

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud MAMMERRI de Tizi-Ouzou



Faculté de Génie Electrique et Informatique
Département d'Electronique

Mémoire de fin d'études

Présenté en vue de l'obtention du diplôme
d'Ingénieur d'Etat en Electronique
Option communication et instrumentation

Thème :

Capteur de rayonnement solaire à base d'un
microcontrôleur PIC18F452

Proposé et dirigé par :

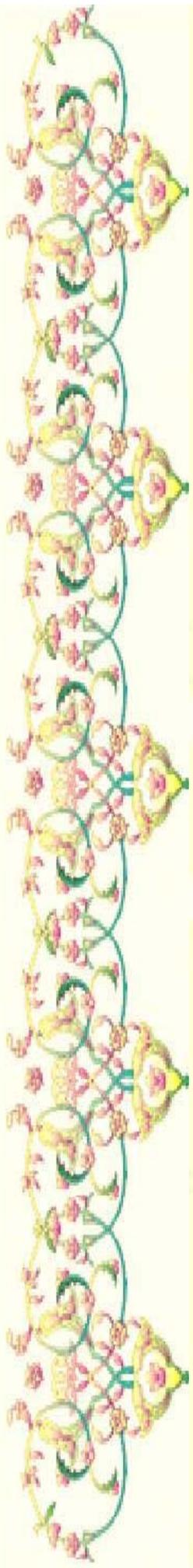
Mr. LAGHROUCHE Mourad

Réalisé par :

Mr. TEMZI Ridha

Melle TAHIR Sonia

Promotion: 2009/2010



REMERCIEMENTS

Nous remercions de prime abord le bon DIEU le maître suprême de temps et de circonstance, de nous avoir donné la santé, le courage et la volonté et de nous avoir permis de terminer nos études et élaborer ce modeste travail.

Nous tenons à remercier vivement notre promoteur Mr LAGHROUCHE Mourad de nous avoir encadré et pour ses conseils, ainsi que la confiance qu'il a mis en nous tout au long de la préparation de ce projet.

Nos remerciements s'adressent également à monsieur le président de jury et les membres du jury pour l'honneur d'avoir assister à notre soutenance et juger ce travail.

Nous tenons à remercier également nos amis (es) et nos familles pour leurs aides considérables.

Sans omettre bien sur de remercier profondément tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation du présent travail.



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents pour leurs sacrifices et leurs encouragements et qui ont contribué à ma réussite, que

DIEU les garde et les protège ;

Ma petite sœur pour sa patience avec moi ;

Mes deux frères ainsi que mes cousins et cousines ;

Mes grands-parents, mes oncles et tentes ;

Toutes mes copines et amies ;

Sans oublié mon binôme pour ses encouragements ainsi que toute sa famille;

Tous ceux qui m'aiment et que j'aime.

Sonia





Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents pour leurs encouragements, que

DIEU les garde et les protège ;

Mes quatre sœurs ;

Mon grand frère pour son aide considérable ;

Mes oncles et tentes ;

Tous mes copains et amis ;

Sans oublié ma binôme ;

Toute personne qui m'aime et que j'aime.

Ridha



Listes des figures

Figure I.1: les composantes du rayonnement solaire.....	6
Figure I. 2: Angles d'incidence.....	7
Figure I.3 : types de réflexion.....	9
Figure I.4 : photorésistance.....	11
Figure I.5 : Exemple de caractéristique d'une photorésistante en fonction de la lumière.....	12
Figure I.6 : Photodiode (BPW034).....	13
Figure I.7 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	14
Figure I.8 : Exemple sur un capteur thermique.....	16
Figure II.1 : Quelques types de microcontrôleur.....	19
Figure II.2 : Structure interne d'un microcontrôleleur.....	20
Figure II.3 : Divers microcontrôleurs PIC.....	21
Figure II.4 : Brochage du microcontrôleur PIC18F452.....	24
Figure II.5: Schéma bloc d'un convertisseur A/N pour un PIC18F452.....	32
Figure II.6: cycle de conversion.....	33
Figure II.7 : module du convertisseur.....	34
Figure II.8 : exemple de trame.....	37
Figure II.9 : Exemple de transmission dans le cas où $f_{RX} = f_{transmission} * 16$	38
Figure II.10 : circuit du reset.....	38
Figure III.1 : Exemple d'emplacement de nos huit photodiodes suivant l'ombre du soleil...	41
Figure III.2 : Image d'une photodiode.....	42
Figure III.3 : Circuit de conditionnement.....	44

Figure III.4 : Le circuit d'essai.....	45
Figure III.5 : Schéma de multiplexeurs numériques.....	46
Figure III.6 : Schéma de multiplexeurs analogiques.....	47
Figure III.7 : Le branchement du microcontrôleur PIC18F452.....	48
Figure III.8 : Photo d'un afficheur LCD.....	49
Figure III.9 : schéma d'un afficheur LCD.....	50
Figure III.10 : montage de l'afficheur LCD sur le PIC.....	52
Figure III.11 : Prise femelle extrémité de câble type DB9.....	53
Figure III.12 : Un connecteur DB9 mâle.....	53
Figure III.13: Les différents pins d'un connecteur DB-9.....	54
Figure III.14 : Le MAX232.....	56
Figure III.15 : montage du MAX232 sur le PC.....	57
Figure III.16 : Câblage du MAX232 avec le PIC.....	57
Figure IV.1: Schéma électrique de la carte principale.....	66
Figure IV.2 : Schéma électrique de la carte du capteur.....	67
Figure IV. 3: Circuit imprimé de la carte principale.....	68
Figure IV. 4: Schéma d'implantation de la carte principale.....	69
Figure IV.5: Schéma d'implantation à 3D pour la carte principale.....	69
Figure IV. 6: Circuit imprimé de la carte du capteur.....	70
Figure IV.7 : Schéma d'implantation pour la carte du capteur.....	70
Figure IV.8 : Photo de la carte.....	71
Figure IV.9 : Photo du capteur.....	72

Liste des tableaux

Tableau II-1 : Les fonctions des différents pins du PORTA.....	26
Tableau II-2 : Les fonctions des différents pins du PORTB.....	27
Tableau II-3 : Les fonctions des différents pins du PORTC.....	29
Tableau II-4 : Les fonctions des différents pins du PORTD.....	30
Tableau II-5 : Les fonctions des différents pins du PORTE.....	31
Tableau II-6 : la sélection de l'horloge du convertisseur A/N.....	33
Tableau III-1 : Configuration des branches d'un afficheur LCD 2*16.....	50
Tableau III-2 : Le fonctionnement des broches du port RS-232.....	53
Tableau IV-0 : Nomenclature des composants de la carte d'acquisition.....	66

SOMMAIRE

Introduction générale

Introduction générale.....	2
----------------------------	---

Chapitre I

Généralités sur le rayonnement solaire

1. Les utilisations de l'énergie solaire.....	4
2. Le Rayonnement Solaire.....	5
2.1. Les aspects lumineux et énergétiques du soleil.....	5
2.2. Composition du rayonnement solaire.....	6
2.3. Intensité du rayonnement solaire sur une paroi.....	7
a) La composante directe.....	7
b) L'angle d'incidence.....	7
c) La composante diffuse.....	8
d) La composante réfléchie.....	8
2.4. Le flux solaire intercepté par une paroi.....	8
a) flux solaire réfléchi.....	8
b) flux solaire absorbé.....	9
c) flux solaire transmis.....	9
3. Capteurs de rayonnement solaire.....	10
3.1. Capteur optiques.....	10
3.2. Définitions et principes.....	10
a) Définitions.....	10
b) L'effet photoélectrique.....	10
c) L'effet photovoltaïque.....	14
d) L'effet thermique.....	15

Chapitre II

Présentation du microcontrôleur. Le PIC 18F452

1.	Les microcontrôleurs.....	19
1.1.	Généralités.....	19
1.2.	Les avantages du microcontrôleur.....	19
1.3.	Le contenu d'un microcontrôleur.....	20
2.	Généralités sur le PIC.....	21
2.1.	Présentation d'un PIC.....	21
2.2.	Les différentes familles de PIC.....	22
3.	Le microcontrôleur PIC 18F452.....	22
3.1.	Le choix du microcontrôleur.....	22
3.2.	Identification du PIC 18F452.....	23
3.3.	Organisation de la mémoire du 18F452.....	24
3.4.	Les particularités des ports.....	26
3.5.	Le convertisseur analogique/numérique	31
3.6.	Communication série asynchrone	36
3.7.	MCLR	38

Chapitre III

Conception matérielle du système de mesure

I.	circuit de conditionnement du capteur.....	41
1.	Capteur et circuit de mise en forme.....	41
1.1.	Le capteur : la photodiode BPW34.....	41
1.2.	Le circuit de mise en forme.....	43

 L'étalonnage du capteur.....	44
2. Le multiplexeur.....	46
II. Carte de traitement et affichage.....	47
1. L'unité de traitement.....	47
2. Affichage des données.....	48
2.1. Présentation d'un afficheur LCD.....	48
2.2. Branchage de l'afficheur LCD.....	49
2.3. Fonctionnement.....	51
2.4. Connexion de l'afficheur sur la carte.....	51
III. Carte de transmission.....	52
1. La liaison à la norme RS-232.....	52
1.1. Présentation.....	52
1.2. Les pins du port RS-232.....	53
1.3. Fonctionnement.....	55
2. Le MAX 232.....	55
IV. Conception logiciel.....	58
1. Définition d'un organigramme.....	58
2. L'organigramme.....	58
3. Le programme.....	65

Chapitre IV

Réalisation pratique

1. Choix des composants.....	67
2. Réalisation de la carte.....	68
a) Le circuit électrique.....	68

b) Le circuit imprimé.....	70
c) Soudure et circuit final.....	73

Conclusion générale

Conclusion générale.....	77
--------------------------	----

ANNEXES

Annexe 1	79
Annexe 2	80
Annexe 3	81
Annexe 4	83
Annexe 5	85
Annexe 6	89
Annexe 7	93
Annexe 8	97

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie	102
---------------------	-----

Introduction Générale

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir. En effet, les besoins énergétiques des sociétés industrialisées ne cessent d'augmenter. Par ailleurs, les pays en voie de développement auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement.

De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir de sources fossiles. La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. De plus, la consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures.

Pour exploiter ces sources renouvelables, on utilise des systèmes divers. On y trouve des systèmes photovoltaïques, photoélectriques et des éoliennes.

La puissance électrique produite par un système solaire photoélectrique dépend de l'intensité du flux lumineux selon la position du soleil qui varie le long de la journée. A cet effet nous allons mettre en œuvre un système de mesure du rayonnement solaire pour observer la variation de l'énergie solaire en fonction de la position du soleil, pour cela nous avons consacré notre projet à l'étude et la réalisation d'un système solaire à base d'un microcontrôleur PIC 18F452. Le travail est organisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre consiste à faire une étude générale sur le rayonnement solaire et les différentes façons de le mesurer ;

Dans le deuxième chapitre, nous commençons par une présentation générale des microcontrôleurs ensuite nous allons essayer de décrire le microcontrôleur utilisé, le PIC18F452 qui est l'élément essentiel de notre système ;

Dans le troisième chapitre, nous entamerons la partie transmission et affichage des résultats où nous allons décrire les différents modules utilisés pour cette partie de notre travail ;

Le dernier chapitre est consacré à la partie pratique, nous débiterons par mettre en œuvre les différentes étapes de notre projet, puis nous entamerons la réalisation de notre circuit en commençant par le circuit électrique puis le circuit imprimé ;

Finalement, nous terminerons ce projet par une conclusion générale qui résume notre étude.

Chapitre I :

Généralités sur le rayonnement solaire

L'énergie solaire est l'énergie que dispense le soleil par son rayonnement sur la planète. Cette énergie est par de nombreux procédés transformée en chaleur ou en électricité.

L'énergie solaire fait partie de ce que l'on appelle énergies renouvelables (source d'énergie se renouvelant rapidement et considérée comme inépuisable).

De ce fait elle est très en vogue et de plus en plus utilisée par les particuliers comme par les professionnels pour se chauffer ou s'éclairer.

1. Les utilisations de l'énergie solaire :

L'énergie solaire est en progrès important afin de sauver l'environnement. Sans doute la plus facilement utilisable et pratique des sources d'énergies renouvelables (qui inclut également le vent et l'eau), l'énergie solaire est utilisée depuis toujours comme une source de chauffage. Dans les années 1830, la première innovation fut une cuisinière solaire utilisée sur un safari. Depuis lors, de nombreuses autres utilisations de l'énergie solaire ont été créées.

L'utilisation de l'énergie solaire la plus courante est la source d'énergie électrique. Depuis les années 1970, beaucoup de gens ont mis des capteurs solaires sur leur toit et produisent de l'électricité pour leur maison. Il faut alors avoir assez de capteurs solaires pour obtenir assez de puissance électrique. Il est aussi possible de stocker l'électricité en surplus dans des batteries, cette énergie pourra être utilisée pendant la nuit. Une autre façon d'utiliser l'énergie solaire est de chauffer votre eau chaude. Ces systèmes peuvent utiliser soit l'énergie solaire passive (dans le cas de réservoir d'eau chauffé au soleil) ou en utilisant des capteurs solaires avec un fluide caloporteur. Ces systèmes exigent l'installation de panneaux solaires équipés de tubes remplis de liquide. Ces tubes recueillent la chaleur du soleil et le transfert dans le fluide – ces tubes, remplis de fluide chauffé, transporte la chaleur et chauffe l'eau. Un autre moyen est d'avoir de l'eau qui traverse les tubes et ainsi de chauffer l'eau directement.

Dans les 10 à 15 dernières années, des nouveaux produits solaires sont apparus sur le marché : le panneau solaire portatif, des panneaux solaires compacts qui sont utilisés pour les ordinateurs portables les téléphones cellulaires. Au fil du temps, de nouveaux produits devraient continuer à entrer sur le marché.

Quelque soit l'utilisation de l'énergie solaire que vous choisirez de mettre en œuvre, même petite, ça sera toujours un plus pour l'environnement. Plus nous utiliserons de l'énergie

solaire, moins nous resterons dépendants des ressources non renouvelables, et plus nous aiderons la Terre.

2. Le Rayonnement Solaire :

2.1. Les aspects lumineux et énergétiques du soleil :

Le soleil, corps chaud à une température de plus de 6000K, émet une énergie sous forme d'un rayonnement électromagnétique. Les longueurs d'onde de ce type de rayonnement dépendent de la température. En raison de la température élevée du soleil, les longueurs d'onde dans lesquelles le maximum d'énergie est émis recouvrent le visible entre 0.4 à 0.75 microns et le proche Infrarouge. Le rayonnement recouvre un spectre qui intéresse donc à la fois les problèmes lumineux (éclairage lumineux) et les problèmes énergétiques (rayonnement solaire).

L'ensemble des rayonnements électromagnétiques est très vaste puisqu'il va des rayons cosmiques qui nous parviennent de l'espace intersidéral jusqu'aux ondes hertziennes (grandes ondes, ondes moyennes, courtes et ultra-courtes utilisées en radio et télévision) en passant par l'énergie solaire et la lumière visible. [1]

Rayons cosmiques, Rayons Gamma, Rayons X	10E-10 à 10E-9 mètres
UV C, B, A	0,2 à 0,3 10E-6 m
VISIBLE (bleu, jaune, rouge)	0,38 à 0,76 10E-6 m
Infra Rouge : Court Moyen Long	2 10E-6 m 4 10E-6 m 10 10E-6 m
Ondes Hertziennes : UHF HF LF	de l'ordre de 1m de l'ordre de 10 à 100 m de l'ordre de 1000 à 10000m

2.2. Composition du rayonnement solaire :

Le rayonnement émis par le soleil constitue un spectre continu allant de l'ultra-violet à l'infrarouge en passant par le visible où il émet le maximum d'énergie. En traversant l'atmosphère, les gaz et les molécules absorbent certaines bandes de l'ultra-violet et de l'infrarouge. Ainsi à la surface de la terre, le rayonnement solaire comprend : 5% d'UV, 40% de lumière visible et 55% d'IR, porteurs essentiels de l'énergie thermique .

La constante solaire de 1350 Watts/m² est l'énergie atteignant une surface normale aux rayons solaires dans les couches supérieures de l'atmosphère. L'effet de la traversée de l'atmosphère qui réfléchit, absorbe ou diffuse des parties de ce rayonnement solaire réduit considérablement cette valeur [1].

