

Le typon de la carte de puissance est donné par la figure ci- dessous :



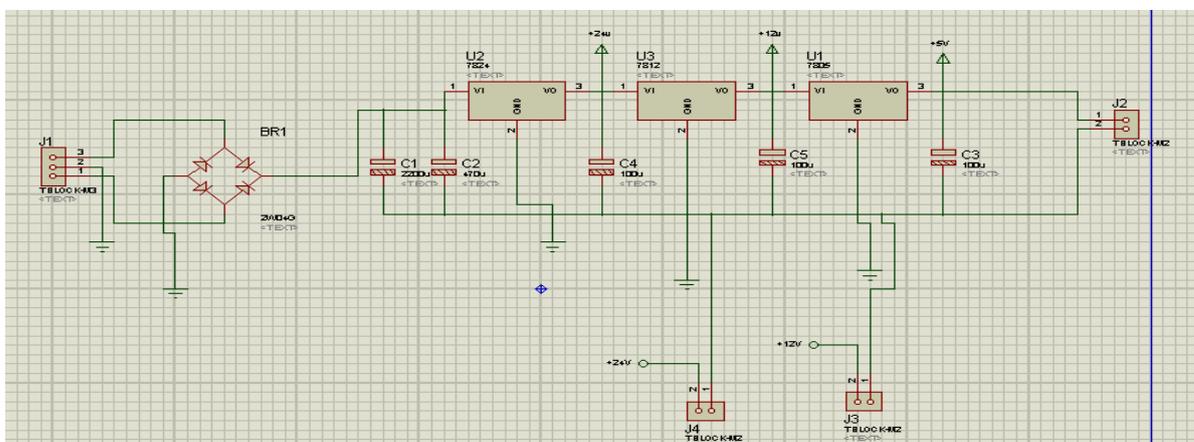
**Figure III-20: Typon de la carte puissance**

**III-2-3 Partie alimentation :**

Dans cette partie, on va présenter la partie alimentation qui génère Trois sorties. Une alimentation logique 24 volts à l'aide d'un transformateur à courant alternative, à partir de l'alimentation 24volts réglée par Trois régulateurs. Le régulateur de tension LM7805 qui délivre une tension de 5 volts, le régulateur de tension LM7812 qui délivre une tension de 12 volts et le régulateur de tension LM7824 qui délivre une tension de 24 volts.

**III-2-3-1 Schéma général de la carte d'alimentation :**

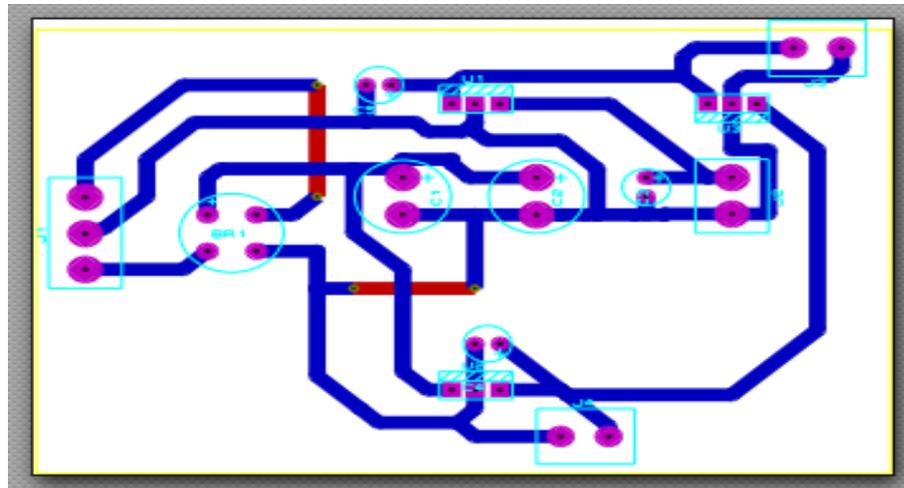
Le schéma général de la carte d'alimentation est donné par la figure ci-dessous :



**Figure III-21 : Schéma électrique de la partie alimentation**

**III-2-3-2 circuit d'implémentation de la carte d'alimentation :**

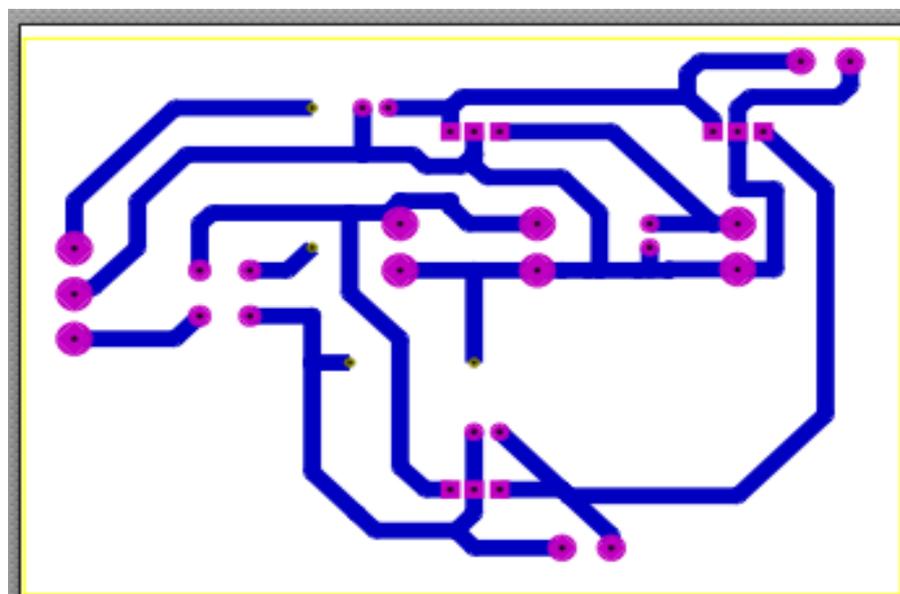
Le circuit d'implémentation de la carte puissance est illustré par la figure ci- dessous :



**Figure III-22: Circuit d'implémentation de la carte alimentation**

**III-2-3-3 Typon de la carte d'alimentation:**

Le typon de la carte d'alimentation est donné par la figure ci- dessous :



**Figure III-23 : Typon de la carte d'alimentation**

### III -3 Partie logicielle :

Il s'agit dans cette partie de présenter les différents logiciels permettant le développement de notre projet : Proteus, le compilateur et le logiciel permettant de gérer le programmeur.

#### III.3.1 Présentation de Proteus :

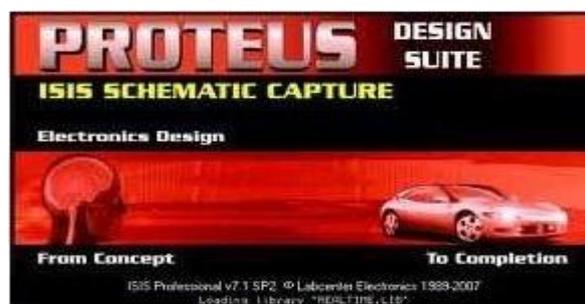
Proteus est une suite de logiciels électronique éditée par la société Labcenter Electronics. Proteus est composé de deux logiciels principaux : Isis, permettant entre autre la création des schémas et la simulation électrique, et Ares, dédié à la création de circuit imprimés.

Grace à des modules additionnels, Isis est également capable de simuler le comportement d'un microcontrôleur et son interaction avec les composants qui l'entourent.

Le logiciel Isis Proteus permet la création d'un schéma électronique avec une grande simplicité. Après un bref apprentissage, il permet de développer son propre schéma électronique. L'application est accompagnée de larges bibliothèques de composants.

Malheureusement, il y'a des composantes qui ne sont pas dans la bibliothèque fournies .il faut donc dans un premier temps créer une bibliothèque qui contiendra tous les composants du projet, puis créer les composants .cette dernière tâche est vraiment simplifiée puisqu'il suffit simplement de créer le contour du composant et d'ajouter ensuite les différentes broches autour de celui-ci, en prenant soin de respecter la nature de la broche (input, output, etc.).

Ceci est capital dans la phase de vérification du schéma et de sa préparation à l'exportation vers un logiciel de routage car ce dernier pourra alors détecter d'éventuelles erreurs de connexions des broches des composants (par exemple la connexion d'une sortie sur une autre sortie).



