

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE

DEPARTEMENT D'AUTOMATIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur en Automatique

Présenté par:

- AICHOUN Youcef

Thème

***Conception et réalisation d'un Système de
mesure de la température et de l'humidité***

2014/2015

Remerciements

Je tiens à remercier Dieu tout puissant pour m'avoir permis d'arriver à ce stade.

J'Aimerai remercier vivement mes chers amis surtout ceux avec lesquels j'ai travaillé à ce projet.

Enfin, mes meilleurs et vifs remerciements s'adressent à tous qui me connaît de proche ou de loin.

Dédicaces

Je remercie Dieu, le tout puissant de m'avoir donné la force et le courage afin d'accomplir ce travail.

Je voudrais dédier ce modeste travail à mes chers parents qui m'ont élevé et soutenu tout au long de ma vie.

Aucune expression, aussi élaborée soit-elle, ne pourrait traduire mon profonde gratitude et ma reconnaissance pour toutes ces années de sacrifices et de dévouement.

Je veux dédier ce travail comme témoignage de mon respect et de mon amour éternel.

Je dédie également ce travail à ma famille.

Que dieu leurs donne santé et longue vie.

Table des matières

<i>Introduction générale</i>	1
------------------------------------	---

Chapitre I : Mesure de la température et de l'humidité

I. Introduction.....	3
II. La température	3
II.1. Définition de la température	3
II.2. Repérage	4
III. Méthode de mesure thermométrie	4
III.1. Méthode électrique	4
III.2. Thermomètres à résistance et à thermistance	4
III.2.1. Principe.....	4
III.2.3. Thermomètres à thermistance	4
III.2.2. Thermomètres à résistance	4
III.3. Thermomètre classique.....	5
III.3.1. Principe.....	5
III.4. Thermocouple.....	6
III.4.1 Principe de mesure au thermocouple	7
III.5. Pyromètres	7
III.5.1. Principe	8
IV. L'humidité.....	9
IV.1. Définition de l'humidité.....	9
IV.1.1. Le rapport de mélange.....	9

IV.1.2. L'humidité relative	9
IV.1.3. La température de rosée	9
IV.2. La détermination de l'humidité	10
IV.3. Influence de l'humidité de l'air dans plusieurs secteurs	11
IV.4. Capteur d'humidité	11
IV.4.1. Principe de fonctionnement.....	12
IV.4.2. Les type de capteur d'humidité	12
IV.4.2.1. Capteur optiques	12
IV.3.2.2. Capteurs gravimétriques	13
IV.3.2.3. Capteur résistif	14
IV.3.2.4. Capteurs hygrométriques	14
IV.3.2.4.1. Hygrométrie résistif	15
IV.3.2.4.2. Hygrométrie capacitif	16
IV.3.2.5. Capteurs capacitifs	16
V. Généralités sur les capteurs	17
V.1. Définition.....	17
V.2. Constitution d'un capteur.....	17
V.3. Grandeurs d'influence.....	18
V.4. Classification des capteurs.....	18
V.4.1. Les capteurs actifs.....	19
V.4.2. Les capteurs passifs	19
V.5. Critères de choix d'un capteur.....	19
V.6. Conclusion	20

Chapitre II : Description du Microcontrôleur PIC 16F877

I. Introduction.....	21
II. Les microcontrôleurs.....	21
II.1. Généralités.....	21
II.2. Domaines d'exploitation des microcontrôleurs	21
II.3. Caractéristiques principales des microcontrôleurs	22
II.4. Les avantages des microcontrôleurs.....	22
II.5. Structure de fonctionnement d'un microcontrôleur.....	23
III. Les microcontrôleurs PICs	24
III.1. Définition d'un PIC	24
III.2. Les différentes familles des PICs	24
III.3. Identification d'un Pic	24
III.4. Les PICs sont des composants statiques.....	25
IV. Description du PIC 16F877 du MICROCHIP	26
IV.1. Principales caractéristiques du PIC 16F877	26
IV.2 Organisation externe du PIC 16F877	26
IV.2.1 Les broches d'alimentation	27
IV.2.2 Les broches de l'horloge	28
IV.2.3 Les différents ports	28

IV.2.3.1. Le port A	28
IV.2.3.2. Le port B	29
IV.2.3.3. Le port C	29
IV.2.3.4. Le port D	29
IV.2.3.5. Le port E.....	29
IV.3. Organisation interne du PIC 16F877.....	29
IV.3 Mémoires du PIC 16F877.....	30
IV.3.1 La mémoire programmé	30
IV.3.2 Mémoire vive « RAM »	30
IV.3.3 Mémoire morte « FLASH »	31
IV.3.4 Mémoire « EEPROM ».....	31
IV.3.4 Unité Arithmétique est Logique « ALU »	31
IV.3.5 Interruption RB0/INT, RB4-RB7	31
IV.3.6 Les registre ADRESL et ADRESH.....	32
IV.3.7 Le registre ADCON1	32
IV.3.8 Le registre ADCON0	33
IV.3.9 MCLR	33
IV.3.10 L'oscillateur	34
IV.3.11 Le convertisseur analogique/numérique	35
IV.3.12 Les Trois TIMERS	36
IV.3.12.1 Caractéristiques du TIMER 0.....	36
IV.3.12.1.1. Les différents modes de fonctionnement du TIMER 0.....	37
IV.3.12.1.2. Le TIMER 0 et les interruptions	37

IV.3.12.2 Caractéristiques du TIMER 1	37
IV.3.12.2.1. Les différents modes de fonctionnement du TIMER 1	38
IV.3.12.2.2. Le TIMER 1 et les interruptions	38
IV.3.12.3 Le TIMER 2.....	39
IV.3.12.3.1. Caractéristiques du TIMER 2.....	39
IV.3.12.3.2 Le TIMER 2 et les interruptions	39
IV.4. Conclusion	40

Chapitre III : Conception du Système de mesure

I. Introduction.....	41
II. Description sommaire du système	41
II.1. Description détaillée des blocs du système	42
II.1.1. Le Bloc d'alimentation	42
II.1.1.1. Le choix des différents éléments de l'alimentation	42
II.1.1.2. Présentation de la carte d'alimentation.....	42
II.1.1.3. Choix du régulateur	43
II.1.1.4. Connexion de bloc d'alimentation sur la carte.....	44
II.1.2. Le capteur LM35DZ	44
II.1.2.1. Fonctionnement avec le capteur LM35.....	46
II.1.3. Le Capteur d'humidité.....	47
II.1.3.1. Connexion de capteur d'humidité sur la carte.....	48
II.1.3.2. Étalonnage du capteur d'humidité.....	48
II.1.4. Bloc d'affichage	50

II.1.4.1. Fonctionnement.....	51
II.1.4.2. Connexion de l’afficheur sur la carte	52
II.2. Fonctionnement générale du Système	52

Chapitre IV : Logicielles utilisé et résultats expérimentaux

I. Introduction.....	55
II. La C.A.O.....	55
III. Présentation générale de Proteus.....	55
III.1. Description de logiciel Proteus.....	56
III.1.1.Définition de logiciel ISIS.....	56
III.1.2. Description de fonctionnement de logiciel ISIS	56
III.1.3.L’interface utilisateur	57
III.1.3.1. L’écran Isis	57
III.1.3.2. Fenêtre d'ensemble (Vue d'ensemble).....	57
III.1.3.3. Fenêtre d’édition	58
III.1.3.4. La boîte à outils	58
III.1.4.1. L’écran ARES	58
III.1.4.2. Description d’un exemple de routage sous ARES	59
II.1.4.3. Raccourcis clavier des fonctions d’édition courantes.....	61
III.2. Le langage et le compilateur MikroC pour PIC	63
III.3. Compilateur MikroC PRO pour PIC	63
III.3.1. Editeur de code (Code Editor).....	64
III.3.2. Assistant de code	65

III.3.3. Mise en forme automatique.....	65
III.3.4. Affichage syntaxique coloré.....	66
III.3.5. Outils intégrés	66
III.3.5.2. Mini gestionnaire 7 segments	66
III.3.5.1. Mini terminal USART	66
III.3.5.3. Editeur d'EEPROM	67
III.3.5.4. Gestion des LCD graphiques.....	67
III.4. Création d'un nouveau projet.....	68
III.5. Compilation.....	72
III.6. Programme.....	73
III.7. Conclusion	76
<i>Conclusion générale</i>	77

Annexes

Références bibliographiques

Liste des figures et des tableaux

Figure I.1. Thermomètre classique et thermomètre à résistance.....	5
Figure I.2. Principe de l'effet seebeck et du thermocouple.....	6
Figure I.3. Le principe d'un thermocouple	7
Figure I.4. Pyromètre à infrarouge	7
Figure I.5. Le principe d'un Pyromètre.	8
Figure I.6. Points de rosée expérimentaux et modélisés selon.....	10
Figure I.7. Capteur d'humidité gravimétrique avec module Peltier.....	13
Figure I.8.Capteur résistif avec un film sensible, et le principe du circuit d'instrumentation avec amplificateur opérationnel	14
Figure I.9. (a) Variation relative de l'intensité du courant transmis par rapport à la dilatation du cheveu (b) schéma de principe du capteur	15
Figure I.10. Capteur d'humidité hygrométrique	15
Figure I.11. Capteur d'humidité capacitif	17
Figure I.12. Structure d'un capteur.	17
Figure I.12. Schéma de principe d'un capteur.....	18
Figure II.1. Structure interne d'un microcontrôleur	23
Figure II.2. Brochage de pic 16F877	27
Figure II.3. Structure interne du PIC 16F877.....	30
Figure II.4. Les registres ADRESL et ADRESH	32
Figure II.5. Les 8 bits du registre ADCON1	32
Figure II.6. Les 8 bits du registre ADCON0	33
Figure II.7. Circuit du reset	33
Figure II.8. Connexion de L'oscillateur avec le pic	34
Figure II.9. Les montages d'oscillateur	34

Figure II.10. Module du convertisseur	35
Figure III.1. Schéma Bloc	41
Figure III.2. Schéma électrique de l'alimentation.....	43
Figure III.3. Symbole de régulateur 78XX	43
Figure III.4. Circuit de l'alimentation stabilisée a +5V	44
Figure III.6. Courbe d'étalonnage du LM35DZ.....	45
Figure III.5. Brochage de LM35DZ	46
Figure III.7. Montage du LM35 sur le PIC	46
Figure III.8. Capteur d'humidité HIH 4000	47
Figure III.9. Connexion du capteur d'humidité avec le PIC	48
Figure III.11. Courbe de taux d'humidité (%) en fonction de la tension U (V).....	48
Figure III.12. La plage de fonctionnement du capteur HIH 4000	50
Figure III.13. Afficheur LCD 2x16.....	50
Figure III.14. Les pins d'un afficheur LCD 2x16	51
Figure III.15. Montage de l'afficheur LCD sur le PIC.....	52
Figure III.16. Le système à réaliser	54
Figure IV.1. Fenêtre principale d'ISIS	57
Figure IV.2. Fenêtre principale d'ARES	58
Figure IV.3. Première étape dans le routage sous ARES	59
Figure IV.4. Positionnement des composantes sur la zone de travail.....	59
Figure IV.3. Toutes ces figures représentent les étapes de routage sous ARES.	60
Figure IV.4. Réglage des paramètres de typon à réaliser	60
Figure IV.5. Le circuit après le routage sous ARES	61
Figure IV.6. Schéma d'un exemple de circuit de routage.....	62
Figure IV.7. Schéma d'un exemple de circuit face cuivre	62
Figure IV.8. Exemple d'implantation des composants	62

Figure IV.9. L'environnement IDE du compilateur MicroC	64
Figure IV.10. Boîte de dialogue	65
Figure IV.11. Assistant de code	65
Figure IV.12. Mini terminal USART	66
Figure IV.13. Mini gestionnaire 7 segments	66
Figure IV.14. Editeur d'EEprom.....	67
Figure IV.15. Gestion des LCD graphiques	67
Figure IV.16. Création d'un nouveau projet	68
Figure IV.17. Première étape pour créer un projet	69
Figure IV.18. Sélection de périphérique (le pic à utiliser)	69
Figure IV.19. Précision de la valeur de quartz	70
Figure IV.20. Choisir l'emplacement d'enregistrement du projet	70
Figure IV.21. L'ajout d'un fichier au projet déjà créé.	71
Figure IV.22. La dernière étape pour créer un nouveau projet.....	71
Figure IV.23. La fenêtre principale où on édite le programme	72
Figure IV.24. Les étapes pour la compilation du programme.....	72
Figure IV.25. Avertissement des erreurs.....	73
Tableau III.1. Caractéristiques électriques du LM35DZ	45
Tableau III.2. Le taux de l'humidité (%) en fonction de la tension U (V).....	49
Tableau IV.1. Les fichiers du dossier du projet.	73

Introduction générale

Dans de nombreux actes quotidiens, les notions de température et de taux d'humidité sont partout ! On n'y prête plus attention tellement sont devenus des phénomènes courants.

Il est souvent nécessaire, dans de nombreux domaines, dans l'industrie gazière, dans le domaine agricole, et dans l'industrie pharmaceutique, de connaître et de réguler deux phénomènes très importants : la température et le taux d'humidité de l'air.

La température comme l'humidité ne sont pas des grandeurs au sens strict du terme comme le sont les autres unités de mesure. En effet, une grandeur est tout ce qui est susceptible d'augmenter ou de diminuer comme, par exemple, une longueur, une surface, une puissance, etc.

Physiquement mesurer une grandeur quelle que soit son espèce, c'est la comparer à une autre grandeur, de même espèce, choisie pour unité.

Une grandeur est directement mesurable quand nous pouvons définir le rapport ou l'égalité ou encore la somme de deux valeurs de cette grandeur. Une longueur, une surface sont des grandeurs mesurables. En revanche, une température repérée n'est pas une grandeur mesurable car nous pouvons définir l'égalité de deux températures mais nous ne pouvons pas en faire la somme.

Dans le domaine pharmaceutique, les médicaments présentés sous forme de gélules sont fabriqués à partir de poudres séchées puis pressées. Les tolérances sur l'humidité de ces poudres sont souvent très étroites car celle-ci influence leur comportement pendant le pressage ainsi que la tenue des enrobages.

Comme évoqué plus haut, et avec l'évolution de la science et des technologies, les hommes ont été à plusieurs reprises confrontés à plusieurs problèmes liés à des variations de températures et de l'humidité : dilatation des métaux, variation des résistances, problème des semi-conducteurs etc.....

Ainsi, de nos jours, on réalise donc l'intérêt de la connaissance des capteurs de température et d'humidité du fait de la grande diversité des applications qui en découlent.

Les possibilités offertes par l'utilisation de système à base de microprocesseur ont permis de traiter les signaux issus des capteurs (linéarisation et conversion). Ceci a conduit à des appareils précis et bon marché. Les systèmes à base de microcontrôleurs constituent la solution la plus attractive.

L'objectif de ce projet est la réalisation d'un système de mesure pour pouvoir suivre les variations de la température et de l'humidité. Pour se faire nous avons subdivisé notre travail en quatre parties principales :

Dans un premier chapitre, nous procédons à une étude des généralités sur la mesure de la température et de l'humidité.

Le deuxième chapitre sera consacré à la description des microcontrôleurs et précisément le pic 16F877A

Le troisième chapitre détaille les différents étages et les différentes composantes du circuit à réaliser.

Le dernier chapitre sera consacré à la description des logiciels de simulation et de programmation, et les résultats de notre travail.

Notre mémoire s'achèvera par une conclusion.

I. Introduction

La température, avec le taux d'humidité comptent parmi les grandeurs physiques les plus fréquemment mesurées. Constituent des informations importantes dans plusieurs processus industriels et de laboratoire. Ils interviennent comme des grandeurs principales dont les valeurs doit être connue avec précision ou comme paramètres influents sur la qualité d'autres mesures. Ses valeurs seront utilisées pour la correction ou la compensation. Certains procédés industriels ou biologiques favorisent des environnements de températures et d'humidité spécifiques, ainsi la régulation de ses deux facteurs s'impose. Cette régulation passe par la mesure de ces grandeurs de manière continue.

La détermination de la température et de l'humidité, comme dans la prévision des inondations, brouillard, conditions pour l'apparence des maladies des plantes, etc., est de grande importance économique. Les produits alimentaires ou les matières premières stockées peuvent sécher à basse de la température ou devenir moisiss à l'humidité élevée. Dans beaucoup de processus industriels, la mesure de ces deux facteurs est importante pour l'entretien des conditions optimal à la fabrication. La température et le taux d'humidité peut être exprimée en un certain nombre de manières, et le nombre de méthodes pour les mesurer est encore plus grand.

Dans ce premier chapitre, nous procédons à une étude générale sur les moyens et les méthodes de mesure de la température et de l'humidité.

II. La température

II.1. Définition température

La température est la grandeur physique mesurée à l'aide d'un thermomètre et étudiée en thermométrie. Dans la vie courante, elle est reliée aux sensations de froid et de chaud, provenant du transfert de chaleur entre le corps humain et son environnement.

En physique, elle se définit de plusieurs manières : comme fonction croissante du degré d'agitation thermique des particules « en théorie cinétique des gaz », par l'équilibre des transferts thermiques entre plusieurs systèmes ou à partir de l'entropie « en thermodynamique et en physique statistique ».

La température est une variable importante dans d'autres disciplines : météorologie, climatologie, médecine et en chimie.

La température est une variable importante dans d'autres disciplines. Il existe plusieurs méthodes de mesure de température parmi ces méthodes la méthode électrique.

II.2. Repérage

La température se repère au moyen d'appareils appelés thermomètres. On distingue les thermomètres classiques, les thermomètres à résistance, les thermocouples et les pyromètres.

III. Méthode de mesure thermométrie

III.1. Méthode électrique

En se basant sur la variation thermique de la valeur d'une résistance, sur l'effet Seebeck ou sur la sensibilité thermique de la fréquence d'oscillation d'un quartz. Ces méthodes ont l'avantage d'une plus grande souplesse d'emploi.

III.2. Thermomètres à résistance et à thermistance

III.2.1. Principe

Le fonctionnement des thermomètres à résistance et des thermistances est basé sur un même phénomène physique, à savoir la variation de la résistance électrique d'un conducteur (un fil métallique) en fonction de sa température.

III.2.2. Thermomètres à résistance

D'une façon générale la résistivité d'un métal ou d'un alliage dépend de la température :

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha(T - T_0)) \quad (\text{I.1})$$

ρ_0 : résistivité du matériau.

α : sensibilité thermique. $\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT}$

Relation résistance - température

$$R(T) = R(0) (1 + AT + BT^2 + CT^3) \quad (\text{I.2})$$

$R(0)$: la résistance à 0 °C.

A, B, C : paramètres qui dépendent de matériaux.

III.2.3. Thermomètres à thermistance

Une thermistance est un agglomérat d'oxydes métalliques frittés, c'est-à-dire rendus compacts par haute pression exercée à température élevée, de l'ordre de 150 bars et 1000 °C. Il existe deux types de thermistance. Les CTN à coefficient de température négatif, et les CTP à coefficient de température positif.

Relation résistance - température

$$R(T) = R_0 \exp B (1/T - 1/T_0) \quad (I.3)$$

Avec $T_0 = 25^\circ\text{C}$

$$3000^\circ\text{K} < B < 5000^\circ\text{K}.$$

III.3. Thermomètre classique**III.3.1. Principe**

Lorsque deux corps (dont l'un est relativement chaud par rapport à l'autre) sont mis en contact, leurs températures tendent à s'égaliser. Si l'un d'eux a une masse très faible devant celle de l'autre corps avec lequel il est en contact, il prendra alors sa température. Donc un thermomètre classique est un corps dont la masse est très faible devant celle des corps avec lesquels il est mis en contact.

Les thermomètres classiques utilisent la propriété de dilatation du mercure ou de l'alcool. Leurs plages de mesures sont :

- A. Les thermomètres à mercure, la plage est (-39°C) à $(+360^\circ\text{C})$ sont sensibles à des variations de température de $(0,01^\circ\text{C})$.
- B. Les thermomètres à alcool, moins coûteux, sont utilisés pour repérer les basses températures en raison de la faiblesse des points d'ébullition et de congélation de l'alcool. Leur précision est très inférieure à celle des thermomètres à mercure. Ils sont, en général, utilisés pour repérer la température atmosphérique et la température du corps humain (thermomètre médical).

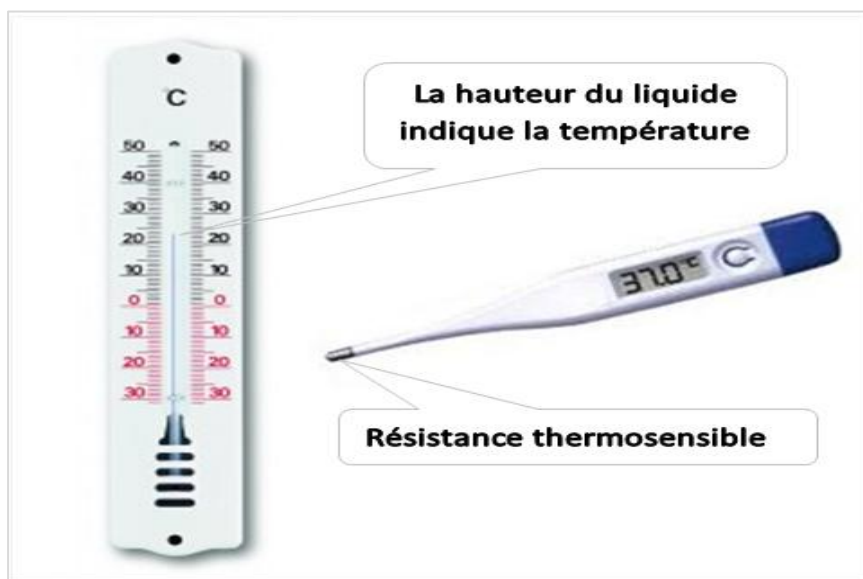


Figure I.1. Thermomètre classique et thermomètre à résistance.

La figure ci-dessus montre deux thermomètres : l'un classique (vertical) et l'autre à résistance (couché).

III.4. Thermocouple

La mesure de température par des thermocouples est basée sur l'effet Seebeck-Peltier : Quand deux soudures de deux métaux différents sont portées à des températures différentes (T_2 , T_1), il s'établit entre elles une « DDP » électrique (V_1-V_2). D'où la relation :

$$(V_1-V_2) = f(T_2-T_1) \quad (\text{I.4})$$

Leur principal défaut est leur imprécision : il est relativement difficile d'obtenir des mesures avec une erreur inférieure à $0,1^\circ\text{C}$ - $0,2^\circ\text{C}$.

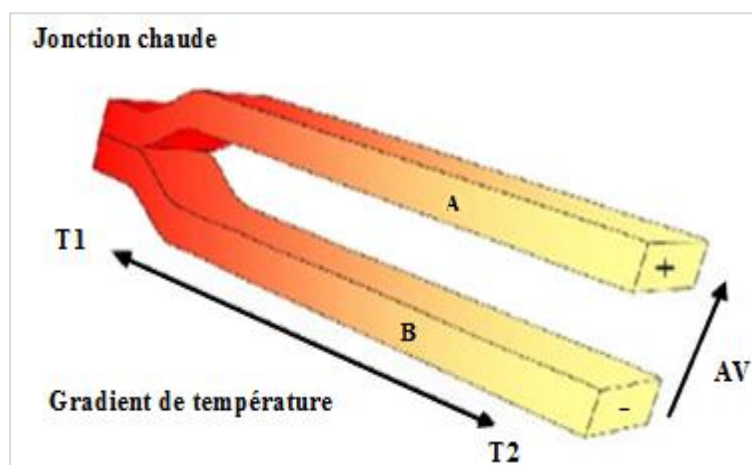


Figure I.2. Principe de l'effet seebeck et du thermocouple.

III.4.1 Principe de mesure au thermocouple

Le thermocouple est constitué par deux soudures de métaux différents raccordés à leurs extrémités : et que l'une d'elles, dite froide, est placée à une température fixe T_1 (en général celle de la glace fondante (0°C) et à la pression atmosphérique normale) et l'autre, dite chaude, en contact avec le milieu matériel dont on veut déterminer la température.

Un microvoltmètre ou un millivoltmètre, permet, après étalonnage, de lire la température de la soudure chaude. La figure ci-dessous illustre le principe de la mesure. Il se produit une circulation de courant continu dans le circuit. C'est l'effet thermoélectrique.

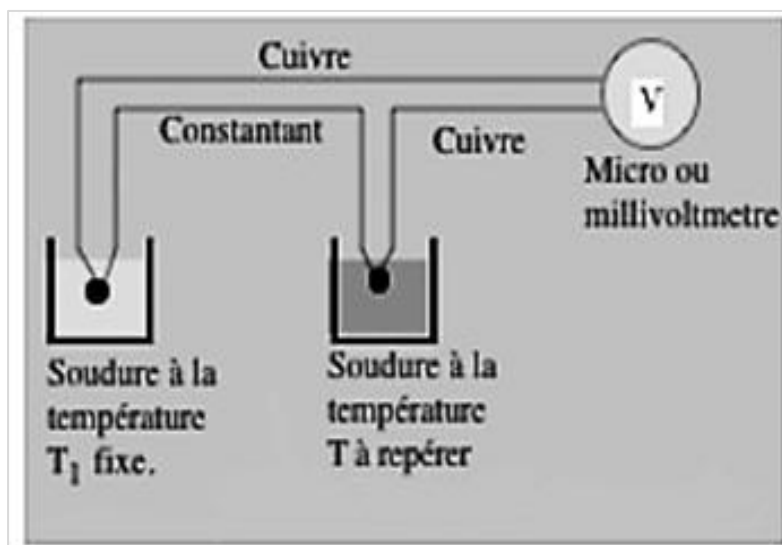


Figure I.3. Le principe d'un thermocouple.

III.5. Pyromètres

Tout corps à une température supérieure au zéro absolu émet un rayonnement constitué d'un ensemble de radiations dont les longueurs d'onde appartiennent au domaine infrarouge ou visible du spectre électromagnétique. Ce rayonnement dépend de la nature, de l'état de surface et de la température du corps. Ainsi, on distingue plusieurs types de pyromètres (pyromètre à infrarouge, pyromètre optique, pyromètre monochromatique...etc.).

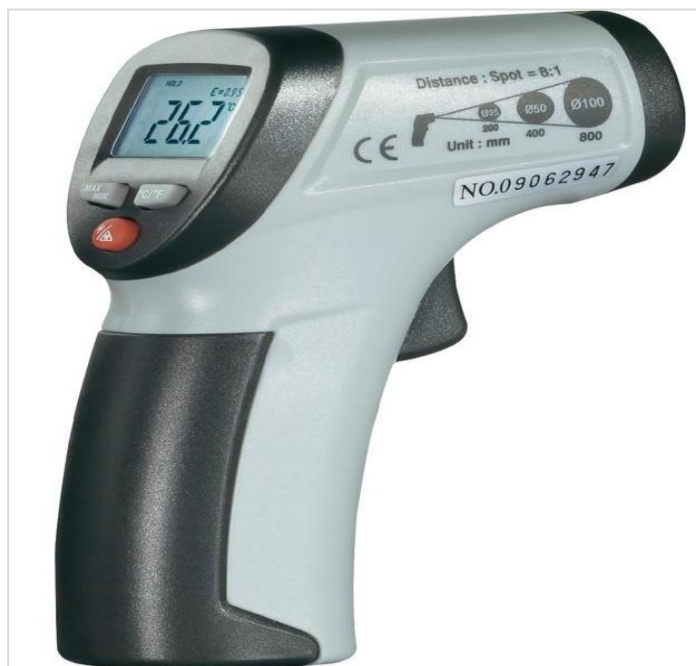


Figure I.4. Pyromètre à infrarouge.