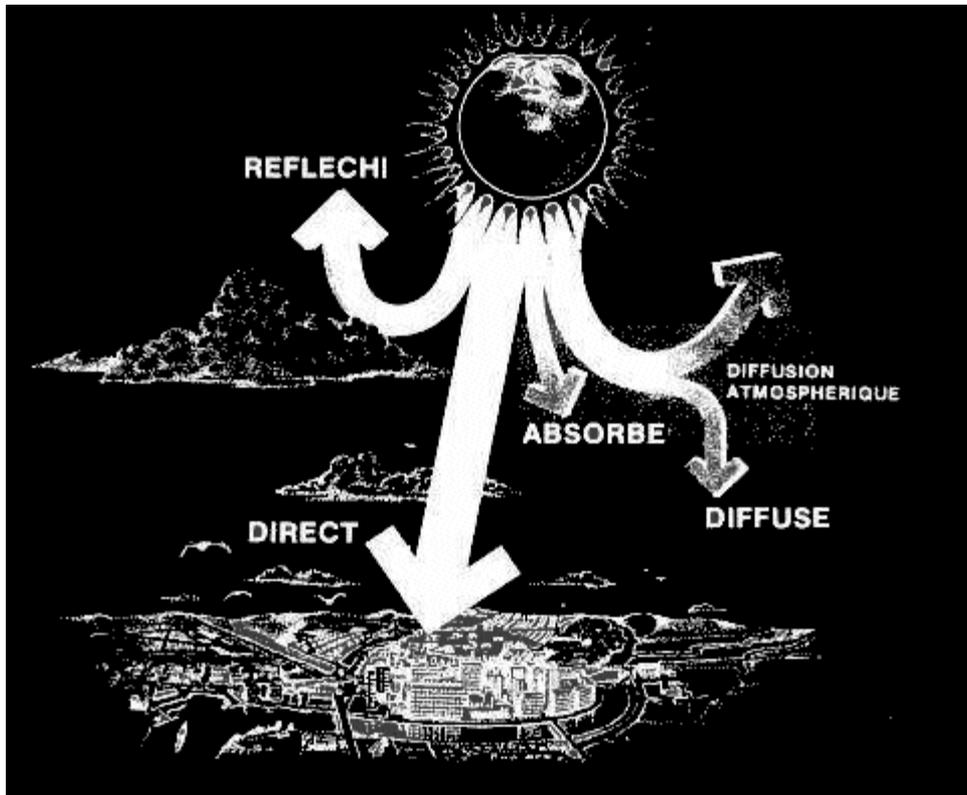


Figure I.1: les composantes du rayonnement solaire

La réduction est d'autant plus forte que la couche d'atmosphère est importante ; elle est donc une fonction directe de la hauteur du soleil. En été, la densité de flux atteignant une surface peut valoir dans les meilleures conditions de 900 à 1000W/m².

2.3. Intensité du rayonnement solaire sur une paroi :

Le transfert de chaleur par rayonnement s'effectue sans aucun support matériel. Mais, une fois émis par le soleil, le rayonnement atteint la surface des corps et subit suivant leurs caractéristiques certaines transformations.

La densité de flux (W/m^2) qui atteint une paroi, provient de trois composantes : la composante directe, la composante diffuse et la composante réfléchie.

a) La composante directe : correspond au flux solaire qui atteint directement la paroi quand celle-ci est exposée au soleil. Elle dépend de la hauteur du soleil (réduction atmosphérique) et de l'angle d'exposition de la paroi au soleil à l'instant considéré.

b) L'angle d'incidence : caractérise l'incidence avec lequel le rayon solaire frappe la paroi: c'est l'angle entre la normale à la paroi et le rayon solaire à l'instant considéré. L'inclinaison, l'orientation de la paroi et la direction du rayon solaire permettent d'évaluer cet angle d'incidence. Plus le flux est normal à la paroi, plus il est important, plus il est rasant, plus il est faible.

C'est la surface normale au rayonnement solaire qui importe. Elle est obtenue en multipliant la surface irradiée par le Cosinus de l'angle d'incidence. [1]

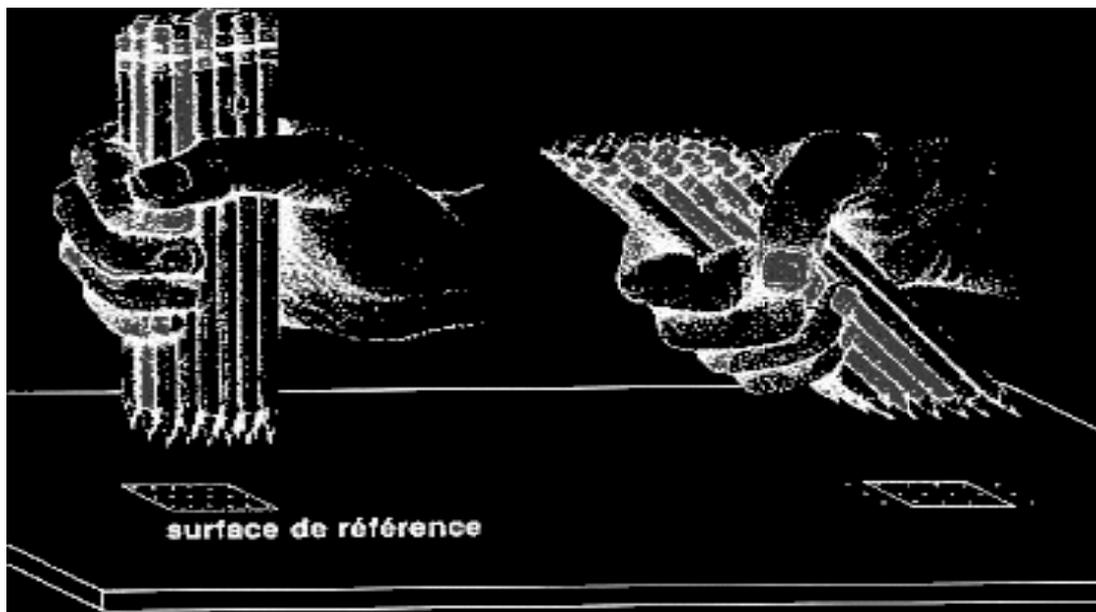


Figure I.2: Angles d'incidence

- c) **La composante diffuse** : représente le flux, en provenance du ciel. Elle est souvent évaluée en considérant que ce flux est isotrope; toutes les parties du ciel émettant le même rayonnement. Dans ce cas, seule l'inclinaison de la paroi pondère le flux diffus incident. Cette hypothèse d'isotropie du flux diffus est correcte pour un ciel couvert où le diffus prendrait le pas sur le direct. Elle l'est moins pour un ciel clair, où le flux diffus est nettement plus important dans la zone du ciel environnant le soleil. Des logiciels comme Solène évaluent le diffus en utilisant des modèles de ciel dont la distribution des luminances (énergie émise par le ciel) n'est plus uniforme; mais, le calcul est singulièrement plus complexe.
- d) **La composante réfléchie** : représente la partie du flux interceptée par la paroi suite aux réflexions solaires produite par l'environnement proche. En première approximation, cet environnement proche est représenté par un plan horizontal renvoyant une part du flux global incident (direct et diffus); la part réfléchie dépend de l'albédo, coefficient de réflexion solaire du plan récepteur considéré. Le flux intercepté par la paroi dépend alors seulement de son inclinaison.

2.4. Le flux solaire intercepté par une paroi :

Le flux solaire intercepté par une paroi est, à son tour, réfléchi, absorbé et transmis, suivant les caractéristiques de surface de la paroi.

- a) **flux solaire réfléchi** : dépend du facteur de réflexion solaire de la surface ou du matériau de la paroi, son albédo. Il est essentiellement lié à la couleur ; le noir ne réfléchit rien, le blanc réfléchit tout. Le flux solaire réfléchi est perdu pour la paroi considérée.

La texture du matériau ou de la surface de la paroi conditionne le type de réflexion. Si la surface est mate, la réflexion est diffuse, identique dans toutes les directions. Si la surface est polie, la réflexion est spéculaire, dans une direction symétrique à la direction incidente.

Deux types de réflexion **[1]**.

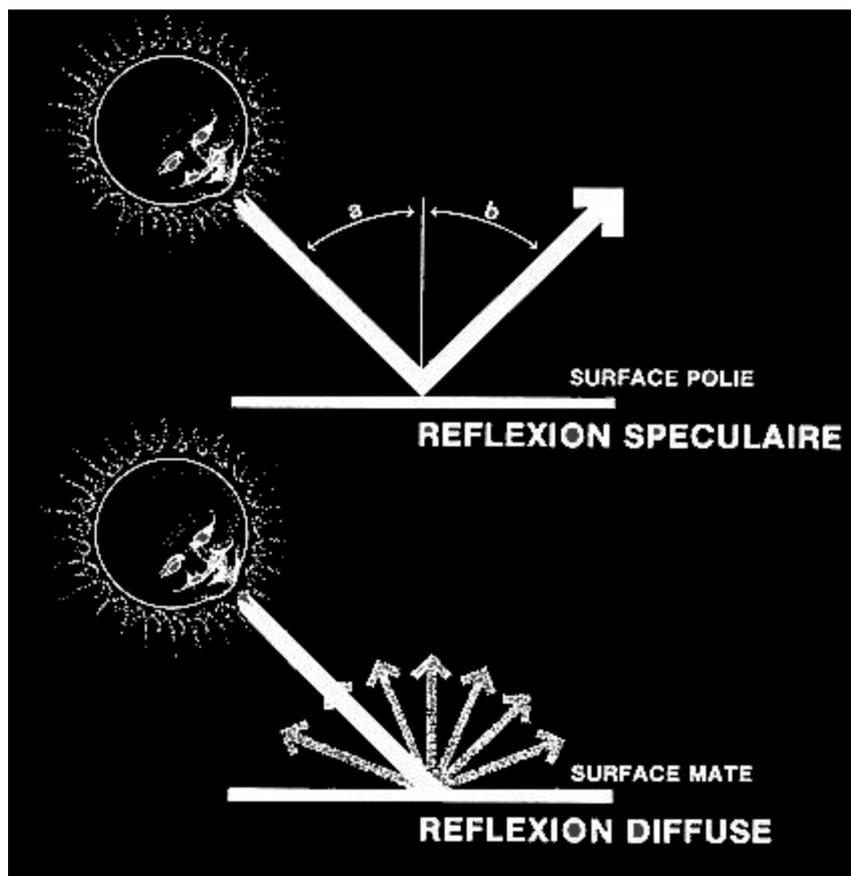


Figure I.3 : types de réflexion

b) flux solaire absorbé : dépend du facteur d'absorption solaire de la surface. Dans le cas d'une paroi opaque, le coefficient d'absorption vaut $1 - \text{albédo}$; le noir absorbe tout, le blanc n'absorbe rien.

Le rayonnement solaire absorbé par la paroi se transforme en chaleur et élève la température de surface de la paroi. La paroi échange alors avec son environnement suivant les trois modes fondamentaux d'échanges, par conduction à l'intérieur de la paroi, par convection avec l'air environnant et par rayonnement vers les parois voisines.

c) flux solaire transmis : ne se produit qu'avec des parois transparentes. Dans le cas des vitrages, la part du flux transmis suit alors sa course sans changement de direction vers les parois intérieures des bâtiments. A la différence des parois opaques, pour le flux direct, les coefficients de transmission, d'absorption et de réflexion des vitrages (dont la somme est 1) varient avec l'angle d'incidence du rayon solaire sur la vitre. Le facteur de transmission au direct décroît rapidement dès lors que l'angle d'incidence devient important.

3. Capteurs de rayonnement solaire :

3.1. Capteur optiques :

Un capteur optique est un dispositif capable de détecter l'intensité ou la longueur d'onde des photons. On les utilise pour détecter un grand nombre de phénomènes :

- l'intensité lumineuse bien-sûr
- la chaleur (capteur pyrométrique) :
- la couleur (et donc certains gaz ou produits chimiques)

Mais aussi pour :

- acquérir des informations numériques transmises par des conducteurs (fibres) optiques
- des images

3.2. Définitions et principes :

a) Définitions

Le photon : un photon est un grain d'énergie de valeur

$E = h \cdot \nu$ où $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J/s (*constante de Planck*) et ν la fréquence de radiation de ce photon.

Longueur d'onde : une longueur d'onde (en mètre) caractérise un phénomène vibratoire.

La relation entre fréquence et longueur d'onde est $\lambda = 3 \cdot 10^8 / \nu$ où $3 \cdot 10^8$ est la vitesse de la lumière en m/s et ν la fréquence de vibration. Chaque couleur est caractérisée par une longueur d'onde particulière.

b) L'effet photoélectrique

Albert EINSTEIN a montré en 1905 que l'impact d'un photon de fréquence ν sur un métal suffisait à en extraire un électron si l'énergie du photon $h \cdot \nu$ dépassait l'énergie d'extraction W nécessaire pour dégager l'électron du métal. C'est le phénomène photoélectrique mis en œuvre dans la plupart des capteurs. Réciproquement, si un électron libre e percute un électron e' . Si l'énergie apportée est suffisante, ce dernier se déplace sur une orbite d'atome de plus grand diamètre. En retrouvant sa position d'origine, il restitue l'énergie reçue sous forme de photons. C'est le principe mis en œuvre dans les émetteurs photoélectriques (diodes électroluminescentes).

b1 - les capteurs passifs

Un composant passif est un composant ne disposant d'aucune source interne. L'énergie de sortie est délivrée par l'environnement.

Les composants passifs de base sont les résistances, les condensateurs, les inductances.

➤ Les photorésistances

Une photorésistance est un composant électronique dont la résistivité varie avec la lumière qui l'éclaire. On la nomme aussi résistance photo-dépendante « *light dependent resistor* » (**LDR**) ou photoconducteur.

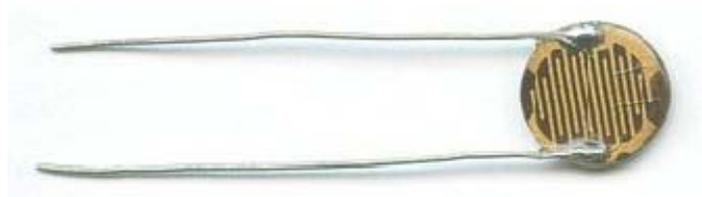


Figure I.4 : photorésistance

➤ Son principe :

Si un cristal semi-conducteur est soumis à une radiation lumineuse, l'énergie apportée par les photons peut libérer certains électrons utilisés dans les liaisons covalentes entre atomes du cristal

- ✓ Plus le flux lumineux est intense, plus le nombre d'électrons disponibles pour assurer la conduction est grand et plus la résistance est faible

La résistance de la LDR est donc inversement proportionnelle à la lumière reçue

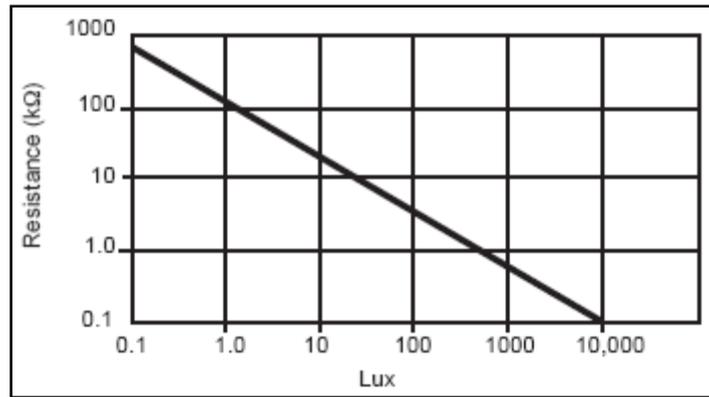
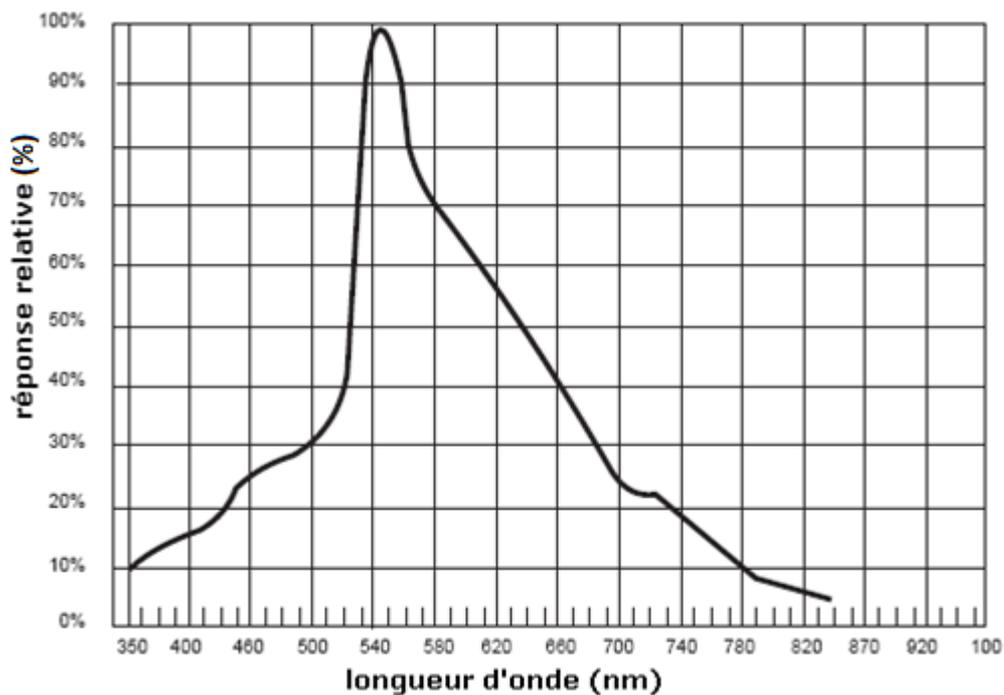


Figure I.5 : Exemple de caractéristique d'une photorésistante
En fonction de la lumière [2]



Exemple [3] :

Obscurité → $R_0 = 20 \text{ M}_\Omega$ (0 lux)

Lumière naturelle → $R_1 = 100 \text{ k}_\Omega$ (500 lux)

Lumière intense → $R_2 = 100 \text{ }_\Omega$ (10000 lux).