**Figure III-24: Ares Proteus**

### **III-3-2 Logiciel de programmation du microcontrôleur PIC :**

Custom Computer Services dite CCS est une société spécialisée dans la conception du compilateur 'C' développement d'application sur microcontrôleur PIC. (Voir la figure III-25).

Ce compilateur monoposte avec environnement IDE (regroupe un éditeur de texte, un compilateur, des outils automatiques de fabrication, et souvent un débogueur.) sous Windows renferme un éditeur avec gestion des erreurs syntaxiques, un éditeur de projet, un éditeur de paramètres spécifiques à chaque type de microcontrôleur, des « visualiser » de statistiques et de paramètres divers. Il bénéficie d'une génération de code très efficace et compacte en étant capable d'avoir accès à la gestion des convertisseurs (A/N), ou autre de gérer l'état des ports 'E/S'.

A noter également que les variables utilisées dans notre programme peuvent être associées à des parties 'matériels' du PIC (mémoire, ports d'entrée\ sortie...) afin que le programme soit lisible et exploitable. [13]

La vitesse d'horloge du microcontrôleur peut être spécifiée afin de concevoir des fonctions de temporisation pour des valeurs données en milliseconde ou en microseconde.

Des fonctions d'entrées\sorties permettent la gestion d'instructions telles que GETC ou PRINTF sur des ports alors gérés comme une communication RS232 (la gestion logicielle et matérielle lorsque cela est possible du port série est pris en compte par les compilateurs).

L'ensemble des accès possibles aux ports d'entrée\sorties est totalement optimisée pour une efficacité maximale.

Les compilateurs « CCS » disposent d'une optimisation de la gestion mémoire (les paramètres de fonction sont placés dans les registres réutilisables limitant de ce fait l'utilisation de la RAM au minimum).

La gestion des pages mémoires « programme » est automatiquement prise en compte et de ce fait totalement transparente pour l'utilisateur.

Les constantes de type chaîne de caractère ou tableau sont sauvegardées en mémoire 'programmer' le fichier de sortie 'hexa' et les fichiers 'debug' sont compatibles avec la plupart des programmeurs ainsi que les simulateurs.

Le 'CCS' se caractérise par une bibliothèque intégrée gérant pour tous les microcontrôleurs, une gestion automatique des pages mémoires, ainsi que les nombreux exemples de programmes livrés.

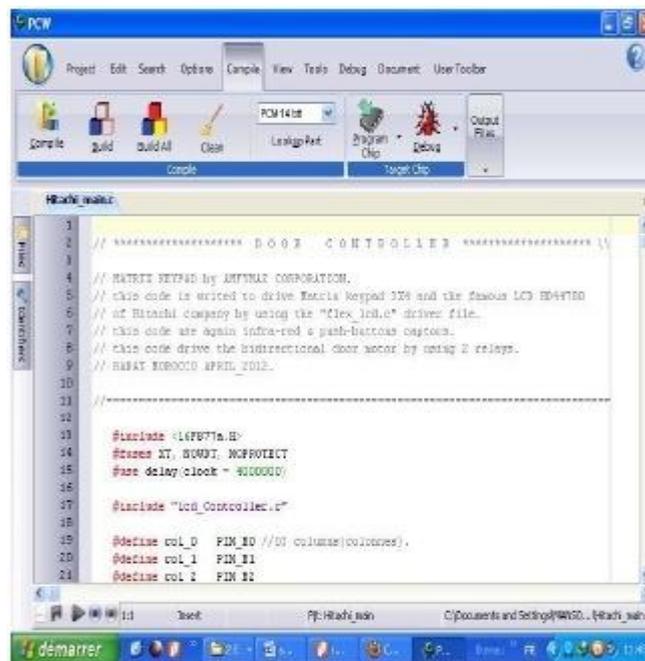


Figure III-25 : CCS PIC C compiler

### III-3-2-1 Les étape de programmation avec Le compilateur PIC C Compiler de CCS :

Une fois qu'on a installé ce programme « PIC C Compiler » sur notre PC, on démarre l'application par le raccourci qui se trouve sur le bureau. [13]



Figure III-26: PIC C Compiler

#### A- Création d'un nouveau projet :

Lors de la création du projet, la fenêtre ci-dessous apparaît.

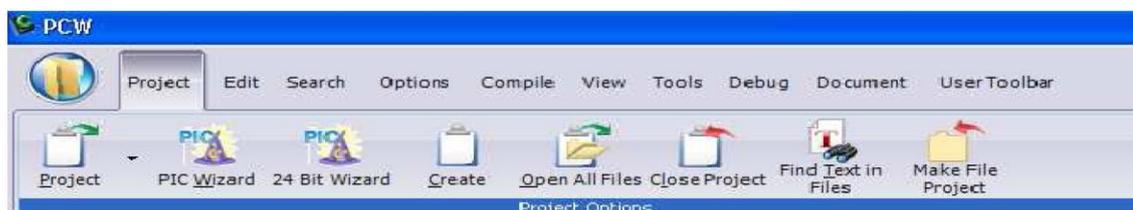
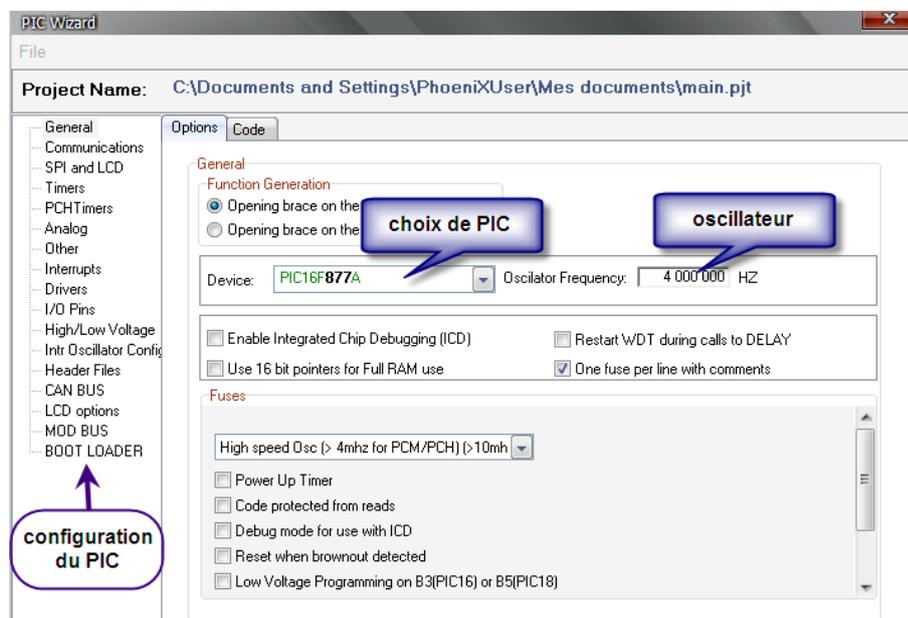


Figure III-27 : Fenêtre de création d'un nouveau projet

L'utilisation de project wizard : Menu « Project / New / PIC Wizard », ensuite sélectionner un nom de projet (fichier .PJT, il est vivement conseillé de créer un nouveau répertoire).

**B - Configuration des propriétés du PIC : [13]**

Lors de la configuration du PIC, la fenêtre suivante apparaît.



**Figure III-28: Configuration du PIC.**

Une boîte à onglet apparaît, suivant les options choisies, des lignes de code seront générées automatiquement, entre autres :

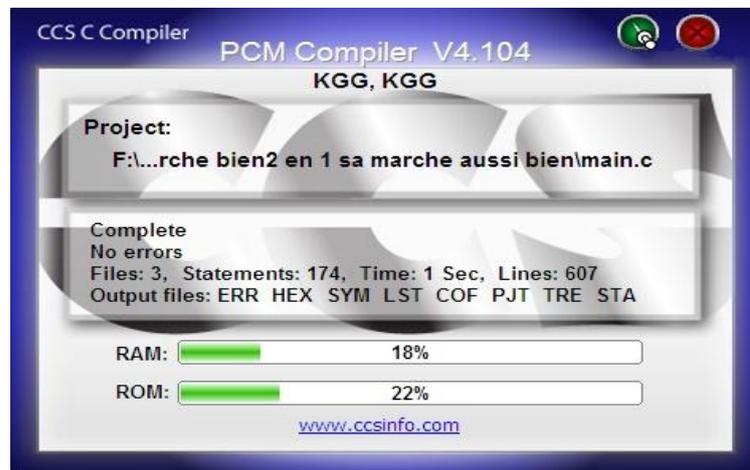
- type de microcontrôleur : (pour nous, à priori : pic 16F877a)
- type d'oscillateur : Crystal oscillateur, fréquence : 20 méga Hz.