La pyrométrie consiste à déterminer la température en mesurant le rayonnement émis, l'intérêt de la pyrométrie est de permettre la détermination d'une température sans contact avec l'objet; c'est donc une méthode appropriée quand les conditions expérimentales n'autorisent pas l'utilisation de capteurs thermométriques classiques :

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

III.5.1. Principe

Le pyromètre le plus basique est composé d'une lentille qui focalise flux lumineux (visible ou IR) ou l'énergie radiative émis par l'objet à ausculter, sur un détecteur qui la convertit en signal électrique. Après compensation, ce signal est converti à son tour en température.

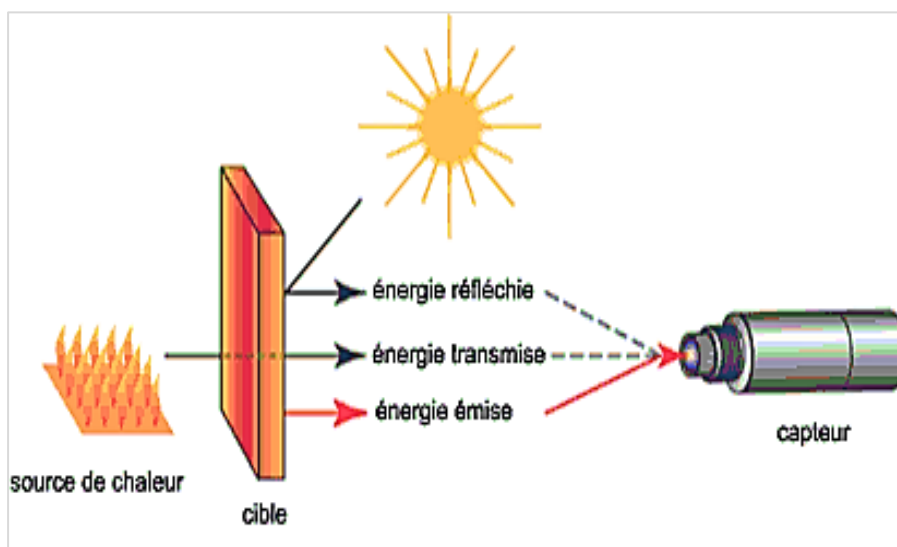


Figure I.5. Le principe d'un Pyromètre.

IV. L'humidité

IV.1. Définition de l'humidité

L'humidité est le mélange d'air sec et de vapeur d'eau dans l'air ambiante. On générale, quand on parle de mesure d'humidité, on fait allusion au taux d'humidité exprimé en % qui est en fait l'humidité relative. La détermination de cette mesure est complexe, car elle est étroitement liée à d'autres grandeurs physiques, telle que la température et la pression.

Le taux d'humidité dans un volume V d'air est généralement exprimé à partir d'un des trois paramètres suivants :

IV.1.1. Le rapport de mélange

Noté r , et exprimé en g/Kg, il exprime le rapport des masses M_v de vapeur d'eau et M_A d'air sec à température ambiante.

Elle exprime l'humidité absolue. Cependant sa détermination est extrêmement délicate du fait des très faibles quantités de vapeur d'eau mises en jeu.

IV.1.2. L'humidité relative

On appelle pression de vapeur saturante $P_s(T)$, la valeur maximale que peut atteindre la pression partielle P_v de la vapeur d'eau à la température T une partie de cette vapeur se condense « apparition d'eau liquide ».

L'humidité relative s'exprime par la relation :

$$\text{HR \%} = 100 (P_v / P_s(T)) \quad (\text{I.5})$$

IV.1.3. La température de rosée

C'est la température à laquelle il faut refroidir, à pression constante, une masse M d'air humide pour atteindre la saturation.

La connaissance de cette température permet de déterminer le taux d'humidité de l'air ; Ceci, grâce à l'utilisation de tables et de diagrammes.

Exemple : Un air à 30°C et 20% HR a son point de rosée à 3°C. Le point de rosée représente la température à laquelle la pression de vapeur est égale à la pression de vapeur saturante. La figure présente les courbes de point de rosée pour différents gaz.

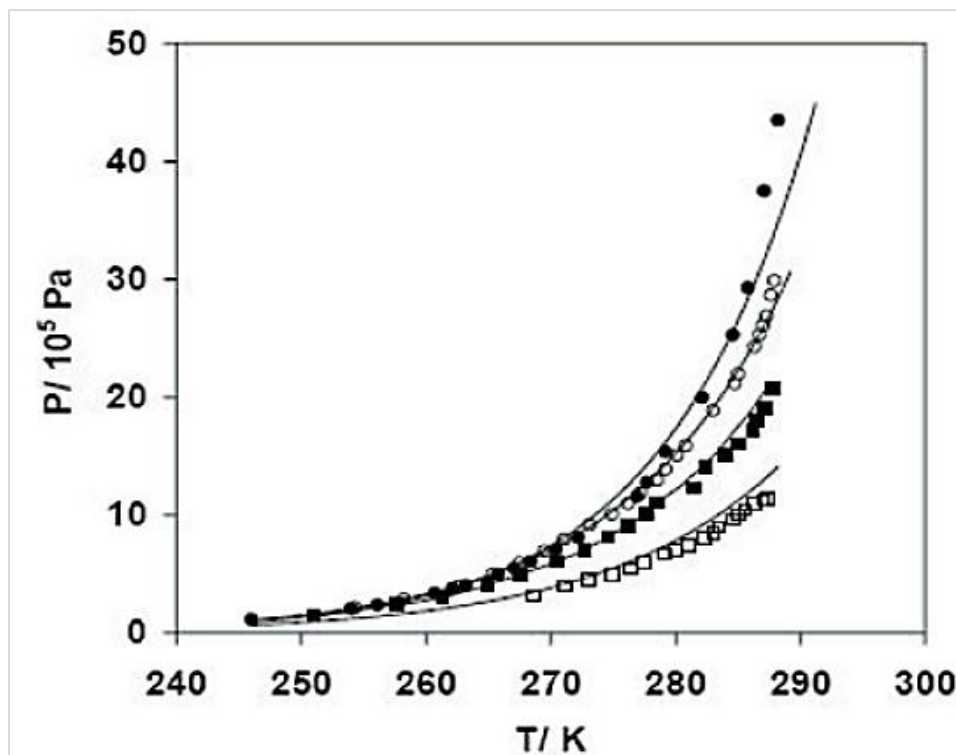


Figure I.6. Points de rosée expérimentaux et modélisés selon [37].

IV.2. La détermination de l'humidité

La détermination de l'humidité est basée sur la quantité de vapeur d'eau par unité de la masse de l'atmosphère. Comme tous les gaz dans l'atmosphère, la vapeur d'eau constitue une partie finie de toute la pression atmosphérique. Cette pression partielle de vapeur d'eau est proportionnelle au contenu d'humidité atmosphérique et fournit ainsi une mesure de la quantité absolue d'humidité dans l'air. Si un échantillon d'air est saturé de molécules d'eau à une température donnée, il atteint par la suite un état d'équilibre dans lequel le taux des molécules d'eau sortants du liquide est le même que le taux des entrants au liquide. En conséquence, le contenu de vapeur d'eau dans l'air et la pression de vapeur d'eau devient constant. La pression de vapeur dans cet état s'appelle la pression de vapeur d'eau de saturation et elle augmente avec l'augmentation de la température [6].

L'humidité absolue est définie comme un rapport de la masse de vapeur d'eau par unité de volume d'air, qui peut être exprimée comme :

$$\text{Humidité absolue} \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{la masse de la vapeur d'eau}}{\text{volume d'air}} \quad (\text{I.6})$$

L'humidité absolue change avec l'expansion de volume d'air de sorte qu'elle ne donne pas une représentation fiable de l'humidité globale dans l'air. L'humidité spécifique est le rapport de la masse de vapeur d'eau par unité de la masse de mélange d'air-eau-vapeur.

$$\text{Humidité spécifique} = \frac{\text{la masse de la vapeur d'eau}}{\text{unité masse de mélange d'air-eau-vapeur}} \quad (\text{I.7})$$

Le rapport de mélange est défini comme la masse de vapeur d'eau par unité de la masse d'air sec :

$$\text{rapport de mélange} \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{la masse de la vapeur d'eau}}{\text{masse d'air sec}} \quad (\text{I.8})$$

L'humidité relative est le rapport du contenu de vapeur d'eau dans l'air à la quantité maximale de vapeur d'eau que l'air peut maintenir à une température donnée :

$$\text{Humidité relative} = \frac{\text{quantité de vapeur d'eau dans l'air}}{\text{quantité de vapeur d'eau que l'air peut tenir}} \quad (\text{I.9})$$

Puisque la pression de vapeur de saturation est une fonction de la température, l'humidité relative change non seulement avec la quantité de vapeur d'eau dans l'air, mais également avec la température. L'humidité relative est importante parce que c'est un paramètre sans dimensions et il est associé à la sécheresse du matériel.

IV.3. Influence de l'humidité de l'air dans plusieurs secteurs

L'influence de l'humidité est d'une importance primordiale dans divers secteurs, tels que:

- ✓ L'agro-alimentation ou l'humidité joue un rôle dans l'altération de stocks.
- ✓ Pharmaceutique ou le taux d'humidité des produits sous forme de poudre doit être étroitement contrôlé.
- ✓ L'industrie des semi-conducteurs pour laquelle l'absorption de molécules d'eau peut nuire à la réalisation des dépôts de couches minces.
- ✓ L'électronique pour notamment la fiabilité des systèmes, et pour d'autres domaines....etc.

IV.4. Capteur d'humidité

L'humidité est un facteur très important qui influe beaucoup sur les propriétés physico-chimique et biologique de la matière. Ces réactions sont dues à la nature polaire de l'eau. C'est pourquoi l'utilisation des capteurs d'humidité est devenue le standard dans plusieurs domaines mondiaux pour connaître la valeur du taux d'humidité de l'air afin de la maintenir à une valeur fixée pour un bon fonctionnement des appareils.

La mesure et la commande de l'humidité est importante dans beaucoup de secteurs comprenant l'industrie (papier, électroniques), l'environnement domestique (climatisation), la médecine (équipement respiratoire), etc....Différentes méthodes sont utilisées pour les mesures d'humidité, par exemple, changements des propriétés mécaniques, optiques, et électriques des mélanges de vapeur d'eau de gaz [3].

IV.4.1. Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'un capteur d'humidité est basé sur la variation de l'impédance électrique (résistance ou capacité) dû à l'absorption des molécules d'eau par la couche sensible. Il existe une grande variété de capteur d'humidité généralement liée au mode de transduction, et les plus adaptés sont:

Les capteurs de type capacitif représentant 75% des capteurs commerciaux, les capteurs résistifs, les capteurs hygrométriques, les capteurs gravimétriques et les capteurs optiques.

IV.4.2. Les type de capteur d'humidité

IV.4.2.1. Capteur optiques

Ces capteurs reposent généralement sur l'utilisation de fibres optiques. Leur principe est basé sur la variation des propriétés physiques d'un composant de la fibre sous l'influence de l'humidité, cela se traduit soit par une variation de l'intensité lumineuse transmise, une variation du spectre de fluorescence, ou une variation d'indice d'optique qui permettent des mesures par réflectométrie, ce sont des systèmes peu encombrants, ils peuvent présenter des temps de réponse en dessous de la minute, ils sont chimiquement stables et peu sujets aux perturbations électromagnétiques. Ils sont en revanche coûteux et lourds à concevoir et intégrer.

Un exemple de capteur utilisant une fibre à diffraction de Bragg est présenté, utilisant une gaine de polyamide en tant que matériau sensible. L'absorption d'humidité provoque une variation d'indice optique de la gaine et une variation de la longueur d'onde de Bragg.

IV.3.2.2. Capteurs gravimétriques

Ces capteurs reposent généralement sur le principe de la variation de masse d'une couche sensible exposée à une variation du taux d'humidité. Ces capteurs utilisent généralement une microbalance à quartz pour détecter la variation de masse. La mesure est alors effectuée en mesurant la variation de fréquence de résonance du quartz, matériau piézo-résistif, excité par un signal électrique. La résolution de ces microbalances atteint les quelques nano-grammes par cm^2 de surface exposée.

Un exemple de capteur utilisant une microbalance à quartz est présenté figure. Ce dispositif ne comporte pas de matériau sensible. Il est associé à un refroidissement par Peltier pour abaisser la température du Quartz, et atteindre le point de rosée. L'effet Peltier ou thermoélectricité est le transfert de chaleur entre deux conducteurs de nature différente lorsqu'ils sont parcourus par le même courant. La condensation provoque une apparente variation de masse du quartz. Par étalonnage, le taux d'humidité est déterminé par le délai entre l'activation du module Peltier et la détection de variation de fréquence de résonance de la microbalance.

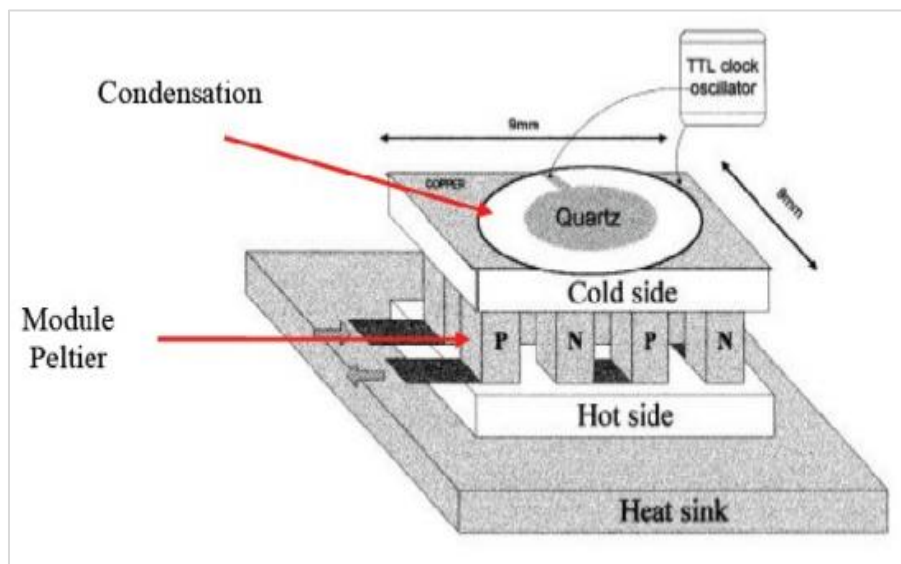


Figure I.7. Capteur d'humidité gravimétrique avec module Peltier.

IV.3.2.3. Capteur résistif

Les capteurs résistifs sont basés sur le changement d'impédance d'une couche sensible après absorption d'humidité. Trois types de matériaux sont généralement utilisés : céramiques, polymères et électrolytes.

Un exemple de capteur d'humidité résistif est présenté sur la figure ci-dessus. Le matériau sensible utilisé est un trioxyde de tungstène, préparé par sol-gel et déposé sur les résistances dédiées à la transduction, le capteur comporte des résistances chauffantes pour l'évacuation de l'humidité dans la couche sensible.

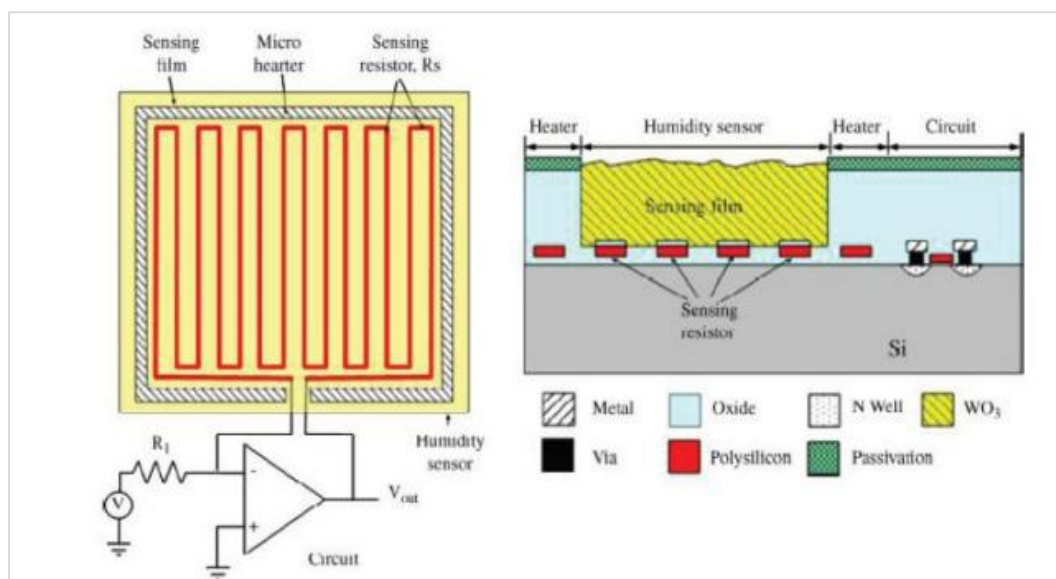


Figure I.8. Capteur résistif avec un film sensible, et le principe du circuit d'instrumentation avec amplificateur opérationnel.

IV.3.2.4. Capteurs hygrométriques

Appelé aussi humidistance, ce type de composant permet une mesure d'humidité relative.

Le principe de transduction repose sur la déformation d'un solide : membrane, cheveu... après absorption d'humidité. L'avantage de cette technique de transduction est qu'elle n'est pas sujette à la dérive en température, le matériau est généralement fiable sur une longue durée.

Un exemple de capteur hygrométrique est présenté, dans cette étude, les auteurs utilisent un cheveu comme matériau sensible. Un échantillon de matériau sensible de 25 cm de longueur présente une variation de 1.5 mm entre 1 % et 100 % HR.

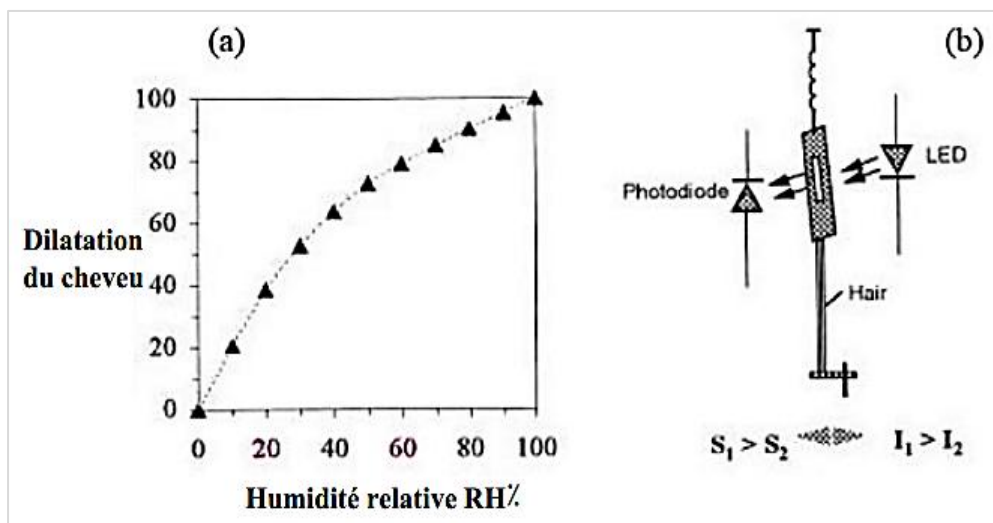


Figure I.9. (a) Variation relative de l'intensité du courant transmis par rapport à la dilatation du cheveu (b) schéma de principe du capteur.

La transduction repose sur l'intensité lumineuse modulée par un cache solidaire du cheveu. La dilatation ou contraction du cheveu selon qu'il absorbe ou relâche de l'humidité déplace le cache et influe sur la quantité de lumière transmise par le dispositif. La figure (a) montre que lorsque le système est bien ajusté, la variation relative de photo-courant par rapport à la dilation du cheveu entre 0 et 100 % RH varie de 0 à 100; la variation n'est cependant pas linéaire.

IV.3.2.4.1. Hygrométrie résistif

Sur un support de faible dimension, on dépose une quantité de substance hygroscopique suivant un motif constituant une résistance.

Exemple : le capteur type H104C de Toshiba.

Céramique $ZrCrO_4$

Matériau poreux à base de vanadium

$R = 300 \text{ K}\Omega$ à 30 % RH



Figure I.10. Capteur d'humidité hygrométrique.

IV.3.2.4.2. Hygrométrie capacitif

Le principe est basé sur la variation de la capacité d'un condensateur par l'intermédiaire de son constant diélectrique.

Le principale intérêt des hygromètres, qu'ils soient résistif ou capacitif, réside dans le fait que leur mise en œuvre peut se faire à partir d'une électronique simple (pont de WHEATSTONE ou oscillateur). Mais ils possèdent cependant quelque inconvénient :

Si on veut avoir une bonne précision, il est nécessaire d'étalonner individuellement chaque capacité, l'utilisation en milieu pollué provoque rapidement un encrassement du capteur enfin, s'il relativement facile de passer d'un taux d'humidité faible à un taux élevé, l'inverse n'est pas toujours vrai. Le capteur doit en effet évacuer l'excédent d'humidité qu'il a emmagasiné, le temps peut varier de quelques minutes à quelques heures.

IV.3.2.5. Capteurs capacitifs

Les capteurs d'humidité capacitifs sont des condensateurs à deux bornes. La valeur de la capacité augmente quand des molécules d'eau sont absorbées dans son polymère diélectrique actif. Le principe de ce capteur est basé sur la variation de la capacité d'une couche diélectrique exposée à un changement du taux d'humidité. Il représente la majeure partie des systèmes dotés d'un capteur d'humidité.

La valeur de la capacité peut se mettre sous la forme suivante :

$$C = \epsilon \frac{S}{e} \quad (\text{I.10})$$

C : capacité en Farad.

ϵ : Permittivité relative du diélectrique.

S : surface des armatures.

e : épaisseur du diélectrique.

Les études portent principalement sur deux aspects :

- a) les propriétés hygroscopiques du matériau sensible, ou la faculté d'un matériau à présenter un constant diélectrique sensible à la prise d'humidité.
 - b) la configuration des électrodes disposée pour générer le champ électrique, ou comment optimiser la diffusion de l'humidité (obstruée par les électrodes) avec une distribution du champ électrique aussi uniforme que possible.
- ❖ Exemple de capteur d'humidité capacitif en Si poreux. Ce capteur a été réalisé sur du silicium poreux. Le principe du capteur repose sur un dépôt d'électrodes métalliques

Cr/Au/Cr à la surface d'une couche de Si poreux épaisse de $1\mu\text{m}$ figure. L'électrode consiste en un maillage de la couche métallique. Une thermistance est incluse pour permettre l'évacuation de l'humidité

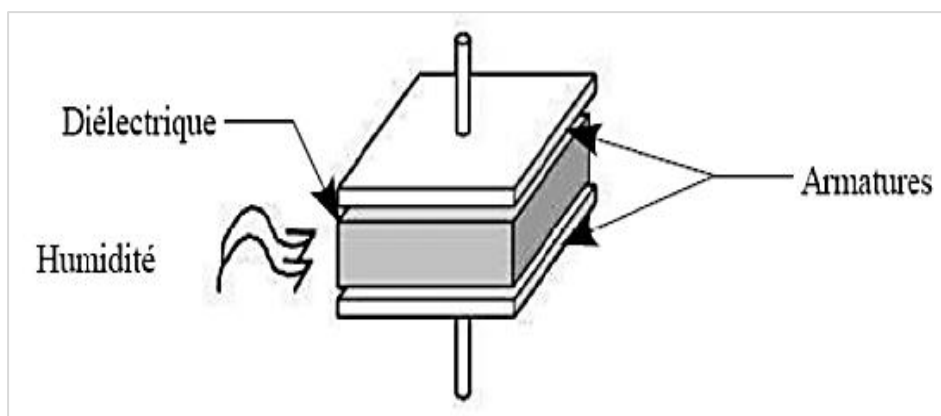


Figure I.11. Capteur d'humidité capacitif.

V. Généralités sur les capteurs

V.1. Définition

Un capteur est un dispositif qui transforme l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur exploitable par la partie commande. Le capteur est au minimum constitué d'un transducteur.

L'information délivrée par un capteur pourra être logique (2 états), numérique (valeur discrète), analogique (dans ce cas il faudra adjoindre à la partie commande un module de conversion analogique numérique).

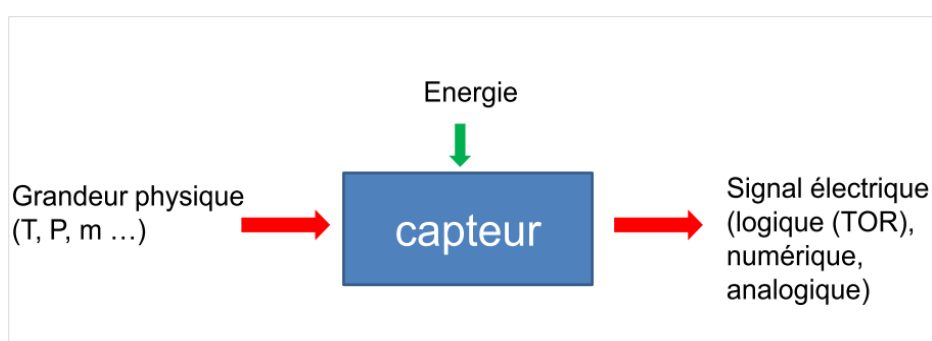


Figure I.12. Structure d'un capteur.

V.2. Constitution d'un capteur

Certains capteurs sont des capteurs dits « composites », c'est à dire composés de 2 parties ayant un rôle bien défini :

A Corps d'épreuve : C'est un élément qui réagit sélectivement aux variations de la grandeur à mesurer. Il a pour rôle de transformer cette grandeur en une autre grandeur physique dite mesurable.

B Elément de transduction : C'est un élément lié au corps d'épreuve qui traduit ses réactions en une grandeur physique exploitable.

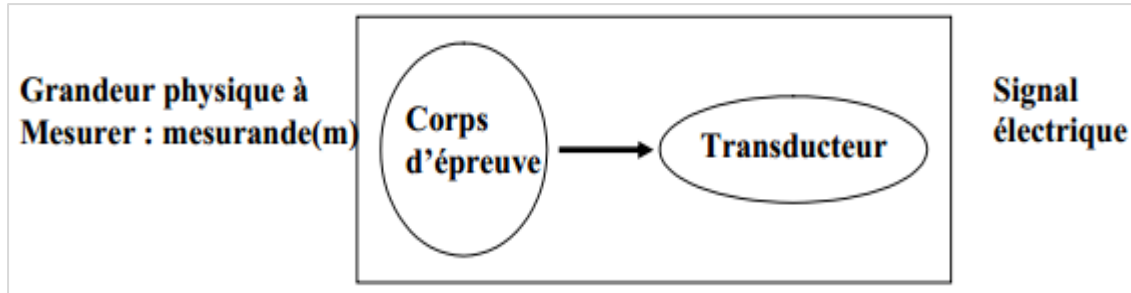


Figure I.12. Schéma de principe d'un capteur.