▪ **Avantages**

- bonne sensibilité
- faible coût et robustesse.

▪ **Inconvénients :**

- temps de réponse élevé
- bande passante étroite
- sensible à la chaleur.

b2 - les capteurs actifs

Un capteur actif, lorsqu'il est bien polarisé se comporte comme un générateur de courant ou de tension dont l'amplitude de la grandeur de sortie dépend de la grandeur à mesurer.

➤ **Les photodiodes :**

Les photodiodes sont des diodes au silicium qui exploitent l'effet photoélectrique. Sous éclairage, les photons libèrent des paires électrons trous. Sa polarisation en inverse produit un courant (I_R) qui augmente proportionnellement à l'intensité lumineuse.

Comme pour les photorésistances, la sensibilité spectrale dépend du type de diode : Une diode infrarouge ne détectera que très mal une lumière rouge par exemple. La directivité est également une caractéristique importante. Elle exprime la capacité d'une photodiode (mais aussi d'un phototransistor, d'une photo triac, etc...) à détecter un faisceau lumineux présentant un angle par rapport à la normale de la surface. En l'absence complète de lumière, la photodiode génère un courant appelé *courant d'obscurité*. Ces capteurs disposent d'une très bonne respectabilité. Les photodiodes sont beaucoup utilisées en raison de leur grande stabilité, de leur faible encombrement, de leur coût réduit.



Figure I.6 : Photodiode (BPW034)

- **Avantages [3] :**

- bonne sensibilité
- faible temps de réponse (bande passante élevée).

- **Inconvénients :**

- coût plus élevé qu'une photorésistance
- nécessite un circuit de polarisation précis.

- **Utilisations :**

- Transmission de données

c) L'effet photovoltaïque :

Les cellules photovoltaïques sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité par un processus appelé « effet photovoltaïque », a été découverte par E. Becquerel en 1839 [2]. Elles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs, c'est à dire ayant des propriétés intermédiaires entre les conducteurs et les isolants. La structure la plus simple d'une cellule photovoltaïque comporte une jonction entre deux zones dopées différemment du même matériau (homojonction) ou entre deux matériaux différents (hétérojonction). Le but de la structure photovoltaïque, c'est de créer un champ électrique interne.

Principe d'une cellule photovoltaïque :

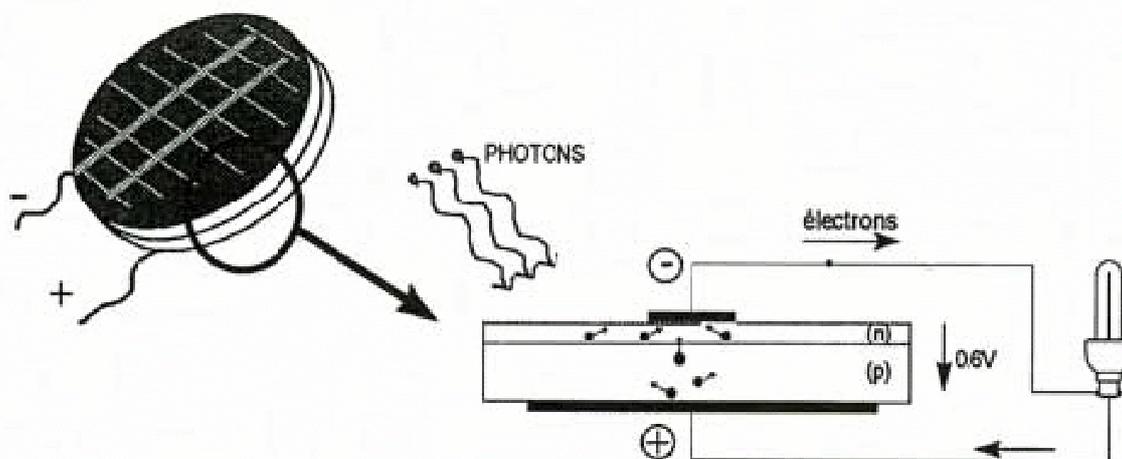


Figure I.7 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque [4]

d) L'effet thermique :

Le thermique récupère la chaleur des radiations solaire, pour la transmettre à un fluide caloporteur qui pourra être utilisé pour le chauffage du bâtiment, de l'eau sanitaire, etc....

➤ Principe et fonctionnement :

Le solaire thermique consiste à capter la chaleur du soleil afin de la stocker et de la réutiliser pour chauffer sa maison ou l'eau sanitaire tout cela à moindre coût. Il existe deux types de panneaux solaires thermiques différents: il y a les capteurs solaires à eau qui utilisent un liquide comme fluide caloporteur (eau ou un antigel) et les capteurs solaires à air qui utilisent l'air comme caloporteur. Ces deux catégories sont elles, partagées en deux familles qui se différencient de part l'utilisation de différents systèmes à l'intérieur du panneau solaire. Soit le panneau solaire est composé de capteurs plans c'est à dire que le fluide passe dans un serpentin sous une vitre mais ce système ne fonctionne que pendant la période de l'été et revient plus cher. Soit il est composé de collecteurs à tubes sous vide et dans ce cas le fluide caloporteur circule à l'intérieur d'un double tube sous vide qui fonctionne aussi bien été que hiver du fait de son isolation par le vide.

Bien entendu les panneaux solaires doivent être orientés plein sud avec un angle de 45° environ afin d'avoir le meilleur rendement possible de l'installation.

A1 - Les capteurs solaires à eau :

Les capteurs solaires thermiques à eau sont utilisés afin de produire de l'eau chaude sanitaire dans un chauffe-eau solaire. Ces capteurs transportent un liquide (eau ou antigel) comme fluide caloporteur qui circule dans un réseau fermé de tubes munis d'ailettes situées sur la surface du panneau. Ces ailettes forment un absorbeur, une fois exposées aux rayons solaires elles chauffent et vont transmettre leur chaleur à l'eau qui circule dans les tubes. Ce système est rentable par le fait qu'il est placé dans une boîte vitrée isolante afin de créer un effet de serre. Ayant pour but de produire de l'eau chaude, un réseau contenant le fluide caloporteur relie le(s) panneau(x) solaire(s) à un ballon d'eau. Ce fluide caloporteur traverse ce ballon et agit comme une résistance ce qui permet de chauffer l'eau de celui-ci. Le chauffe-eau solaire est constitué d'un ballon d'une centaine de litres, d'un circulateur qui permet de mettre en mouvement le fluide par une pompe, ainsi qu'un système de régulation contrôlant en permanence la température de l'eau.

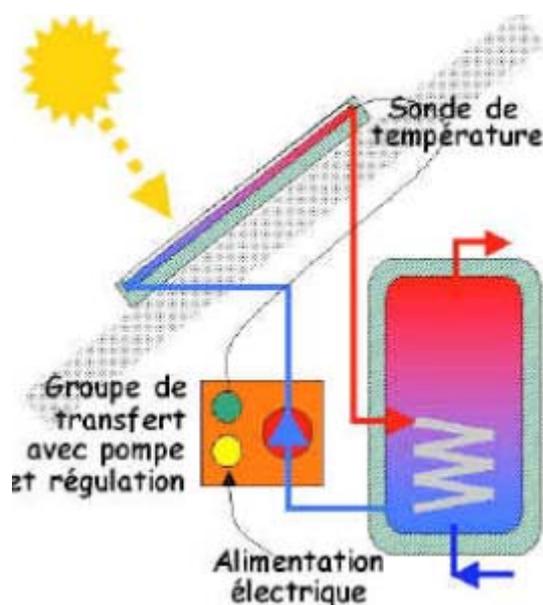


Figure I.8 : Exemple sur un capteur thermique

Ce type d'installation nécessite la plupart du temps un chauffage d'appoint permettant les jours où les conditions météo ne sont pas favorables, de prendre le relais pour chauffer l'eau. Cependant les capteurs thermiques à eau peuvent aussi produire de l'eau chaude et du chauffage il s'agit de système solaire combiné. Ce type d'installation est moins fréquent mais différent au niveau de sa composition. Ce système comporte des capteurs solaires qui transforment l'énergie du soleil en chaleur. Celle-ci va être stockée par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur dans un réservoir appelé réservoir d'eau tampon ou ballon tampon. Puis cette eau peut être utilisée en tant que eau chaude ou à l'aide d'émetteurs, servir pour le chauffage voir même chauffage par le sol plancher solaire direct

A2 - Les capteurs solaires à air :

Les capteurs solaires thermiques à air sont assez rares et sont utilisés afin de chauffer. Leur principe est basé sur celui des capteurs à eau. En effet à la place d'avoir de l'eau dans les tuyaux, c'est de l'air qui circule. Cet air va à son passage dans le panneau solaire s'échauffer au contact des absorbeurs. Une fois chaud, l'air va être ventilé dans l'habitat pour le chauffage ou encore pour le séchage des productions dans les hangars agricoles. Ce système de capteur peut être décliné sous trois formes différentes:

A2.1 - Le chauffage solaire à air : nécessitant une adaptation architecturale de la maison. Celui-ci se compose d'une grande surface vitrée placée devant un mur sombre qui absorbera la

chaleur et la redistribuera par la suite, ou d'un panneau à l'intérieur duquel l'air circulera et traversera un réservoir rempli de galets.

A2.2 - La climatisation solaire : La chaleur captée par le panneau solaire est envoyée vers une machine à absorption. Ce système est plus écologique qu'une climatisation classique, de plus il s'agit d'une solution efficace et silencieuse à la fois.

A2.3 - Le plancher solaire : Celui ci peut s'appliquer aussi aux capteurs solaires thermiques à eau. Il consiste à chauffer une dalle par l'intermédiaire de tuyaux contenus dans le sol. L'épaisseur de la dalle permet le stockage de la chaleur transmise par les panneaux solaires ainsi qu'une économie de chauffage.

Chapitre II

Présentation du microcontrôleur

Le pic 18F452

Ce chapitre est consacré à la présentation du microcontrôleur tout en illustrant ces différentes caractéristiques afin de mieux l'exploiter.

1. Les microcontrôleurs :

1.1. Généralités :

Un microcontrôleur est un circuit intégré, il se présente comme étant une unité de traitement de l'information de type microprocesseur contenant tous les composants d'un système informatique, à savoir microprocesseur, plusieurs types de mémoires et des périphériques de communications (ports entrées/sorties, timers, convertisseurs, oscillateurs,...). 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 certaines tâches. Mais un programmeur connaissant une famille n'a pas besoin d'apprendre à utiliser chaque membre, il lui 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.



Figure II.1 : Quelques types de microcontrôleur

1.2. Les avantages du microcontrôleur :

L'utilisation des microcontrôleurs pour les circuits programmables a plusieurs points forts et bien 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'adresses 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.

1.3. Le contenu d'un microcontrôleur :

Un microcontrôleur doit contenir dans un seul boîtier tous les éléments de base, nous y retrouvons bien évidemment l'unité centrale qui est plus simplifiée par rapport à celle du microprocesseur. En contre partie, des instructions de manipulation de bits, très utiles pour faire des entrées/sorties lui ont été ajoutées. Dans certains circuits, cette unité centrale se voit dotée d'un très grand nombre de registres internes qui servent alors de mémoire vive.

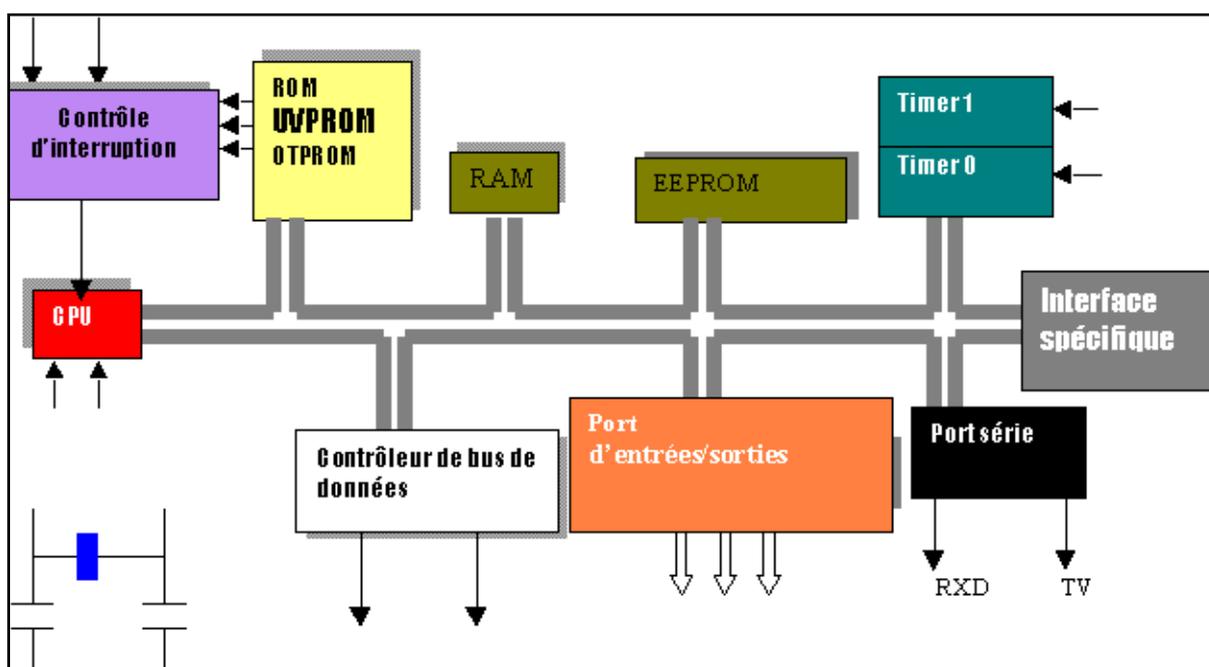


Figure II.2 : Structure interne d'un microcontrôleur

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 (UVPROM) une fenêtre en quartz, ce qui la rendu 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 apparaître des microcontrôleurs dits OTPROM « *One Time PROM* », c'est à dire programmable une fois, dans ces circuits la mémoire UVPROM 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.

1.4. Généralité sur le PIC :

1.5. Présentation 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 [5].



Figure II.3 : Divers microcontrôleurs PIC

Les Pics (Programmable Interface Controller) sont des composants dits RISC (Reduced Instructions Set Computer), ou encore composants à jeu d'instruction réduit, sachant que plus on réduit le nombre d'instruction plus facile et plus rapide en ait le décodage et vite le composant fonctionne.

Sur le marché on trouve deux familles opposées, les RISC et les CISC (Complexe Instruction SET Computer). Chez les CISC, on dispose de moins 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.

L'horloge fournie au PIC est pré divisée par quatre au niveau de celle-ci. C'est cette base de temps qui donne la durée d'un cycle. Si on utilise par exemple un quartz de 4MHz, on obtient donc 1000000 de cycles/seconde, or, comme le PIC exécute pratiquement une instruction par cycle, hormis les sauts, cela nous donne une puissance de l'ordre de 1MIPS (1 Million d'Instructions Par Seconde).

Sachons que les Pics peuvent monter à 20MHz, c'est donc une vitesse de traitement plus qu'honorable.

1.6. Les différentes familles de PIC :

La famille des Pics était subdivisée en trois (03) grandes familles [5]:

- La famille « Base-Line », qui utilise des mots d'instructions de 12 bits, comme 12Fxx, 12Cxx....
- La famille « Mid-Range », qui utilise des mots de 14 bits, comme 16Fxx, 16Cxx...
- La famille « High-End », qui utilise des mots de 16 bits, comme 18Fxx, 18Cxx...

Par la suite, d'autres familles sont apparues, comme la « Enhanced family », et les choses ne devraient faire qu'évoluer.

2. Le microcontrôleur PIC 18F452 :

Dans notre travail, nous allons nous basé sur un seul type de microcontrôleur qui est le PIC 18F452.

2.1. Le choix du microcontrôleur :

Le choix d'un microcontrôleur est primordial car c'est dont dépendent en grande partie les performances, la taille, la facilité d'utilisation et le prix du montage.

Notre système est basé sur un microcontrôleur de type PIC18F452.