Alors, cette boîte nous permet de configurer notre PIC comme on veut, à savoir les: I/O, timers, interrupts, analog.....etc.

Si on a oublié quelque chose, il sera toujours temps de l'ajouter après.

**B-Compilation du programme : [13]**

Une fois qu'on a terminé d'écrire notre programme, on passe à la compilation, qui est très importante, afin d'avoir un fichier « Hexa » exécutable par le microcontrôleur PIC. Ceci est illustré par la figure ci-dessous :



**Figure III-29: Compilation du programme**

**III-3-3 Présentation du programmeur Win Pic 800 :**

Win Pic 800 est un logiciel qui nous permet le transfert d'un fichier compilé en hexadécimal vers un PIC ou une mémoire. (Voir la figure III-30).

Après l'initialisation du logiciel lors de l'installation, nous chargeons le logiciel avec le fichier « hexa » qui a été créé par le compilateur, ensuite le programme va être chargé dans notre microcontrôleur par l'intermédiaire d'un programmeur. (Voir la figure III-31).

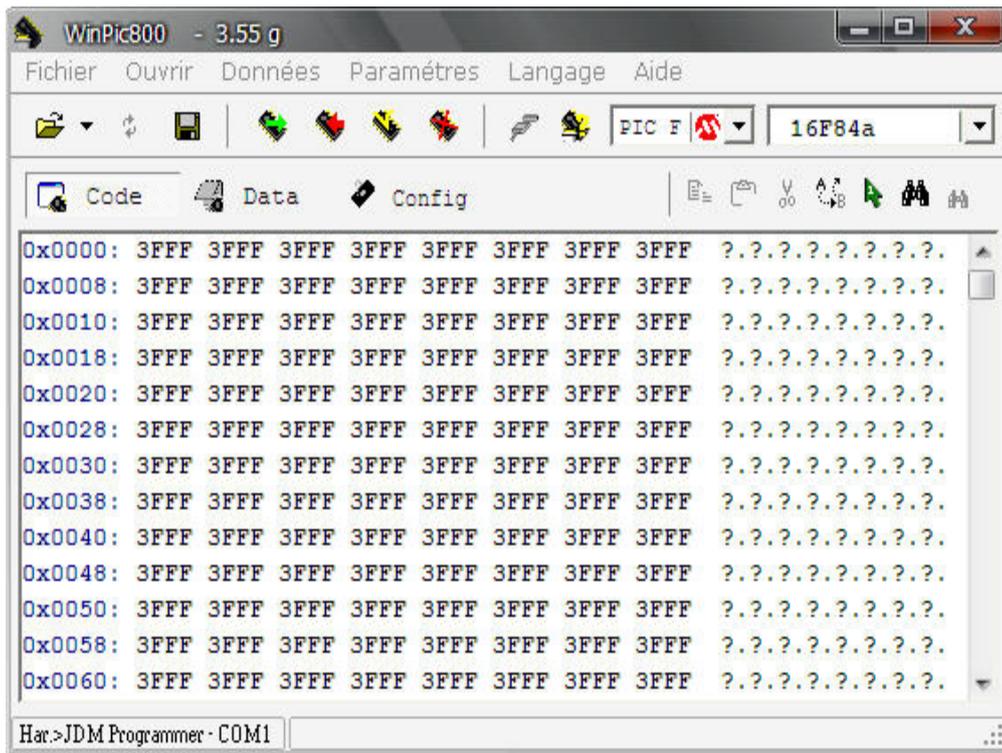


Figure III-30: Win PIC 800

Le programmeur utilisé est illustré par la figure ci-dessous :



Figure III-31 : Programmeur

### **III-4 Partie programmation :**

#### **III-4-1 Réalisation du programme :**

L'avantage du compilateur CCS est que le logiciel fait appel à des bibliothèques spécifiques à la demande de l'utilisateur qui commencent par ( # include ) pour ne pas compliquer la programmation, mais on doit respecté les consigne d'entrée / sortie des pins du PIC 16f877a.

Dans nôtres cas, on a appelé des bibliothèques spécifiques à la demande du régulateur tels que :

- #include<math.h>
- #include <stdlib.h>
- #include <lcd.c>
- #include <clavier16T.c

#### **III-4-2 Organigramme du programme :**

Cet organigramme comporte les étapes suivantes :

- Insertion des différents paramètres ( $K_c$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  et la consigne).
- Lecture et conversion de l'entrée analogique.
- Calcul de l'action PID.
- Conversion de la sortie en signal PWM.

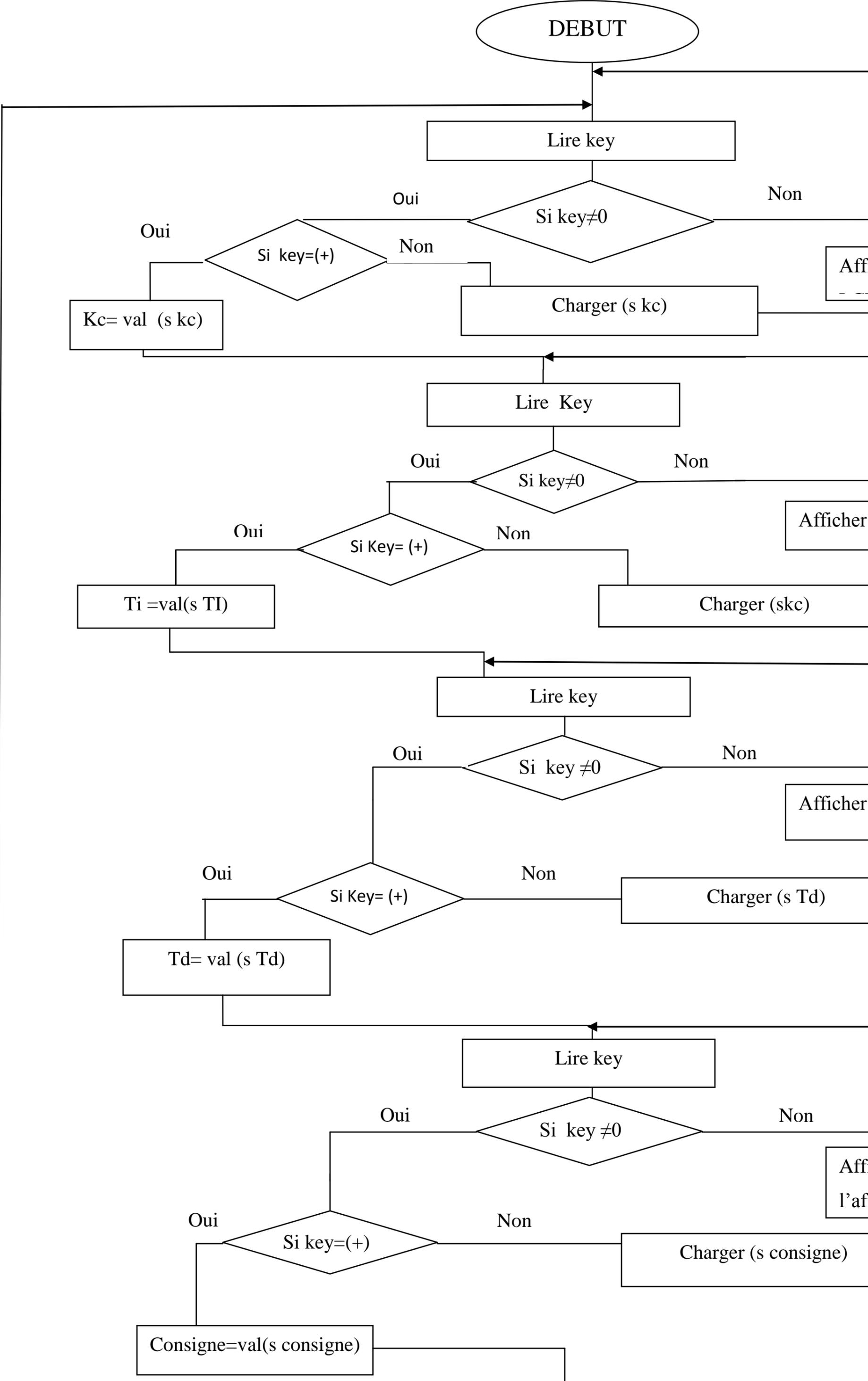
### **III-5 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté la stratégie choisie pour réaliser le système de régulation, nous avons mis en œuvre l'organisation des programmes et des cartes qu'on a réalisées.