V.3. Grandeurs d'influence

Les grandeurs d'influence sont des grandeurs étrangères qui, selon leur nature et leur importance, peuvent provoquer des perturbations sur le capteur. C'est donc une cause d'erreurs agissant sur le signal de sortie. Les principales grandeurs d'influence sont :

- La température qui modifie les caractéristiques électriques, mécaniques et dimensionnelles des composants du capteur.
- La pression, l'accélération et les vibrations susceptibles de créer dans certains éléments constitutifs du capteur des déformations et des contraintes qui altèrent la réponse.
- L'humidité à laquelle certaines propriétés électriques comme la constante diélectrique ou la résistivité peuvent être sensibles et qui risque de dégrader l'isolation électrique entre composants du capteur ou entre le capteur et son environnement.
- Les champs magnétiques variables ou statiques ; les premiers créent des f.é.m. d'induction qui se superposent au signal utile, les seconds peuvent modifier une propriété électrique.
- La tension d'alimentation.

V.4. Classification des capteurs

La classification des capteurs se fait à base de plusieurs critères :

- ✓ La mesurande qu'ils traduisent (capteur de température, de pression, ...).

- ✓ De leur rôle dans un processus industriel (contrôle de produits finis, de sécurité, ...).
- ✓ Du signal qu'ils fournissent (capteur analogique, capteur logique, capteurs digitaux).
- ✓ De leur principe de traduction du mesurande (capteur résistif, à effet Hall,...).

De leur principe de fonctionnement : On distingue deux types de capteurs en vue de leurs utilisations dans des circuits électroniques. En effet vue de sa sortie il peut être considéré comme :

- Un générateur, S étant alors une charge, une tension ou un courant. On parle alors des capteurs actifs.
- Une impédance, S étant une résistance, une inductance ou une capacité. On parle alors de capteurs passifs.

V.4.1. Les capteurs actifs

Le principe des capteurs actif repose sur la conversion de l'énergie de la mesurande en une énergie électrique, par exemple mesurable grâce à un voltmètre, par un matériau bien défini.

V.4.2. Les capteurs passifs

IL s'agit d'impédance dont l'un des paramètres déterminants est sensible aux mesurandes. Dans l'expression littérale d'une impédance sont présents des termes liés :

D'une part à sa géométrie et à ses dimensions. Elles peuvent varier si le capteur comporte un élément mobile ou un élément déformable.

D'autre part aux propriétés électriques des matériaux : résistivité, perméabilité magnétique μ , constante diélectrique.

V.5. Critères de choix d'un capteur

On caractérise un capteur selon plusieurs critères dont les plus courants sont :

- **L'étendue de la mesure** : c'est la différence entre le plus petit signal détecté et le plus grand perceptible sans risque de destruction pour le capteur.
- **La sensibilité** : c'est la plus petite variation d'une grandeur physique que peut détecter un capteur. Comme par exemple le capteur de température LM35 a une sensibilité de 10mV / °C.

- **La rapidité** : c'est le temps de réaction d'un capteur entre la variation de la grandeur physique qu'il mesure et l'instant où l'information prise en compte par la partie commande.
- **La précision** : c'est la capacité de répétitivité d'une information position, d'une vitesse,...
- **La linéarité** : représente l'écart de sensibilité sur l'étendue de mesure.

V.6. Conclusion

Nous avons passé en revue différents moyens et méthode de mesure et différents types de technologies des capteurs qu'il soit de température ou d'humidité.

Pour la détection de la température, la technologie de type résistance est la plus communément utilisée du fait de sa facilité de fabrication et de l'évolution linéaire de ces résistances avec la température, en particulier le platine est un matériau populaire pour la réalisation d'un capteur de température.

La plupart des capteurs d'humidité existants sont de types capacitif ou résistif à cause de la simplicité de fabrication de ces dispositifs. Les autres systèmes sont généralement plus performants en sensibilité et temps de réponse mais plus lourds à mettre en œuvre et donc plus coûteux.

I. Introduction

Notre Système est basé sur le bloc de microcontrôleur. La connaissance des différentes caractéristiques de ce composant va nous aider à mieux concevoir notre montage.

Les microcontrôleurs sont aujourd'hui implantés dans la plupart des réalisations grand public ou professionnelles, ils génèrent au plus vite les applications.

Ces composants très utilisés sont compris entre la simplicité, rapidité d'emploi et le prix de revient. Il existe aujourd'hui des nombreuses familles des microcontrôleurs.

Ce deuxième chapitre est consacré à la description de l'un des composants le plus essentielle de notre système électronique réalisé qui est le microcontrôleur.

II. Les microcontrôleurs

II.1. Généralités

Un microcontrôleur se présente comme étant une unité de traitement de l'information de type microprocesseur contenant tous les composants d'un système informatique, dans un seul boîtier. En effet, pour l'analyse des divers systèmes réalisés avant l'avènement des microcontrôleurs, les fabricants des circuits intégrés ont affiné un peu la définition de ce qu'il fallait intégrer pour arriver à un schéma type analogue.

Chaque fabricant a sa ou ses familles de microcontrôleurs. Une famille se caractérise par un noyau commun (le microprocesseur, le jeu d'instruction...). Ainsi les fabricants peuvent présenter un grand nombre de pins qui s'adaptent plus au moins à utiliser chaque membre, il faut connaître juste ces différences par rapport au père de la famille. Ces différences sont souvent, la taille des mémoires, la présence ou l'absence des périphériques et leurs nombres.

Les microcontrôleurs améliorant l'intégration et le coût (lié à la conception et à la réalisation) d'un système à base de microprocesseur en rassemblant ces éléments essentiels dans un seul circuit intégré.

II.2. Domaines d'exploitation des microcontrôleurs

Les microcontrôleurs envahissent notre environnement sans que nous le sachions. Ces petits composants se retrouvent de plus en plus dans tous les matériels que nous utilisons quotidiennement, machine à laver, moulin (soudure), ordinateur, téléviseur. Dotés d'une logique programmée ils sont capables de réagir à l'environnement un peu à la machine d'automates programmables. Mais leurs propriétés ne se limitent pas à offrir un certain nombre d'entrées sorties logiques.

Ils sont parfois dotés de fonctions supplémentaires telles que convertisseur analogique numériques, horloges temps réel, comptage rapide....l'intérêt pour ces composants est directement fonction de leur prix.

Plusieurs se partagent ce marché citons INTEL, MOTOROLA, AMTEL, ZILOG, PHILIPS et MICROCHIP qui nous s'intéresse.

II.3. Caractéristiques principales des microcontrôleurs

- De nombreux périphériques d'E/S.
- Une mémoire de programme.
- Une mémoire vive (en général de type SRAM).
- Éventuellement une mémoire EEPROM destinée à la sauvegarde par programme des données à la coupure de l'alimentation.
- Un processeur 8 ou 16 bits.
- Faible consommation électrique.

II.4. Les avantages des microcontrôleurs

L'utilisation des microcontrôleurs pour les circuits programmables à plusieurs points forts et réels. Il suffit pour s'en persuader, d'examiner la spectaculaire évolution de l'offre des fabricants de circuits intégrés en ce domaine depuis quelques années.

- ❖ Tout d'abord, un microcontrôleur intègre dans un seul et même boîtier ce qui avant nécessitait une dizaine d'éléments séparés. Il résulte donc une diminution évidente de l'encombrement de matériel et de circuit imprimé.
- ❖ Cette intégration a aussi comme conséquence immédiate de simplifier le tracé du circuit imprimé puisqu'il n'est plus nécessaire de véhiculer des bus d'adresse et de donnée d'un composant à un autre.
- ❖ Le microcontrôleur contribue à réduire les coûts à plusieurs niveaux :
 - Moins cher que les autres composants qu'il remplace.
 - Diminuer les coûts de main d'œuvre.
 - Réalisation des applications non réalisables avec d'autres composants.

II.5. Structure de fonctionnement d'un microcontrôleur

Un circuit microcontrôleur doit contenir tous les éléments de bases, nous y retrouvons bien évidemment l'unité centrale qui est plus simplifiée par rapport à celle du microprocesseur. En outre, des instructions de manipulation de bits, très utiles pour faire des entrées / sorties lui ont été ajoutées. Dans certains qui servent alors de mémoire vive comme l'indique la figure qui suit.

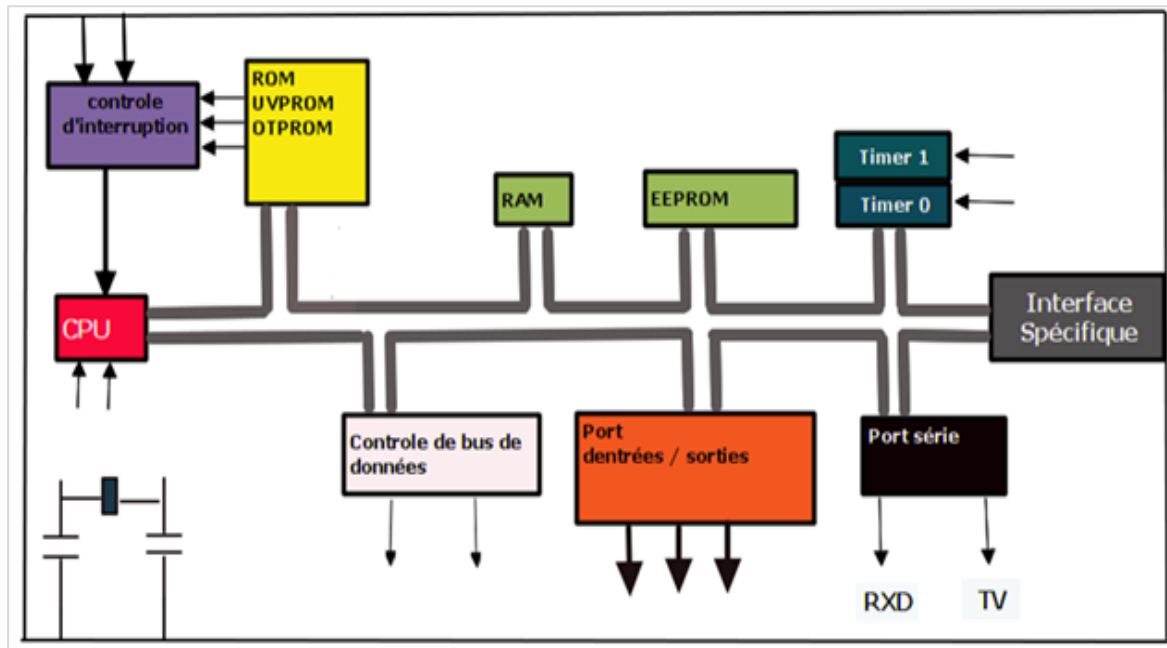


Figure II.1. Structure interne d'un microcontrôleur.

Nous pouvons ensuite voir la mémoire morte mais ce n'est pas une obligation. En effet dans un certain nombre de boîtiers et jusqu'à ces dernières années, cette mémoire ne pouvait qu'être programmée par masque à la fabrication du circuit. Cela imposait donc l'utilisation potentielle du microcontrôleur pour commander un nombre de pièces identiques important.

Un certain nombre de microcontrôleurs étaient, et sont toujours d'ailleurs disponibles sans ROM. Puis, les technologies d'intégration progressent, les fabricants ont appris à placer sur la puce de la mémoire programmable électriquement et effaçable aux ultraviolets (UVPRO) qui coûtent relativement cher, non à cause de la mémoire elle-même dont la technologie est maintenant facile à produire, mais plutôt à cause de la fenêtre en quartz nécessaire à son effacement, on a vu également des microcontrôleurs dits OTPROM.

Dans ces circuits ou OTPROM (ONE TIME PROM), c'est-à-dire programmable une fois, la mémoire UVPRO existe toujours dans ce programme donc comme n'importe quel circuit de ce type, mais, fait de l'absence de toute fenêtre, cette mémoire n'est ensuite plus

effaçable. C'est une solution intéressante pour les productions en petite série, ne justifiant pas une programmation par masque. En effet, du fait de l'absence de fenêtre, ces versions OTPROM sont disponibles en boîtier plastique très peu coûteux.

Dans le marché, il existe deux familles opposées, les RISC et les CISC (Complexe Instruction SET Computer) chez les CISC, on diminue la vitesse de traitement mais les instructions sont plus complexes, plus puissantes, et donc plus nombreuses. Il s'agit donc d'un choix de stratégie.

III. Les microcontrôleurs PICs

III.1. Définition d'un PIC

Un PIC n'est rien d'autre qu'un microcontrôleur, c'est à dire une unité de traitement de l'information de type microprocesseur à laquelle on a ajouté des périphériques internes permettant de réaliser des montages sans nécessiter l'ajout de composants externes.

La dénomination PIC est sous copyright de Microchip, donc les autres fabricants ont été dans l'impossibilité d'utiliser ce terme pour leurs propres microcontrôleurs.

Les PICs sont des composants dits RISC (Reduce Instructions Construction Set), ou encore composant à jeu d'instructions réduit ; savoir que plus on réduit le nombre d'instructions, plus facile et plus rapide en est le décodage, et plus vite le composant fonctionne.

III.2. Les différentes familles des PICs

La famille des pics est divisée à l'heure actuelle en trois grandes familles :

- **La famille Base - Line** : qui utilise des mots d'instructions de 12 bits.
- **La famille Mide - Range** : qui utilise des mots de 14 bits (et dont font la partie les 16F84 et 16F876).
- **La famille High - End** : qui utilise des mots de 16 bits.

Notant que le PIC utiliser dans notre travail est le PIC 16F877 de Microship, appartient à la famille Mid-Range.

III.3. Identification d'un Pic

Pour identifier un pic, on utilise simplement son numéro, telle que :
Les deux premiers chiffres indiquent la catégorie du PIC, par exemple 16 veut dire que c'est un Mid-range.

Vient ensuite une lettre :

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

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

CR : pour indique une mémoire de type **ROM**.

F : pour indiquer une mémoire de type **FLASH**.

Notons à ce niveau que seule une mémoire FLASH ou EEPROM est susceptible d'être effacée, donc n'espérons pas reprogrammer les pics de type CR.

Un composant qu'on ne peut reprogrammer est appelé **O.T.P** « **One Time Programming** » : composant à programmation unique.

Finalement on voit sur les boitiers les derniers chiffres identifient précisément le pic.

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

Par exemple -04- pour un 4MHZ.

Une dernière indication qu'on trouve est le type de boitier. Pour notre projet nous utilisons le boitier PDIP, qui est un boitier Dil40 broches avec un écartement entre les rangées de 0,3. La version 4MHZ sera simplement suffisante.

III.4. Les PICs sont des composantes statiques

Notons que les pics sont des composants STATIQUES, c'est-à-dire la fréquence d'horloge peut être abaissée jusqu'à l'arrêt complet sans perte des données et sans dysfonctionnement, ceci par opposition aux composants DYNAMIQUES (comme les microprocesseurs de l'ordinateur) donc la fréquence d'horloge doit rester dans des limites précises.

Toutes les PICs Mid-Range ont un jeu de 35 instructions, stockent chaque instruction dans un seul mot de programme, et exécutent chaque instruction (sauf les sauts) en 1 cycle. On atteint donc des très grandes vitesses, et les instructions sont de plus très rapidement assimilées.

L'horloge fournie au PIC est pré-divisée par 4 au niveau de celui-ci. C'est cette base de temps qui donne le temps d'un cycle. Si on utilise par exemple un quartz de 4MHz, on obtient donc 1000000 de cycles/seconde, or, comme le pic exécute pratiquement 1 instruction par cycle, hormis les sauts, cela vous donne une puissance de l'ordre de 1MIPS (1 Million d'Instructions Par Seconde). Pensez que les pics peuvent monter à 20MHz. C'est donc une vitesse de traitement plus qu'honorable.

Pour notre travail et vu les caractéristiques répondant le mieux à notre besoin on choisit le pic 16F877.

IV. Description du PIC 16F877 du MICROCHIP

Nous allons maintenant s'intéresser à la structure interne du PIC 16F877, avec lequel nous avons travaillé. Ce 16F877 est un microcontrôleur de MICROCHIP,

Le 16F877 est un microcontrôleur de MICROCHIP, fait partie intégrante de la famille des Mid-Range « 16 » dont la mémoire programme est de type flash « F ». Il s'agit d'un circuit intégré contenu dans un boîtier dit « DIL 40 ». Il présente donc 40 broches, 20 de chaque côté. Les broches sont virtuellement numérotées de 1 à 40, la broche 1 étant celle qui se trouve dans le coin situé à gauche de l'encoche de repérage.

Comme pour tout circuit intégré, chacune de ses broches a une ou plusieurs fonctions qui sont résumées par un sigle mnémotechnique.

IV.1. Principaux caractéristiques du PIC 16F877

Le PIC 16F877 est caractérisé par :

- Une fréquence de fonctionnement élevée, jusqu'à 20 MHz.
- Une mémoire vive de 368 octets.
- Une mémoire EEPROM pour sauver des paramètres de 256 octets.
- Une mémoire morte de type FLASH de 8 kilo-mots (1mot = 14 bits), elle est réinscriptible à volonté.
- 33 Entrées et sorties.
- Temporisateurs : TIMER0 (8 bits avec pré diviseur), TIMER1 (16 bits avec pré diviseur avec possibilité d'utiliser une horloge externe réseau RC ou QUARTZ) et TIMER2 (8bits avec pré diviseur et post diviseur).
- Une tension d'alimentation entre 2 et 5,5 V.

IV.2 Organisation externe du PIC 16F877

Le boîtier du PIC 16F877 décrit par la figure 2 comprend 40 pins : 33 pins d'entrées/sorties, 4 pins pour l'alimentation, 2 pins pour l'oscillateur et un pin pour le Reset (MCLR).

La broche MCLR sert à initialiser le μ C en cas de la mise sous tension, de remise à zéro externe, de chien de garde et en cas de la baisse de tension d'alimentation.

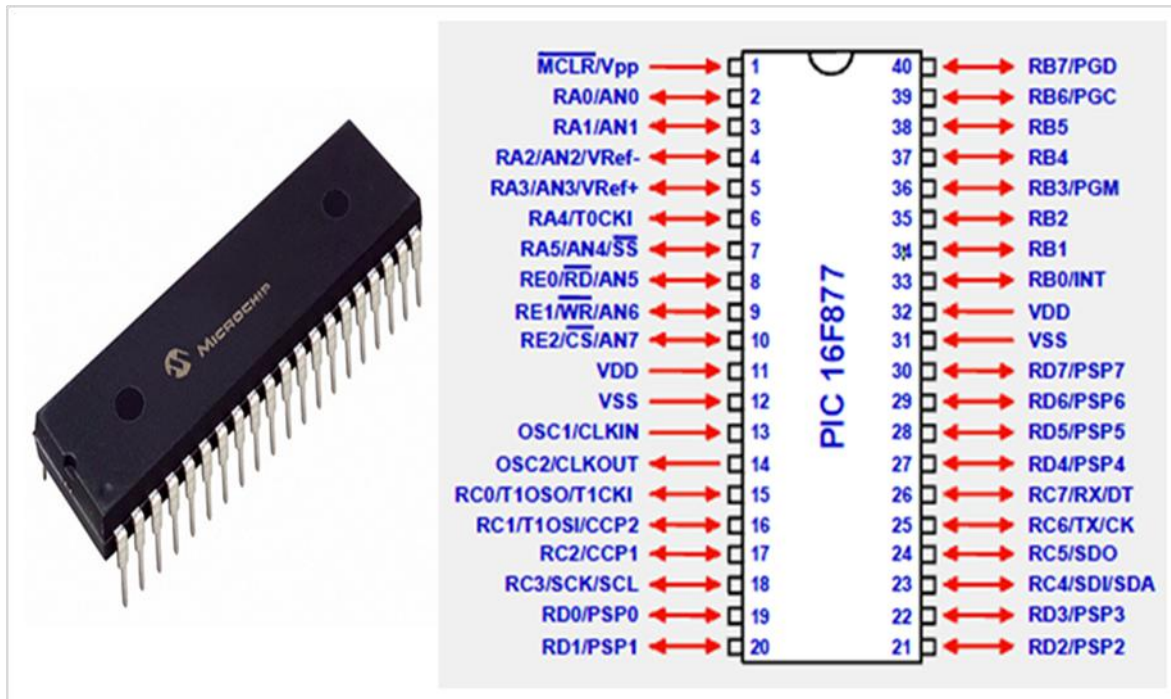


Figure II.2. Brochage de pic 16F877.

Certaines broches possèdent plusieurs fonctions par exemple la broche 25 notée RC6/TX/CK

RC6 : entrée ou sortie bit 6 du port C

TX : Transmission de l'interface série de programmation

CK : horloge (Clock) de l'interface série

Les ports sont les liens physiques de votre programme avec l'environnement extérieur (capteur, afficheur, moteur etc.)

Les ports sont connectés à la circuiterie interne du PIC par l'intermédiaire d'un bus système de 8 bits.

IV.2.1 Les broches d'alimentation

Le 16F877 a des broches d'alimentation : 2 pour le 0V broche 11 et 32 et 2 pour le +5V broche 12 et 31. Il suffit de connecter une de chaque à l'alimentation pour que le PIC fonctionne.

Les courants véhiculés dans le PIC sont loin d'être négligeables du fait des nombreuses entrées/sorties disponibles.

IV.2.2 Les broche de l'horloge

Comme pour tout microcontrôleur, le PIC a besoin d'une horloge pour fixer la vitesse d'exécution des instructions, il se base sur la fréquence de cette horloge pour son fonctionnement interne.

Généralement pour générer ce signal on utilise un Quartz ou un montage RC qui s'connecte sur les 2 broches OSC1 et OSC2.

IV.2.3 Les différents ports

Le pic 16F877 dispose de 5 ports entrée/sortis et voici par suite les particularités de chaque port :

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.

On a donc 33 broches d'entrées-sorties (E/S) disponibles. C'est l'un des grands avantages du 16F877. Mais toutes ces broches ne seront pas forcément disponibles en tant que broche E/S car presque toutes sont également utilisées par l'un ou l'autre des modules internes du 16F877. Elles ne seront pas disponibles en tant que broche E/S si le module concerné est activé.

Les caractéristiques électriques de ces broches sont spécifiées dans le datasheet du microcontrôleur. Chaque port est configuré par un registre nommé « TRIS », suivi de la lettre du port. Ainsi le port A est configuré par le registre « TRISA ».

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

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

Le positionnement de ce bit à « 0 » place le pin en sortie.

IV.2.3.1. Le port A

Le port A contient 6 pins I/O numérotées de RA0 à RA5. On a donc 6 bits dans le registre PORTA et 6 bits dans le registre TRISA. Les bits 6 et 7 de ces registres ne sont pas implémentés.

On peut utiliser ce port, soit pour la conversion analogique/numérique, soit en mode (I/O), soit pour le TIMERO, dans ce dernier cas le pin RA4 sera utilisé comme entrée pour configurer TOCKI est de type drain ouvert.

Le port est configuré comme un ensemble d'entrées analogiques. Donc, il faut forcer une valeur dans le registre ADCON1 dans la routine d'initialisation pour pouvoir utiliser ce port comme port d'entrée/sortie de type général.

IV.2.3.2. Le port B

Rien de particulier à dire sur ce port, qui possède 8 pins d'entrées/sorties classiques numérotées de RB0 à RB7. On note que le pin RB0 est de types « Trigger de Schmitt » quand elle est utilisée en configuration d'entrée et en mode interruption « INT ». La lecture simple de RB0 se fait, de façon tout à fait classique, en entrée de types TTL.

IV.2.3.3. 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 banque1, qui permet de décider quelles sont les entrées et quelles sont les sorties.

Nous trouvons également le registre PORTC, qui se trouve dans la banque 0.

IV.2.3.4. Le port D

Ce port n'est présent que sur les PIC 16F877. Il fonctionne de façon identique qu'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 (salve).

IV.2.3.5. Le port E

Ce port n'est présent que sur les PIC 16F877. Il ne comporte que 3 pins RE0 à RE2 ces pins peuvent également être utilisés comme pins d'entrées analogiques. D'où le registre ADCON1 qui détermine si ce port est utilisé comme port I/O ou comme port analogique.

IV.3. Organisation interne du PIC 16F877

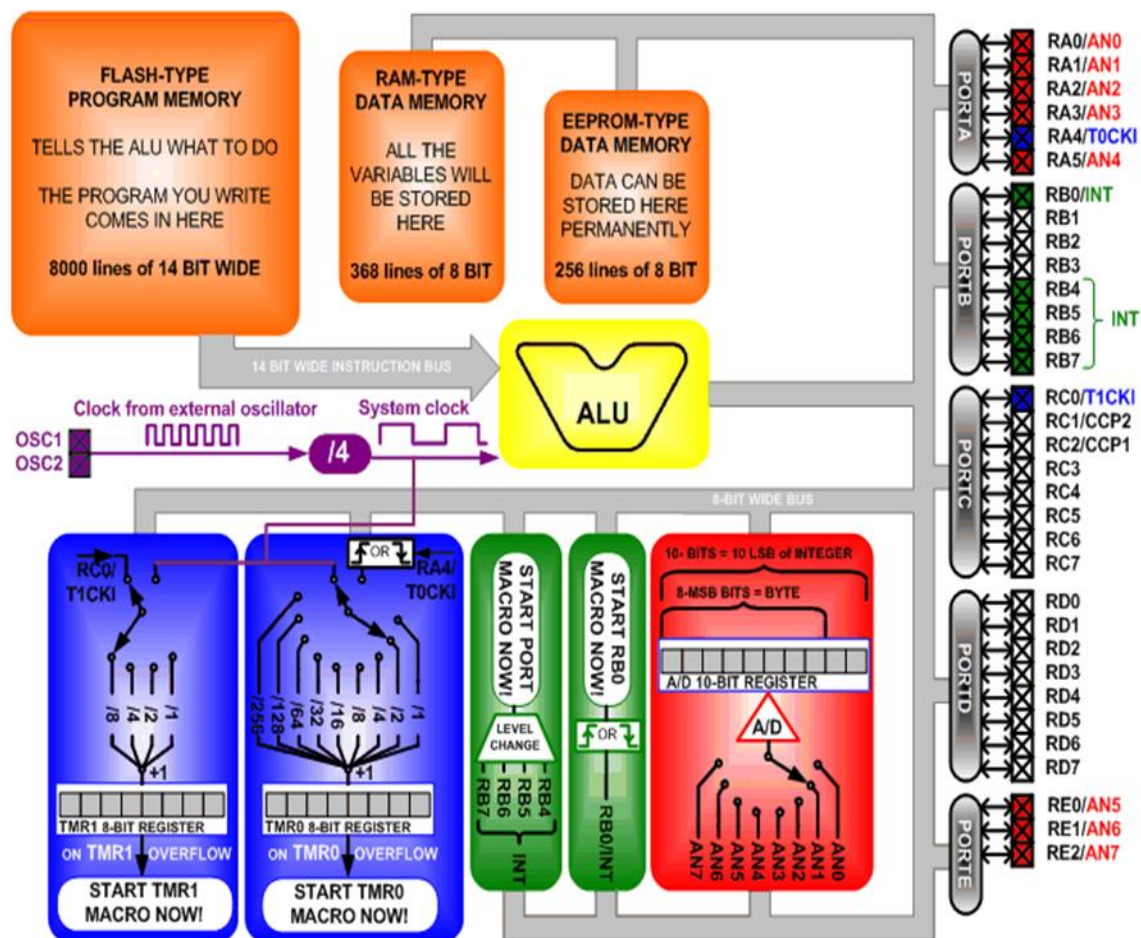


Figure II.3. Structure interne du PIC 16F877.