On a choisi le PIC18F452 pour plusieurs raisons :

- Le PIC18F452 est basé sur une architecture RISC qui permet notamment d'avoir un gain de vitesse d'exécution car un seul cycle machine suffit à lire le code complet d'une instruction.
- Ce microcontrôleur possède une mémoire de type Flash ce qui correspond à une mémoire EEPROM c'est-à-dire effaçable électriquement.
- Il dispose de convertisseur A/N pour satisfaire le coté acquisition, ainsi que la possibilité d'adaptation d'une liaison RS232.
- De plus, via le module C de CCS on peut programmer le microcontrôleur PIC en C, d'où le gain en souplesse du programme.
- Le PIC18F452 est une version 40 broches du microcontrôleur ainsi, il possède cinq (05) ports de communication (d'entrées /sorties) ce qui nous convient et qui permet d'augmenter l'adaptabilité du système.

2.2. Identification du PIC 18F452 :

Nous allons maintenant s'intéresser à la structure interne du PIC 18F452, avec lequel nous avons travaillé.

Le 18F452 est un microcontrôleur de MICROCHIP qui fait partie de la famille des High-End (18) dont la mémoire de programme est de type flash (F).

a) Caractéristiques générales

- PIC 18F452
- Mémoire Flash 32k octets
- Mémoire RAM 1536 octets
- Mémoire EEPROM 256 octets
- 33 pins entrée/sortie (soit 5 ports e/s)
- 8 convertisseurs analogique/numérique
- 4 timers
- 18 sources d'interruptions

- port parallèle : module PSP
- 2 ports série : USART/MSSP

b) Brochage du 18F452

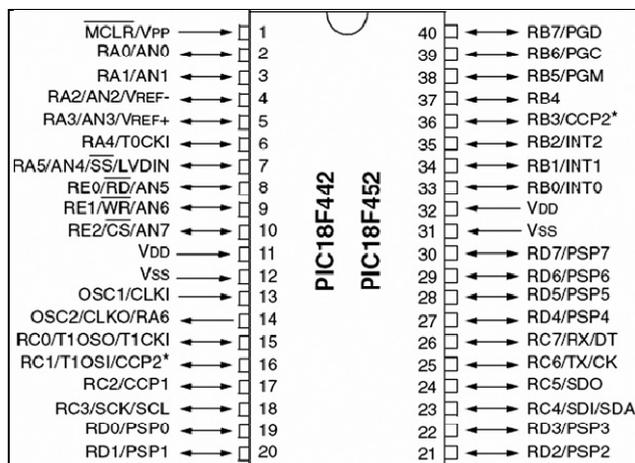


Figure II.4 : Brochage du microcontrôleur PIC18F452

c) Les particularités électriques

On constate que sur le schéma concernant le 18F452, on a deux connexions « V_{SS} » qui sont reliées à la masse. En fait, en interne, ces pins sont interconnectés. La présence de ces deux pins s’explique par une raison de dissipation thermique. Les courants véhiculés dans le PIC sont loin d’être négligeables du fait des nombreuses entrées/sorties disponibles.

Le constructeur a donc décidé de répartir les courants en plaçant deux pins pour l’alimentation V_{SS} , bien évidemment, pour les mêmes raisons (dissipation thermique), ces pins sont situés de part et d’autre du PIC, et en positions relativement centrales.

2.3. Organisation de la mémoire du 18F452 :

La mémoire du 18F452 est divisée en trois (03) parties :

1) La mémoire programme :

La mémoire programme est la mémoire FLASH, elle est constituée de 32k mots de 16 bits. 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.

Tous les pics de famille 18F ont 21 bits destinés pour adresser 2Moctets d’espace mémoire.

2) La mémoire EEPROM :

La mémoire EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory), est constituée de 256 octets que nous pouvons lire et écrire depuis notre programme. Ces octets sont conservés après une coupure de courant et sont très utiles pour conserver des paramètres semi-permanents.

Ses registres sont:

- **EECON1** : Ce registre, contient 5 bits qui définissent ou indiquent le fonctionnement des cycles de lecture/écriture en EEPROM.
- **EECON2** : Nous voici en présence d'un registre « fantôme », puisque ce registre n'existe pas. Il s'agit tout simplement d'une adresse mémoire, qui sert à envoyer des commandes au PIC concernant les procédures EEPROM.
- **EEDATA** : C'est dans ce registre que va transiter la donnée à écrire vers ou la donnée lue en provenance de l'EEPROM.
- **EEADR** : Dans ce registre nous allons préciser sur 8 bits l'adresse concernée par l'opération de lecture ou d'écriture en EEPROM.

3) La mémoire RAM :

La zone de données est divisée en 16 banques, de 256 octets chacune, ou uniquement 6 banques sont utilisées.

La mémoire RAM (Random Access Memory) utilisateur, est celle que nous allons sans cesse utiliser. Toutes les données qui y sont stockées sont perdues lors d'une coupure de courant.

La mémoire RAM disponible du 18F452 est de 1536 octets (6 banques*256 octets chacune). Elle est répartie de la manière suivante :

- 1) 256 octets en banque 0, adresses 0x000 à 0x0FF
- 2) 256 octets en banque 1, adresses 0x100 à 0x1FF
- 3) 256 octets en banque 2, adresses 0x200 à 0x2FF
- 4) 256 octets en banque 3, adresses 0x300 à 0x3FF
- 5) 256 octets en banque 4, adresses 0x400 à 0x4FF
- 6) 256 octets en banque 5, adresses 0x500 à 0x5FF

2.4. Les particularités des ports :

Le pic 18F452 dispose de 5 ports entrée/sortie et voici par la suite les particularités de chaque port :

1) Le port A :

Dans notre pic, ce port dispose de 5 canaux d'entrées analogiques. Nous pouvons donc échantillonner successivement jusque 5 signaux différents avec ce composant. Les pins utilisés sont les pins AN0 à AN4 qui sont en fait les dénominations analogiques des pins RA0 à RA3 plus RA5 successivement.

On peut noter également que les pins ANX sont des pins d'entées. Il n'est donc pas question d'espérer leur faire sortir une tension analogique. Ceci nécessite un convertisseur numérique/analogique dont n'est pas pourvu notre PIC.

Il est associé à trois (03) registres :

- PORTA : Registre de données
- TRISA : Registre de direction
- LATA : Registre de verrou

Le tableau suivant met en valeur la fonction de chaque pin du PORTA.

Tableau II-1 : Les fonctions des différents pins du PORTA [6]

<u>Pin</u>	<u>Description</u>
RA0/AN0: <ul style="list-style-type: none">• RA0• AN0	<ul style="list-style-type: none">• Entrée/sortie digitale• Entrée analogique 0
RA1/AN1: <ul style="list-style-type: none">• RA1• AN1	<ul style="list-style-type: none">• Entrée/sortie numérique• Entrée analogique 1
RA2/AN2/VREF-: <ul style="list-style-type: none">• RA2• AN2• VREF-	<ul style="list-style-type: none">• Entrée/sortie numérique• Entrée analogique 2• A/N tension de référence (bas)

RA3/AN3/VREF+: <ul style="list-style-type: none"> • RA3 • AN3 • VREF+ 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrée/sortie numérique • Entrée analogique 3 • A/N tension de référence (haut)
RA4/T0CKI: <ul style="list-style-type: none"> • RA4 • T0CKI 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrée/sortie numérique • Entrée horloge externe pour timer 0
RA5/AN4/SS/LVDIN: <ul style="list-style-type: none"> • RA5 • AN4 • SS 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrée/sortie numérique • Entrée analogique 4 • SPI “Slave Select input”
RA6	Entrée/sortie numérique

2) Le port B :

Ce port contient huit (08) pins bidirectionnels.

En plus de sa fonction principale autant que ports d’entrées/sorties, ce port a les pins suivants : RB0, RB1, RB2 qui peuvent être configuré comme entrée de type « trigger de Schmitt » quand elle est utilisée en mode interruption « INT » ; la lecture simple de RB0, RB1 et RB2 se fait d’une manière classique en entrée de type TTL. De plus, il y a les pins RB5, RB6, RB7 qui peuvent servir dans la programmation en cas d’absence de programmeur commercial.

Il est contrôlé par trois (03) registres :

- PORTB : Registre de données
- TRISB : Registre de direction
- LATB : Registre de verrou

Voici le tableau II.2 qui met en valeur la fonction de chaque pin du PORTB.

Tableau II-2 : Les fonctions des différents pins du PORTB [6]

<u>Pin</u>	<u>Description</u>
RB0/INT0: <ul style="list-style-type: none"> • RB0 • INT0 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrée/sortie numérique • Interruption Externe 0

RB1/INT1: <ul style="list-style-type: none">• RB1• INT1	<ul style="list-style-type: none">• Entrée/sortie numérique• Interruption Externe 1
RB2/INT2: <ul style="list-style-type: none">• RB2• INT2	<ul style="list-style-type: none">• Entrée/sortie numérique• Interruption Externe 2
RB3/CCP2: <ul style="list-style-type: none">• RB3• CCP2	<ul style="list-style-type: none">• Entrée/sortie numérique• Entrée Capture 2, compare 2 et sortie PWM2
RB4	Entrée/sortie numérique, interruption sur changement de pin
RB5/PGM <ul style="list-style-type: none">• RB5• PGM	<ul style="list-style-type: none">• Entrée/sortie numérique, interruption sur changement de pin• basse tension, ICSP pin programmable
RB6/PGC <ul style="list-style-type: none">• RB6• PGC	<ul style="list-style-type: none">• Entrée/sortie numérique, interruption sur changement de pin• In-circuit debugger et ICSP pin programmable
RB7/PGD <ul style="list-style-type: none">• RB7• PGD	<ul style="list-style-type: none">• Entrée/sortie numérique, interruption sur changement de pin• In-circuit debugger and ICSP programming pin

3) Le port C :

Ce port a huit (08) pins bidirectionnels classiques qui n'ont pas d'autre fonction, excepte les deux pins RC6 et RC7 qui peuvent être utilisés dans la communication série avec le PC, nommés respectivement TX pour la transmission et RX pour la réception (qu'on utilisera plus tard dans notre travail).

Il a aussi ses propres registres :

- PORTC : Registre de données
- TRISC : Registre de direction
- LATC : Registre de verrou

Voici un tableau qui met en valeur la fonction de chaque pin du PORTC.

Tableau II-3 : Les fonctions des différents pins du PORTC [6]

<u>Pin</u>	<u>Description</u>
RC0/T1OSO/T1CKI <ul style="list-style-type: none"> • RC0 • T1OSO • T1CKI 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrée/sortie numérique • Sortie oscillateur timer 1 • Timer 1/Timer 3, entrée horloge externe
RC1/T1OSI/CCP2 <ul style="list-style-type: none"> • RC1 • T1OSI • CCP2 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrée/sortie numérique • Entrée oscillateur timer 1 • Entrée Capture 2, Compare 2 et sortie PWM2
RC2/CCP1 <ul style="list-style-type: none"> • RC2 • CCP1 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrée/sortie numérique • Entrée Capture 1, Compare 1 et sortie PWM2
RC3/SCK/SCL <ul style="list-style-type: none"> • RC3 • SCK • SCL 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrée/sortie numérique • Série synchrone de l'horloge I/O pour SPI • Série synchrone de l'horloge I/O pour I2C
RC4/SDI/SDA <ul style="list-style-type: none"> • RC4 • SDI • SDA 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrée/sortie numérique • Entrée de données du port parallèle SPI • Entrée/sortie de données I2C
RC5/SDO <ul style="list-style-type: none"> • RC5 • SDO 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrée/sortie numérique • Sortie de données du port parallèle SPI
RC6/TX/CK <ul style="list-style-type: none"> • RC6 • TX • CK 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrée/sortie numérique • Pin de transmission pour USART • Pin d'horloge synchrone pour USART
RC7/RX/DT <ul style="list-style-type: none"> • RC7 • RX • DT 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrée/sortie numérique • Pin de réception pour USART • Pin de données synchrones d'USART

4) Le port D :

Ce port fonctionne de façon identique aux autres, dans son mode de fonctionnement général. Les 8 pins entrée/sortie, en mode entrée, sont du type « trigger de Schmitt ». Ce port peut être configuré comme les huit bits du port parallèle PSP « Parallel Slave Port ».

Ses entrées sont toutes des entrées numériques.

Il a deux (02) registres :

- PORTD : Registre de données
- TRISD : Registre de direction

Le registre TRISD comportera donc les 8bits de direction, pendant que le registre POTRD correspond aux pins I/O concernés.

Le tableau suivant (II.4) met en valeur la fonction de chaque pin du PORTD.

Tableau II-4 : Les fonctions des différents pins du PORTD [6]

<u>Pin</u>	<u>Description</u>
RD0/PSP0 <ul style="list-style-type: none">• RD0• PSP0	<ul style="list-style-type: none">• Entrée/sortie numérique• Port parallèle esclave bit 0
RD1/PSP1 <ul style="list-style-type: none">• RD1• PSP1	<ul style="list-style-type: none">• Entrée/sortie numérique• Port parallèle esclave bit 1
RD2/PSP2 <ul style="list-style-type: none">• RD2• PSP2	<ul style="list-style-type: none">• Entrée/sortie numérique• Port parallèle esclave bit 2
RD3/PSP3 <ul style="list-style-type: none">• RD3• PSP3	<ul style="list-style-type: none">• Entrée/sortie numérique• Port parallèle esclave bit 3
RD4/PSP4 <ul style="list-style-type: none">• RD4• PSP4	<ul style="list-style-type: none">• Entrée/sortie numérique• Port parallèle esclave bit 4
RD5/PSP5 <ul style="list-style-type: none">• RD5• PSP5	<ul style="list-style-type: none">• Entrée/sortie numérique• Port parallèle esclave bit 5
RD6/PSP6 <ul style="list-style-type: none">• RD6• PSP6	<ul style="list-style-type: none">• Entrée/sortie numérique• Port parallèle esclave bit 6
RD7/PSP7 <ul style="list-style-type: none">• RD7• PSP7	<ul style="list-style-type: none">• Entrée/sortie numérique• Port parallèle esclave bit 7

5) Le port E:

Ce port n'est présent que sur les PIC 18F452. Il ne comporte que trois (03) pins RE0, RE1 et RE2, et contrairement aux autres ports, ils sont implantés pour d'autres fonctions. Les pins RE_x peuvent être utilisés également comme pins d'entrées analogiques. D'où le registre ADCON1 qui détermine si ce port est utilisé comme port entrée/sortie ou comme port analogique.

Le tableau II.5 représente la fonction de chaque pin du PORTE.

Tableau II-5 : Les fonctions des différents pins du PORTE [6]

<u>Pin</u>	<u>Description</u>
RE0/RD/AN5 <ul style="list-style-type: none">• RE0• RD• AN5	<ul style="list-style-type: none">• Entrée/sortie numérique• Pin contrôle de lecture pour PSP• Entrée analogique 5
RE1/WR/AN6 <ul style="list-style-type: none">• RE1• WR• AN6	<ul style="list-style-type: none">• Entrée/sortie numérique• Pin contrôle d'écriture pour PSP• Entrée analogique 6
RE2/CS/AN7 <ul style="list-style-type: none">• RE2• CS• AN7	<ul style="list-style-type: none">• Entrée/sortie numérique• Port parallèle esclave CS• Entrée analogique 7

2.5. Le convertisseur analogique/numérique :

Le convertisseur analogique/numérique dit CAN est un périphérique important que contient le PIC. Il est intégré et destiné à mesurer une tension qui est une grandeur analogique et la convertir en nombre binaire (numérique) qui pourra être utilisé par un programme.

Notre pic 18F452 travaille avec un convertisseur analogique/numérique qui permet un échantillonnage sur 10 bits, donc le signal numérique peut prendre 1024 valeurs possibles. Il faut savoir que pour pouvoir numériser une grandeur, nous devons connaître la valeur minimale ainsi que la valeur maximale qu'elle peut prendre; les pics considèrent par défaut que la valeur minimale correspond à leur tension d'alimentation V_{SS} , tandis que la valeur maximale correspond à la tension positive d'alimentation V_{DD} . Le principe de conversion suit les séquences suivantes :

- Le pic se connecte vers le pin sur laquelle se trouve la tension à numériser avec un condensateur interne, qui va se charger via une résistance interne jusqu'à ce que la tension appliquée soit atteinte.
- Le pin se déconnecte du condensateur, et ce dernier se connecte à son tour sur le convertisseur analogique/numérique interne.
- Le pic procède à la conversion.

La figure II.5 représente le schéma bloc du convertisseur analogique/numérique d'un pic 18F452.