La régulation d'un procédé repose sur la détermination des paramètres du régulateur.

Pour chaque procédé, les paramètres du régulateur sont importants pour assurer un bon fonctionnement des systèmes régulés, et répondre aux exigences voulus qui sont :

- Ramener la mesure à la consigne désirée.
- Maintenir la grandeur voulue.
- Maintenir un écart le plus faible possible.



# Conclusion générale

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

La régulation PID est aujourd'hui l'une des méthodes les plus utilisées car elle est très simple à mettre en place pour la plupart des systèmes réels. De plus, le calcul des coefficients laisse le choix entre plusieurs méthodes.

D'une part, une méthode expérimentale et très facile à mettre en place, elle permet d'obtenir rapidement des coefficients corrects pour des systèmes. D'autre part, des méthodes mathématiques avancées offrent des techniques pour obtenir les coefficients idéaux pour un système en particulier. Ainsi, la mise en place d'une régulation PID peut-être à la fois rapide et efficace.

Le régulateur PID réalisé dans notre projet, nous a permis de nous familiariser avec les outils électroniques et les systèmes de régulation dans l'industrie pendant la réalisation de ce modeste travail.

Notons que ce régulateur peut être utilisé à n'importe quel systèmes de régulation, à condition d'adapter les capteurs, les actionneurs, et les paramètres PID adéquats.

Durant cette tâche nous avons pu acquérir une certaine expérience compte à la conception et à la réalisation des différentes composantes d'un système de régulation.

On peut dire que les acquis accumulés tout au long de ce projet sont considérables et intéressants. Sur le plan technique nous avons pu acquérir beaucoup de connaissances sur le monde de l'automatisme et de l'électronique. Sur le plan humain, nous avons appris ce qu'était le travail d'équipe. Ceci nous a permis de mettre en vigueur les connaissances acquises durant notre cursus pour traiter des problèmes d'ordre pratique.

En perspective, notre travail peut être complété par :

- Programmation de la PWM de la sortie du pic (problème de logiciel CCS pic C compiler).
- Utilisation de la sortie PWM pour commander un système réel.

# Bibliographie

## Bibliographie

---

- [1] : **J. Ziegler** « Optimum setting for automatic controlers », Rochester, N.Y1942.
- [2] : Fiche technique du régulateur ABB. : (Document de la raffinerie).
- [3] : Manuel opératoire de la raffinerie d'Alger.
- [4] : Manuel opératoire carburant de l'unité de distillation atmosphérique (topping).
- [5] : « Commande numérique et notions de régulation de processus», Gabes, 2007.
- [6] **M. Rivoire** «Cours d'automatique asservissement –régulation commande analogique», édition Eyrolles, 1996.
- [7] **P. Prouvost** « Instrumentation et régulation industrielles» édition Dunod , 2010.
- [8] **S. Tamazirt**, « Etude de quelques méthodes de synthèse et de calcul des paramètres des régulateurs PID», mémoire de master, UMMTO, 2013.
- [9] **A. Toussaint** « Régulation, correcteurs spécifiques, régulation en temps discret », éditon Nathan, 1998.
- [10] **J. Flaus** , « La régulation industrielle et régulateurs PID » , édition Hermes ,2000.
- [11] **D. Lequesne** « Régulation PID analogique numérique», édition Eyrolles, 2006.
- [12] **J. Babary**, «Systèmes de régulation», édition masson ,1996 .
- [13] **C. Tavernier**, «Programmation en C des pics», édition Dunod, 2006.

### Sites internet :

<http://www.bh-automation.fr/Ressources/Automaticiens/>

<http://www.abb.com/unitrol>

Annexe A :  
Identification des  
systèmes parla  
méthode de Broida

La méthode de Broïda consiste en une identification en boucle ouverte d'un procédé autorégulant d'un réglage PID adapté au modèle :

$$H(p) = \frac{G_s e^{-\tau}}{\theta p + 1}$$

### 1- Procédure expérimentale :

Le régulateur étant en mode manuel, agir sur la commande de l'organe réglant pour amener la mesure autour du point de fonctionnement désiré.

Lorsque la mesure est stabilisée, appliquer un échelon de commande  $\Delta Y$  sur l'organe réglant et vérifier que la mesure se stabilise dans la zone proche du point de fonctionnement.

La valeur de l'échelon  $\Delta Y$  doit être limitée (environ 2 % ou 5 %) pour que le procédé reste en fonctionnement linéaire, mais suffisant pour que l'enregistrement soit exploitable.

### 2- Réponse obtenue :

Pour appliquer la méthode d'identification de Broïda, la réponse obtenue à un incrément de commande doit être en forme de « S » comme celle de la figure suivante.

Notation :  $Y(t)$  signal de commande et  $X(t)$  signal de mesure.

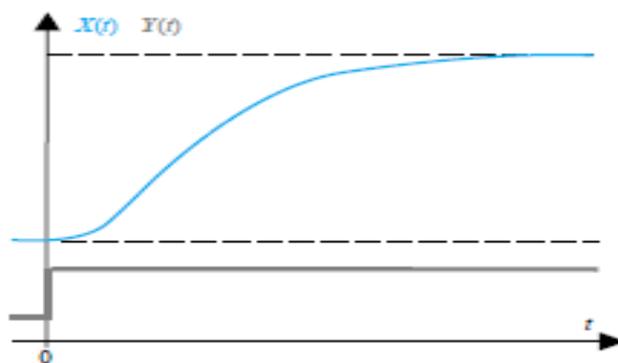


Figure 1 : Réponse en forme de « S » bien prononcé

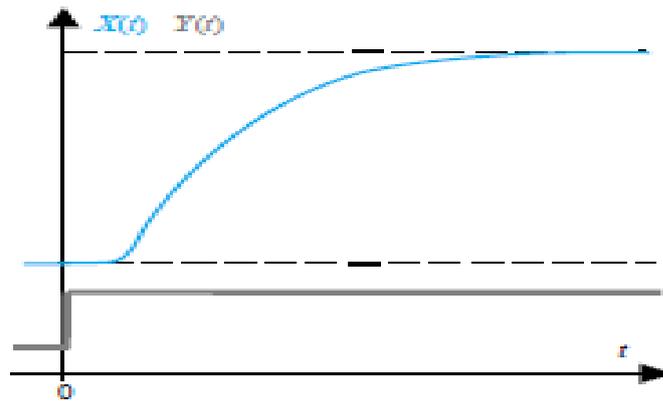


Figure 2 : Réponse en forme de « S » peu prononcé

Lorsque le « S » est peu prononcé, voire inexistant comme dans la courbe de la **figure 2**, le modèle de Broïda se détermine par des relevés directs.

### 3-Identification de Broïda :

#### 3-1 Relevés expérimentaux :

Sur la courbe, figure 3: mesurer  $\Delta X$ , calculer puis reporter  $0,28 * \Delta X$  et  $0,40 * \Delta X$  afin de mesurer  $t_1$  et  $t_2$ .

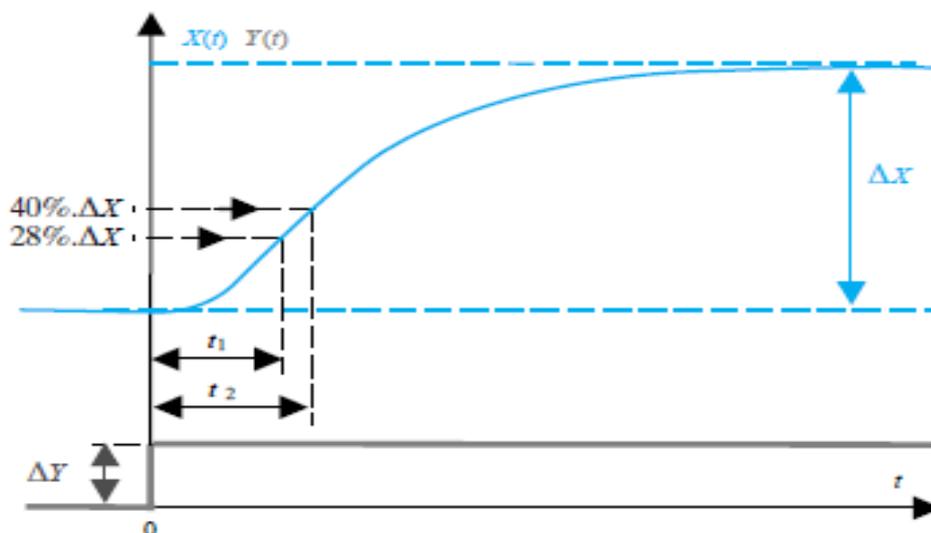


Figure 3 : Méthode de Broïda

**3-2 Détermination du modèle de Broïda :**

Le procédé est représenté par le modèle de Broïda :

$$H(p) = \frac{X(p)}{Y(p)} = \frac{G_S e^{-\tau p}}{\theta p + 1}$$

Gain statique :

$$GS = \Delta X / \Delta Y$$

Constante de temps :

$$\theta = 5,5 * (t2 - t1)$$

Retard ou Temps mort :

$$\tau = 2,8 * t1 - 1,8 * t2$$

**4- Obtention directe du modèle de Broïda :**

**4-1 Relevés expérimentaux :**

Sur la courbe, **figure 4** :

- mesurer  $\Delta X$  puis reporter  $0,63 * \Delta X$
- mesurer le retard  $\tau$ .
- mesurer la constante de temps  $\theta$ .
- calculer le gain statique  $GS = \Delta X / \Delta Y$ .