IV.3 Mémoires du PIC 16F877

IV.3.1 La mémoire programmée

La mémoire programme est constituée de 8k mots de 14bits .c'est dans cette zone que nous allons écrire notre programme. Le PIC exécute une à une les instructions logées dans la mémoire de programme.

Le PIC 16F877 dispose de trois types de mémoires :

IV.3.2 Mémoire vive « RAM »

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

La mémoire RAM disponible du 16F877 est de 368 octets. Elle est répartie de la manière suivante :

- a) 80 octets en banque 0, adresses 0*20 à 0*6F
- b) 80 octets en banque 1, adresses 0*A0 à 0*EF
- c) 96 octets en banque 2, adresses 0*110 à 0*16F
- d) 96 octets en banque 3, adresses 0*190 à 0*1EF
- e) 16 octets commun aux 4 banques, soit 0*70 à 0*7F = 0*F0 à 0*FF.

IV.3.3 Mémoire morte « FLASH »

C'est la mémoire programme proprement dite. Chaque case mémoire unitaire fait 14 bits. La mémoire FLASH est un type de mémoire stable, réinscriptible à volonté. Cette mémoire qui a fait le succès de microprocesseur PIC. Dans le cas du 16F877, cette mémoire FLASH fait 8 kilomots. Lorsque l'on programme en assembleur, on écrit le programme directement dans cette mémoire.

IV.3.4 Mémoire « EEPROM »

La mémoire EEPROM électriquement effaçable, réinscriptible et stable (Electric al Erasable Programmable Read Only Memory), de 256 octets. Ce type de mémoire est d'accès plus lent, et ces octets sont conservés après une coupure de courant et sont très utiles pour conserver des paramètres semi-permanents.

L'adresse relative de l'accès EEPROM est comprise entre 0000 et 00ff, ce qui nous permet d'utiliser qu'un registre de huit bits pour définir cette adresse.

IV.3.4 Unité Arithmétique et Logique « ALU »

C'est le cerveau du microcontrôleur. Elle exécute les instructions du programme que vous avez écrit. Son fonctionnement dépend de la fréquence de l'horloge. Plus la fréquence est élevée plus le traitement des instructions est rapide.

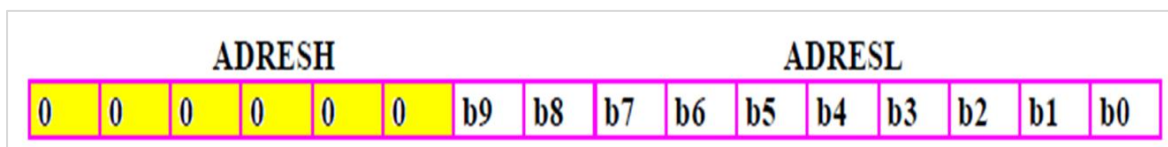
IV.3.5 Interruption RB0/INT, RB4-RB7

Cette broche à double fonction, elle peut être utilisée comme une broche standard RB0, ou comme une entrée d'interruption INT. Si cette broche est utilisée comme une entrée d'interruption externe, elle doit être maintenue {un niveau haut par l'intermédiaire de résistances de 10 kΩ pour ne pas déclencher d'interruptions imprévues, cela permet aussi de relier plusieurs sources d'interruptions sur une même ligne.

IV.3.6 Les registre ADRESL et ADRESH

On attire votre attention sur le fait que le convertisseur donne un résultat sur 10 bits, et que ce résultat devra donc obligatoirement être sauvegardé dans 2 registres. Ces registres sont tout simplement les registres ADRESL et ADRESH. Comme 2 registres contiennent 16bits, et que n'en utilisons que 10.

La justification à droite



La justification à gauche

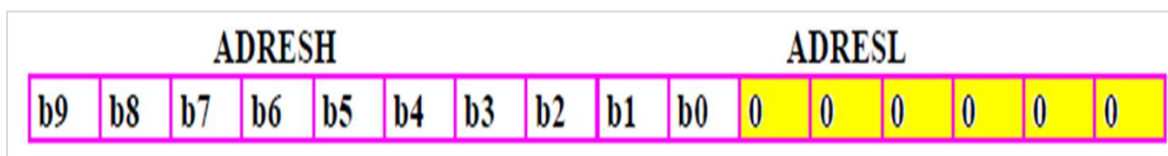


Figure II.4. Les registres ADRESL et ADRESH.

IV.3.7 Le registre ADCON1

Ce registre permet de déterminer le rôle de chacune des pins AN0 à AN7. Il permet donc de choisir si un pin sera utilisé comme entrée analogique, comme entrée/sortie standard, ou comme tension de référence.

Il permet également de décider de la justification du résultat à gauche ou à droite.

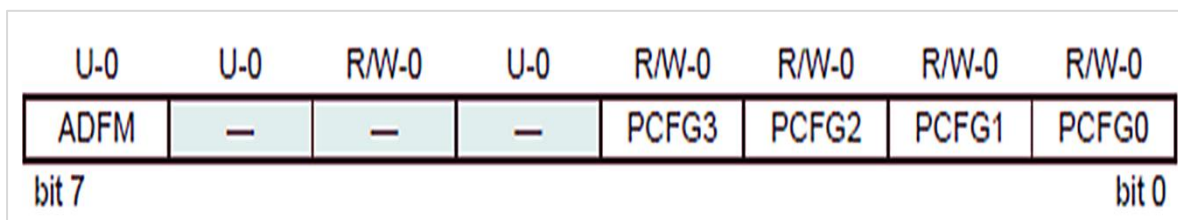


Figure II.5. Les 8 bits du registre ADCON1.

Et voici les différentes configurations de chaque bit du registre ADCON1 :

b7 : ADFM : justification du résultat droite(1) gauche(0)

b6 : Inutilisé : lu comme « 0 »

b5 : Inutilisé : lu comme « 0 »

- b4** : Inutilisé : lu comme « 0 »
- b3** : PCFG3 : bit de Configuration du pin 3
- b2** : PCFG2 : bit de Configuration du pin 2
- b1** : PCFG1 : bit de Configuration du pin 1
- b0** : PCFG0 : bit de Configuration du pin 0

IV.3.8 Le registre ADCON0

Ce registre est le dernier utilisé par le convertisseur analogique/numérique. Il contient les bits que nous allons manipuler lors de notre conversion. Sur les 8 bits de notre registre, 7 seront utilisés.

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

Figure II.6. Les 8 bits du registre ADCON0.

ADCS1 et **ADCS0** : définissent l'horloge de la conversion

CHS0 **CHS1** et **CHS2** : pour choisir le canal à convertir

GO/DONE : commencer la conversion

ADON : mise en fonctionnement du CAN

IV.3.9 MCLR

Entrée de remise à zéro, lorsque cette entrée est mise à l'état bas, le microcontrôleur est réinitialisé : il va exécuter l'instruction se trouvant à l'adresse 00H. Mais aussi lorsque le microcontrôleur est mis sous tension il est préférable que RESET soit à l'état logique 0 pendant un temps très court c'est le rôle du circuit RC.

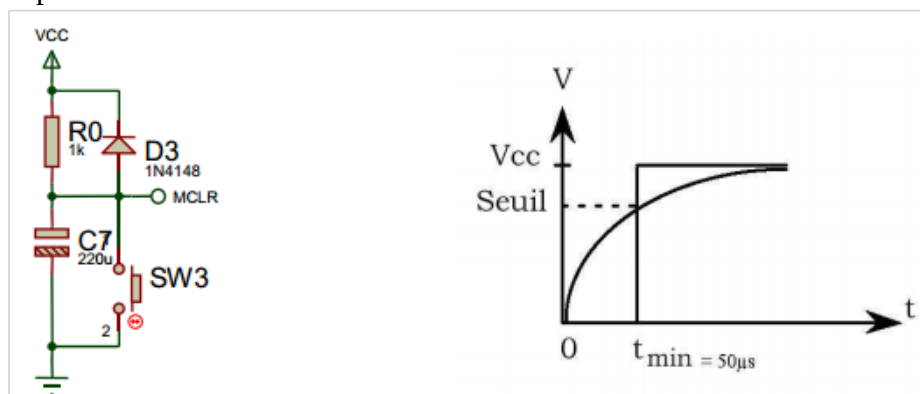


Figure II.7. Circuit du reset.

IV.3.10 L'oscillateur

L'horloge est un système qui peut être réalisée soit avec un QUARTZ, soit avec une horloge extérieur, soit avec un circuit RC, dans ce dernier la stabilité du montage est limitée.

A chaque impulsion de l'horloge Le microcontrôleur exécute une instruction et la rapidité d'exécution du programme dépend de cette fréquence. Notons que le 16F877 exécute une instruction élémentaire du langage assembleur en 4 cycles d'horloge. Il va donc pouvoir exécuter 1 millions d'opérations élémentaires par seconde.

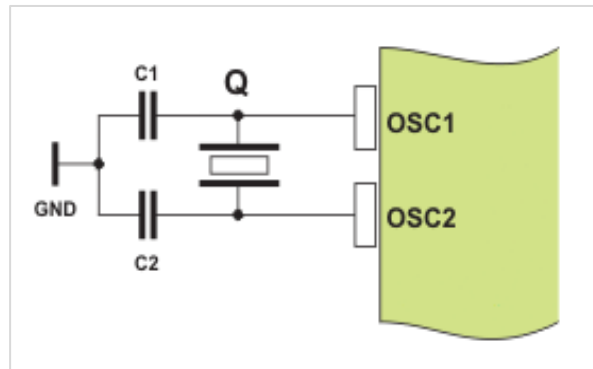


Figure II.8. Connexion de L'oscillateur avec le pic.

La fréquence maximale d'utilisation va dépendre de Microcontrôleur utilisé. Le suffixe indiqué sur le boîtier donne la nature de l'horloge à utiliser et sa fréquence maximale.

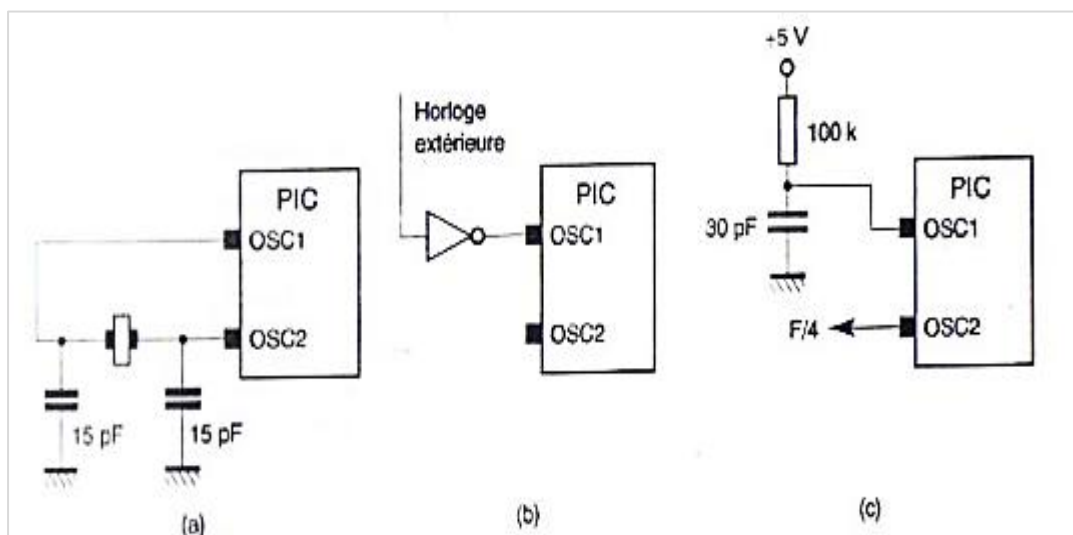


Figure II.9. Les montages d'oscillateur.

IV.3.11 Le convertisseur analogique/numérique

Le CAN est un périphérique intégré destiné à mesurer une tension et la convertir en nombre binaire qui pourra être utilisé par un programme.

Notre 16F877 travaille avec un convertisseur analogique/numérique qui permet un échantillonnage sur 10 bits. Le signal numérique peut donc prendre 1024 valeurs possibles.

On sait que pour pouvoir numériser une grandeur, nous devons connaître la valeur minimale qu'elle peut prendre, ainsi que sa valeur maximale. Les pics considèrent par défaut que la valeur minimale correspond à leur V_{ss} d'alimentation, tandis que la valeur maximale correspond à la tension positive d'alimentation V_{dd} . le principe de la conversion suit la séquence est la suivante :

- Le pic connecte le pin sur laquelle se trouve la tension à mesurer à un condensateur interne, qui va se charger via une résistance interne jusque la tension appliquée.
- Le pin est déconnecté du condensateur, et ce dernier est connecté sur le convertisseur analogique/numérique interne.
- Le pic procède à la conversion.

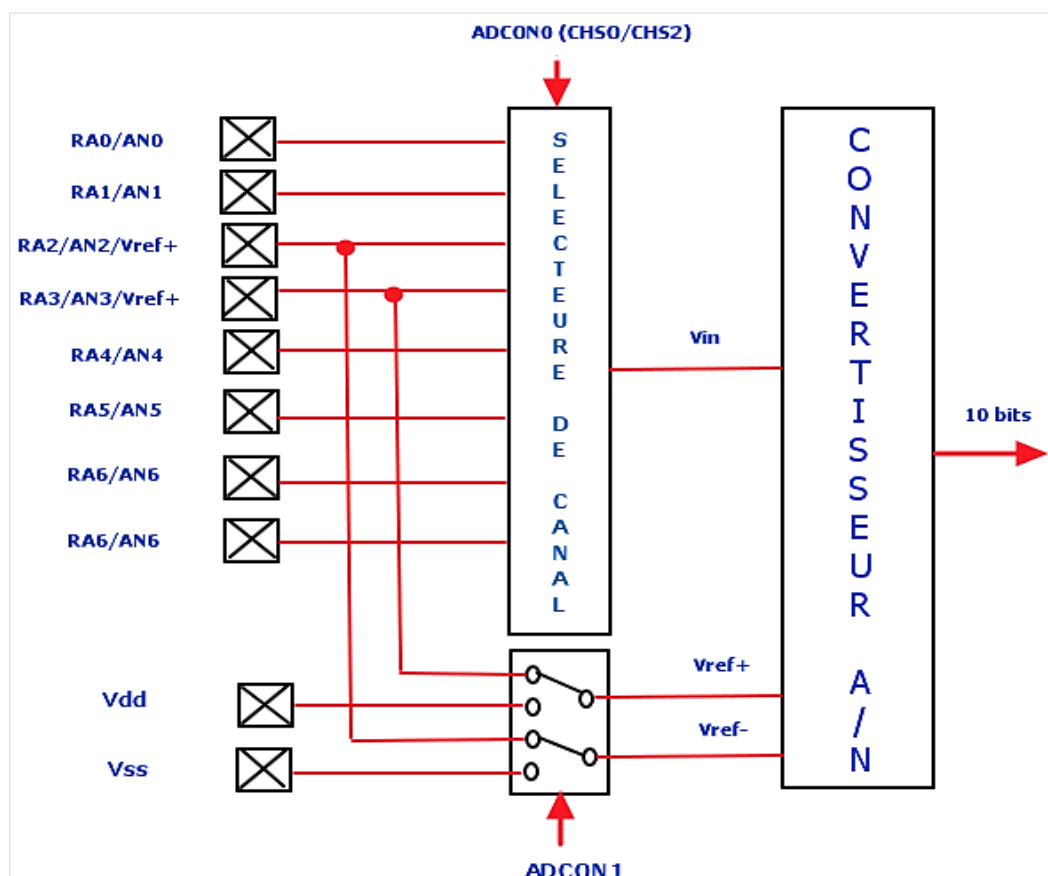


Figure II.10. Module du convertisseur.

Le temps nécessaire à la conversion est égal au temps nécessaire à la conversion d'un bit multiplié par le nombre de bits désirés pour le résultat. Concernant notre pic, il faut savoir qu'il nécessite, pour la conversion d'un bit, un temps nommé T_{ad} .

Le module de conversion comme l'indique la (**figure 9**) utilise 4 registres disposés comme suit :

Registre de Résultat High (ADRESH)

Registre de Résultat LOW (ADRESL)

Registre de Contrôle (ADCON0)

On voit très bien sur ce schéma que les pins AN2 et AN3 servent selon la position du sélecteur d'entrée analogique ou de tension de référence. Le sélecteur de canal permet de sélectionner lequel des 8 canaux va être appliqué au convertisseur analogique/digital.

IV.3.12 Les Trois TIMERS

L'intérêt des modules de comptage, c'est qu'ils permettent de tenir compte d'évènements qui surviennent de façon répétée sans que le microprocesseur soit monopolisé par cette tâche.

Dans la plupart des cas, une interruption a lieu que lorsque le compteur déborde (overflow).

TIMER 0 : 8 bits avec pré diviseur.

TIMER 1 : c'est un compteur 16 bits avec pré-diviseur qui peut compter (de 0 à 65535), avec possibilité d'utiliser une horloge externe réseau RC ou QUARTZ) :

- soit les impulsions de l'horloge
- soit les impulsions externes, et en particulier les impulsions d'un quartz externe.

Le débordement provoque aussi une interruption.

TIMER2 :(8bits avec pré diviseur et post diviseur).

IV.3.12.1 Caractéristiques du TIMER 0

Ce module est le même que dans le PIC 16F84.

Le compteur / TIMER a les caractéristiques suivantes :

- Compteur sur 8 bits.
- Lecture / écriture de TMR0.
- Pré-diviseur 8 bits programmable.
- Choix de l'horloge : interne en TIMER et externe en compteur.
- Interruption au débordement (passage de FF à 00).

- Choix du front de l'horloge en mode horloge externe.

Tous les bits de configuration de TMR0 sont dans le registre **OPTION**.

IV.3.12.1.1. Les différents modes de fonctionnement du TIMER 0

Le TIMER 0 peut fonctionner soit en mode TIMER, ou en mode COMPTEUR. Cependant, le choix fonctionnement en mode TIMER se fait par : TOCS = 0 (b5 de OPTION). TMR0 est incrémenté à chaque cycle instruction ($F_{osc} / 4$), en considérant le pré-diviseur avec un rapport de 1.

Le TIMER 0 peut donc fonctionner aussi en tant que compteur le choix de ce mode est sélectionné si TOCS = 1. TMR0 est alors incrémenté à chaque front montant ou descendant sur la broche PA4/CLK (pin3). Le choix du front est fait par le bit TOSE (b4 de OPTION).

- Si TOSE = 0 le compteur s'incrémente à chaque front montant.
- Si TOSE = 1 c'est le front descendant qui incrémente le compteur.
-

LE PREDIVISEUR : Il est partagé entre le Watchdog et TMR0.

L'affectation se fait par le bit PSA (b3 de OPTION).

- Si PSA = 0 le pré-diviseur est affecté à TMR0.

Le choix du rapport de division se fait avec les bits PS2, PS1 et PS0 (b2, b1 et b0 de OPTION).

- Si PSA = 1 le pré-diviseur est affecté au Watchdog et le rapport de division pour TMR0 est fixé à 1.

IV.3.12.1.2. Le TIMER 0 et les interruptions

Elles sont générées quand TMR0 passe de la valeur FF à 00.

- Le Flag TOIF (b2 de INTCON) passe à "1". On peut masquer la génération de l'interruption en mettant le bit TOIE (b5 de INTCON) à "0".
- Le Flag TOIF doit être remis à zéro par soft dans le sous-programme d'interruption, avant de ré-autoriser cette interruption

IV.3.12.2 Caractéristiques du TIMER 1

Le TIMER 1 fonctionne dans son ensemble comme le TIMER 0. Ce TIMER est capable de compter sur 16 bits, il sera donc capable de compter de D'0' à D'65535'. Le

Comptage avec le TIMER 16 bits nécessite 2 registres. Ces registres se nomment TMR1L et TMR1H.

Le contenu de TMR1L et de TMR1H n'est pas remis à 0 lors d'un reset. Donc, pour compter à partir de 0, il faut remettre à 0 les deux registres.

Le TIMER 1 permet également, de générer une interruption une fois le débordement effectué.

Le TIMER 1 dispose, de la possibilité de mettre en service un pré-diviseur. Mais ce pré-diviseur ne permet qu'une division maximale de 8. Par conséquent il peut atteindre une valeur maximale de 65536 multiplié par 8, soit 524288.

IV.3.12.2.1. Les différents modes de fonctionnement du TIMER 1

Le TIMER 1 peut fonctionner en mode TIMER, ou en mode compteur. Cependant, le TIMER 1 dispose de 2 modes différents en mode comptage : un mode de type synchrone et un mode de type asynchrone. C'est à dire en synchronisme ou non avec l'horloge interne.

On a la possibilité, au niveau du TIMER 1, d'utiliser un quartz sur les pins T1OSI et T1OSO afin de disposer d'une horloge séparée de l'horloge principale.

Le TIMER peut donc fonctionner en tant que :

- TIMER basé sur l'horloge interne (compteur de cycles d'instruction)
- TIMER basé sur une horloge auxiliaire
- Compteur synchrone
- Compteur asynchrone.

Les modes de fonctionnement sont définis en configurant correctement le registre **T1CON**.

IV.3.12.2.2. Le TIMER 1 et les interruptions

Le TIMER 1 permet, de générer une interruption au moment où il déborde, c'est-à-dire au moment où sa valeur passe de 0xFFFF à 0x0000.

Pour que le TIMER 1 génère une interruption les conditions suivantes doivent être satisfaites :

Il faut que le bit d'autorisation d'interruption du TIMER 1 (TMR1IE) soit mis à 1. Ce bit se trouve dans le registre PIE1.

Pour que le registre PIE1 soit actif, il faut que le bit PEIE d'autorisation des interruptions périphériques soit positionné dans le registre INTCON.

Il faut que le bit d'autorisation générale des interruptions (GIE) soit positionné dans le registre INTCON.

Une interruption sera alors générée à chaque débordement du timer1. Cet événement sera indiqué par le positionnement du flag TMR1IF dans le registre PIR1.

IV.3.12.3 Le TIMER 2

Le TIMER 2 est un TIMER couplé au module CCP. Il est utilisé essentiellement pour la génération d'impulsions à période ajustable (PWM).

Le timer2 dispose de certaines caractéristiques différentes des deux autres TIMERS.

IV.3.12.3.1. Caractéristiques du TIMER 2

Le TIMER 2 est un compteur sur 8 bits. Il possède lui aussi un pré-diviseur. Celui-ci peut être paramétré avec une des 3 valeurs suivantes : 1,4, ou 16.

Cependant, le TIMER 2 dispose également d'un post-diviseur, qui effectue une seconde division après l'unité de comparaison. Ce post-diviseur peut prendre n'importe quelle valeur comprise entre 1 et 16.

La valeur du diviseur total est obtenue en multipliant la valeur du pré-diviseur par celle du post-diviseur. On obtient alors les valeurs du diviseur par l'équation suivantes:

$$\text{Diviseur} = \text{Pré-diviseur} \times \text{Post-diviseur} \quad (\text{II.1})$$

- Le TIMER 2 incrémente le registre TMR2, (un seul registre comptage sur 8 bits).
- Les valeurs de division minimale et maximale sont identiques à celles du TIMER0.
- Le registre TMR2 est remis automatiquement à 0 lors d'un reset, contrairement auTIMER1.

Ce TIMER ne dispose d'aucune entrée extérieure via un pin du PIC. Il ne peut donc fonctionner qu'en mode «TIMER » avec l'horloge interne.

IV.3.12.3.2 Le TIMER 2 et les interruptions

Le TIMER 2 fonctionne, à ce niveau, comme le timer1. Le flag d'interruption se nomme TMR2IF tandis que le bit d'autorisation s'appelle TMR2IE.

Il s'agit d'une interruption périphérique, la procédure pour autoriser les interruptions du TIMER 2 se fait en 3 étapes :

- Autorisation des interruptions périphériques via le bit PEIE du registre INTCON
- Autorisation de l'interruption TIMER 2 via TMR2IE du registre PIE1
- Autorisation générale des interruptions via le bit GIE du registre INTCON

Le principal avantage du timer2, est qu'il permet de configurer le « débordement » sur n'importe quelle valeur de TMR2, associé à un large éventail de valeurs de diviseur.

Cet avantage, combiné à la grande flexibilité de l'ensemble pré-diviseur/post-diviseur, permet d'obtenir très facilement des durées d'interruption précises sans complications logicielles.

IV.4. Conclusion

Les possibilités offertes par l'utilisation de microcontrôleur nous permis de traiter les données issues des capteurs numériquement (linéarisation et conversion). Ceci nous conduit à dire que le microcontrôleur 16F877 peut jouer le rôle d'une unité de contrôle pour notre système.

I. Introduction

Après que nous avons donné dans le premier un aperçu sur les différentes méthodes et moyens utilisées afin de mesurer la température et l'humidité, et on a fait dans le deuxième chapitre une description sur le microcontrôleur utilisé, le PIC 16F877, on va consacrer ce troisième chapitre à la description des différents étages et différentes composantes du circuit à réaliser, les différentes opérations et traitements effectués sur les tensions issues du capteur de température et de capteur d'humidité pour les convertir en valeurs numériques et les afficher.

II. Description sommaire du système

Le système que nous avons réalisé se compose de trois parties principales, comme et représenter à la figure suivante.

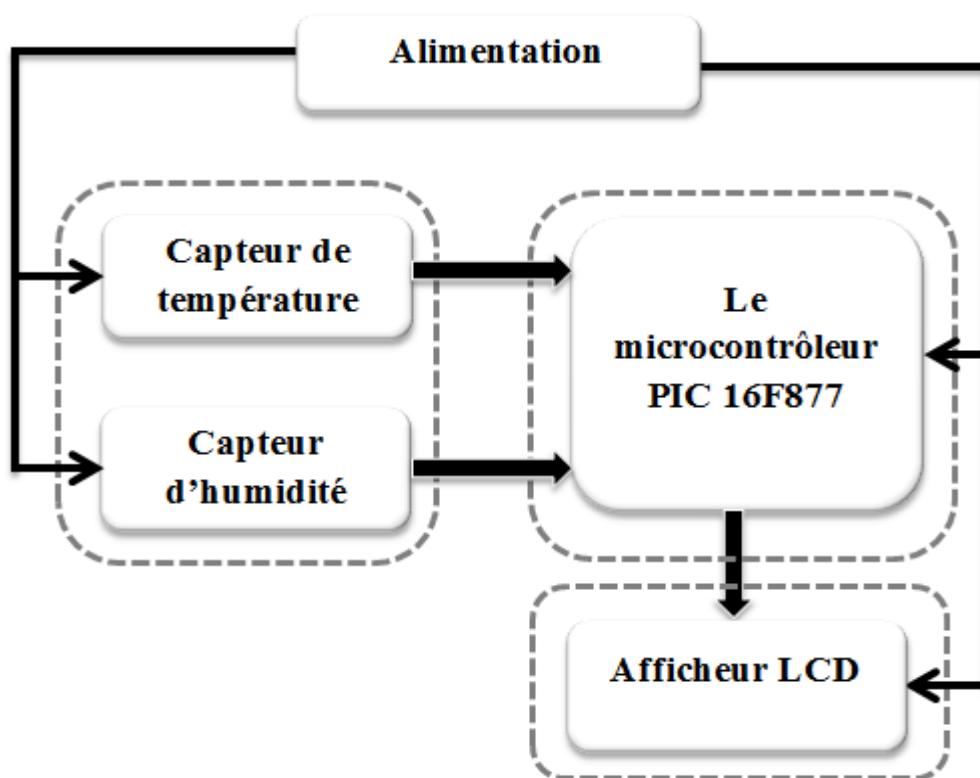


Figure III.1. Schéma Bloc

La première partie du système est la partie analogique, la seconde est la partie numérique qui est représenté par le PIC 16877A et la dernière partie est consacrée à l'affichage avec le LCD.