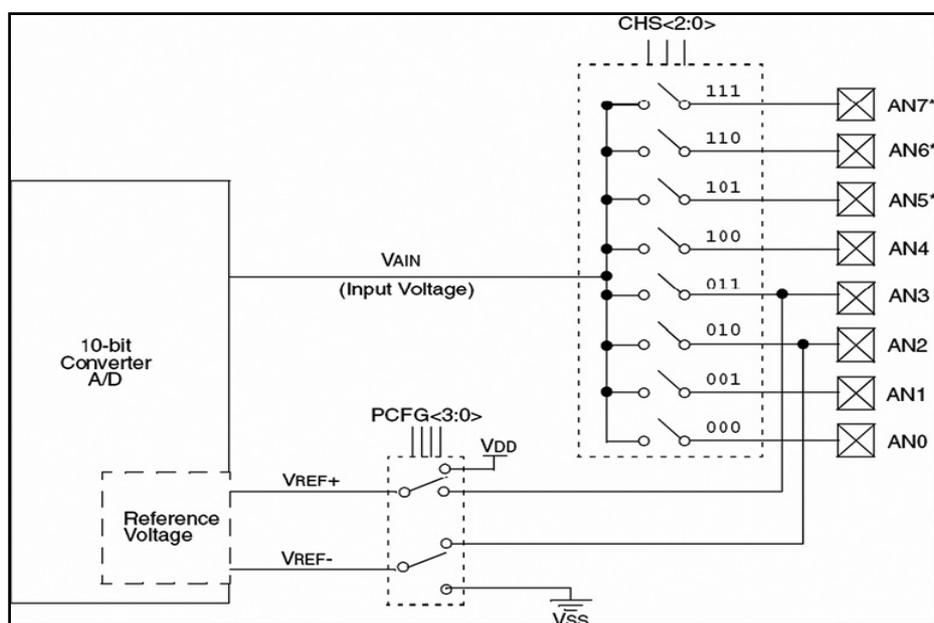


Figure II.5: Schéma bloc d'un convertisseur A/N pour un PIC18F452 [6]

En dépendant de la vitesse du convertisseur, le processus de conversion peut prendre plusieurs microsecondes.

Le temps nécessaire pour 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} .

Pour une meilleur conversion analogique/numérique, l'horloge doit être sélectionnée pour assurer la conversion d'un minimum de bit sur un temps de 1.6 μ s.

Le tableau II.6 nous donne les différentes valeurs de l'horloge analogique/numérique en fonction de différentes fréquences du microcontrôleur.

Tableau II.6 : la sélection de l'horloge du convertisseur A/N [6]

A/D clock source		
Operation	ADCS2:ADCS0	Fréquence maximum du microcontroller
2 TOSC	000	1.25 MHz
4 TOSC	100	2.50 MHz
8 TOSC	001	5.0 MHz
16 TOSC	101	10.0 MHz
32 TOSC	010	20.0 MHz
64 TOSC	110	40.0 MHz
RC	011	–

Il faut à présent préciser que le PIC nécessite un temps T_{ad} avant le démarrage effectif de la conversion, et un temps supplémentaire T_{ad} à la fin de la conversion.

Résumons donc le temps nécessaire pour effectuer l'ensemble des opérations :

- On charge le condensateur interne (nécessite le temps T_{acq})
- On effectue la conversion (nécessite le temps $12 * T_{ad}$)
- On doit attendre $2 * T_{ad}$ avant de pouvoir recommencer une autre conversion

Voici un schéma qui résume le cycle de la conversion.

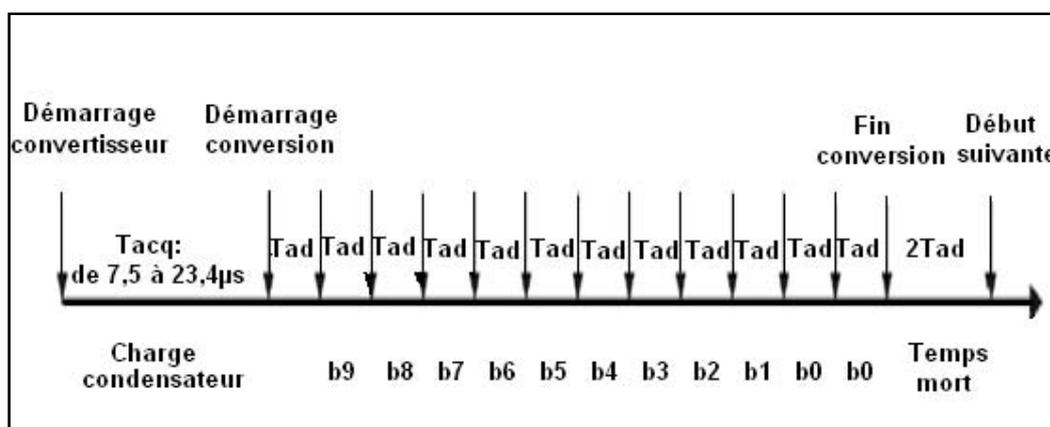


Figure II.6: cycle de conversion

Le module de conversion utilise 4 registres disposés comme suit :

- Registre de Résultat de niveau haut (ADRESH)
- Registre de Résultat de niveau bas (ADRESL)
- Registre de Contrôle 0 (ADCON0)
- Registre de Contrôle 1 (ADCON1)

Regardons cela de près dans la figure ci-dessous qui représente la configuration interne du module de convertisseur analogique/numérique :

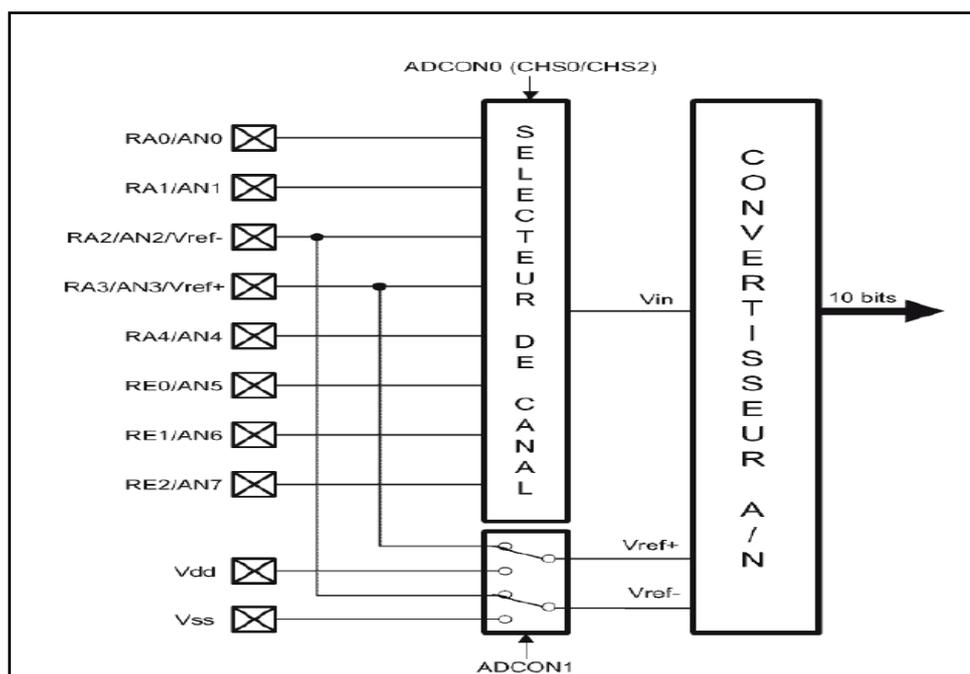


Figure II.7 : module du convertisseur [6]

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/numérique.

On voit aussi que la sélection de la source des tensions de référence dépend des bits du registre ADCON1, tandis que le canal sélectionné pour être numérisé dépend du registre ADCON0. C'est le registre ADCON1 qui détermine si ce port sera utilisé comme port I/O ou comme port analogique. Nous en aurons besoin dans la programmation.

a) Les registres ADRESL et ADRESH :

On tient à savoir que le convertisseur donne un résultat sur 10 bits, alors ce résultat devra être sauvegardé dans deux (02) registres. Ces registres sont tout simplement les registres ADRESL et ADRESH [7].

Comme les 2 registres contiennent 16 bits, et que nous utilisons que 10, Microchip nous a laissé le choix sur la façon dont est sauvegardé le résultat, nous pouvons soit le justifier à gauche, soit à droite [7].

Lors de la justification à droite, la partie gauche du résultat va être complétée par des «0». Le résultat sera donc de la forme suivante :

ADRESH							ADRESL								
0	0	0	0	0	0	B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0

La justification à gauche procède bien évidemment de la méthode inverse :

ADRESH										ADRESL					
B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0	0	0	0	0	0	0

La justification à droite sera principalement utilisée lorsque nous avons besoin de l'intégralité des 10 bits de résultat, tandis que la justification à gauche est très pratique lorsque 8 bits vous suffisent. Dans ce cas, les 2 bits de poids faibles se trouvent isolés dans ADRESL, il suffit donc de ne pas en tenir compte. Cette approche est destinée à nous épargner des décalages de résultats [7].

Le choix de la méthode s'effectue à l'aide du bit 7 du registre ADCON1.

b) Le registre ADCON1

Ce registre permet de déterminer le rôle de chacune des pins AN0 à AN7. Il permet donc la sélection d'un pin soit au tant que entrée analogique, soit entrée/sortie standard, ou comme tension de référence. Il permet également de décider de la justification du résultat. Pour pouvoir utiliser un pin en mode analogique, il faudra que ce pin soit configuré également en entrée par TRISA.

Le registre ADCON1 dispose, comme tout registre accessible de notre PIC, de 8 bits, dont seulement 6 sont utilisés.

Le bit7 ADFM permet de déterminer si le résultat de la conversion sera justifié à droite quand il est positionné à 1 ou à gauche lorsqu'il est à 0.

Nous trouvons aussi, dans ce registre, les 4 bits de configuration des pins liés au convertisseur analogique/numérique. Ces bits nous permettent donc de déterminer le rôle de chaque pin.

c) 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 ce registre, 7 seront utilisés.

2.6. Communication série asynchrone :

Notre PIC dispose de deux (02) modules série, l'un d'eux, et celui qui nous intéresse est le module **USART** qui signifie «*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*».

Il permet d'envoyer et de recevoir des données en mode série, soit de façon synchrone, soit asynchrone. Dans certaines littératures, nous retrouverons également le terme générique de **SCI** pour «*Serial Communications Interface* ». Il gère uniquement deux pins, à savoir RC6/TX/CK et RC7/RX/DT [7].

Une liaison série synchrone nécessite une connexion dédiée à l'horloge, donc ce cas il restera qu'une seule ligne pour transmettre les données, on en déduit alors que le PIC ne pourra émettre et recevoir en même temps. Par contre, en mode asynchrone on n'a pas besoin d'une ligne d'horloge, il nous restera alors deux lignes pour communiquer, chacune étant dédiée à un sens de transfert. Nous pourrons en conséquence envoyer et recevoir des données en même temps.

En particulier, nous avons les liaisons séries asynchrones, ce type de communication suit le format **NZR** «*No Return to Zero* » [8].

Le transfert d'une donnée sera effectué comme suite :

- 1 Start-bit
- 7 ou 8 bits de donnée
- 0 ou 1 bit de parité
- 1 ou 2 stop-bits.

Ceci nous donne des longueurs totales comprises entre 9 et 12 bits.

Notre PIC permet de gérer uniquement 8 ou 9 bits de données, la parité doit être gérée manuellement et intégrée dans les bits de données. Un seul stop-bit est émis [8].

Ceci nous donne :

- 1 Start-bit
- 8 ou 9 bits de donnée
- 1 stop-bit

Voici un exemple de trame asynchrone, 1bit START, 8 bits, parité paire, 1 bit stop, le nombre est 10010001



Figure II.8 : exemple de trame [8]

- **Parité paire** : le bit de parité est positionné pour que l'ensemble des bits de donnée et le bit de parité représente un nombre de bits à 1 pair
- **Parité impaire** : le bit de parité est positionné pour que l'ensemble des bits de donnée et le bit de parité représente un nombre de bits à 1 impair

Dans ce type de transmission, l'horloge de transmission est comprise dans le signal, le bit de START est utilisé par le récepteur pour se synchroniser avec l'émetteur. Cependant les deux horloges de transmission et de réception sont au départ très proche.

L'horloge de réception possède une fréquence multiple de celle de transmission en général (*16) ou (*64).

Dans le cas d'une division par 16 :

Lors de la réception du front descendant du bit de start, l'USART attend 8 tops d'horloge, le circuit reçoit alors théoriquement le milieu du bit de start, l'USART attend ensuite 16 tops d'horloge, le circuit reçoit alors le milieu de D7 et lit ce bit, l'USART attend ensuite 16 tops etc. L'horloge du récepteur est donc resynchronisée lors de la réception de chaque caractère [8].

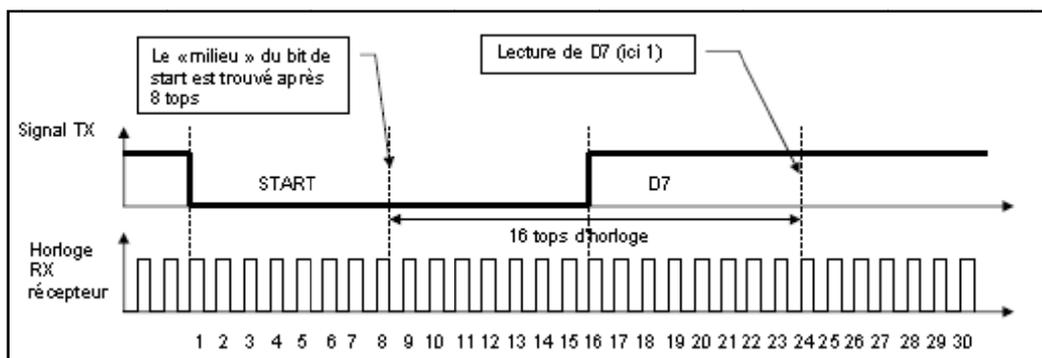


Figure II.9 : Exemple de transmission dans le cas où $f_{RX} = f_{transmission} * 16$ [8]

L'horloge RX (réception) doit donc toujours être supérieure à celle de TX (transmission). En réalité les deux horloges sont identiques et TX est divisé dans l'USART pour produire la vitesse de transmission souhaité.

2.7. 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 00xH.

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.

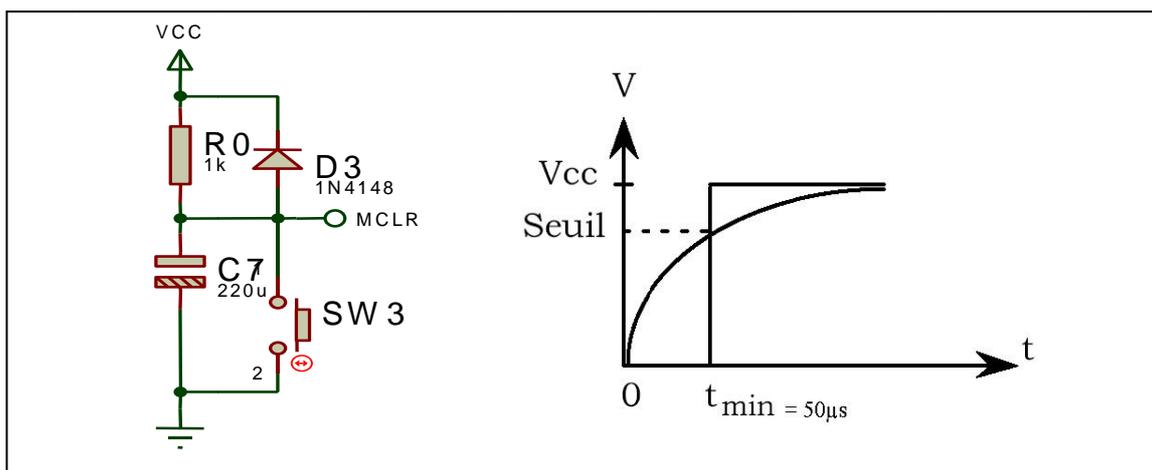


Figure II.10 : circuit du reset [9]

Chapitre III

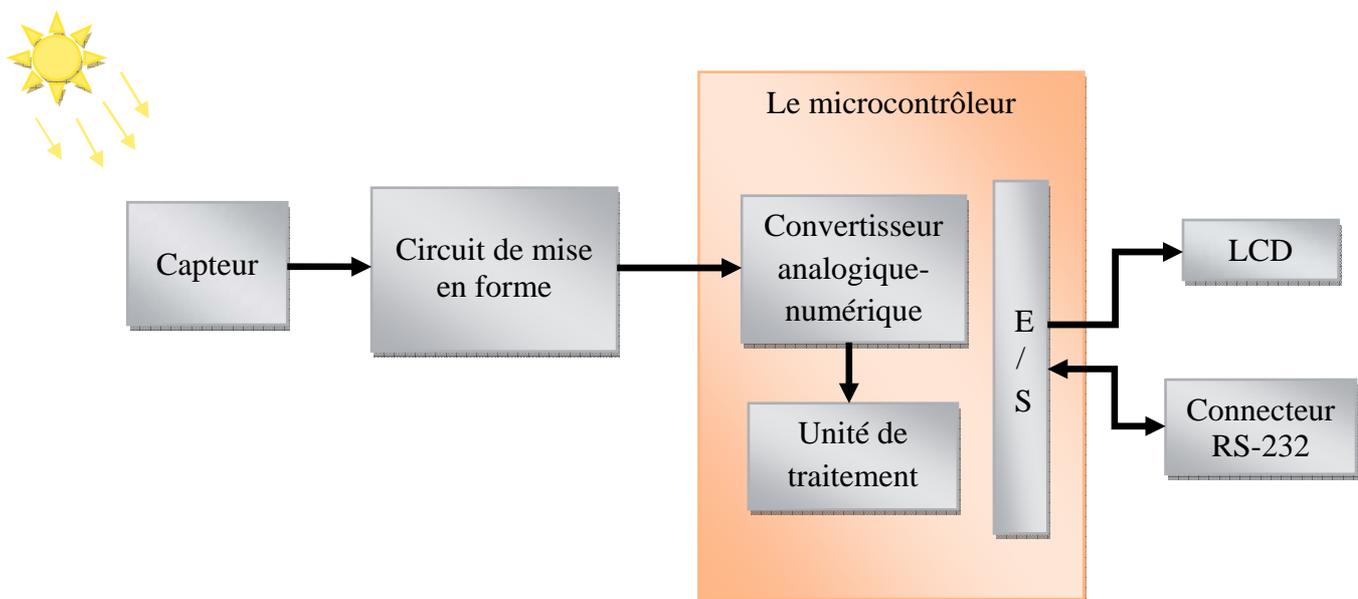
Conception matérielle du système de mesure

Dans ce chapitre nous allons aborder une conception détaillée de chaque partie et de chaque module utiliser dans notre système afin d'obtenir une schématisation complète et précise

Notre système se décompose en plusieurs parties :

- Captage de rayonnement solaire ;
- Mise en forme des données ;
- Conversion Analogique/Numérique ;
- Traitement des données ;
- Affichage des données ;
- Transmission des données sur PC ;

Le synoptique de fonctionnement du système à réaliser est donné ci-dessous :



Notre capteur est en fait un système composé de multi-capteurs, il se constitue de huit (08) photodiodes BPW34. Elles délivrent des courants proportionnels au flux lumineux, qui seront ensuite convertis en tension, amplifiées puis numérisées.