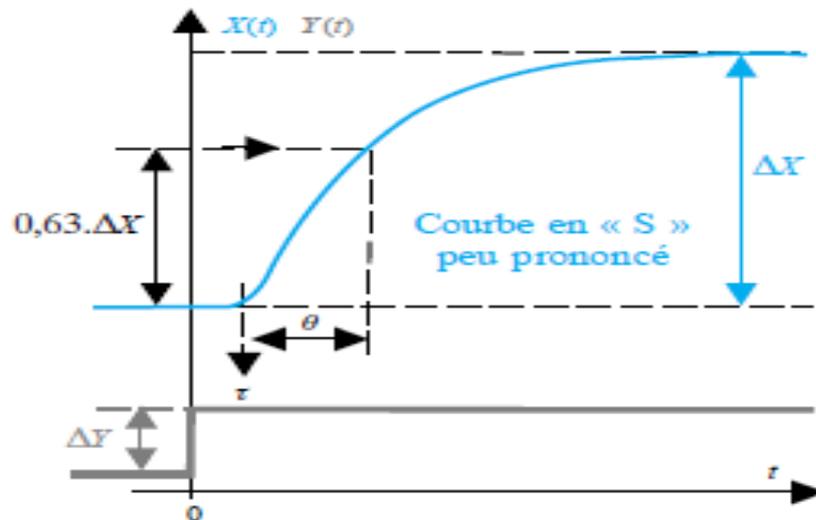


Figure 4 : Relevés directs

#### 4-2 Détermination du modèle de Broïda :

Le procédé est représenté par :

$$H(p) = \frac{X(p)}{Y(p)} = \frac{G_S \cdot e^{-\tau p}}{\theta p + 1}$$

#### 5- Réglages préconisés par Broïda :

##### 5-1 Choix de la régulation – indice de réglabilité :

La difficulté de réguler un procédé est d'autant plus grande, pour une constante  $\theta$  donnée, que le retard  $\tau$  est grand. Il est donc naturel de mettre en œuvre un régulateur d'autant plus riche en action que le procédé comporte un rapport  $\theta/\tau$  petit. Que le modèle de Broïda ait été établi par calcul ou par identification expérimentale, le graphe suivant guide sur le choix de la régulation en fonction du rapport  $\theta/\tau$ , correspondant à un **indice de réglabilité**.

### Le rapport $\theta/\tau$ guide sur la régulation à appliquer



**Figure 5 : Indice de réglabilité.**

#### **5-2 Réglage du régulateur PID :**

Une fois la régulation choisie, le **tableau 6** conduit au réglage du régulateur à appliquer selon Broida. Pour un changement de consigne en échelon, le premier dépassement attendu est de l'ordre de 25 %. Il convient alors d'adapter ces réglages pour obtenir le dépassement autorisé du processus. Le réglage en action proportionnelle (P) laisse un écart statique entre la mesure et la consigne.

|       | P                              | PI série                       | PI parallèle                   | PID série                      | PID parallèle   | PID mixte   |
|-------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|---|
| $G_t$ | $\frac{0,78 \theta}{G_s \tau}$ | $\frac{0,78 \theta}{G_s \tau}$ | $\frac{0,78 \theta}{G_s \tau}$ | $\frac{0,83 \theta}{G_s \tau}$ | $\frac{0,83}{G_s} \left( \frac{\theta}{\tau} + 0,4 \right)$ | $\frac{0,83}{G_s} \left( \frac{\theta}{\tau} + 0,4 \right)$ |
| $T_i$ | sans                           | $\theta$                       | $\frac{\tau G_s}{0,78}$        | $\theta$                       | $\frac{\tau G_s}{0,75}$                                     | $\theta + 0,4\tau$  |
| $T_d$ | 0                              | 0                              | 0                              | $0,42\tau$                     | $\frac{0,35\theta}{G_s}$                                    | $\frac{\theta\tau}{\tau + 2,5\theta}$                       |

**Tableau 6 : Réglage du régulateur PID selon Broida.**

Annexe B :  
Datasheet du  
PIC16f87x



# PIC16F87X

## 28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

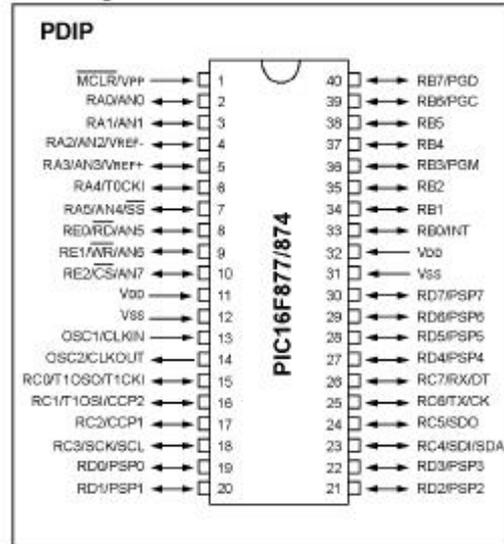
### Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F876
- PIC16F874
- PIC16F877

### Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input  
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,  
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)  
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and  
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC  
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM  
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two  
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature  
ranges
- Low-power consumption:
  - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
  - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
  - < 1 µA typical standby current

### Pin Diagram



### Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,  
can be incremented during SLEEP via external  
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period  
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master  
mode) and I<sup>2</sup>C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver  
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address  
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with  
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for  
Brown-out Reset (BOR)