La partie analogique est composée d'un capteur de température LM 35 et d'un capteur d'humidité HHH 4000.

La partie numérique est composée d'un microcontrôleur PIC 16F877A.

Les tensions issues des deux capteurs, seront appliquées à l'entrée du microcontrôleur. Ce dernier est programmé pour générer et afficher le résultat des grandeurs mesurées sur afficheur LCD.

II.1. Description détaillée des blocs du système

II.1.1. Le Bloc d'alimentation

L'alimentation de la carte électrique est une partie intéressante et essentielle pour notre projet. En effet, la carte d'alimentation doit fournir des tensions stabilisées 5V.

En plus les PIC sont des composants très sensibles à la fluctuation de la tension qui peut l'endommager pour cela on a assuré une bonne stabilité de la tension d'entrée de notre PIC.

Une alimentation "classique" moderne comporte toujours :

- Un pont redresseur « diodes en pont de Graëtz », qui fournit en sortie une tension non plus alternative mais redressée.
- Une ou des capacités de filtrage, qui réduisent l'ondulation de la tension issue du pont redresseur.
- Un régulateur de tension, fixe ou variable, dont le rôle est de stabiliser le potentiel à une certaine valeur.

II.1.1.1. Le choix des différents éléments de l'alimentation

L'alimentation de PIC, l'afficheur, l'horloge, les capteurs se fait à l'aide d'une alimentation stabilisée de 5V.

II.1.1.2. Présentation de la carte d'alimentation

Cette alimentation est très simple qui convient avec une grande catégorie de montages, qu'ils soient du type analogique ou numérique.

La présente réalisation fait appel à un régulateur de tension fixe, le courant que l'on peut tirer de cette alimentation est directement lié au type de régulateur utilisé qui est ici de 1A.

Tous les blocs du circuit sont alimentés par une tension +5V. On utilise pour cela le montage proposé sur la figure qui contient quatre étages fonctionnels sont:

Etage abaisseur : contient le transformateur abaisseur 9V, qui permet de passer d'une tension sinusoïdale de valeur élevée à une tension de même forme mais de valeur plus faible.

Etage redresseur : contient le pont de Greatz constitué par quatre diodes qui sert à garder que la partie positive (ou négative) de la sinusoïde d'entrée.

Etage de filtrage : formé de C1 ($C1=2200\mu F$) a pour rôle de maintenir la tension de sortie supérieure à une certaine valeur. Les condensateurs ($C2=220nF$, $C3=10\mu F$) sont conseillées par le constructeur pour réduire les bruits HF et éviter tout risque d'oscillation parasite du régulateur.

Etage de régulation : contient le régulateur de tension 7805, qui assure de gardé la tension de sortie constante quel que soit le courant demandé.

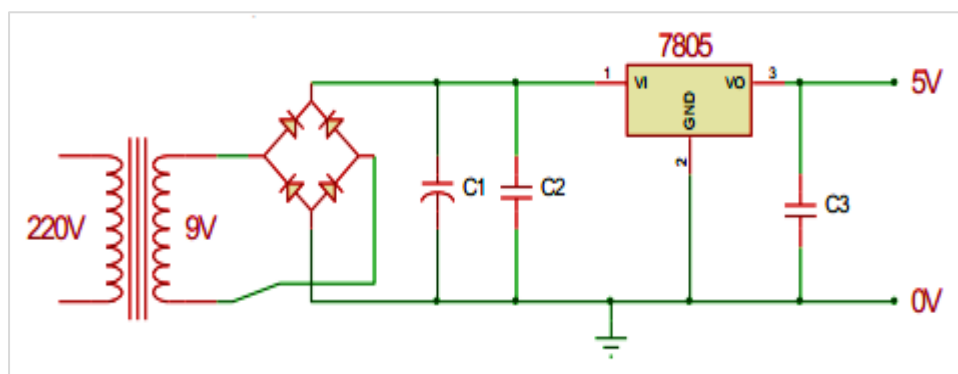


Figure III.2. Schéma électrique de l'alimentation

II.1.1.3. Choix du régulateur

L'utilisation d'un régulateur de tension est très facile à mettre en œuvre, très fiable, peu onéreux, un régulateur de tension intégré est un composant à semi-conducteur dont le rôle consiste à rendre quasi continue une tension qui présente une ondulation (issue d'un pont redresseur, dans notre alimentation) et à stabiliser sa valeur.

Dans notre choix, on se tourne vers des régulateurs, à la fois performants, fiables et à prix de revient acceptable : série 78XX.

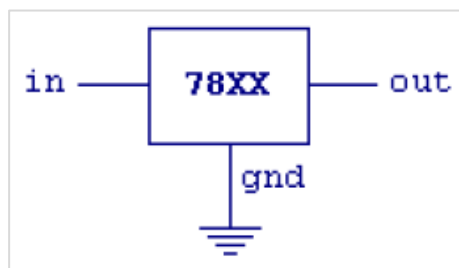


Figure III.3. Symbole de régulateur 78XX

On choisit le régulateur 7805 pour la stabilisation de 5V.

II.1.1.4. Connexion de bloc d'alimentation sur la carte

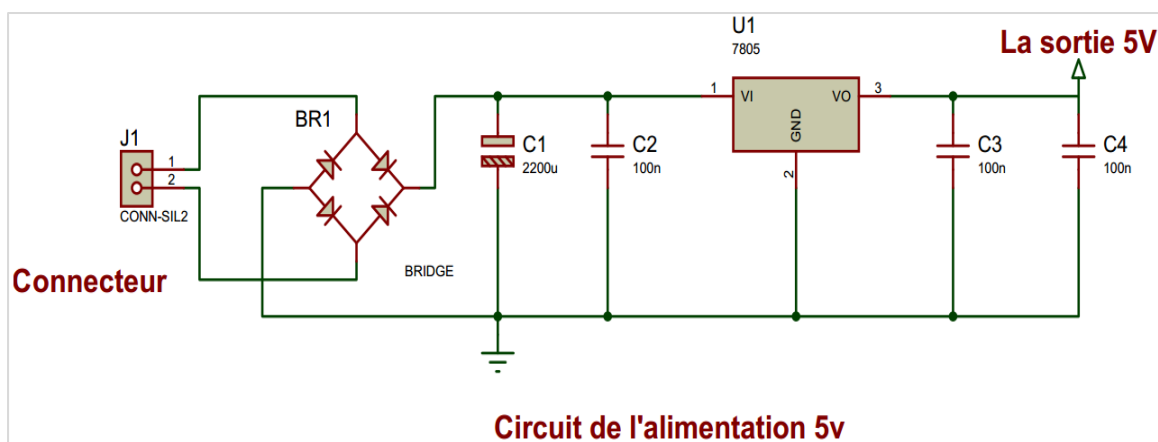


Figure III.4. Circuit de l'alimentation stabilisée a +5V.

II.1.2. Le capteur LM35DZ

Dans notre application, nous choisissons le capteur LM35 est un capteur de température compacte de National Semi-conducteur. Décliné en plusieurs versions, le LM35 est un circuit intégré comporte 3 broches. Sa principale particularité tient en ceci que sa tension de sortie **V_{out}** est linéairement proportionnelle à la température exprimée en degrés Celsius. Plus exactement, la tension de sortie **V_{out}** augmente de 10mV chaque fois que la température augmente de 1°C.

L'étalonnage par laser effectué en usine permet la production d'un capteur à un prix adorable en dépit de sa très bonne précision.

Le capteur a une sensibilité de 10 mV /°C :

$$\text{Température (° C)} * V_{out} = (100^{\circ}\text{C} / \text{V}) \quad (\text{III.1})$$

Sa linéarité qui demeure excellente sur toute plage de sensibilité. Cette plage va de -40°C à +110°C pour les LM35C et de 0°C à 100°C pour les LM35D.

Parmi les points forts de ce capteur, mentionnons sa consommation très faible, moins de 60 mA, d'où une puissance dissipée également très faible, et l'échauffement intrinsèque de ce composant est minimal. D'après le fabricant, la dérive maximale due à cet échauffement est, en l'absence de circulation d'air, de 0,08°C, c'est-à-dire négligeable la tension d'alimentation admissible va de 4 à 30V.

Les principales caractéristiques du capteur température LM35DZ sont détaillées dans le tableau qui suit :

Plage de la tension d'alimentation	0,2 v à 35 v
Sensibilité	10mv/°C
non-linéarité	+/-0,25%
Précision	+/-0,5°C (à 25°C)
Type de boîtier	To 92

Tableau III.1. Caractéristiques électrique du LM35DZ

L'étalonnage de LM35 :

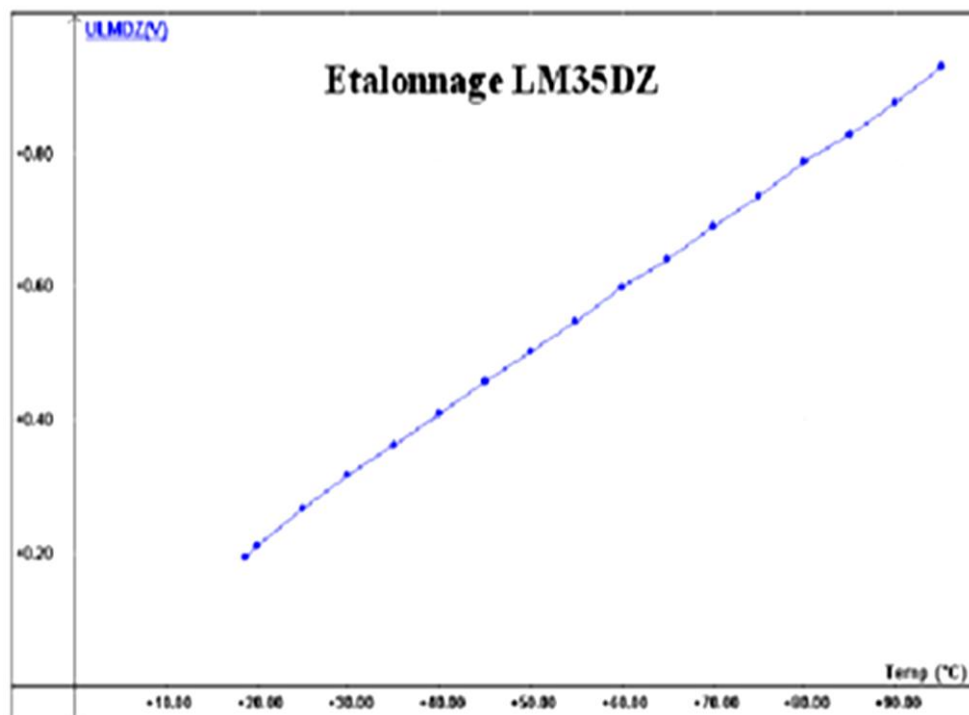


Figure III.6. Courbe d'étalonnage du LM35DZ

On trouve, comme indique cette figure, une série de 3 broches aux rôles suivant :

Broche 1 : alimentation du capteur.

Broche 2 : sortie du potentiel proportionnel à la température.

Broche 3 : masse du capteur.

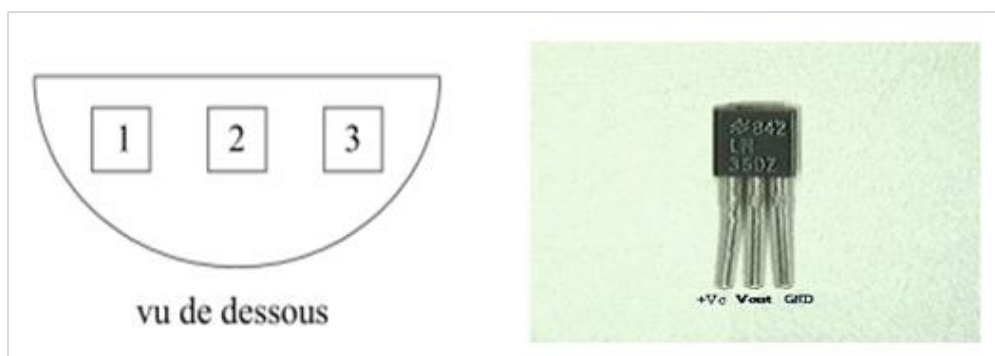


Figure III.5. Brochage de LM35DZ

II.1.2.1. Fonctionnement avec le capteur LM35

Le LM35 s'alimente entre +4 V et +20 V. Sa sortie délivre une tension de valeur proportionnelle à la température, à raison de 10 mV par °C, avec pour base la valeur de 0 V à 0 °C. On dispose ainsi d'une tension de 50 mV pour une température de 5 °C, d'une tension de 150 mV pour une température de 15 °C et d'une tension de 1,0 V pour une température de 100 °C. La figure se-dessus représente la connexion du capteur LM35 sur la carte

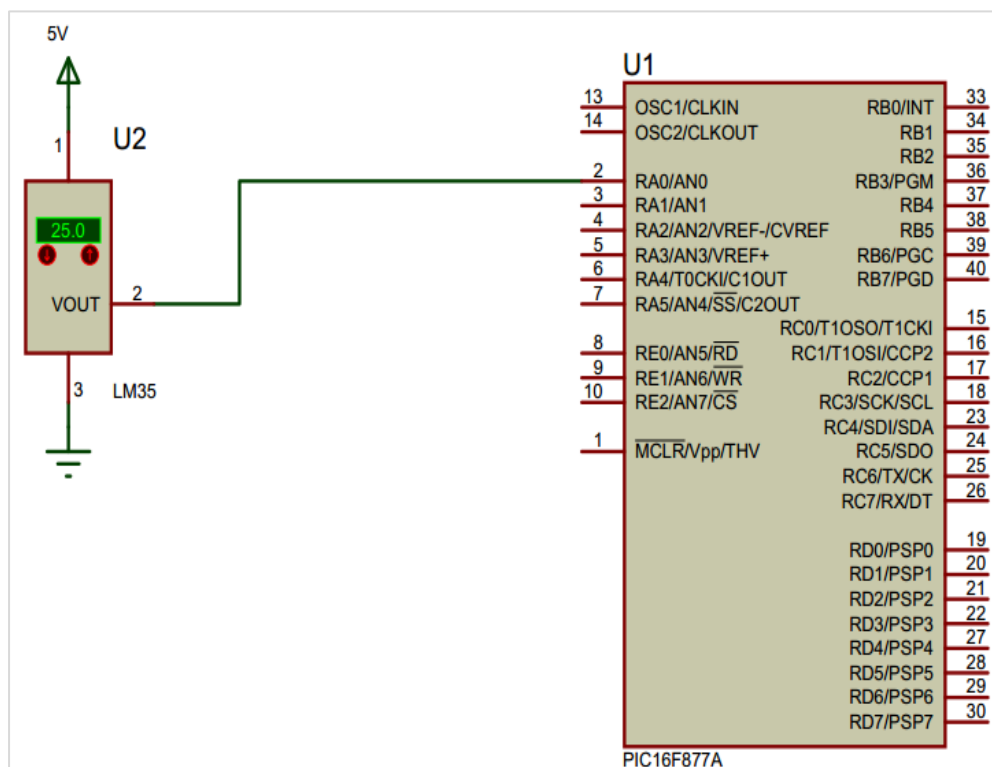


Figure III.7. Montage du LM35 sur le PIC

II.1.3. Le Capteur d'humidité

Les capteurs Honeywells HIH 4000 séries sont les capteurs d'humidité robustes la contribution directe à un microcontrôleur ou un autre appareil est rendue possible par la tension de sortie linéaires.

Le capteur dispose de 3 broches et voici par suite la désignation de chaque broche :

Broche GND : masse de capteur

Broche Vout : sortie du potentiel proportionnel à l'humidité

Broche VCC : alimentation du capteur

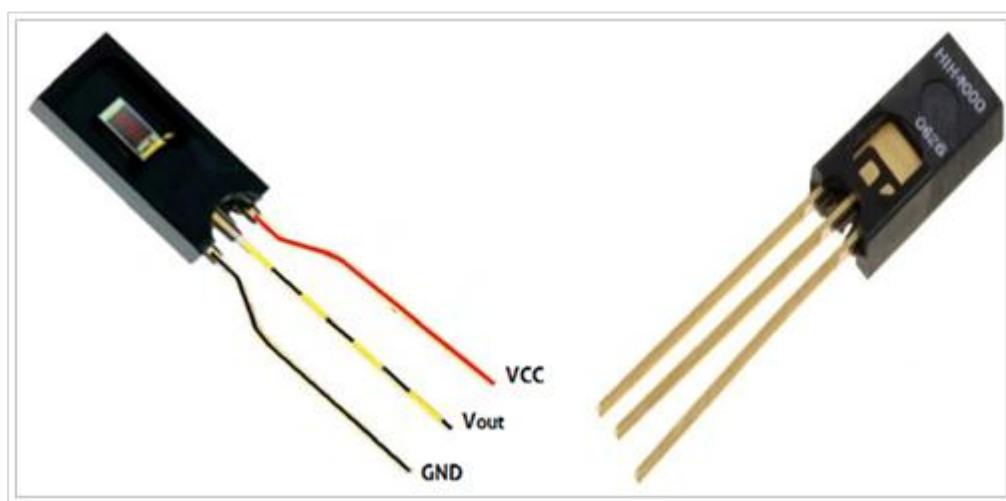


Figure III.8. Capteur d'humidité HIH 4000

Le capteur d'humidité HIH 4000 se présente sous boîtier à souder SIP « à une rangée de broches ». Sa construction est multicouche chimiquement résistante et voici par suite les principales caractéristiques :

- Tension linéaire produite contre %RH.
- Interchangeabilité équilibrée par laser.
- Basse conception de puissance.
- Exactitude élevée.
- Temps de réponse rapide.
- Longue durée de vie.

II.1.3.1. Connexion de capteur d'humidité sur la carte

Dans la réalisation de la carte, on a utilisé un potentiomètre au lieu du capteur HIH4000, à cause du cout très élevé du composant.

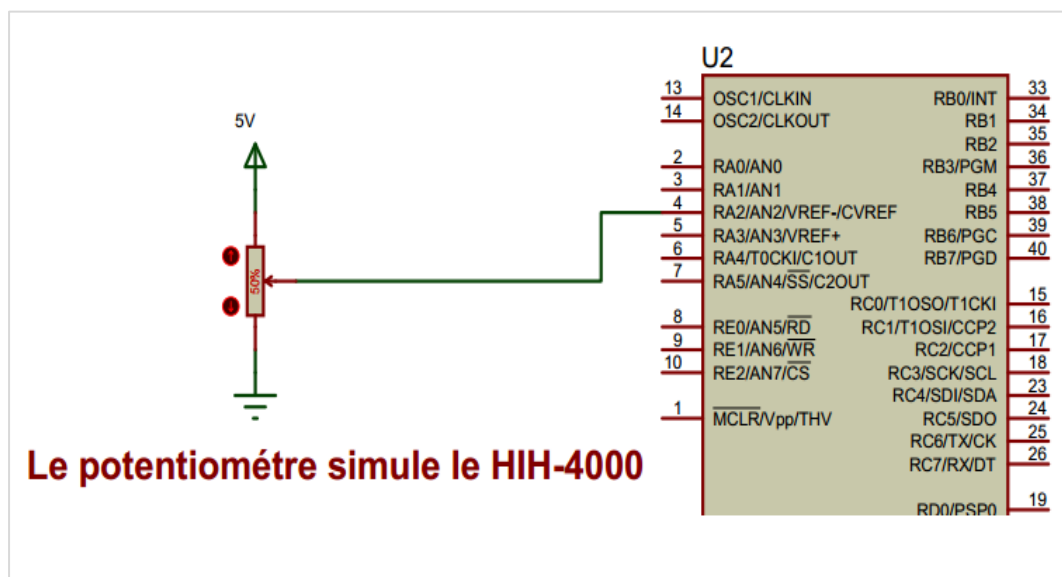


Figure III.9. Connexion du capteur d'humidité avec le PIC

II.1.3.2. Étalonnage du capteur d'humidité

Voici la courbe (la tension en V en fonction du pourcentage d'humidité) obtenue grâce à Regressi :

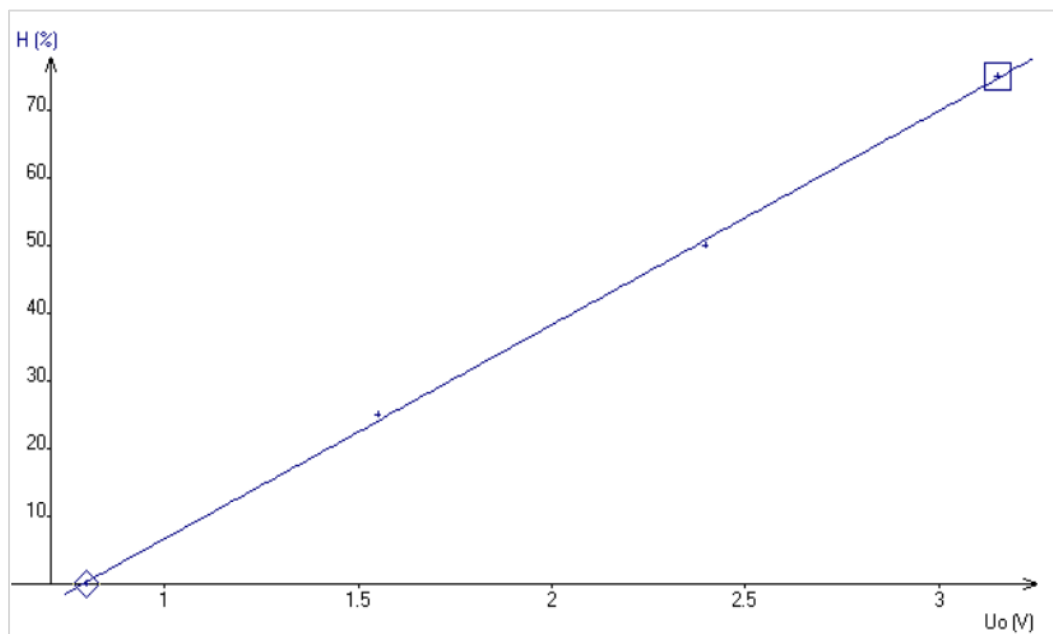


Figure III.11. Courbe de taux d'humidité (%) en fonction de la tension U (V)

L'équation de cette courbe est $H = 32 * U - 25$ donc $U = (H + 25) / 32$.

D'après la notice, nous avons la courbe d'étalonnage suivante :

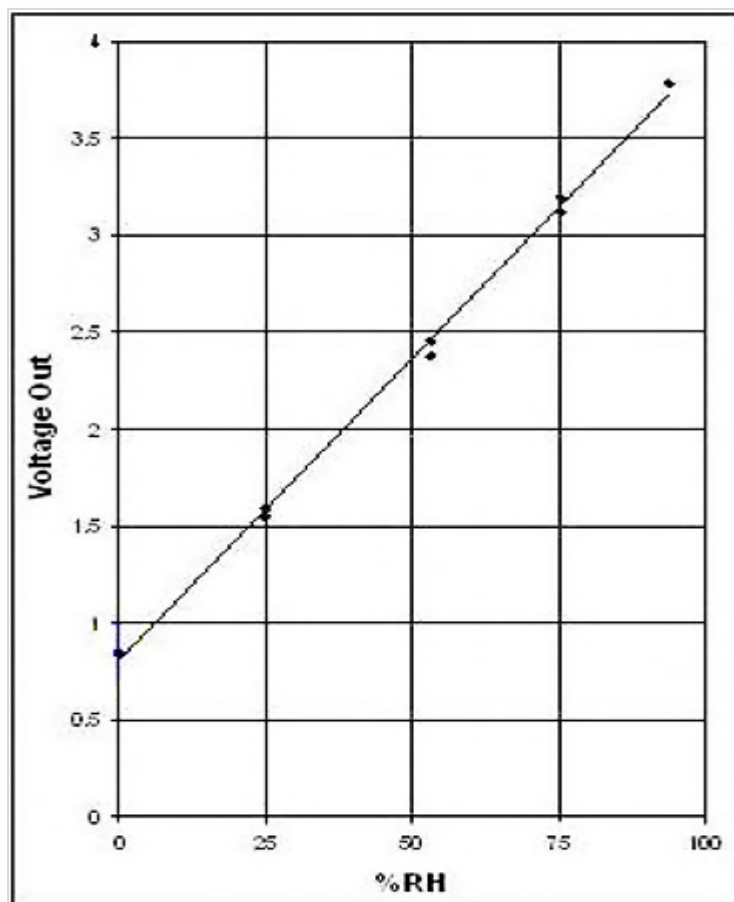


Figure III.10. Courbe d'étalonnage du capteur d'humidité

Nous en tirons le tableau de valeurs suivant :

H(%)	U(V)
0	0,8
25	1,55
50	2,4
75	3,15

Tableau III.2. Le taux de l'humidité (%) en fonction de la tension U (V)

Cependant, ce capteur est moins sensible en-dessous de 0°C et au-dessus de 50°C c'est-à-dire dans les parties hachurées suivantes :

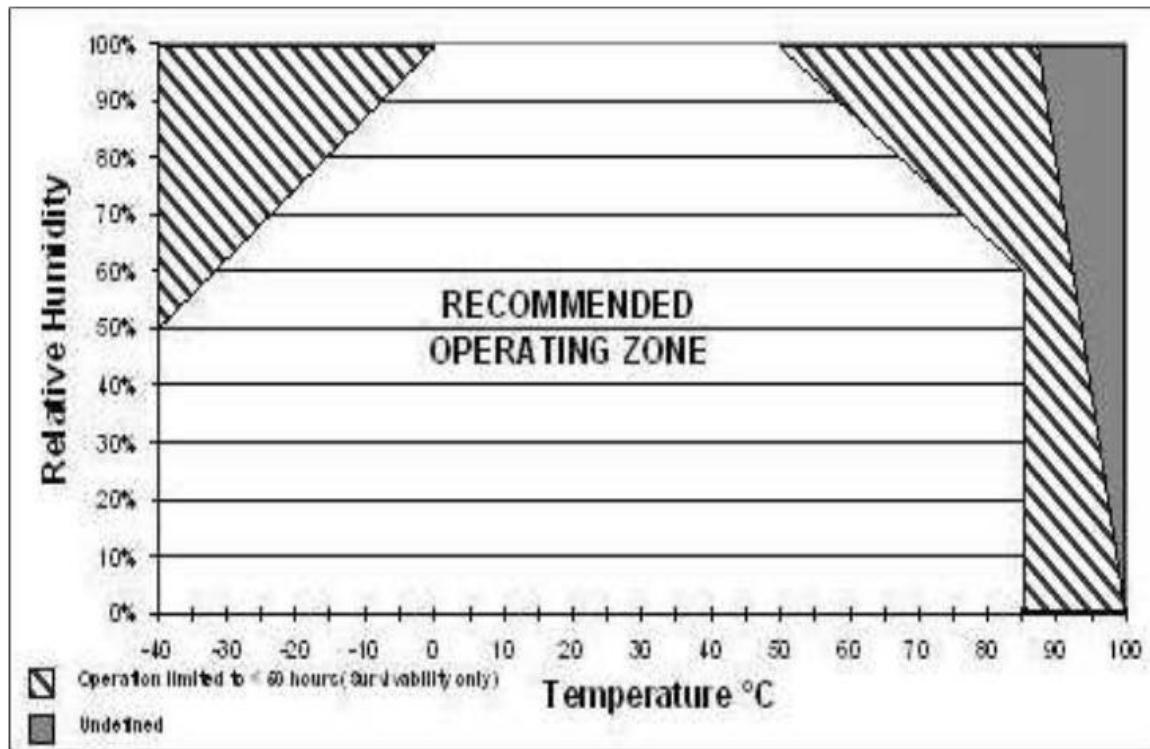


Figure III.12. La plage de fonctionnement du capteur HIH 4000

II.1.4. Bloc d'affichage

Concernant l'affichage on a utilisé un afficheur LCD (2 lignes et de 16 caractères), un afficheur LCD se présente sous la forme suivante :

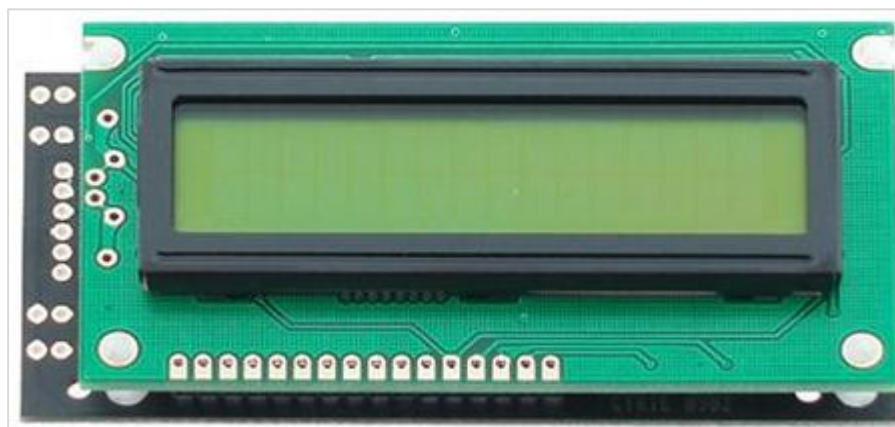


Figure III.13. Afficheur LCD 2x16

Au-dessus de l'écran à cristaux liquides proprement dit, on trouve une série de 14 broches aux rôles suivant :

Broche 1 : masse

Broche 2 : V_{CC}

Broche 3 : luminosité

Broche 5, R/W : sélection du mode lecture ou écriture : 0 écriture; 1 lecture

Broche 6, E : commande des opérations d'écriture ou de lecture

Broche 7 à 14 : utilisées pour le transfert des données ou des instructions. Le transfert peut se faire sur 8 bits, toutes les broches sont alors utilisées, ou sur 4 bits, dans ce cas, seules les broches 11 à 14 sont utilisées.