Ces mesures pourront ensuite être visualisées soit directement sur un afficheur LCD, soit sur micro ordinateur (PC) sous forme graphique.

I. circuit de conditionnement du capteur :

Pour acquérir nos données, nous avons utilisé un capteur qui se constitue de huit photodiodes BPW34 placées d'une manière circulaire (voir figure III.1) ombragées d'un support cylindrique de 4 à 5 cm de hauteur, et suivant l'ombre du soleil. L'acquisition des données par chacune des photodiodes se fera à l'aide d'un multiplexeur 8 vers 1.

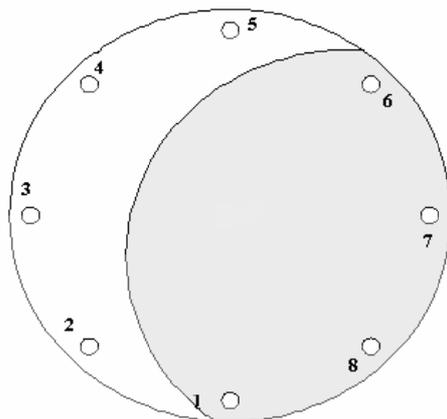


Figure III.1 : Exemple d'emplacement de nos huit photodiodes
Suivant l'ombre du soleil

1. Capteur et circuit de mise en forme :

1.1. Le capteur : la photodiode BPW34

a) Définition :

La photodiode est une diode au silicium qui exploite l'effet photoélectrique sous éclairage, qui donne naissance à des paires électron-trous.

- Elle est passante en sens direct comme une diode classique ;
- Elle est aussi passante dans le sens inverse lorsqu'elle est éclairée.

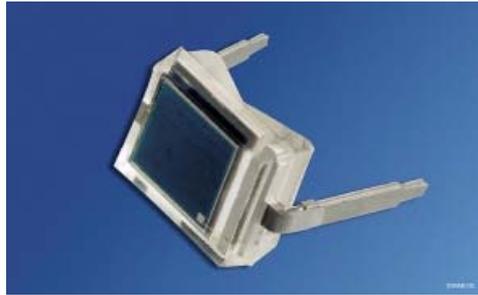
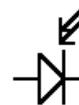


Figure III.2 : Image d'une photodiode

b) Symbole :

Le symbole d'une BPW34 est représenté sur la figure d'en face :



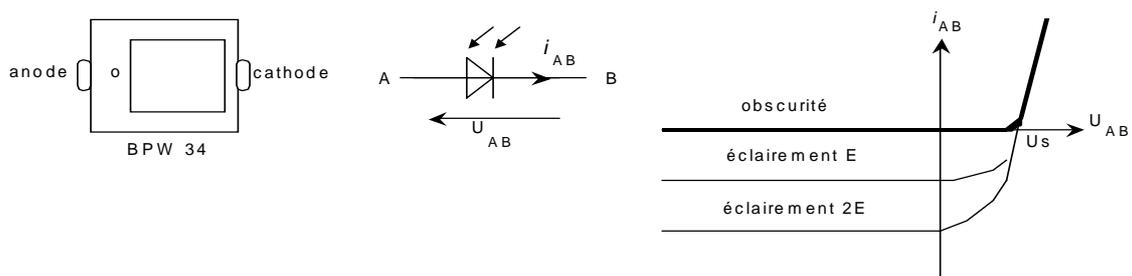
c) Principe :

Une photodiode fournit un courant et non une tension lorsqu'elle est polarisée dans le sens bloquant et qu'elle reçoit sur sa surface active de l'énergie lumineuse.

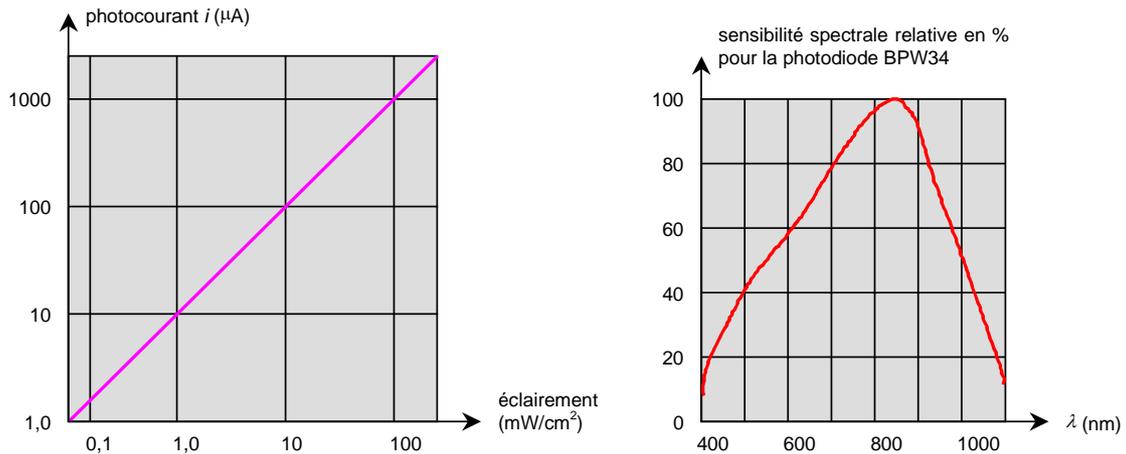
Ce courant est un courant inverse de fuite (I_R), qu'on appelle aussi le "*photocourant*".

Il augmente avec l'intensité du flux lumineux qui frappe la surface active d'une photodiode. Il s'agit donc d'un courant relatif à l'éclairement (Inverse dans ce cas).

d) Caractéristique :



- Dans l'obscurité, la caractéristique de la photodiode est identique à celle d'une diode au silicium.
- Dans la lumière, polarisée dans le sens inverse, la photodiode laisse passer un courant inverse ($I_R < 0$) dont l'intensité est pratiquement une fonction affine de l'éclairement.



L'intensité du courant inverse est proportionnelle à l'intensité lumineuse.

1.2. Le circuit de mise en forme :

Egalement appelé circuit de conditionnement, joue le rôle d'une interface entre le capteur solaire et le microcontrôleur.

Il a pour fonction de récupérer le signal du capteur et de le traiter pour extraire une information exploitable. Il se charge en particulier des opérations suivantes :

- amplifier le signal ;
- linéariser le signal ;
- extraire l'information relative au mesurande ;
- adapter le signal à l'interface utilisateur (affichage numérique, ordinateur, ...).

L'information du capteur (courant délivré), après le conditionnement, est transmise au microcontrôleur qui fonctionne avec le changement du niveau de tension (0V, 5V).

Comme on a des capteurs de différents types, on a des circuits de conditionnement associés pour chaque type, qui sera adopté pour notre photodiode et que nous allons utiliser pour notre système est présenté dans la figure suivante avec $V_{CC} = 10\text{V}$.

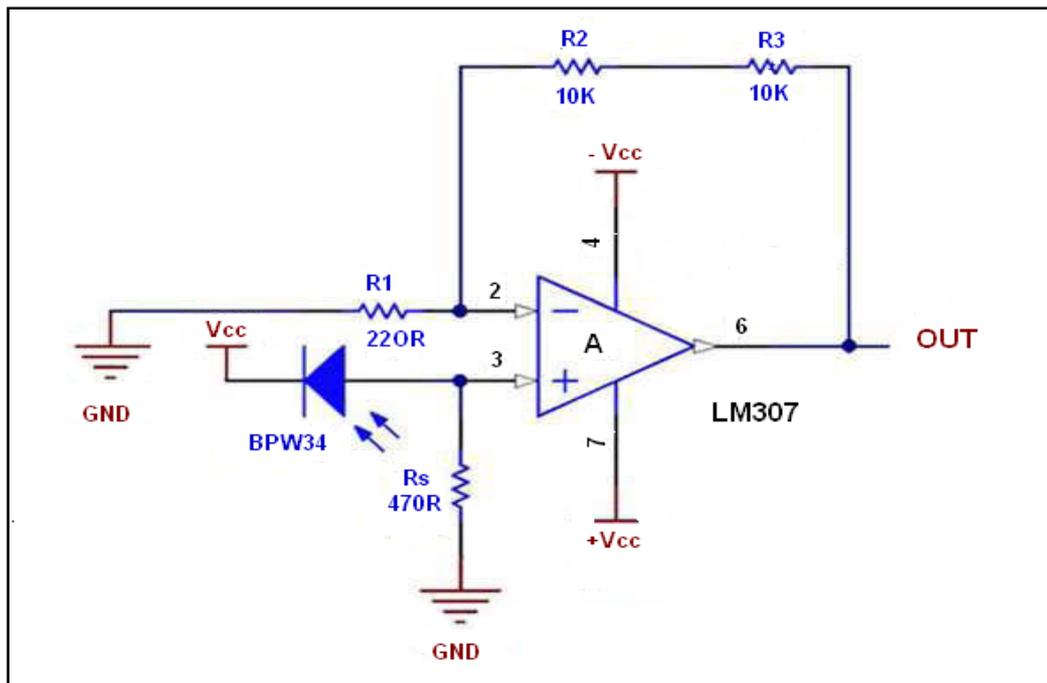


Figure III.3 : Circuit de conditionnement

L'étalonnage du capteur :

Pour utiliser un capteur dans les meilleures conditions, il est souvent utile de pratiquer un étalonnage et de connaître les incertitudes de mesures relatives à celui-ci.

L'étalonnage est l'opération qui établit la relation entre le mesurande et la grandeur électrique de sortie. Cette relation peut dépendre non seulement du mesurande mais aussi des grandeurs d'influence. S'il n'y a pas de grandeurs d'influence, l'étalonnage est simple, dans le cas contraire il est multiple. [10]

Dans un laboratoire, sur un lab. d'essai on réalise le circuit suivant (figure III.4) avec $V_{CC} = 10V$. On le met en suite devant une fenêtre et juste à coté on place un solarimètre comme capteur étalon.

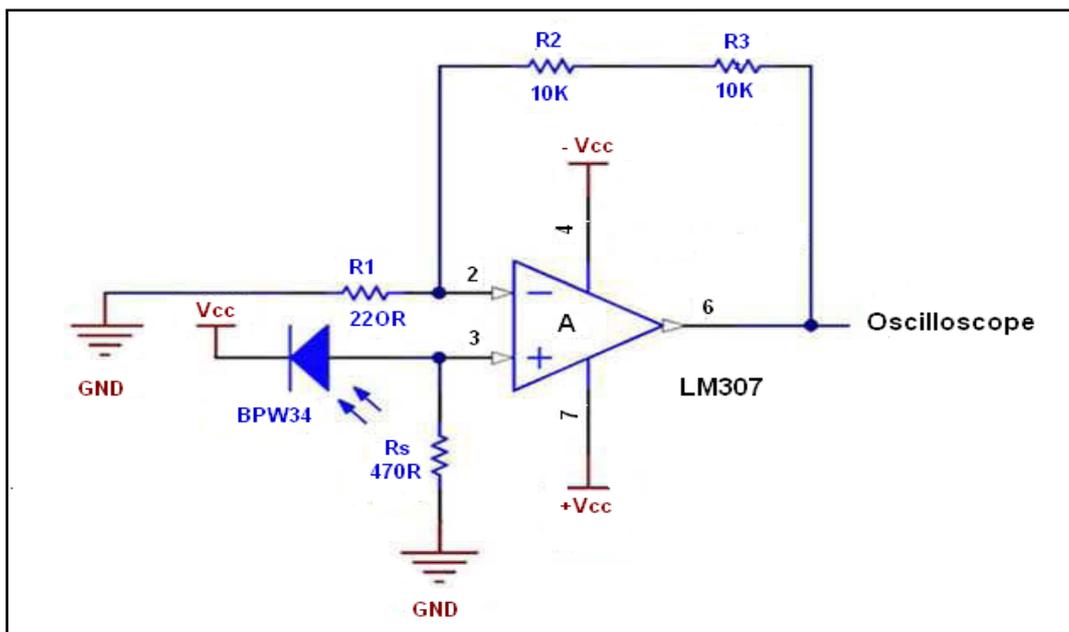
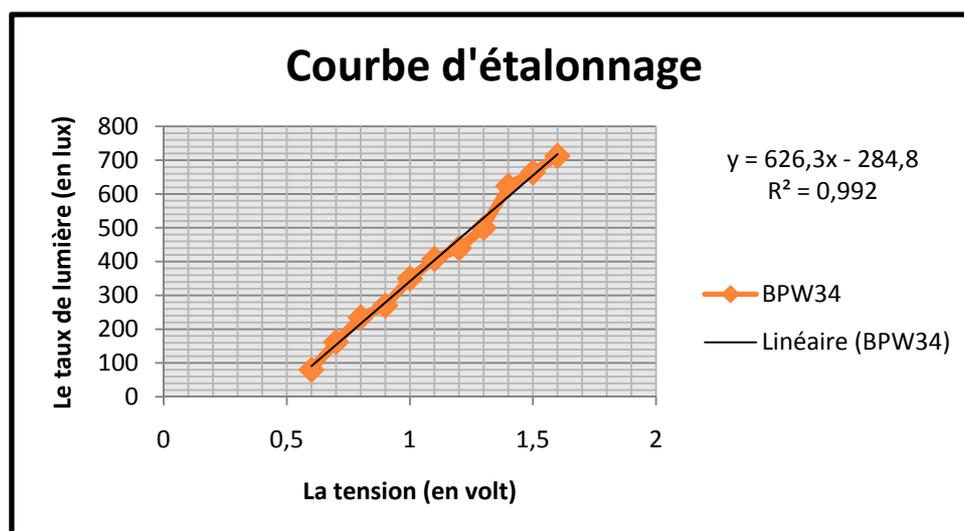


Figure III.4 : Le circuit d'essai

A l'aide du solarimètre, on mesure le taux de lumière (en lux) qui change d'un moment à un autre et en parallèle on visualise sur l'oscilloscope la tension délivrée par la BPW34 à chaque changement (en volt).

Au bout d'un moment, nous collectons suffisamment de données pour le tracé de la courbe représentée ci-dessous :



Le fit de la courbe expérimentale permet d'établir une relation entre le mesurande et la tension de sortie, qu'on traduit par l'équation suivante :

$$y=626,36x - 284,82$$

2. Le multiplexeur :

Il doit présenter sur son unique sortie l'une des n grandeurs appliquées à ses n entrées. Les grandeurs dans notre cas sont les courants délivrés par nos huit photodiodes. Cette transmission s'effectue avec une certaine qualité et la voie à sélectionner est désignée au moyen de son adresse par le circuit d'interface, géré par le microcontrôleur.

Un multiplexeur est donc constitué d'un ensemble de n interrupteurs électroniques, qui sont reliés à un même point (la sortie) à la suite duquel un amplificateur à gain programmable peut être éventuellement placé.

Il existe deux types de multiplexeurs: le multiplexeur analogique et le multiplexeur numérique.