---



---

**PIC16F87X**


---

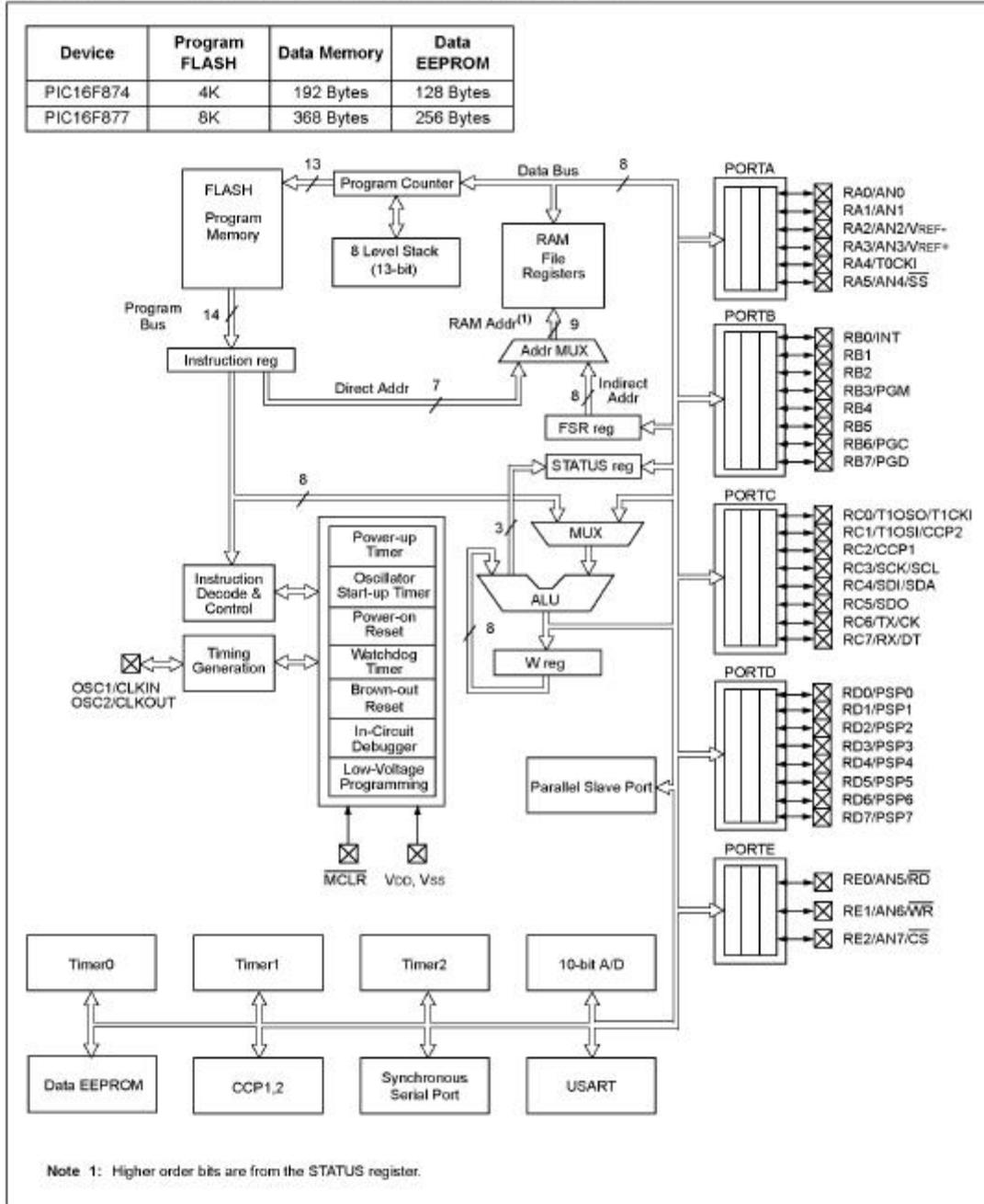


---

| <b>Key Features<br/>PICmicro™ Mid-Range Reference<br/>Manual (DS33023)</b> | <b>PIC16F873</b>        | <b>PIC16F874</b>        | <b>PIC16F876</b>        | <b>PIC16F877</b>        |
|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Operating Frequency  | DC - 20 MHz             |
| RESETS (and Delays)  | POR, BOR<br>(PWRT, OST) | POR, BOR<br>(PWRT, OST) | POR, BOR<br>(PWRT, OST) | POR, BOR<br>(PWRT, OST) |
| FLASH Program Memory<br>(14-bit words)                                     | 4K                      | 4K                      | 8K                      | 8K                      |
| Data Memory (bytes)  | 192                     | 192                     | 368                     | 368                     |
| EEPROM Data Memory   | 128                     | 128                     | 256                     | 256                     |
| Interrupts   | 13                      | 14                      | 13                      | 14                      |
| I/O Ports  | Ports A,B,C             | Ports A,B,C,D,E         | Ports A,B,C             | Ports A,B,C,D,E         |
| Timers   | 3                       | 3                       | 3                       | 3                       |
| Capture/Compare/PWM Modules  | 2                       | 2                       | 2                       | 2                       |
| Serial Communications  | MSSP, USART             | MSSP, USART             | MSSP, USART             | MSSP, USART             |
| Parallel Communications  | —                       | PSP                     | —                       | PSP                     |
| 10-bit Analog-to-Digital Module  | 5 input channels        | 8 input channels        | 5 input channels        | 8 input channels        |
| Instruction Set  | 35 instructions         | 35 instructions         | 35 instructions         | 35 instructions         |

# PIC16F87X

FIGURE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 BLOCK DIAGRAM

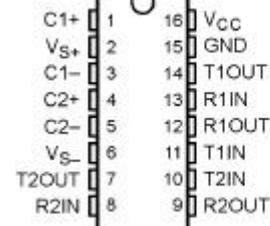


Annexe C :  
Datasheet du  
MAX232

**MAX232, MAX232I**  
**DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS**

SLLS0471 – FEBRUARY 1989 – REVISED OCTOBER 2002

- Meet or Exceed TIA/EIA-232-F and ITU Recommendation V.28
- Operate With Single 5-V Power Supply
- Operate Up to 120 kbit/s
- Two Drivers and Two Receivers
- $\pm 30$ -V Input Levels
- Low Supply Current . . . 8 mA Typical
- Designed to be Interchangeable With Maxim MAX232
- ESD Protection Exceeds JESD 22 – 2000-V Human-Body Model (A114-A)
- Applications
  - TIA/EIA-232-F
  - Battery-Powered Systems
  - Terminals
  - Modems
  - Computers

 MAX232 . . . D, DW, N, OR NS PACKAGE  
 MAX232I . . . D, DW, OR N PACKAGE  
 (TOP VIEW)

**description/ordering information**

The MAX232 is a dual driver/receiver that includes a capacitive voltage generator to supply EIA-232 voltage levels from a single 5-V supply. Each receiver converts EIA-232 inputs to 5-V TTL/CMOS levels. These receivers have a typical threshold of 1.3 V and a typical hysteresis of 0.5 V, and can accept  $\pm 30$ -V inputs. Each driver converts TTL/CMOS input levels into EIA-232 levels. The driver, receiver, and voltage-generator functions are available as cells in the Texas Instruments LinASIC™ library.

**ORDERING INFORMATION**

| T <sub>A</sub> | PACKAGE†      |               | ORDERABLE PART NUMBER | TOP-SIDE MARKING |
|----------------|---------------|---------------|-----------------------|------------------|
| 0°C to 70°C    | PDIP (N)      | Tube          | MAX232N               | MAX232N          |
|                | SOIC (D)      | Tube          | MAX232D               | MAX232           |
|                |               | Tape and reel | MAX232DR              |                  |
|                | SOIC (DW)     | Tube          | MAX232DW              | MAX232           |
|                |               | Tape and reel | MAX232DWR             |                  |
| SOP (NS)       | Tape and reel | MAX232NSR     | MAX232                |                  |
| -40°C to 85°C  | PDIP (N)      | Tube          | MAX232IN              | MAX232IN         |
|                | SOIC (D)      | Tube          | MAX232ID              | MAX232I          |
|                |               | Tape and reel | MAX232IDR             |                  |
|                | SOIC (DW)     | Tube          | MAX232IDW             | MAX232I          |
|                |               | Tape and reel | MAX232IDWR            |                  |

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at [www.ti.com/sc/package](http://www.ti.com/sc/package).



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

LinASIC is a trademark of Texas Instruments.

PRODUCTION DATA Information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS**  
**INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated

**MAX232, MAX232I**  
**DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS**

SLLS047I – FEBRUARY 1989 – REVISED OCTOBER 2002

**absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†**

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| Input supply voltage range, $V_{CC}$ (see Note 1)                | –0.3 V to 6 V                        |
| Positive output supply voltage range, $V_{S+}$                   | $V_{CC} - 0.3$ V to 15 V             |
| Negative output supply voltage range, $V_{S-}$                   | –0.3 V to –15 V                      |
| Input voltage range, $V_I$ : Driver                              | –0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V           |
| Receiver   | ±30 V                                |
| Output voltage range, $V_O$ : T1OUT, T2OUT                       | $V_{S-} - 0.3$ V to $V_{S+} + 0.3$ V |
| R1OUT, R2OUT   | –0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V           |
| Short-circuit duration: T1OUT, T2OUT                             | Unlimited                            |
| Package thermal impedance, $\theta_{JA}$ (see Note 2): D package | 73°C/W                               |
| DW package   | 57°C/W                               |
| N package  | 67°C/W                               |
| NS package   | 64°C/W                               |
| Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds     | 260°C                                |
| Storage temperature range, $T_{stg}$                             | –65°C to 150°C                       |

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTE 1: All voltage values are with respect to network ground terminal.