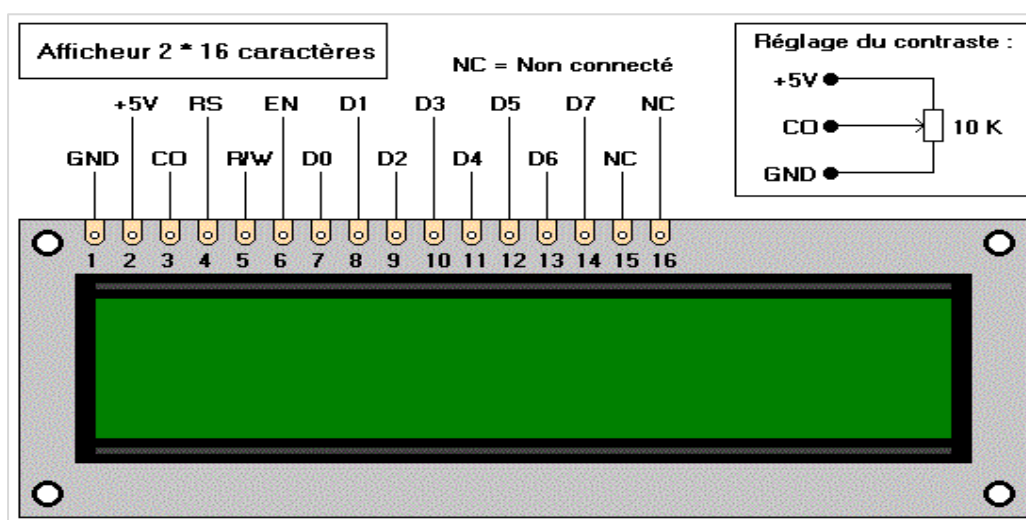


Figure III.14. Les pins d'un afficheur LCD 2x16

II.1.4.1. Fonctionnement

Un afficheur LCD est capable d'afficher tous les caractères alphanumériques usuels et quelques symboles supplémentaires. Pour certains afficheurs, il est même possible de créer ses propres caractères.

Chaque caractère est identifié par son code ASCII qu'il faut envoyer sur les lignes D0 à D7 broches 7 à 14. Ces lignes sont aussi utilisées pour la gestion de l'affichage avec l'envoi d'instructions telles que l'effacement de l'écran, l'écriture en ligne 1, le sens de défilement du curseur.

Ils sont très utilisés dans les montages à microcontrôleur et permettent une grande convivialité. Ils peuvent aussi être utilisés lors de la phase de développement d'un programme, car on peut facilement y afficher les valeurs de différentes variables.

II.1.4.2. Connexion de l'afficheur sur la carte

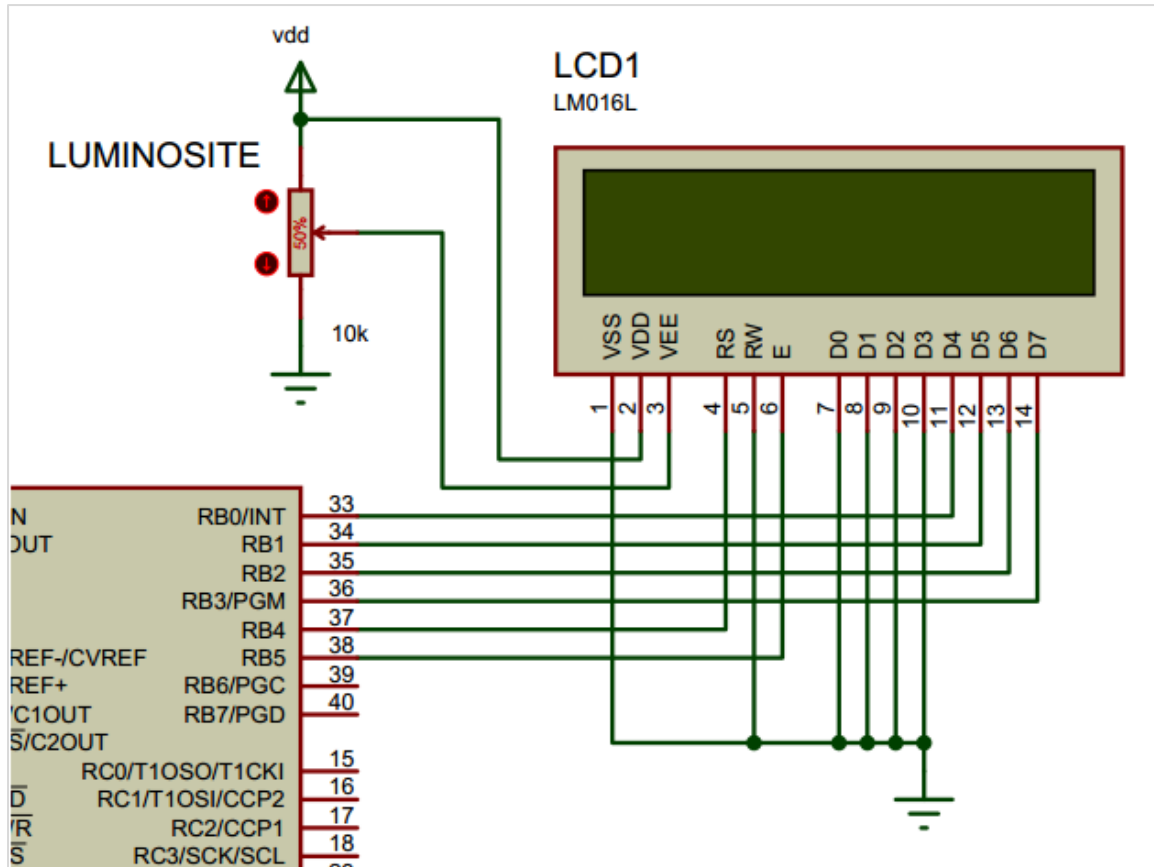


Figure III.15. Montage de l'afficheur LCD sur le PIC

II.2. Fonctionnement générale du Système

Notre PIC16F877A IC est un microcontrôleur 8 bits avec beaucoup de périphériques complémentaires ADC, universel émetteur synchrone récepteur asynchrone, maître port série synchrone, minuteries, comparer capturer et d'impulsion modules de modulation de largeur, et les comparateurs analogiques. Il est basé sur le jeu d'instructions d'ordinateur réduit (RISC), l'architecture.

Le microcontrôleur traite les sorties des capteurs pour calculer la température en degrés Celsius et le taux d'humidité en % ; L'ADC interne du microcontrôleur est utilisée pour convertir les sorties analogiques des capteurs en des valeurs numériques équivalentes.

La sortie du capteur de température est appliquée à l'ADC interne du microcontrôleur. La broche 2 du microcontrôleur (RA0/AN0) est le canal-1 de l'ADC interne. La tension de sortie analogique du capteur est convertie en sa valeur numérique équivalente par l'ADC et

son équivalent en degré Celsius (C°) est calculé par le programme. La valeur de température calculée est affichée sur l'écran LCD.

La sortie du capteur d'humidité est appliquée à l'ADC interne du microcontrôleur. La broche 4 du microcontrôleur (RA2/AN2) est le canal-3 de l'ADC interne. La tension de sortie analogique du capteur est convertie en sa valeur numérique équivalente par l'ADC et son équivalent en % est calculé par le programme. La valeur de température calculée est affichée sur l'écran LCD.

L'ADC interne du microcontrôleur comporte huit canaux d'entrée analogique et donne 10-bit de sortie numérique. Dans ce projet, la tension de référence à l'ADC est la même que la tension d'alimentation au microcontrôleur, c'est-à 5V. La résolution de l'ADC peut être calculé comme suit: $\text{Résolution} = V_{\text{ref}} / (1024-1) \dots$ (car c'est un ADC 10-bit) $= 5/1023 = 4.887 \text{ mV}$

L'écran LCD. A 16×2 LCD basé sur contrôleur HD44780 est utilisé pour l'affichage de la température. Les lignes de commande EN et RS du module LCD sont connectées aux broches RB4 et RB5 du port B du microcontrôleur, respectivement. Les commandes et les données à afficher sont transmises au module LCD en mode quartet de port D du microcontrôleur. Les quatre bits supérieurs de l'écran LCD (D4 D7 travers) sont connectés au de Port B (RB0 travers RB3).

Le système une fois alimenté il affiche sur l'écran LCD le message suivant : « Mesure Temp et Hum », ce qui permet à notre circuit l'alimentation en perspective du microcontrôleur et des deux capteurs de température le LM35 et d'humidité le HIH 4000 suivi de l'afficheur LCD d'une source de 5V.

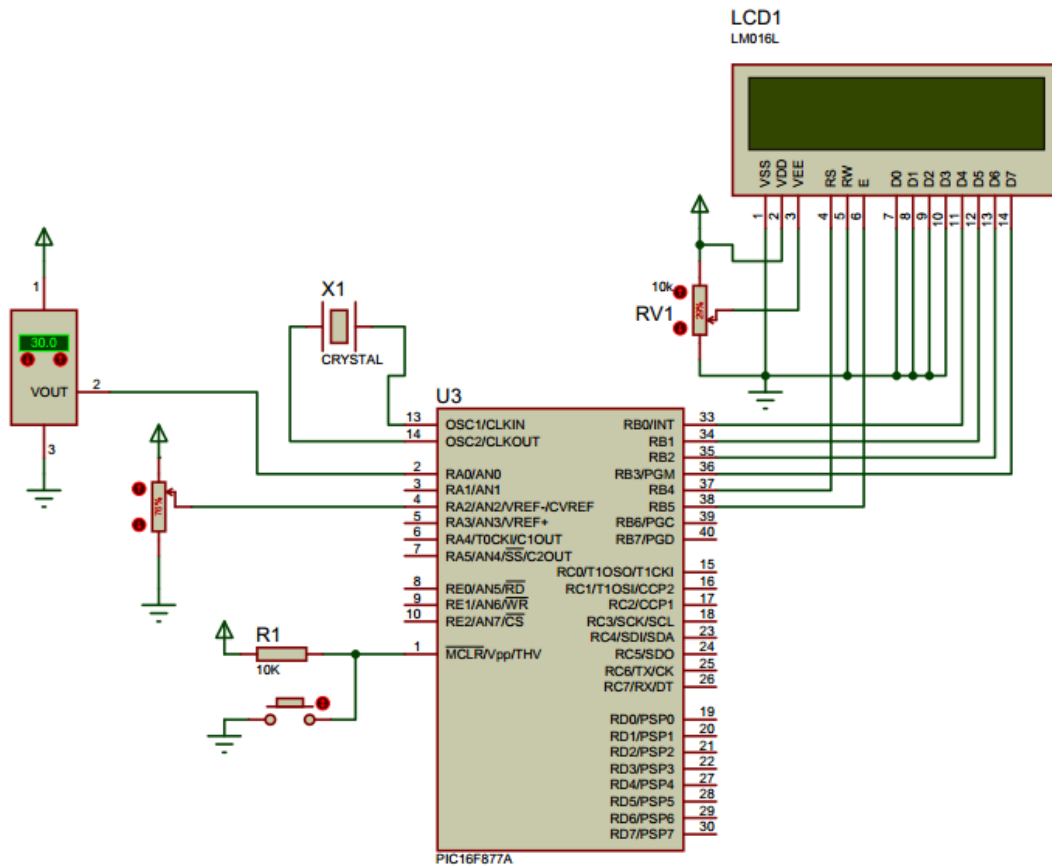


Figure III.16. Le système à réaliser

I. Introduction

Ce chapitre est consacré à décrire les différents logiciels et outils de développement que nous avons utilisés au cours de notre travail.

Nous commençons tout d'abord par le logiciel de programmation **MicroC**, puis nous passons au logiciel **Proteus** qui nous permet de faire l'édition de schéma, la simulation du circuit et la conception du circuit imprimé.

II. La C.A.O.

La **CAO** électronique est la **Conception Assistée par Ordinateur** pour l'électronique, nommée également en anglais **EDA** « **E**lectronic **D**esign **A**utomation », est la catégorie des outils servant à la conception et la production des systèmes électroniques allant des circuits imprimés jusqu'aux circuits intégrés.

III. Présentation générale de Proteus

La conception assistée par ordinateur, est un large domaine où réside plusieurs logiciels desquels nous avons choisi **Proteus**.

Proteus est une suite de logiciels permettant la **CAO** électronique, éditée par la société **Labcenter Electronics**. Proteus est composé de trois modules :

- L'éditeur de schéma **ISIS**
 - Le simulateur **LISA**
 - L'outil de conception de circuit imprimé **ARES**
-
- ✓ **ISIS** destiné à la réalisation de schémas électroniques et la simulation électrique, il produit d'une part, une liste d'équipotentiels qui peut être utilisée par le simulateur **LISA**, et l'outil de conception de circuit imprimé **ARES**, d'autre part, une liste de matériel et des rapports de contrôle des règles électriques.
 - ✓ **LISA** est un ensemble de modules de simulation lié à ISIS. Le noyau de simulation PROSPICE est basé sur la version 3F5 du moteur SPICE publié par l'université de Berkeley.
 - ✓ **ARES** est un module dédié de conception de circuit imprimé, Il permet le placement des composants en mode automatique, manuel ou semi-automatique et le routage des liaisons sur plusieurs couches en mode automatique manuel ou semi-automatique.

III.1. Description de logiciel Proteus

III.1.1. Définition de logiciel ISIS

ISIS « **Intelligent Schematic Input System** » est au cœur de Proteus, et il est bien plus que juste un autre paquet schémas. Il combine un puissant environnement de conception avec la possibilité de définir la plupart des aspects du dessin apparence.

Nous avons besoin d'une entrée rapide de la complexité et de la simulation pour la conception des circuits imprimés, ou la création de schémas attrayants pour publication, ISIS est l'outil pour l'emploi.

Grâce à des modules additionnels dite librairies de composants, **ISIS** est capable de simuler le comportement d'un microcontrôleur « PIC, Atmel, 8051, ARM, HC11... » et son interaction avec les composants qui l'entourent.

Également il permet aussi de simuler des montages. Les résultats de la simulation sont très proches de la réalité. Il permet la simulation d'éléments analogique, numérique, logique, de microcontrôleurs, d'afficheur LCD...

De plus, il dispose d'éléments de mesure virtuels : un oscilloscope, un voltmètre, un analyseur logique...

C'est un logiciel très facile à manipuler et à comprendre, c'est pour cela que nous l'avons choisi, d'ailleurs, nous avons réservé quelques pages pour décrire son fonctionnement.

III.1.2. Description de fonctionnement de logiciel ISIS

Après l'installation de notre logiciel, on lance l'éditeur **ISIS**. Au sommet de l'écran se trouve la barre de menu dans laquelle il y'a certaines fonctions et icônes qu'on va choisir parmi eux qu'il nous faut.

Ce logiciel nous permet de dessiner des schémas de haute qualité, notamment en donnant la possibilité de contrôler parfaitement l'apparence du dessin : largeurs de lignes, styles de remplissage, couleurs et polices, etc.....

Nous pouvons ainsi produire des schémas attrayants tels que ceux publiés dans les magazines. Une fois notre schéma est terminé. Nous pourrions l'exporter dans un fichier graphique ou le copier dans le presse-papiers pour l'incorporer dans d'autres documents.

L'interface utilisateur de l'éditeur de schémas **ISIS** est facile et très pratique. Les actions courantes sont simples et rapides à exécuter. Il nous permet de placer un lien à tout instant par un simple clic sur une broche de composant ou sur un lien déjà placé. De plus, les

opérations de placement, édition, déplacement et suppression se font directement à l'aide de la souris, sans devoir passer par des menus ou des icônes.

Ce simulateur contient des aides au concepteur, comme des indicateurs visuels qui indiquent l'action réalisée sur clic gauche et une mise en surbrillance des objets qui indique quel est l'objet ou le groupe d'objets concernés par l'action.

III.1.3.L'interface utilisateur

III.1.3.1. L'écran Isis

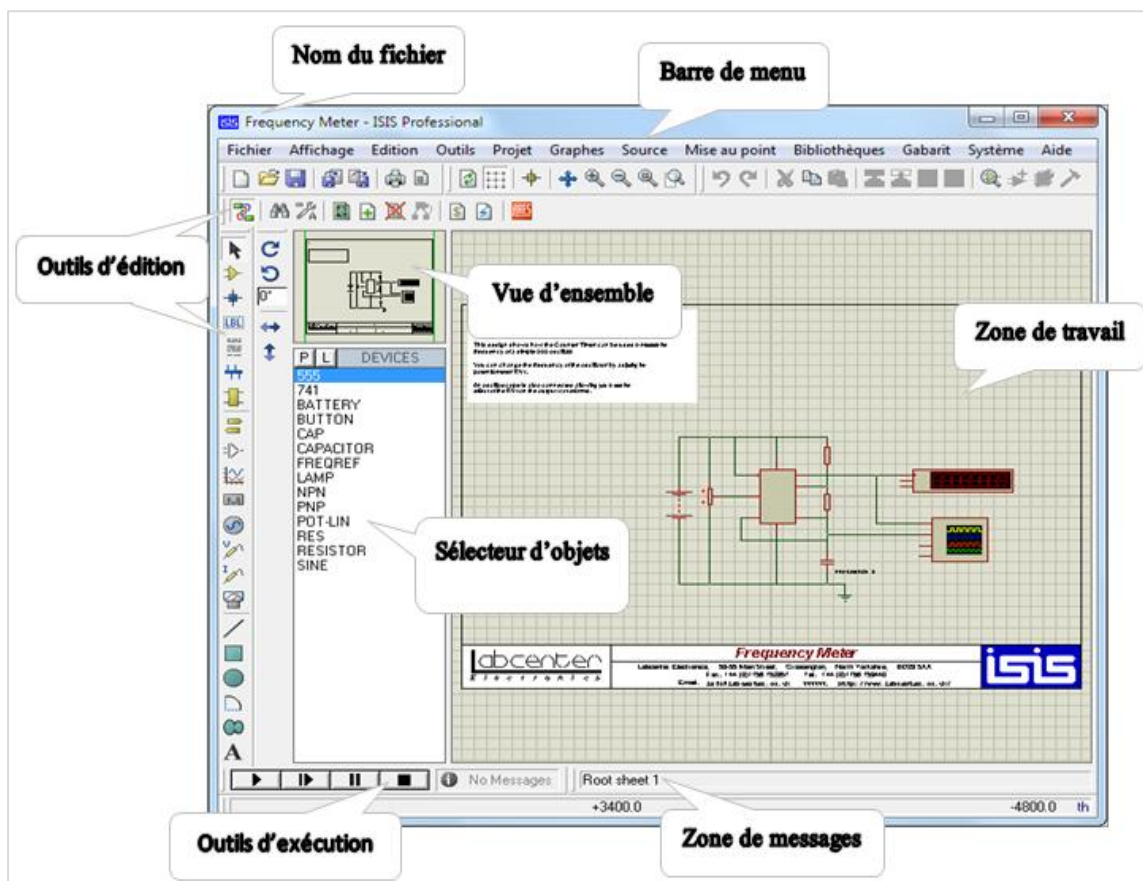


Figure IV.1. Fenêtre principale d'ISIS

III.1.3.2. Fenêtre d'ensemble (Vue d'ensemble)

Le cadre en bleu délimite l'espace de travail tel qu'il a été défini par la commande « définir taille des feuilles » du menu « système ».

Le cadre en vert délimite la zone de travail, c'est à dire la partie du schéma visible dans la fenêtre principale.

Vous pouvez déplacer cette zone de travail en pointant la souris sur la zone désirée de la fenêtre d'ensemble et en effectuant un clic gauche.

Vous pouvez redéfinir la zone de travail dans la fenêtre d'ensemble en appuyant sur la touche majuscule « **shift** » du clavier, associée au déplacement de la souris en maintenant appuyé le bouton gauche.

III.1.3.3. Fenêtre d'édition

C'est dans cette fenêtre que vous éditez votre circuit. C'est là que vous placez et câblez les composants.

Vous pouvez redéfinir la zone travail à l'aide de la fenêtre d'ensemble ou en utilisant la commande « **Zoom** » du menu « **Affichage** ».

III.1.3.4. La boîte à outils

Elle est composée d'un ensemble d'icônes dont les fonctions seront détaillées ultérieurement et d'un sélecteur d'objet utilisé pour choisir les boîtiers, le style des pastilles, des traces, des traversées, etc...

III.1.4.1. L'écran ARES

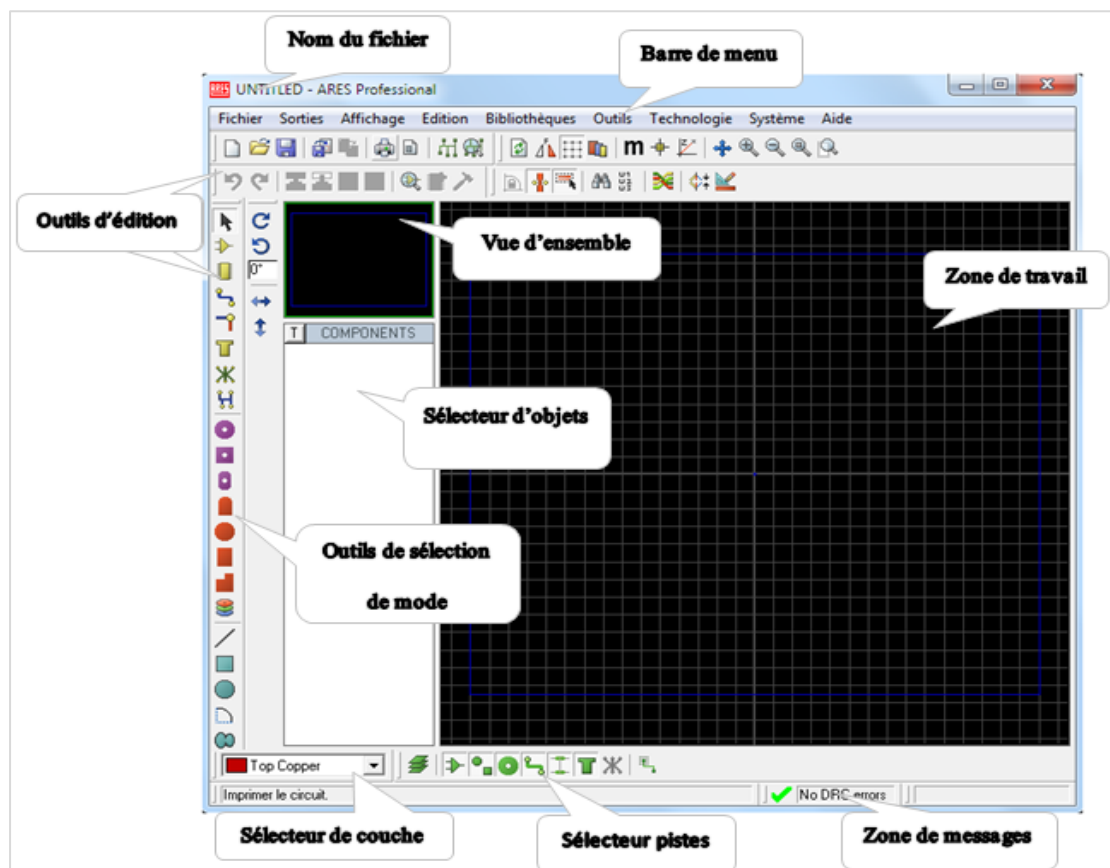


Figure IV.2. Fenêtre principale d'ARES

III.1.4.2. Description d'un exemple de routage sous ARES

Une fois les schémas électriques sont préparés, je passerai pour la réalisation des typons à l'aide d'ARES.