- **Les multiplexeurs numériques** : sont constitués essentiellement de portes logiques.

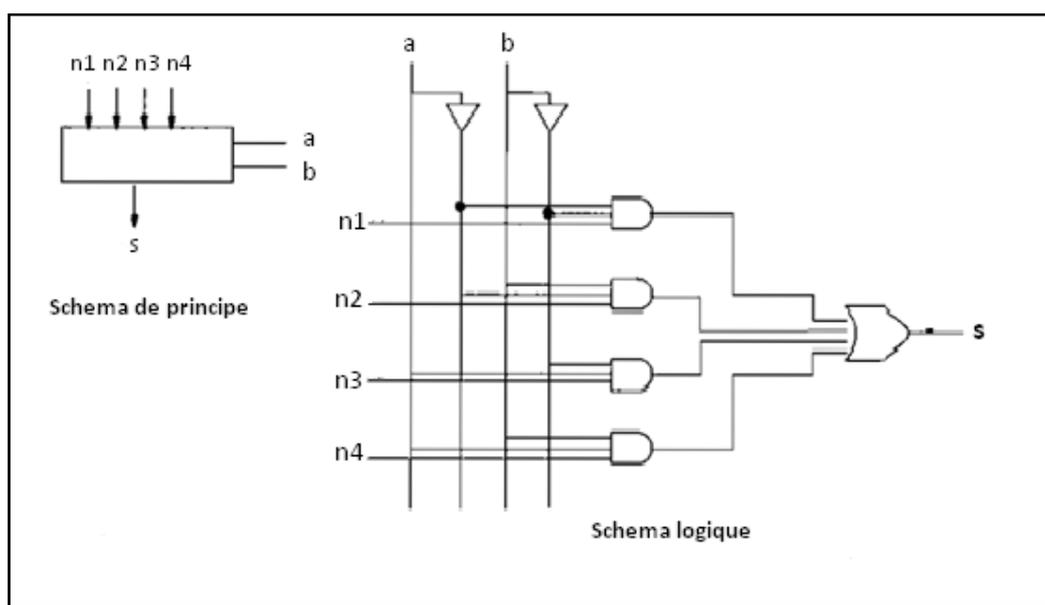


Figure III.5 : Schéma de multiplexeurs numériques

- **Les multiplexeurs analogiques** : sont composés de résistances et de condensateurs.

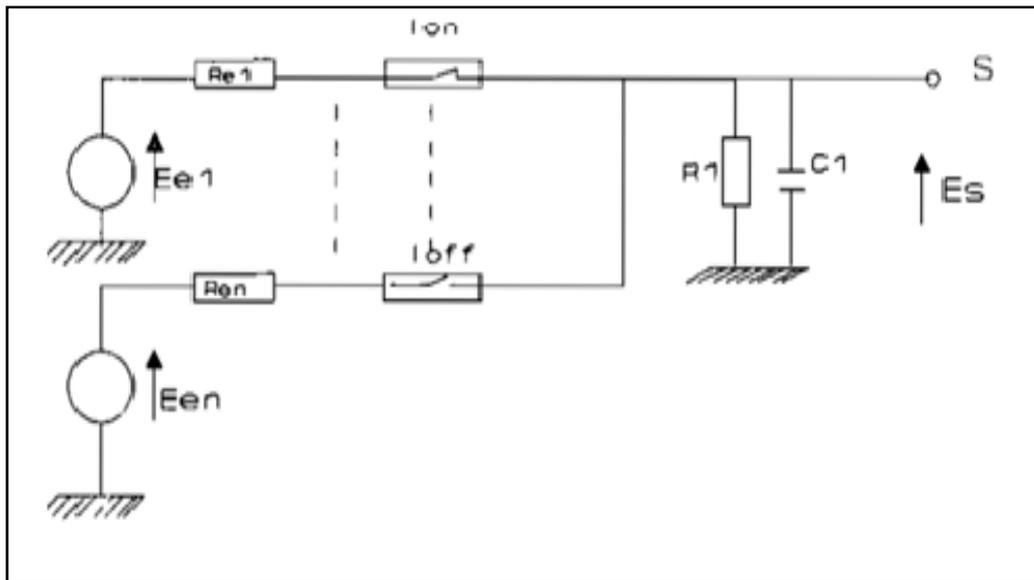


Figure III.6 : Schéma de multiplexeurs analogiques

Comme nous le savions déjà, notre capteur est un capteur de sortie analogique alors nous allons utiliser un multiplexeur analogique de huit entrées puisque nous avons huit photodiodes, ce qu'on appelle un multiplexeur 8 vers 1.

II. Carte de traitement et affichage :

1. L'unité de traitement :

L'unité de traitement des données de notre système est basée sur un microcontrôleur de type PIC18F452.

Dans ce système, le PIC18F452 est une pièce centrale et essentielle car c'est par lui que transitent toutes les informations du capteur aux systèmes d'affichage des données (le PC et l'afficheur).

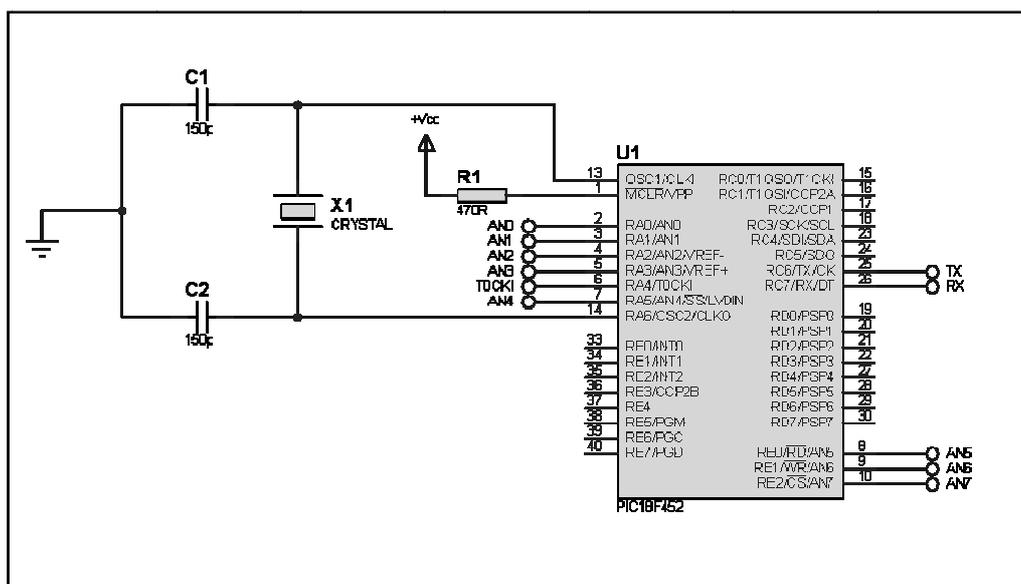


Figure III.7 : Le branchement du microcontrôleur PIC18F452

Une étude bien détaillée de cette partie a été faite dans le chapitre précédent.

Tension d'alimentation du PIC :

La plupart des microcontrôleurs fonctionnent avec la tension standard de +5V.

Quelques microcontrôleurs peuvent fonctionner avec une tension inférieure à +2.7V, et il existe d'autre qui tolèrent +6V sans aucun problème.

Le datasheet nous informera sur les limites exigées sur la tension d'alimentation pour chaque microcontrôleur.

Concernant notre microcontrôleur PIC18F452, il peut fonctionner avec une tension qui varie de +2V à +5.5V.

2. Affichage des données :

Pour afficher nos données, nous allons utiliser un afficheur LCD de 2 lignes et 16 caractères (2*16).

2.1. Présentation d'un afficheur LCD :

Les afficheurs à cristaux liquides, autrement appelés afficheurs LCD (Liquid Crystal Display), sont des modules compacts intelligents et nécessitent peu de composants externes

pour leur fonctionnement. Ils consomment peu (de 1 à 5 mA) et ils sont utilisés avec beaucoup de facilité. Ils sont pratiquement les seuls à être utilisés sur les appareils à alimentation par pile.

Plusieurs afficheurs sont disponibles sur le marché et diffèrent les uns des autres, non seulement par leurs dimensions, (de 1 à 4 lignes de 6 à 80 caractères), mais aussi par leurs caractéristiques techniques et leur tension de service.

Certains sont dotés d'un rétro-éclairage de l'affichage. Cette fonction fait appel à des LED montées derrière l'écran du module, cependant, cet éclairage est gourmand en intensité (de 80 à 250mA).

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.

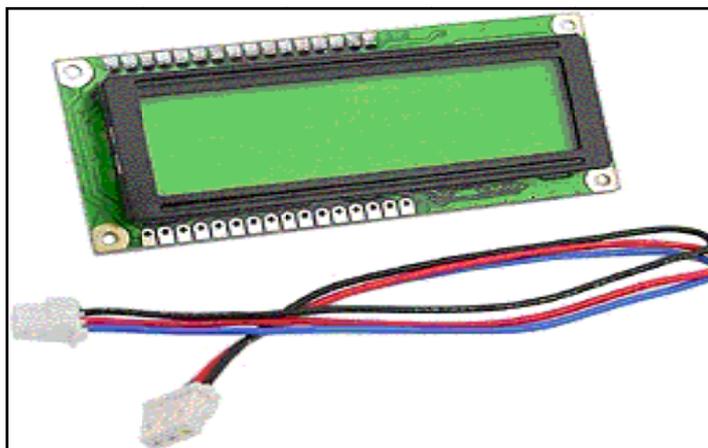


Figure III.8 : Photo d'un afficheur LCD

2.2. Branchage de l'afficheur LCD :

Qu'il soit à une ou deux lignes, un afficheur LCD se présente sous la forme suivante :

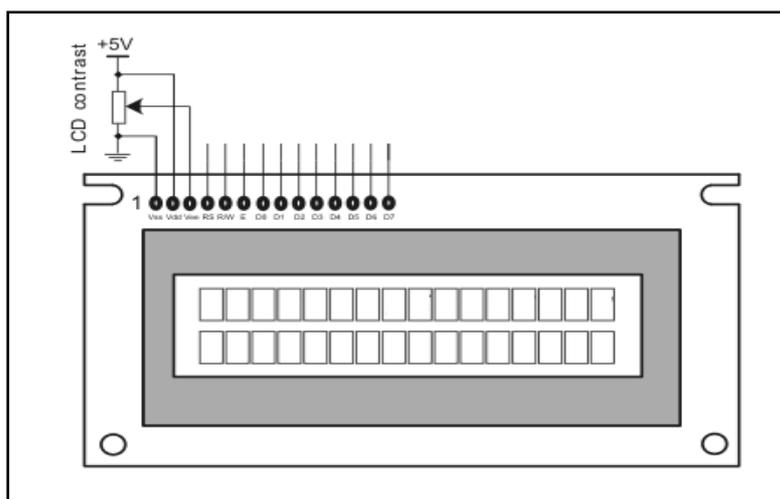


Figure III.9 : Schéma d'un afficheur LCD

Un circuit intégré spécialisé est chargé de la gestion du module. Il remplit une double fonction : d'une part il commande l'affichage et de l'autre se charge de la communication avec l'extérieur.

Tableau III.1 : Configuration des branches d'un afficheur LCD 2*16

<u>N° de Pin</u>	<u>Nom</u>	<u>Fonction</u>
1	V _{SS}	Masse
2	V _{CC}	Tension d'alimentation
3	V _{EE}	Luminosité : en la faisant varier la tension entre 0 et +5V, elle permet le réglage du contraste de l'afficheur.
4	RS	Register select (registre de sélection), grâce à cette broche, l'afficheur est capable de faire la différence entre une commande et une donnée. <ul style="list-style-type: none"> ▪ RS=0 ⇒ c'est une commande ▪ RS=1 ⇒ c'est une donnée
5	R/W	Read/Write (lecture/écriture), lorsque : <ul style="list-style-type: none"> ▪ R/W=1 ⇒ lecture ▪ R/W=0 ⇒ écriture
6	E	Enable (Entrée de validation)
7	D0	Bit de donnée 0
8	D1	Bit de donnée 1
9	D2	Bit de donnée 2
10	D3	Bit de donnée 3
11	D4	Bit de donnée 4

12	D5	Bit de donnée 5
13	D6	Bit de donnée 6
14	D7	Bit de donnée 7

Les broches de 7 à 14 sont 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.

2.3. Fonctionnement :

Un afficheur LCD a de deux modes de fonctionnement, le mode 4 bits et le mode 8 bits, le choix s'effectue lors de l'initialisation de l'afficheur (dans le programme) :

- *Mode 8 bits* : dans ce mode 8 bits, les données sont envoyées à l'afficheur sur les broches D0 à D7, toutes les broches sont utilisées.
- *Mode 4 bits* : dans ce mode, seuls les 4 bits de poids fort (D4 à D7) de l'afficheur sont utilisées pour transmettre les données et les lire. Les 4 bits de poids faible (D0 à D3) sont alors connectés à la masse.

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.

2.4. Connexion de l'afficheur sur la carte :

Dans notre circuit, nous avons utilisé un écran LCD alphanumérique de 2 lignes et 16 caractères.

Cet écran est connecté au microcontrôleur sur le port B uniquement.

Les connexions à réaliser sont simples puisque l'afficheur LCD dispose de peu de broches. Il faut évidemment, l'alimenter, le connecter à un bus de donnée (4 bits dans notre cas), et connecter les broches E, R/W et RS :

- l'alimentation est de +5V ;
- R/W est à la masse car on va faire une écriture ;

- RS et E sont reliés au port B ;
- Et on travaillera en mode 4 bits

Il est possible de piloter l'écran directement avec des instructions de commande sous forme binaire.

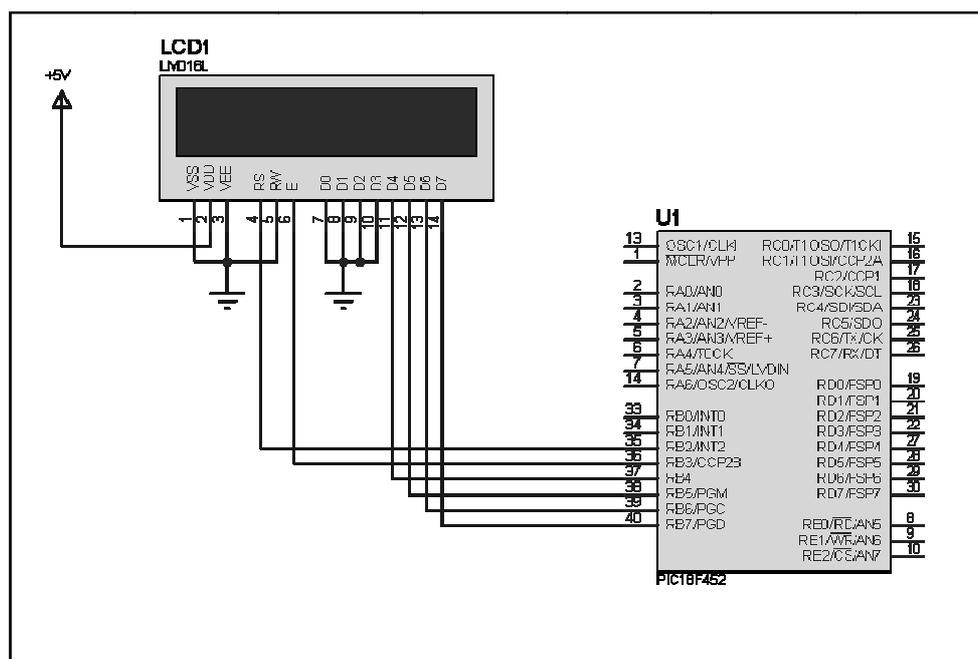


Figure III.10 : montage de l'afficheur LCD sur le PIC

III. Carte de transmission :

Cette partie du projet permet à notre système de pouvoir communiquer ses données vers le PC.

1. La liaison à la norme RS-232 :

1.1. Présentation :

La liaison série à la norme RS-232 qui permet l'envoi de données via une chaîne de niveaux logiques envoyés en série (d'où le nom du port du PC). Elle permet de faire dialoguer deux systèmes, et seulement deux, entre eux. Les données sont envoyées par trames de 5, 6, 7 ou 8 bits soit autant de niveaux logiques. Par la suite nous travaillerons avec une liaison sur 8 bits qui est la plus couramment utilisée.

Cette liaison est de type asynchrone c'est à dire qu'elle n'envoie pas de signal d'horloge pour synchroniser les deux intervenant de la liaison, il est donc nécessaire que ces derniers soient configurés de la même manière (vitesse de transmission, nombre de bits par trame, ...etc). La vitesse de transmission s'exprime en bauds (bds = bits par seconde) les valeurs les plus courantes sont 2400, 4800 et 9600 bauds.

Elle est utilisée dans tous les domaines de l'informatique (exemple: port de communication com1 et com2 des PC permettant la communication avec des périphériques tels que modem et souris).