2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

**recommended operating conditions**

|            |                                       | MIN     | NOM | MAX | UNIT |
|------------|---------------------------------------|---------|-----|-----|------|
| $V_{CC}$   | Supply voltage                        | 4.5     | 5   | 5.5 | V    |
| $V_{IH}$   | High-level input voltage (T1IN, T2IN) | 2       |     |     | V    |
| $V_{IL}$   | Low-level input voltage (T1IN, T2IN)  |         |     | 0.8 | V    |
| R1IN, R2IN | Receiver input voltage                |         |     | ±30 | V    |
| $T_A$      | Operating free-air temperature        | MAX232  | 0   | 70  | °C   |
|            |                                       | MAX232I | –40 | 85  |      |

**electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted) (see Note 3 and Figure 4)**

| PARAMETER               | TEST CONDITIONS   | MIN | TYP† | MAX | UNIT |
|-------------------------|---|-----|------|-----|------|
| $I_{CC}$ Supply current | $V_{CC} = 5.5$ V, All outputs open,<br>$T_A = 25^\circ\text{C}$ |     | 8    | 10  | mA   |

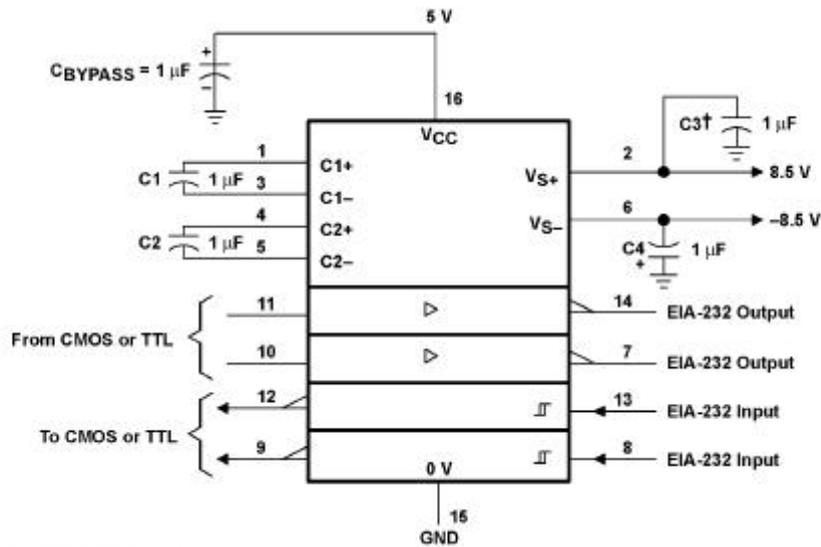
† All typical values are at  $V_{CC} = 5$  V and  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .

NOTE 3: Test conditions are C1–C4 = 1  $\mu\text{F}$  at  $V_{CC} = 5$  V  $\pm$  0.5 V.

**MAX232, MAX232I**  
**DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS**

SLLS0471 – FEBRUARY 1989 – REVISED OCTOBER 2002

**APPLICATION INFORMATION**



† C3 can be connected to V<sub>CC</sub> or GND.

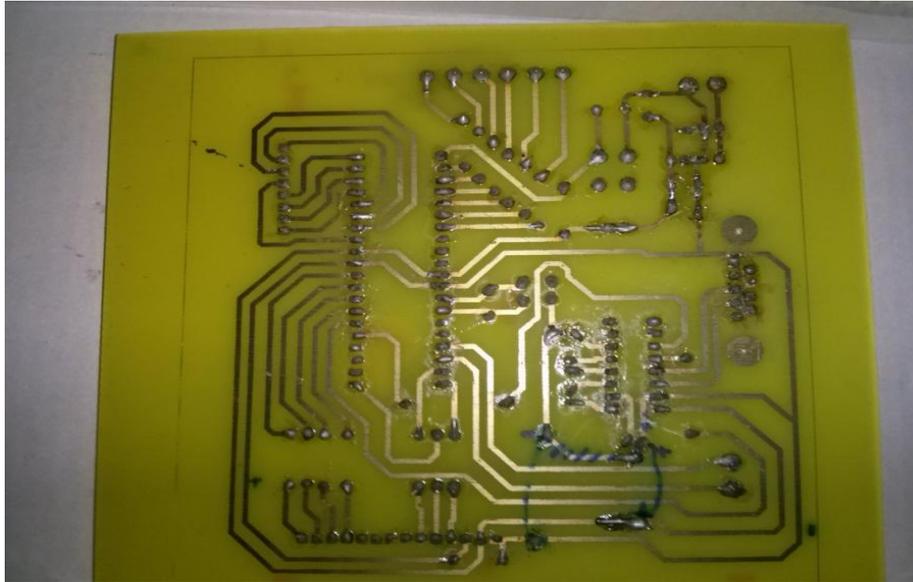
**Figure 4. Typical Operating Circuit**

Annexe D:  
Photos des  
maquettes  
réalisées et  
organigramme du  
programme

**I-réalisation pratique:**

**I-1-réalisation du circuit de commande :**

Une fois les typons imprimés sur un support transparent donnés sur les figures précédentes, vient la réalisation des deux cartes comme le présente les vues (*Figure III-14*).



Circuit de commande

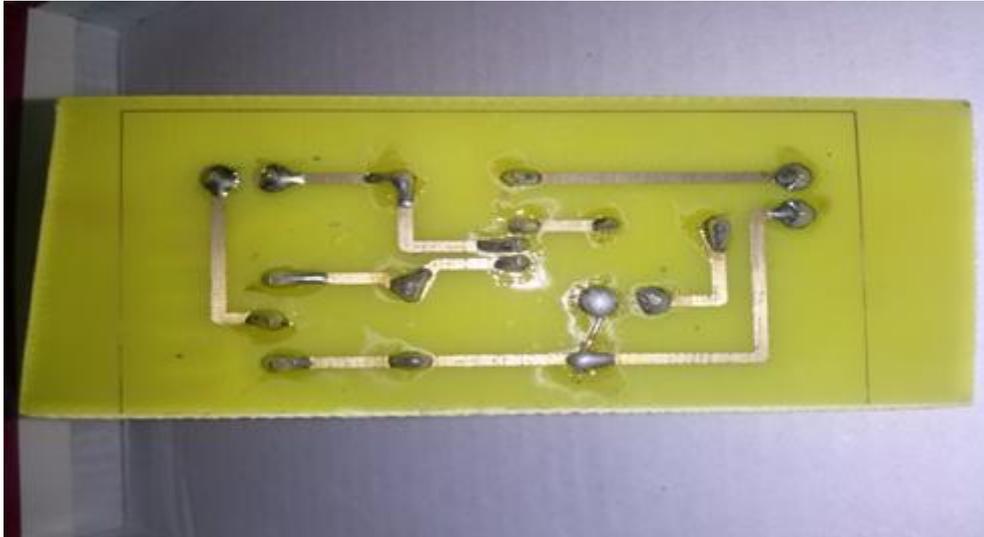
Après cela, nous placerons les composants et nous les soudons à leur place.



Carte du circuit de commande

**I-2-Réalisation du circuit puissance :**

Une fois les typons imprimés sur un support transparent donnés sur les figures précédentes, vient la réalisation des deux cartes comme le présente les vues (Figure III-17).



Circuit de puissance

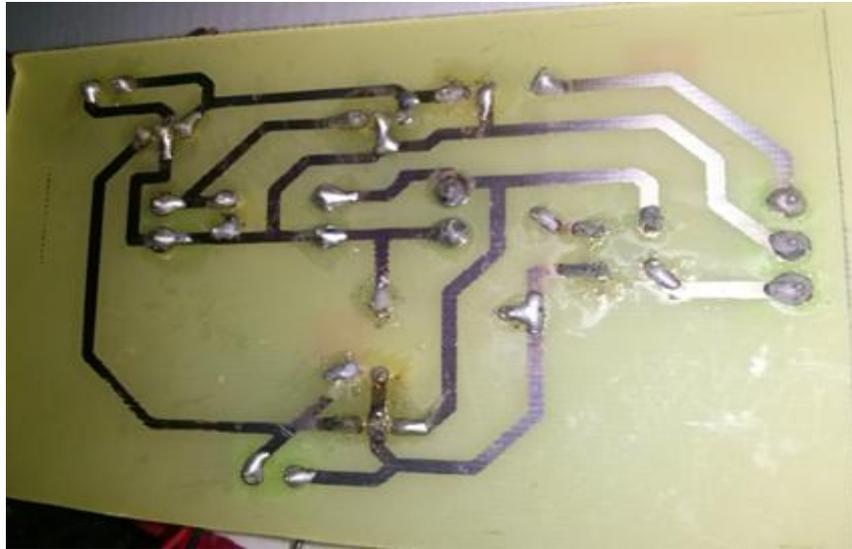
Après cela, nous placerons les composants et nous les soudons à leur place.