Dans ce qui vient après un exemple avec les différentes étapes de routage d'un circuit est présenté :

A partir de l'environnement ISIS Sélectionner l'icône rouge à droite :

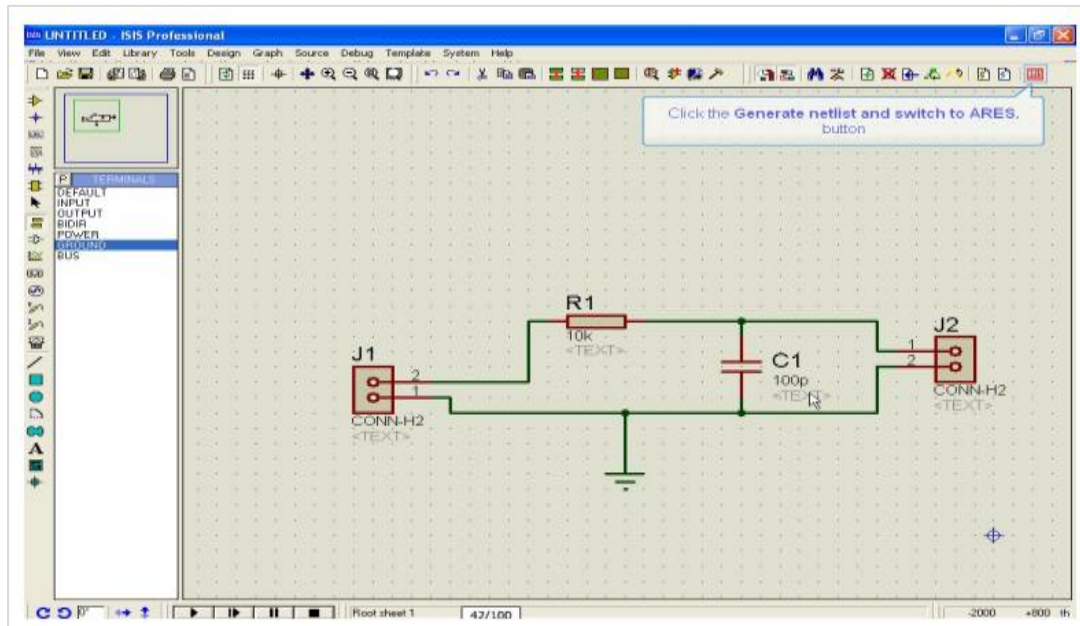


Figure IV.3. Première étape dans le routage sous ARES

Sélectionner l'icône composant:



Lorsqu'on termine de mettre les composants click sur l'icône «tools»

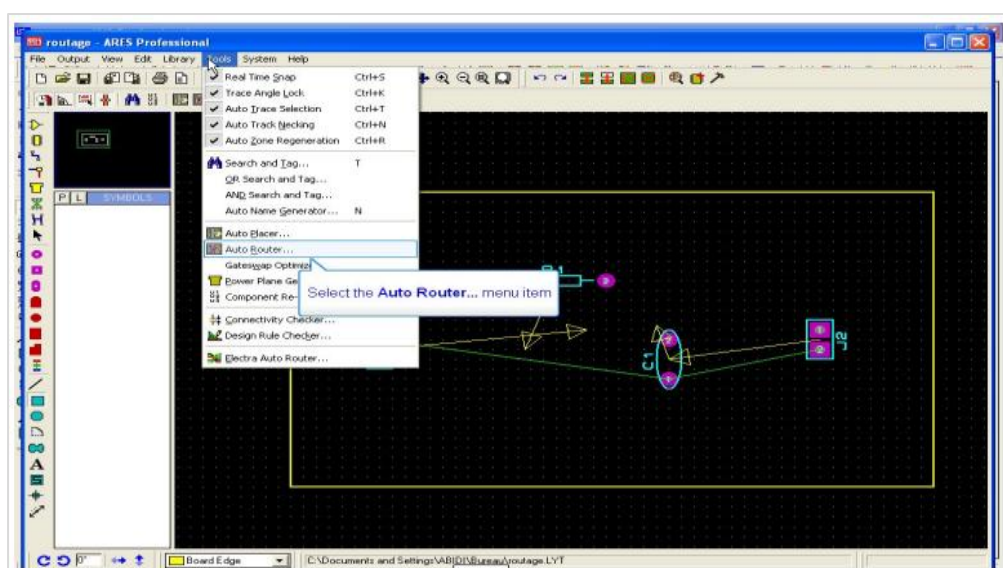


Figure IV.4. Positionnement des composantes sur la zone de travail

Click sur « **Edit Stratégies** »

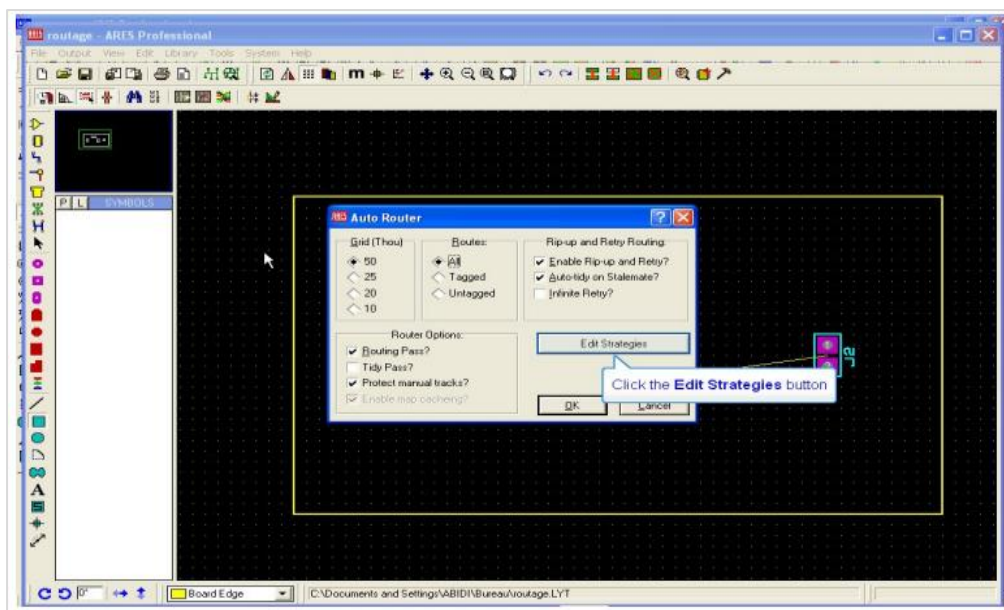


Figure IV.3. Toutes ces figures représentent les étapes de routage sous ARES

Puis réglé les paramètres puis click sur **OK**

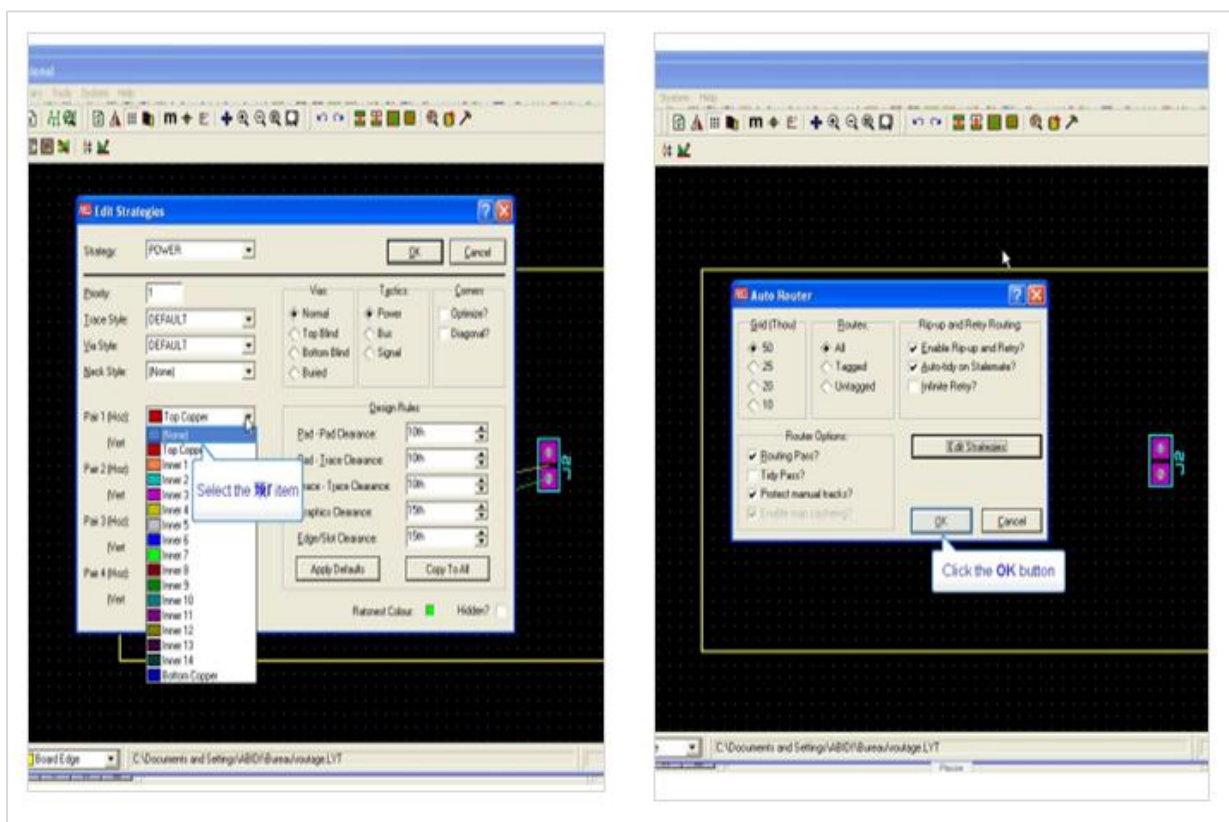


Figure IV.4. Réglage des paramètres de typon à réaliser

En fin on trouve le routage d'ARES suivant :

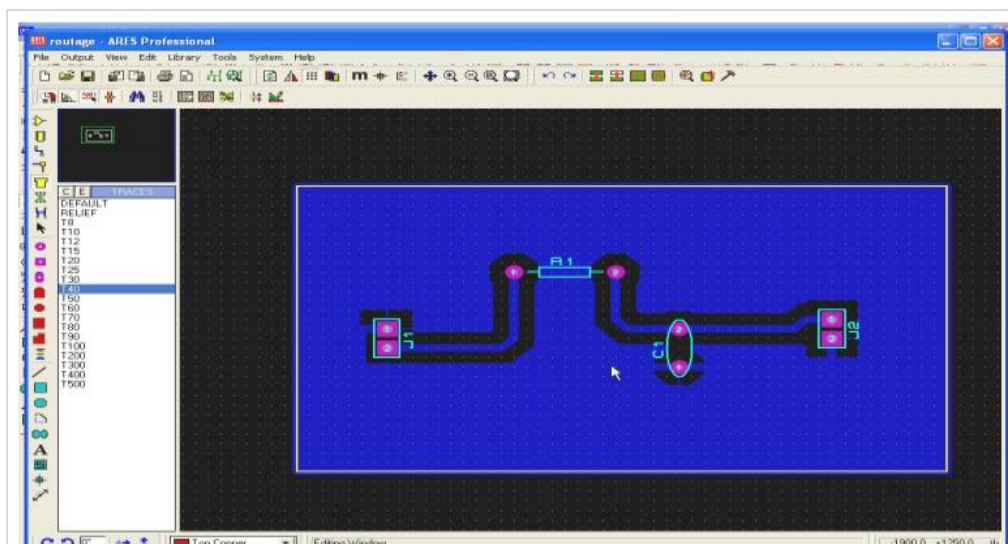


Figure IV.5. Le circuit après le routage sous ARES

II.1.4.3. Raccourcis clavier des fonctions d'édition courantes

Ajustement de la fenêtre de visualisation : placez le pointeur de la souris à l'endroit que vous voulez agrandir puis utilisez les touches F6 à F8.

Occultation de la grille touche G.

Ajustement du pas de grille : touches F2 à F4.

Définition d'une nouvelle origine : touche O.

Marquage d'un objet : cliquez sur l'objet à l'aide du bouton droit de la souris, il passe en surbrillance.

Démarquage d'un objet : cliquez avec le bouton droit de la souris dans une zone vierge de la feuille.

Annuler la dernière commande : Ctrl Z.

Rétablir la dernière commande : Ctrl Y.

Effacement d'un objet : cliquez 2 fois avec le bouton droit de la souris.

Après la réalisation des circuits imprimés, il est impératif de vérifier la continuité de toutes les pistes, ainsi que l'absence de court-circuit entre pistes. Il faut souder en premier lieu les supports des circuits intégrés et ensuite souder les autres composantes dans un ordre croissant de taille.

Pour l'implantation des composants, j'ai essayé de les ranger de telle sorte que l'identification de chaque composant soit facile par l'utilisateur à partir du schéma du circuit.

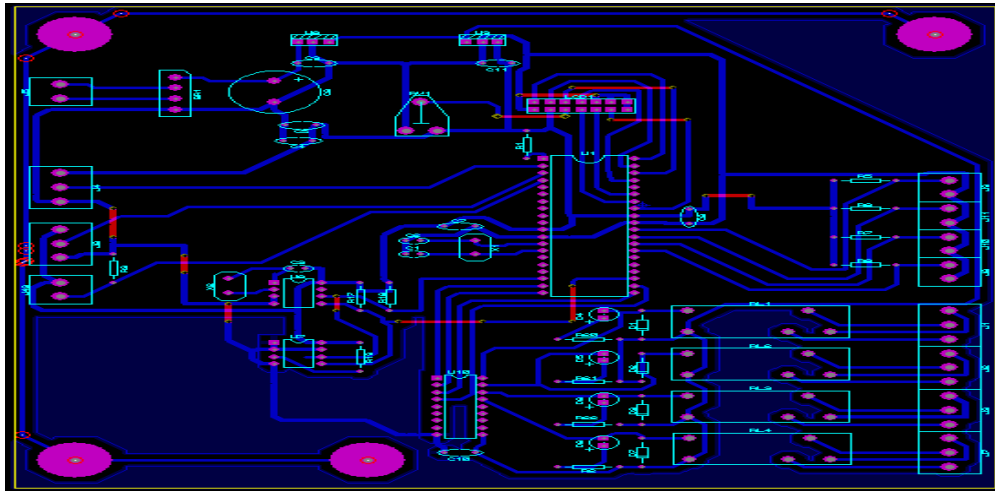


Figure IV.6. Schéma d'un exemple de circuit de routage

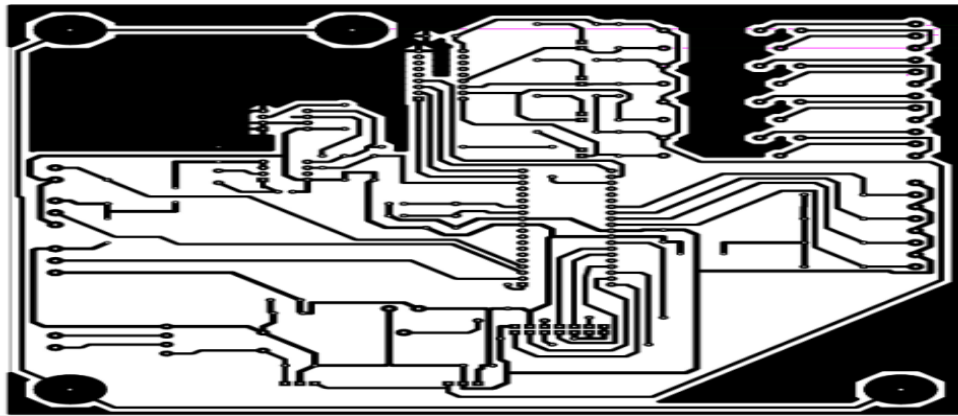


Figure IV.7. Schéma d'un exemple de circuit face cuivre

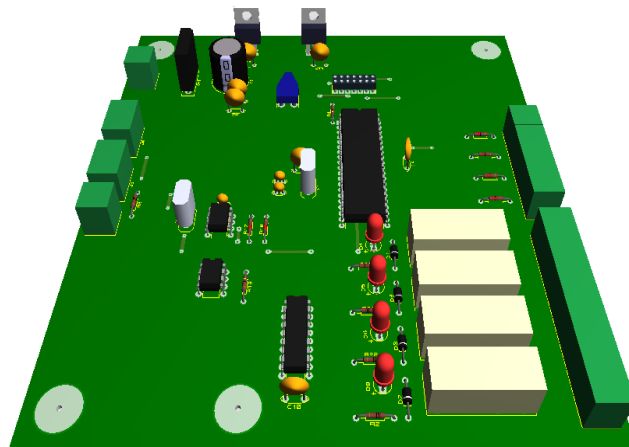


Figure IV.8. Exemple d'implantation des composants

III.2. Le langage et le compilateur MikroC pour PIC

La programmation des microcontrôleurs PIC est supportée par plusieurs langages de programmation tel que : MikroC for PIC, MPLAB, MikroBasic PRO for PIC, HI-TECH C for PIC, flowcode...etc.

Dans notre projet nous avons opté pour le compilateur de **MikroC** qui est un compilateur en langage C et qui permet d'intégrer certaines routines en assembleur. Ce choix est à la fois un choix personnel et un choix technologique parce qu'il est basé sur le langage C.

Le langage MikroC pour PIC a trouvé une large application pour le développement de systèmes embarqués sur la base de microcontrôleur. Il assure une combinaison de l'environnement de programmation avancée **IDE** « **I**ntegrated **D**evelopment **E**nvironment », et d'un vaste ensemble de bibliothèques pour le matériel, de la documentation complète et d'un grand nombre des exemples.

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

III.3. Compilateur MikroC PRO pour PIC

La nouvelle version appelée MikroC *PRO* dispose de très nombreuses améliorations du compilateur MikroC : nouvelles variables utilisables, nouvelle interface IDE, amélioration des performances du linker et de l'optimisateur, cycle de compilation plus rapide, code machine généré plus compact (jusqu'à 40 % suivant les cas), nouveaux PIC supportés, environnement de développement encore plus ergonomique, nouveaux exemples d'applications, etc...

Une description détaillée de toutes les options disponibles dans ce compilateur prendre trop de temps, de sorte que nous allons sauter cette étape. Au lieu de cela, nous allons décrire salement le processus d'écriture d'un programme en langage MikroC, un simulateur de contrôle. Pour plus d'informations reportez-vous à l'aide [F1].

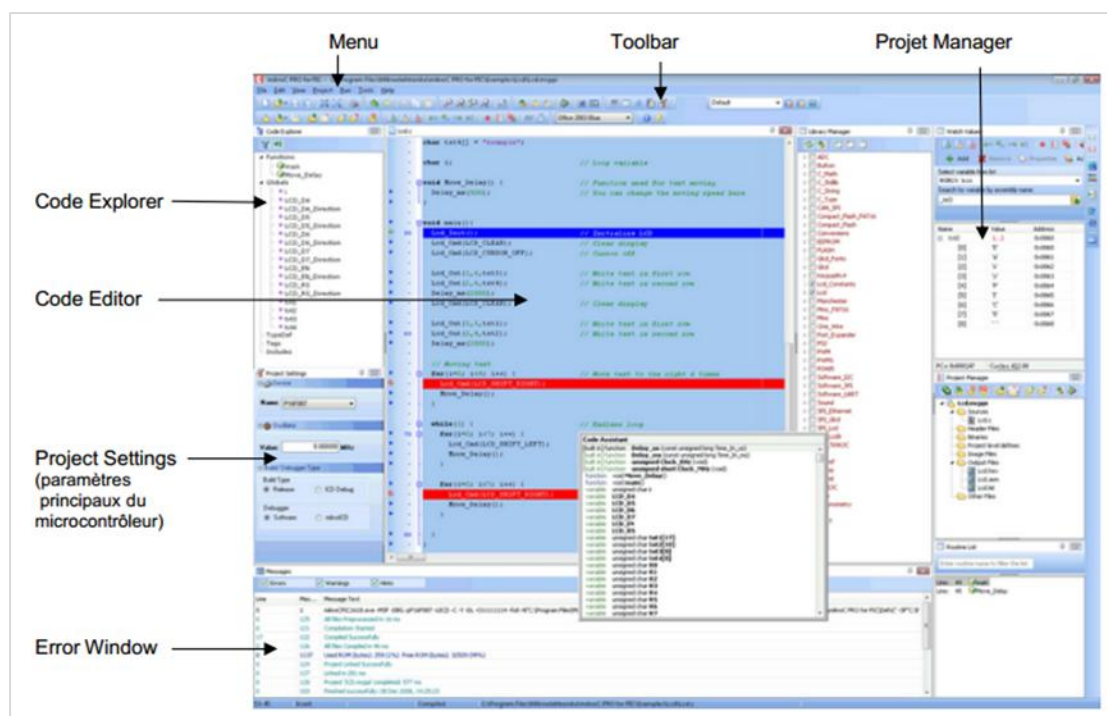


Figure IV.9. L'environnement IDE du compilateur MicroC

III.3.1. Editeur de code (Code Editor)

L'éditeur de code est le même que toute éditeur de texte standard pour l'environnement de Windows, y compris Copie, Coller, Annuler les actions etc... Il possède en plus des ressources comme suit :

- Coloration syntaxique réglable
- Assistant de code
- Assistant de paramètre
- Mise en forme automatique

Dans la boîte de dialogue **Options** voir **Figure** vous pouvez configurer la coloration syntaxique, l'aide pour le code et paramètres, la correction automatique etc.

Pour accéder à ce dialogue cliquez sur **Tools > Options** du menu déroulant ou sur l'icône



III.3.2. Assistant de code

Si vous imprimez les premières lettres du mot et puis appuyez sur **Ctrl + Espace**, tous les identificateurs autorisés correspondant aux caractères imprimés seront offerts dans une fenêtre voir la figure. Maintenant, nous pouvons continuer à réduire le choix de taper ou d'utiliser la souris pour sélectionner l'option appropriée dans la proposée et appuyez sur **Entrée**.

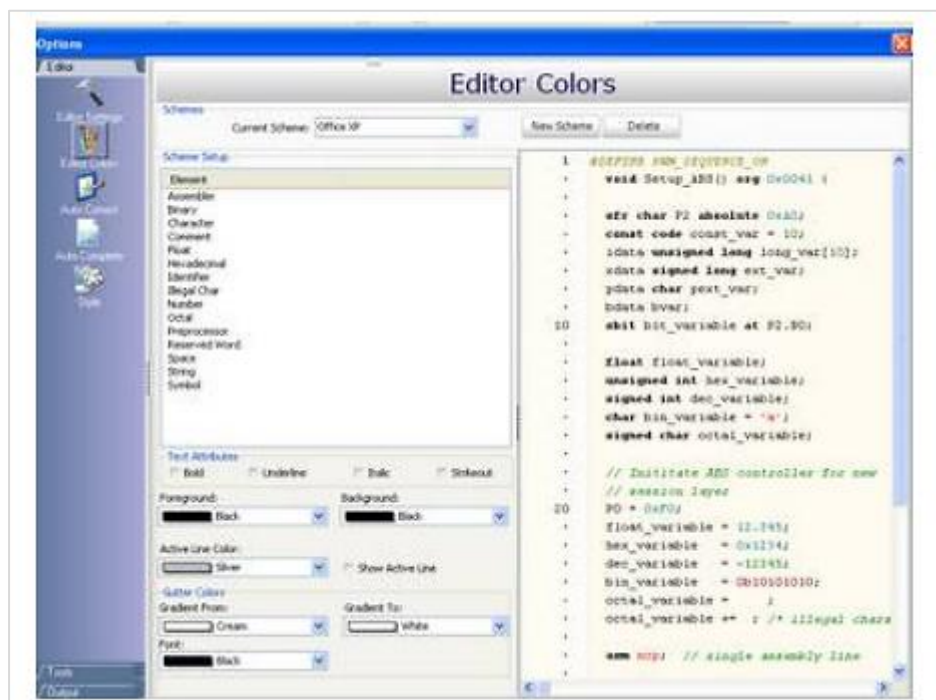


Figure IV.10. Boîte de dialogue

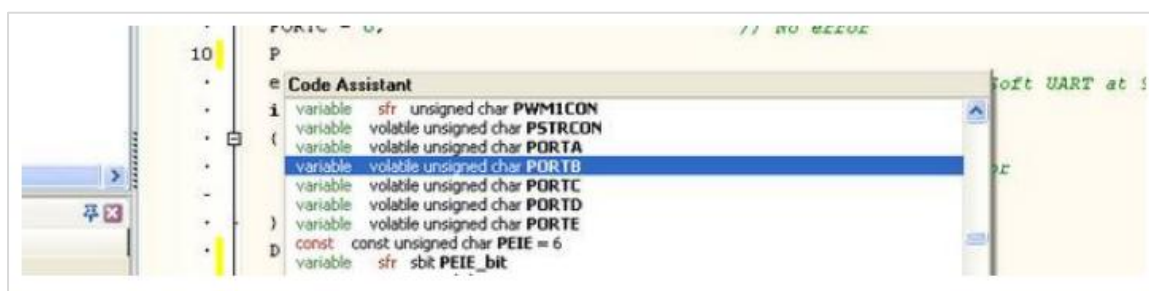


Figure IV.11. Assistant de code

III.3.3. Mise en forme automatique

Afin d'obtenir une lisibilité maximale, il est possible de générer automatiquement la mise en forme de certaines instructions. Par exemple, tapez l'instruction IF, puis **CTRL + J**. A ce stade, l'éditeur ajoute tout seul les instructions. A vous ensuite de compléter le programme.

III.3.4. Affichage syntaxique coloré

Toujours dans le but d'obtenir une lisibilité maximale de votre programme, il vous est possible de configurer entièrement les couleurs de chaque partie du listing Figure. Par exemple les commentaires en "vert", les instructions en "noir", les valeurs numériques en "bleu clair", etc.

III.3.5. Outils intégrés

Le compilateur MikroC PRO pour PIC intègre différents petits outils très pratiques qui vous simplifieront l'écriture des programmes de vos applications.

III.3.5.1. Mini terminal USART

Le "MikroC PRO" intègre un petit terminal de communication USART RS-232 (Universal Synchronous Asynchronous Receiver) pour lequel vous pourrez configurer le débit, les commandes RTS et DTR....



Figure IV.12. Mini terminal USART

III.3.5.2. Mini gestionnaire 7 segments

Le "MikroC PRO" intègre un petit utilitaire qui vous permettra de sélectionner la valeur décimale ou hexadécimale à fournir pour piloter un afficheur 7 segments.

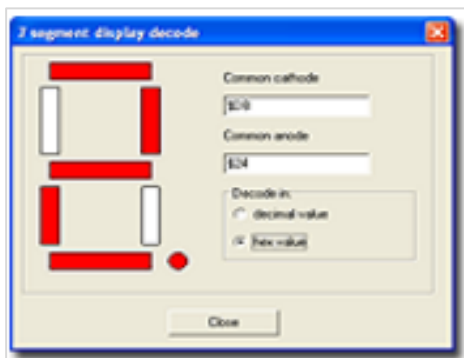


Figure IV.13. Mini gestionnaire 7 segments

III.3.5.3. Editeur d'EEprom

Le "MikroC" intègre un petit utilitaire qui vous permettra d'éditer la mémoire EEprom de certains PIC.

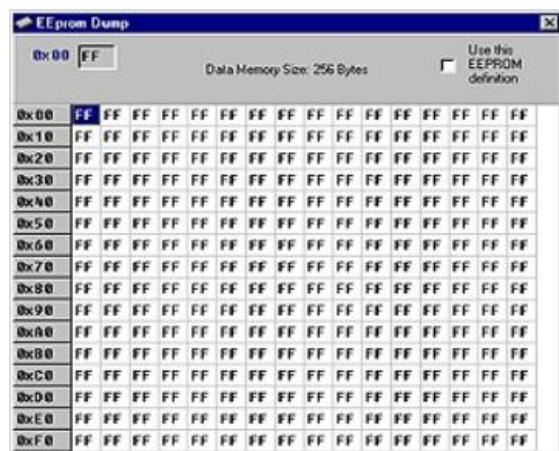


Figure IV.14. Editeur d'EEprom

III.3.5.4. Gestion des LCD graphiques

Le "MikroC PRO" intègre un petit utilitaire qui vous permettra de convertir des fichiers BMP en données pouvant être affichées sur plusieurs types de LCD graphiques.

Si nécessaire, un logiciel additionnel (Visual GLCD dispo en option en bas de page) permet également en complément du compilateur de créer de puissantes interfaces IHM.

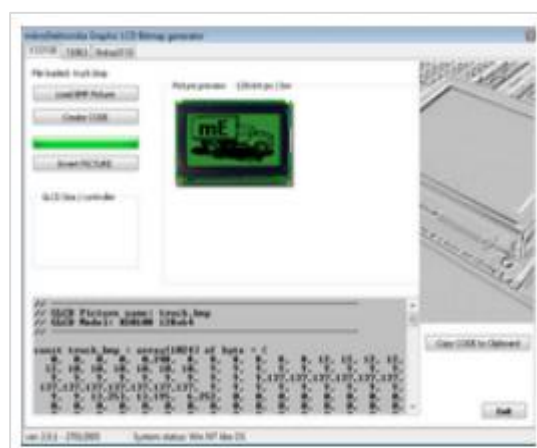


Figure IV.15. Gestion des LCD graphiques

III.4. Création d'un nouveau projet

Le MikroC PRO pour PIC organise des applications dans des projets, composé d'un seul fichier de projet « extension **.mcppi** » et un ou plusieurs fichiers sources « extension **.c** ».

Les fichiers source peuvent être compilés que si elles font partie d'un projet. Le fichier projet contient les informations suivantes :

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

La meilleure façon de créer un projet c'est à l'aide de l'Assistant Nouveau projet (**menu Project > New Project**) ou en cliquant sur l'icône Nouveau projet à partir de la barre d'outils du projet.



Figure IV.16. Création d'un nouveau projet

Nouvelles étapes de l'Assistant de projet

Commencez à créer votre nouveau projet, en cliquant sur le bouton **Next** :



Figure IV.17.

Premier pas - Sélectionnez le périphérique dans le périphérique dans la liste déroulante.

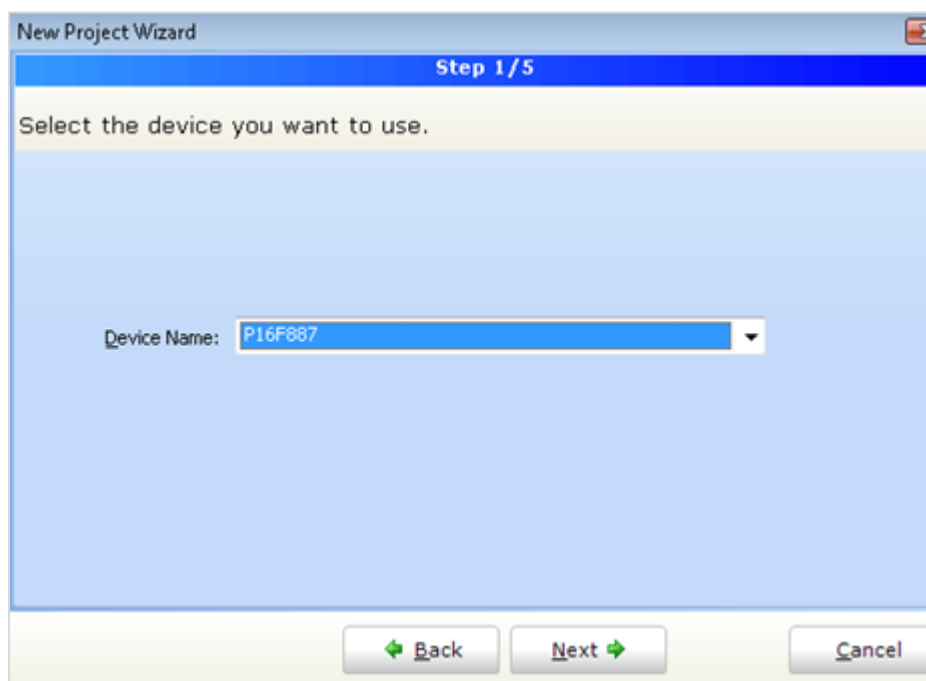


Figure IV.18. Sélection de périphérique (le pic à utiliser)

Deuxième pas - Saisir la valeur de fréquence de l'oscillateur.

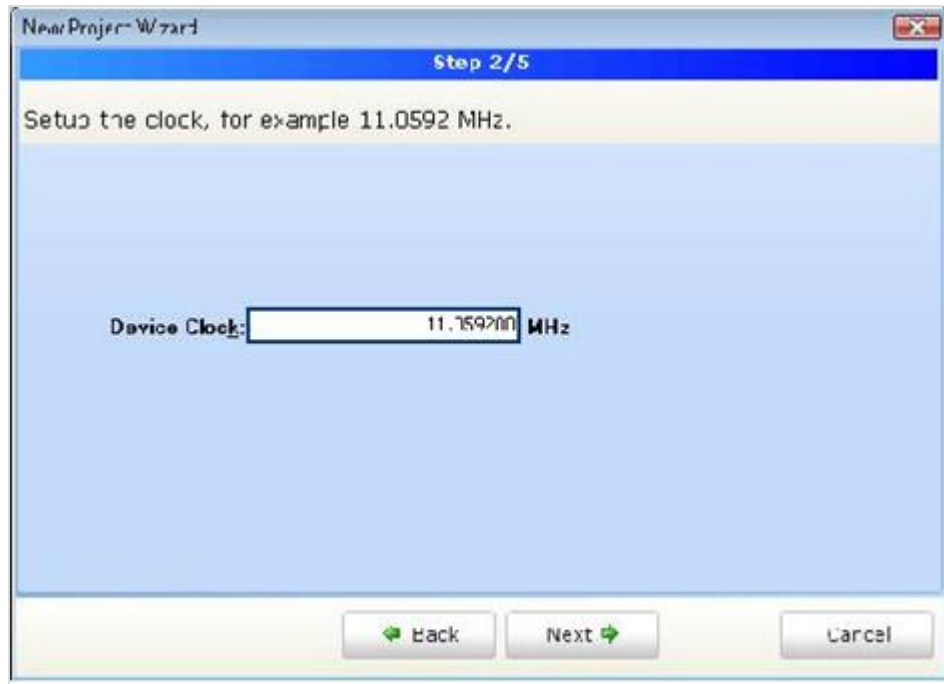


Figure IV.19. Précision de la valeur de quartz

Troisième pas - Spécifiez l'emplacement où votre projet sera enregistré.

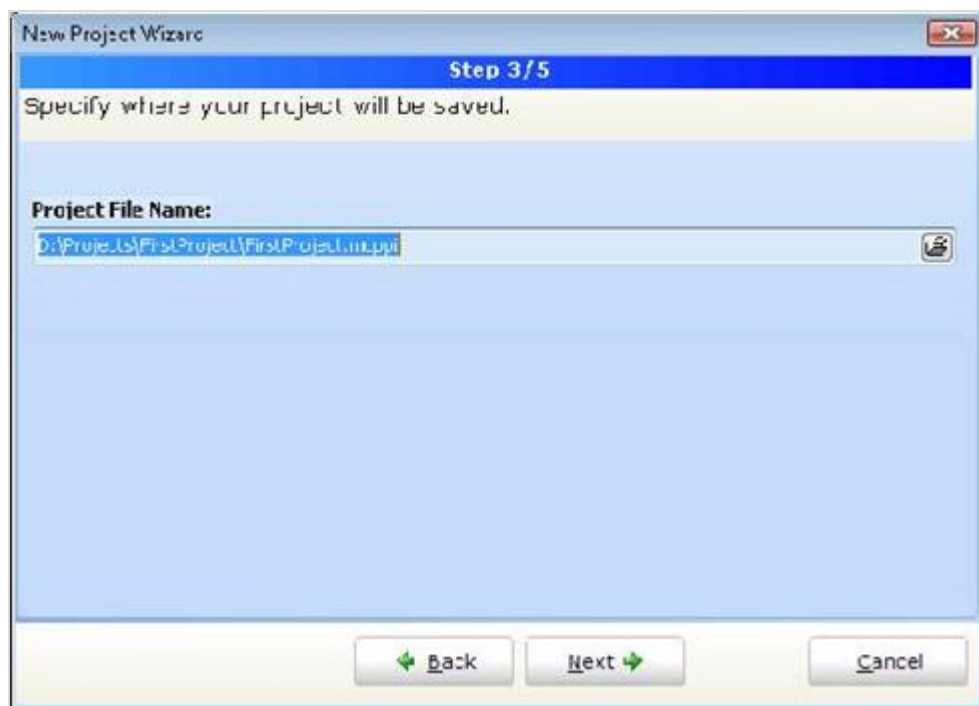


Figure IV.20. Choisir l'emplacement d'enregistrement du projet

Quatrième pas - Ajout pour le projet un fichier. Comme vous pouvez toujours ajouter des fichiers au projet plus tard en utilisant Project Manager.

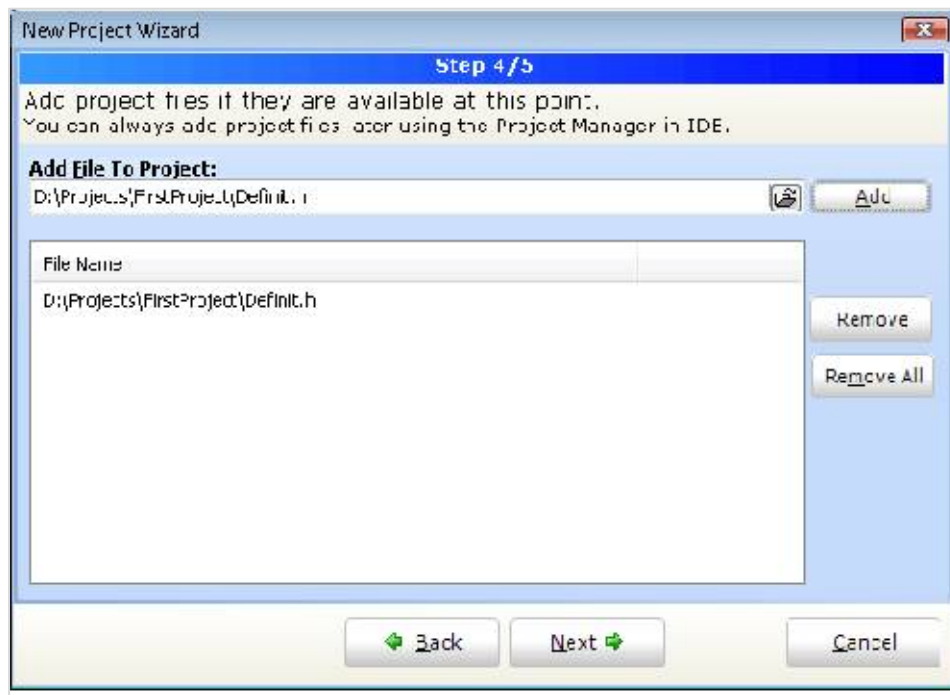


Figure IV.21. L'ajout d'un fichier au projet déjà crée

Cinquième pas - Cliquez sur Finish pour créer votre nouveau projet.

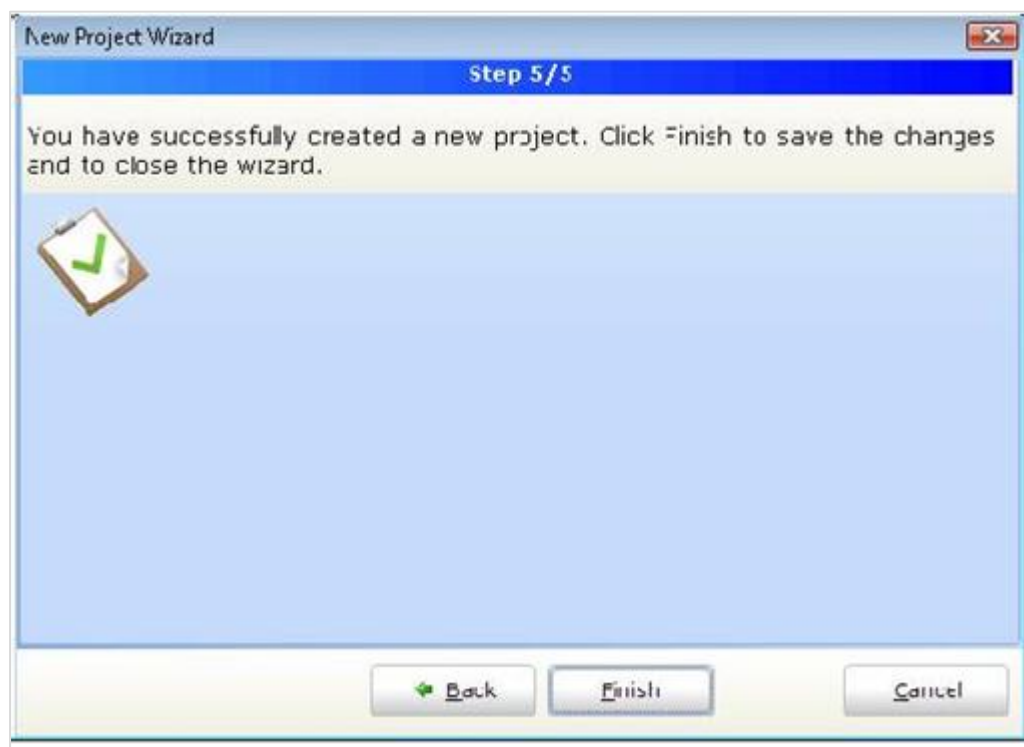


Figure IV.22. La dernière étape pour crée un nouveau projet

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

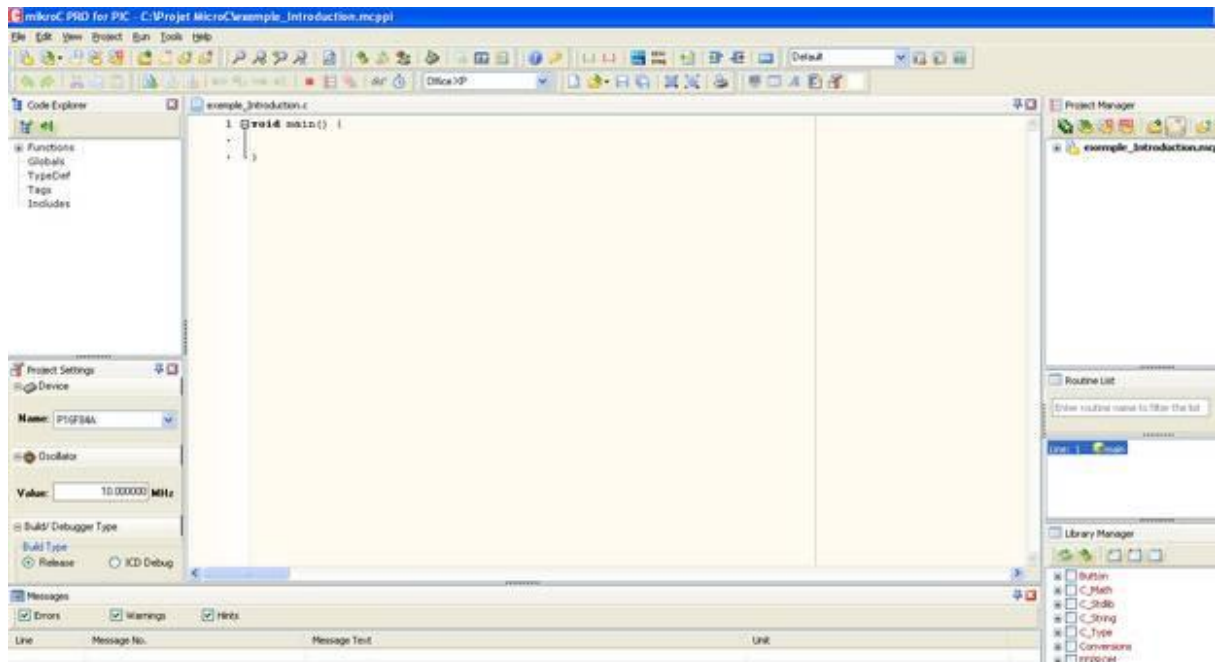


Figure IV.23. La fenêtre principale ou en édite le programme

III.5. Compilation

Lorsque vous avez créé le projet et écrit le code source, il est temps de le compiler.

Sélectionnez **Project** → **Build** à partir du menu déroulant ou cliquez sur l'icône **Build** dans la barre d'outils du projet.

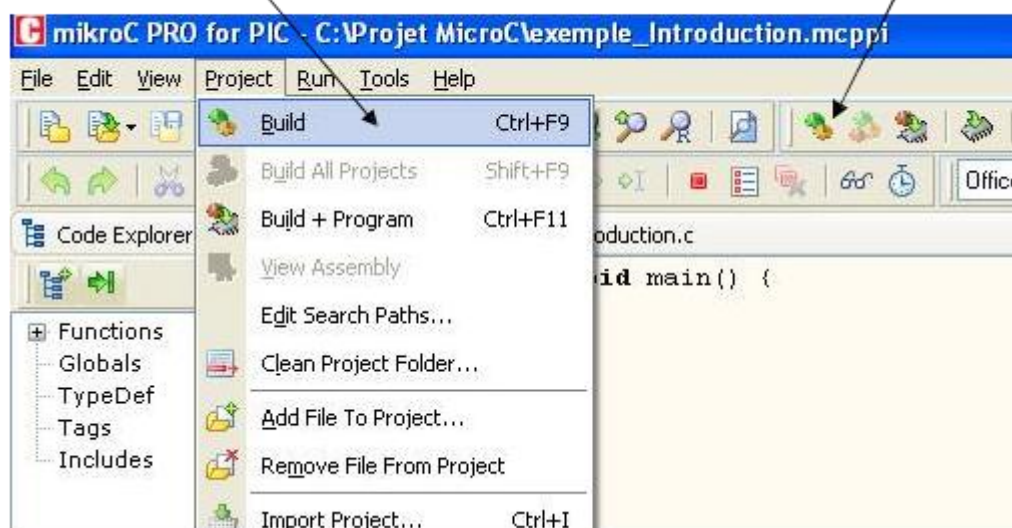


Figure IV.24. Les étapes pour la compilation du programme

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



Figure IV.25. Avertissement des erreurs

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

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

Tableau IV.1. Les fichiers du dossier du projet.

III.6. Le programme

```
//Programmer:
//Compiler: mikroC PRO for PIC v6.0.0
//Target PIC: PIC16F877A
/*****/
    // Configuration des pinout du LCD
sbit LCD_RS at RB4_bit;
sbit LCD_EN at RB5_bit;
sbit LCD_D4 at RB0_bit;
sbit LCD_D5 at RB1_bit;
sbit LCD_D6 at RB2_bit;
sbit LCD_D7 at RB3_bit;
    // Direction des pin
sbit LCD_RS_Direction at TRISB4_bit;
sbit LCD_EN_Direction at TRISB5_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISB0_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISB1_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISB2_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISB3_bit;

    // Declaration des variables
unsigned long ADRead1;
unsigned long ADRead2;
unsigned int vDisp1[3];
unsigned int vDisp2[3];
unsigned char Display1[7];
unsigned char Display2[7];
unsigned char ch;
long Humidite;

void main()
{
    INTCON = 0;           // All interrupts disabled
    PORTA = 0;
    TRISA = 0xFF;         // All port A pins are configured as inputs
    PORTB = 0;
    TRISB = 0;
    ADCON1 = 0x82;        // A/D voltage reference is VCC

    // LCD display initialization

    Lcd_Init();
    Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF); // LCD command (cursor off)
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);      // LCD command (clear LCD)
    LCD_Out(1, 1, "Mesure");   // Ecrire chaîne "Temp:" en ligne 1
    LCD_Out(2, 1, "Temp et Hum"); // Ecrire chaîne "Hum:" en ligne 2
    DELAY_ms(200);
}
```

```

Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);    // LCD command (cursor off)
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);         // LCD command (clear LCD)
LCD_Out(1, 1, "Temp:");      // Ecrire chaîne "Temp:" en ligne 1
LCD_Out(2, 1, "Hum:");       // Ecrire chaîne "Hum:" en ligne 2

Display1[4] = 39; //
Display1[5] = 'C';          // Ecrire chaîne "C" après la tension
//Display2[4] = 254;
Display2[5] = '%';          // Ecrire chaîne "%" après la tension
ADC_Init();

while (1)
{
    ADRead1 = (ADC_Get_Sample(0) * 500) >> 10;
    vDisp1[0] = ADRead1 / 100;
    vDisp1[1] = (ADRead1 / 10) % 10;
    vDisp1[2] = ADRead1 % 10;
    Display1[1] = vDisp1[0] + 48;
    Display1[2] = vDisp1[1] + 48;
    Display1[3] = vDisp1[2] + 48;
    LCD_Chr(1, 8, Display1[0]);
    LCD_Chr(1, 9, Display1[1]);
    LCD_Chr(1, 10, Display1[2]);
    LCD_Chr(1, 11, Display1[3]);
    LCD_Chr(1, 12, Display1[4]);
    LCD_Chr(1, 13, Display1[5]);

    ADRead2 = ADC_Get_Sample(2); // Résultats 10 bits de conversion
    Humidite = ((ADRead2 * 32) - 25) / 1023;
    vDisp2[0] = Humidite / 100;
    vDisp2[1] = (Humidite / 10) % 10;
    vDisp2[2] = Humidite % 10;
    Display2[1] = vDisp2[0] + 48;
    Display2[2] = vDisp2[1] + 48;
    Display2[3] = vDisp2[2] + 48;
    LCD_Chr(2, 8, Display2[0]);
    LCD_Chr(2, 9, Display2[1]);
    LCD_Chr(2, 10, Display2[2]);
    LCD_Chr(2, 11, Display2[3]);
    LCD_Chr(2, 12, Display2[4]);
    LCD_Chr(2, 13, Display2[5]);
}
}

```


III.7. Conclusion

La réalisation pratique des montages et une expérience très enrichissante du fait de la conception d'un système appliqué.

Les étapes menées durant ce chapitre ont montré que l'étude théorique et l'étude par simulation étaient très proches de la réalité pratique, sauf que la théorie ne tient pas compte des problèmes d'origine aléatoire comme les bruits de fond, causés par l'alimentation et des hautes fréquences. On a pu enfin tester le montage afin de déterminer ses performances et limites.

Conclusion générale

Dans le but de conclure ce travail, rappeler tout d'abord que l'objectif était d'étudier le principe de fonctionnement et de faire conception du thermomètre électronique. Dans ce sens, il a été judicieux de diviser le travail en deux parties, dans la première partie, j'ai pu dégager que la mesure de température se fait selon plusieurs échelles, et le plus utiliser est le degré Celsius.

L'étude ma a permis de conclure que, la mesure de température se ramène à l'étude d'une variation de tension.

Ainsi, concevoir un thermomètre électronique; c'est donc mettre en place un système pouvant effectuer des mesures par variation de tension. Dans le milieu industriel et généralement pour plusieurs mesures de température, l'on a recours aux thermomètres électroniques (à capteur de température).

Par ailleurs, la conception du circuit de conditionnement ne se ramène plus à la mise au point d'un montage permettant de prélever une variation de tension. Le fait que je souhaite généralement faire des traitements informatiques sur les valeurs prélevées, ma amène à introduire dans mon montage des éléments permettant de prendre en compte le capteur de température LM35.

Le PIC 16F877A utilisé pour recevoir, traiter, et transmettre des données, et pour la communication entre les systèmes électroniques). Un afficheur LCD qui permet l'affichage des variations de la température.

Finalement, ce travail a été très bénéfique pour moi car il ma a permis d'approfondir mes connaissances sur les capteurs, les amplificateurs, les microcontrôleurs et bien d'autres aspects des fonctions électroniques, et j'ai réussi de faire la réalisation et voir le fonctionnement d'u système automatisé en directe. Plus important encore, j'ai été mainte fois confrontées à des problèmes d'ordre pratique et j'ai appris à les surmonter.

Comme perspectives, nous proposons la miniaturisation de cette carte et d'intégrer d'autres fonctionnalités en exploitant le reste des entrées du pic pour acquérir d'autres grandeurs.

Références bibliographiques

[1] *Annane Samia*. Conception d'un micro-capteur, UMMTO, 2010/2011.

[2] *Rapport du stage Société tunisienne d'électricité et du gaz*.

[3] *Hamouche Hayat*. Caractérisation des fibres Kératinique en vue de leur utilisation comme capteur d'humidité. UMMTO, 2012

[4] http://www.memoireonline.com/04/10/3446/m_Etude-et-application-de-microcontrolleur-16f84.html

[5] <http://www.mikroe.com/>

Honeywell

HIH-4000 Series Humidity Sensors



The HIH-4000 Series Humidity Sensors are designed specifically for high volume OEM (Original Equipment Manufacturer) users. Direct input to a controller or other device is made possible by this sensor's linear voltage output. With a typical current draw of only 200 μ A, the HIH-4000 Series is often ideally suited for low drain, battery operated systems. Tight sensor interchangeability reduces or eliminates OEM production calibration costs. Individual sensor calibration data is available.

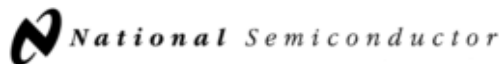
FEATURES

- Molded thermoset plastic housing
- Linear voltage output vs %RH
- Laser trimmed interchangeability
- Low power design
- High accuracy
- Fast response time
- Stable, low drift performance
- Chemically resistant

The HIH-4000 Series delivers instrumentation-quality RH (Relative Humidity) sensing performance in a competitively priced, solderable SIP (Single In-line Package). Available in two lead spacing configurations, the RH sensor is a laser trimmed, thermoset polymer capacitive sensing element with on-chip integrated signal conditioning. The sensing element's multilayer construction provides excellent resistance to most application hazards such as wetting, dust, dirt, oils and common environmental chemicals.

TYPICAL APPLICATIONS

- Refrigeration equipment
- HVAC equipment
- Medical equipment
- Drying
- Metrology
- Battery-powered systems
- OEM assemblies



November 2000

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^{\circ}\text{C}$ over a full -55 to $+150^{\circ}\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\text{ }\mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^{\circ}\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^{\circ}\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear $+10.0\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^{\circ}\text{C}$)
- Rated for full -55° to $+150^{\circ}\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\text{ }\mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\text{ }\Omega$ for 1 mA load

Typical Applications

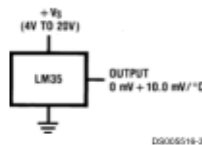
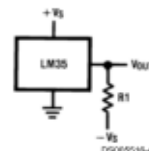


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor
($+2^{\circ}\text{C}$ to $+150^{\circ}\text{C}$)



Choose $R_1 = -V_2/50\text{ }\mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\text{ mV at } +150^{\circ}\text{C}$
 $= +250\text{ mV at } +25^{\circ}\text{C}$
 $= -550\text{ mV at } -55^{\circ}\text{C}$

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

Annexes

LM35

Connection Diagrams

TO-46
Metal Can Package*

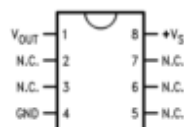


BOTTOM VIEW
D9305515-1

*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH
See NS Package Number H03H

SO-8
Small Outline Molded Package



D9305516-21

N.C. = No Connection

Top View
Order Number LM35DM
See NS Package Number M08A

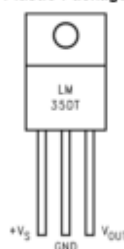
TO-92
Plastic Package



BOTTOM VIEW
D9305516-2

Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A

TO-220
Plastic Package*



D9305516-24

*Tab is connected to the negative pin (GND).

Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

Order Number LM35DT
See NS Package Number TA03F