Carte du circuit de puissance

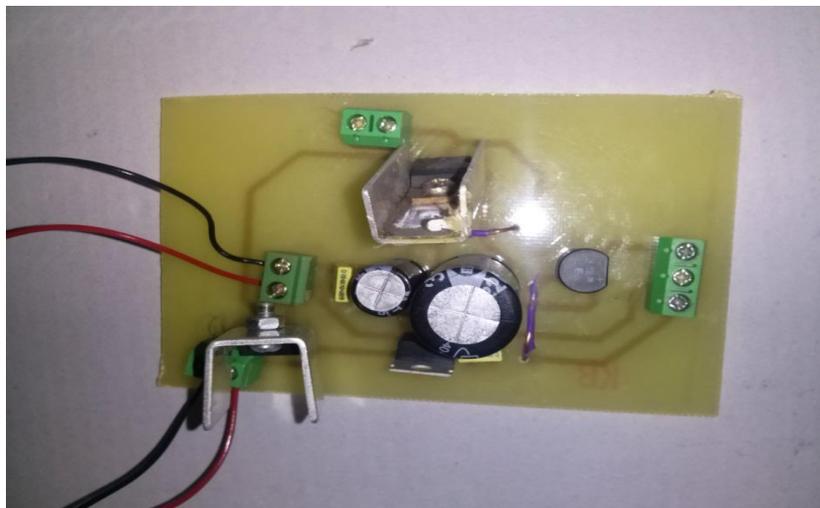
**I-3-Réalisation du circuit d'alimentation :**

Une fois les typons imprimés sur un support transparent donnés sur les figures précédentes, vient la réalisation des deux cartes comme le présente les vues (Figure III-20).



Circuit de d'alimentation

Après cela, nous placerons les composants et nous les soudons à leur place.



Carte du circuit d'alimentation

# Annexe E : Partie programmation

**Partie programmation :****Réalisation du programme :**

L'avantage du compilateur CCS est que le logiciel fait appel à des bibliothèques spécifiques à la demande de l'utilisateur qui commencent par ( # include ) pour ne pas compliquer la programmation, mais on doit respecté les consigne d'entrée / sortie des pins du PIC 16f877a.

Dans nôtres cas, on a appelé des bibliothèques spécifiques à la demande du régulateur tels que :

- #include<math.h>
- #include <stdlib.h>
- #include <lcd.c>
- #include <clavier16T.c>

**Programme du microcontrôleur :**

```
#include<math.h>
#include <stdlib.h>
#include <lcd.c>
#include <clavier16T.c>
float kc=0;
float ti=0 ;
float td=0;
float con=0;
char k,s[6];
int i;
int delta;
float mesure=0;
float derrive;
float val_int;
float val_der;
float intégral;
float sortie;
float val_prop;
float erreur;
float total;
float olderr;//ancienne erreur
int adc;

void main ()
{
```

```

setup_adc_ports(AN0_AN1_AN2_AN3_AN4);
setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_4);
setup_psp(PSP_DISABLED);
setup_spi(FALSE);
setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);
setup_timer_1(T1_DISABLED);
setup_timer_2(T2_DIV_BY_1,0,1);
setup_ccp1(CCP_PWM);
setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
setup_vref(FALSE);
set_adc_channel(0);           //sélectionner AN0 comme entré analogique
lcd_init();//initialiser lcd
port_b_pullups(1);           //utiliser les résistances de rappel du port B pour le clavier
                                avec le port B en entrée

kbd_init();                   //initialiser le clavier
for (i=0;i<10;i++) {;}
lcd_putc(" ");
printf(lcd_putc,"kc=");
s [0]=0;                       //initialiser la chaine de caractère
i=0;
while(true){                   //tant que c'est vrai
k=kbd_getc();                 // récupérer les caractères dans la variable k
if(k!=0)                       // si il n' de touche appuyée

{

if(k=='+')                     // si la touche valider(+) est apuyé
break;
if(k=='*')                     //si la touche (*)corespond a virgule
k='.';
lcd_putc(k);                   // afficher le caractere de la touche appuyé
if(k!=0)                       //si une touche est apuyé
s [i++]=k;                     // charger la chaine de caractere du chiffre apuyé
kc=atof(s);                   //convertir la chaine de caractere kc en float
}
}
continue;

printf(lcd_putc,"\fti=");// afficher ti sur le lcd

s [0]=0;
i=0;
while(true){
k=kbd_getc();
if(k!=0)
{

```

```
    if(k=='+')
    break;
    if(k=='*')
    k='.';
    lcd_putc(k);
    if(k!=0)
    s[i++]=k;

    ti=atof(s);//convertire la chaine de caractere ti en float
}
}
continue;
printf(lcd_putc,"\ftd=");// afficher td
s[0]=0;
i=0;
while(true){
k=kbd_getc();
if(k!=0)
{
if(k=='+')
break;
if(k=='*')
k='.';
lcd_putc(k);
if(k!=0)
s[i++]=k;
td=atof(s);// convertire td en float
}
}
```

```

continue;

printf(lcd_putc, "\fcon="); //afficher la consigne

s [0]=0;

i=0;

while(true){

k=kbd_getc();

if(k!=0)

{

if(k=='+')

break;

if(k=='*')

k='.';

lcd_putc(k);

if(k!=0)

s [i++]=k;

con=atof(s) ;           // convertir la consigne en float
}
}

while(1)                 //c'est une boucle sans fin (répétitif)
{
adc=read_ADC(ADC_START_AND_READ); //lire l'entrée analogique
mesure=adc*5/1024;       //exemple pour la mesure pour l'étalonnage
printf(lcd_putc, "\f%f", mesure); //lire la mesure
Erreur =con - mesure;   //l'erreur =la consigne -la mesure
val_prop = erreur * ( kc); //la valeur proportionnel=erreur* kc
derrive = erreur - olderr ; // dérivé=erreur -ancienne erreur
val_der = dérivé *(td/delta); //la valeur dérivé = dérivé*(td/échantillonnage)
integral = integral + erreur; //intégral= la somme des erreurs+la nouvelle erreur

val_int = intégral *( ti*delta ); //la valeur intégral=intégral*(ti*l' échantillonnage)

total= (val_prop+val_int+val_der) //total=la valeur proportionnel+ la valeur
                                intégral+la valeur dérivé

olderr = erreur ;           //l'ancienne erreur=nouvelle erreur

sortie =total;             //la sortie du pid = le total
}
}

```

# Résumé

---

La raffinerie d'Alger est un complexe pétrolier utilisant des procédés d'usinage dangereux, de ce fait l'action humaine est réduite au profit du control à distance et de la régulation par machine.

Dans cette installation les régulateurs utilisés sont de marque ABB dont l'avantage réside dans la réduction de la consommation d'énergie, Mais ce type de régulateur est difficile à maintenir et à programmer.

Notre projet consiste à concevoir et à réaliser un régulateur P.I.D à base d'un microcontrôleur PIC16f877a, ayant des fonctionnalités similaires à ceux d'ABB, mais qui sera facile à programmer et à maintenir.

Dans le premier chapitre, nous allons commencer par la présentation de la raffinerie d'Alger et ces différentes installations. Cette raffinerie à pour objectif de traiter le pétrole brut de Hassi-Messaoud seul ou en mélange, avec des proportions variables avec le condensât de Hassi-R'mel.

Dans le second chapitre, nous allons présenter quelques notions sur la régulation analogique et numérique. Et on fait une comparaison entre les deux et on va parler du développement de la régulation numérique. Ce développement résulte essentiellement de la souplesse de réalisation des régulateurs numériques.

Le troisième chapitre est consacré à la conception électronique et les outils logiciels utilisés lors de la conception du régulateur PID. Il s'agit ici d'étudier les différents éléments qui constituent la carte de commande d'un régulateur PID. Ce système aura pour but d'activer la partie puissance pour la commande des dispositifs électroniques et mécaniques.

Notons que ce régulateur peut être utilisé à n'importe quel systèmes de régulation, à condition d'adapter les capteurs, les actionneurs, et les paramètres PID adéquats.

En perspective, notre travail peut être complémenté par :

- Programmation de la PWM de la sortie du pic (problème de logiciel CCS pic C compiler).
- Utilisation de la sortie PWM pour commander un système réel.

Mots clés :

PID : Régulateur proportionnel intégral dérivée

C : Consigne.

Ti : La constante d'intégration.

Td : La constante de dérivation.

U : Signal de commande.

M : La grandeur mesurée.

$\varepsilon(t)$  : L'écart.

Ys : La sortie du processus.

Z : Perturbation externe.

CCS : Custom Computer Services.