➤ **La prise :**

Pour rétablir la connexion entre le PC et un circuit extérieur, on utilise deux prises l'une male (généralement on l'a trouve sur le PC) et l'autre femelle.

Les prises utilisées sur les ordinateurs pour le port RS-232 sont de type DB9 ou DB25. Aujourd'hui les ordinateurs ne sont plus équipés que de prises DB9 pour le port série mais si vous possédez un vieux système vous pourrez certainement trouver une prise DB25. Celle dont nous avons besoin est la prise DB9 qui est représentée sur les figures suivantes :



Figure III.11 : Prise femelle extrémité de câble type DB9



Figure III.12 : Un connecteur DB9 mâle

1.2. Les pins du port RS-232 :

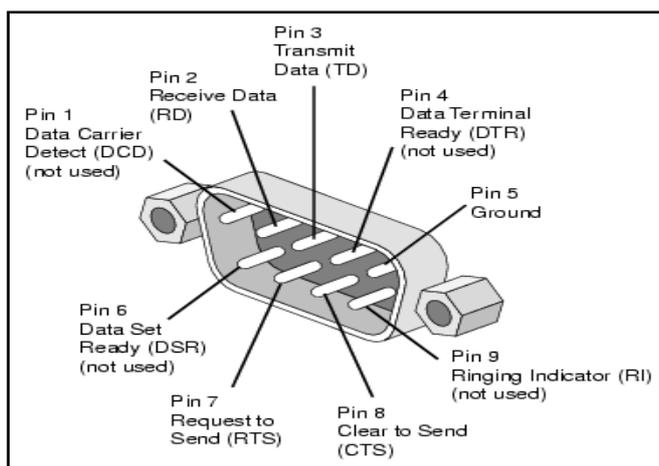


Figure III.13: Les différents pins d'un connecteur DB-9

Tableau III.2 : Le fonctionnement des broches du port RS-232

<u>N°</u>	<u>Nom</u>	<u>E/S</u>	<u>L'état</u>	<u>Fonction</u>
1	DCD (Data Carrier Detecte) liaison établie	entrée	active à l'état haut	Signale à l'ordinateur qu'une liaison a été établie avec un correspondant
2	RXD (Receiver Data) récepteur de donné	entrée	—	C'est ici que transitent les informations du correspondant vers l'ordinateur.
3	TXD (Transmit Data) transmission de donnés	sortie	—	Permet le véhicule des données de l'ordinateur vers le correspondant.
4	DTR (Data Terminal Ready) prêt à recevoir	sortie	active à l'état haut	Permet à l'ordinateur de signaler au correspondant que le port série à été libéré et qu'il peut être utilisé s'il le souhaite.
5	GND (Ground)	—	—	La masse.
6	DSR (Data Set Read) donnée prête	entrée	active à l'état haut	Permet au correspondant de signaler qu'une donnée est prête.
7	RTS (Request To Send) donnée à transmettre	sortie	active à l'état haut	Indique au correspondant que l'ordinateur veut lui transmettre des données.
8	CTS (Clear To Send) prêt à recevoir	entrée	active à l'état haut	Indique à l'ordinateur que le correspondant est prêt à recevoir des donnés.
9	RI (RING Indicator) demande de communication	entrée	active à l'état haut	Permet à l'ordinateur de savoir si un correspondant veut initier une communication avec lui.

1.3. Fonctionnement :

Pour pouvoir dialoguer avec le PC, notre microcontrôleur utilise son module USART qui permet de respecter les temps de communication du protocole RS-232.

C'est ce module qui permet d'envoyer et de recevoir des données en mode série, soit de façon synchrone, soit asynchrone. Le module USART de notre PIC gère uniquement deux pins, à savoir RC6/TX/CK et RC7/RX/DT.

Protocole de communication :

- 8 bits de données
- Pas de bit de parité
- Un bit de stop
- Vitesse de 9600 bauds

Les liaisons RS-232 sont des liaisons asynchrones très utilisées en informatique. Elle nécessite que l'émetteur et le récepteur soient informés de la vitesse choisie de transfert.

Puisque le récepteur connaît la vitesse du transfert, il peut se passer du signal de synchronisation.

Pour une liaison RS-232 simple seules trois broches de la prise sont utilisées :

- ✓ TX : transmission de données
- ✓ RX: récepteur de données
- ✓ GND : masse

Grâce à cette liaison la carte peut servir d'interface entre un PC et un montage extérieure afin d'adapter les signaux TTL du microcontrôleur au standard RS-232.

En revanche, une adaptation des niveaux de tension est nécessaire, celle-ci se fera par l'intermédiaire d'un circuit spécialisé, le MAX-232, qui converti les niveaux de sortie TTL du PIC en signaux RS-232.

2. Le MAX 232 :

Le pic 18F452 utilise les niveaux 0v et 5v pour définir respectivement les signaux (0) et (1), et la norme RS 232 définit des niveaux de $\pm 12v$ pour établir ces mêmes signaux. Nous

avons donc besoin d'un circuit (driver de bus) chargé de convertir les niveaux des signaux entre PIC et PC.

Ce circuit dispose de :

- Deux blocs dénommés T1 et T2 qui convertissent les niveaux entrés en 0v et 5v en signaux sortis sous +12v et -12v. Les entrées de ces blocs sont donc dirigés vers le pic et les sorties sont connectées sur le port RS 232.
- Deux blocs dénommés R1 et R2, qui convertissent les niveaux entrés en +12v /-12v en signaux sortis sous 0v/5v. Les entrées de ces blocs sont donc connectées sur le port RS232, les sorties sur le PC.

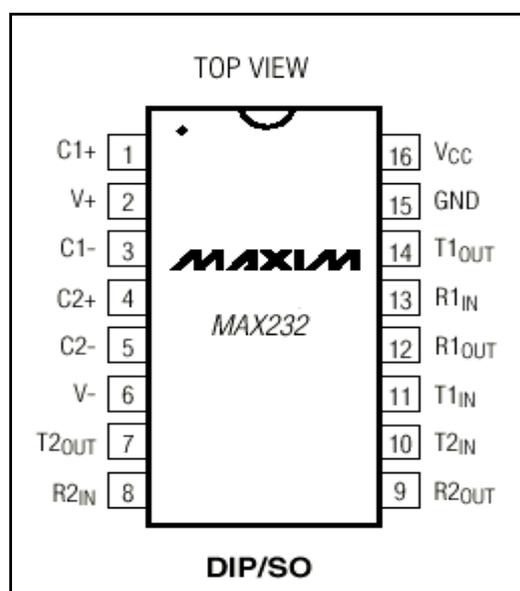


Figure III.14 : Le MAX232

Un MAX232 est montée de façon classique, les lignes RX, TX et la masse sont disponibles sur un connecteur DB9 mâle qui permet ainsi de relier la carte au PC avec un simple câble série.

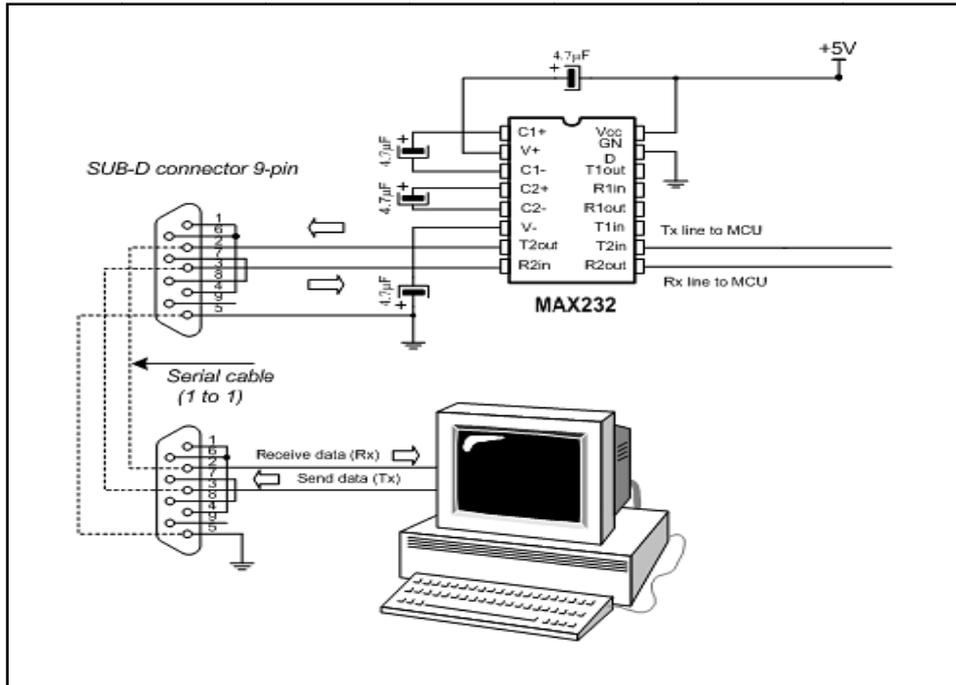


Figure III.15 : montage du MAX232 sur le PC

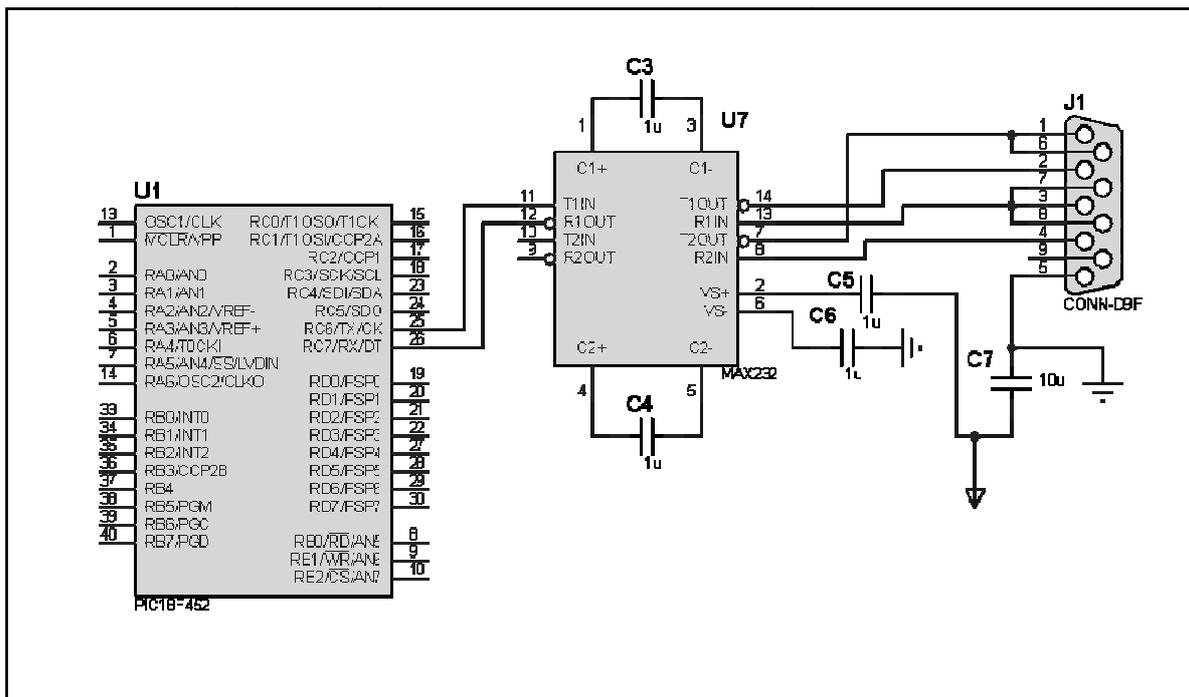


Figure III.16 : Câblage du MAX232 avec le PIC

IV. Conception logiciel :

Pour programmer un pic il faut un compilateur qui interprète le langage évolué (Langage C, Pascal, Assembleur, etc...) en langage machine (code objet exécutable par le pic). Ce code objet doit être ensuite téléchargé sur le pic.

Pour cela nous avons suivi un organigramme.

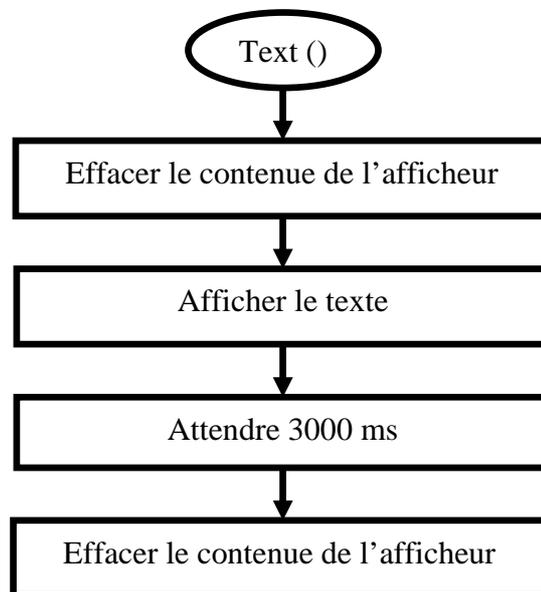
1. Définition d'un organigramme :

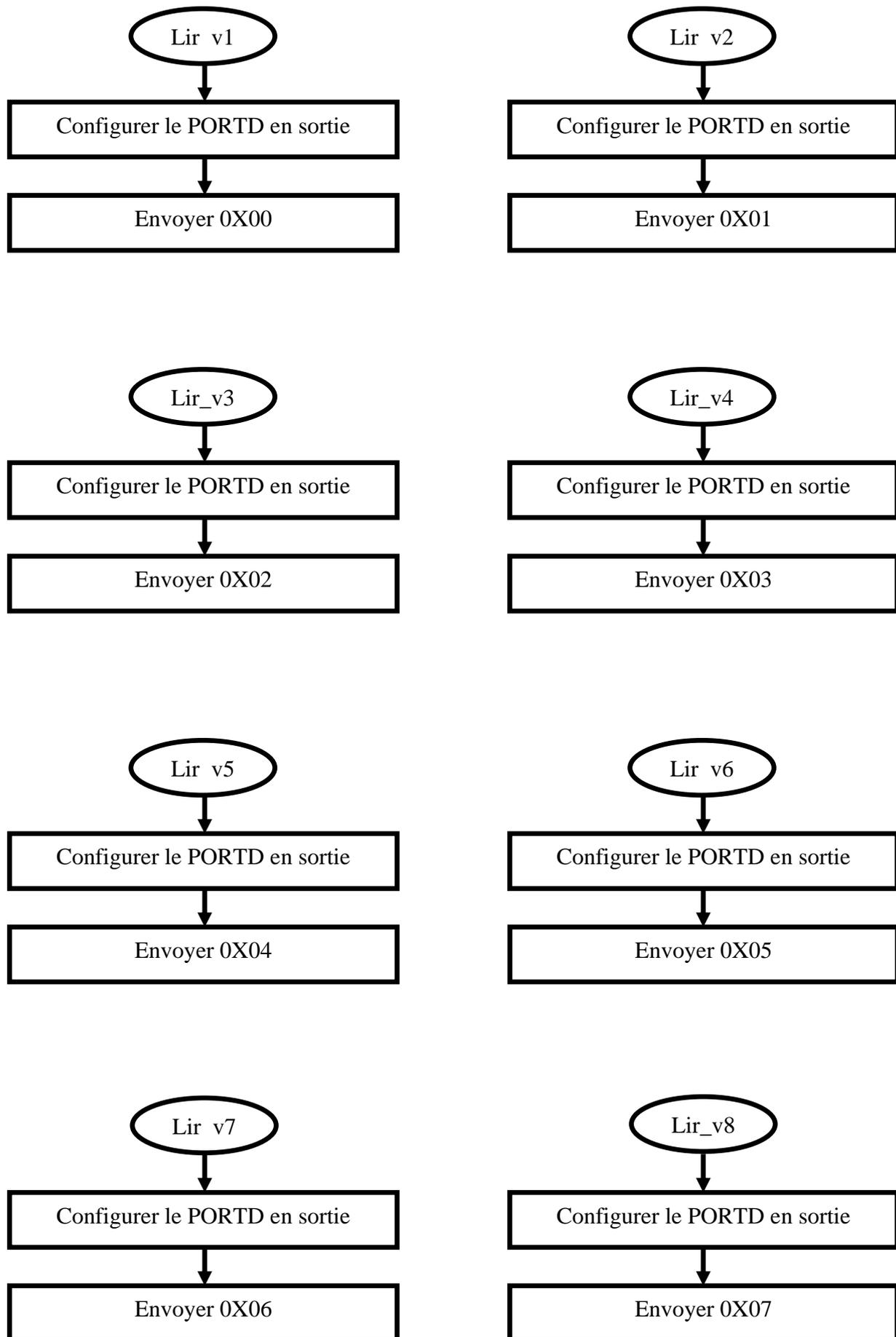
L'organigramme est une présentation graphique d'un programme quelconque. C'est un diagramme qui montre le cheminement des données dans un programme ou un système d'information.

Il a pour but de simplifier la compréhension du déroulement du programme.

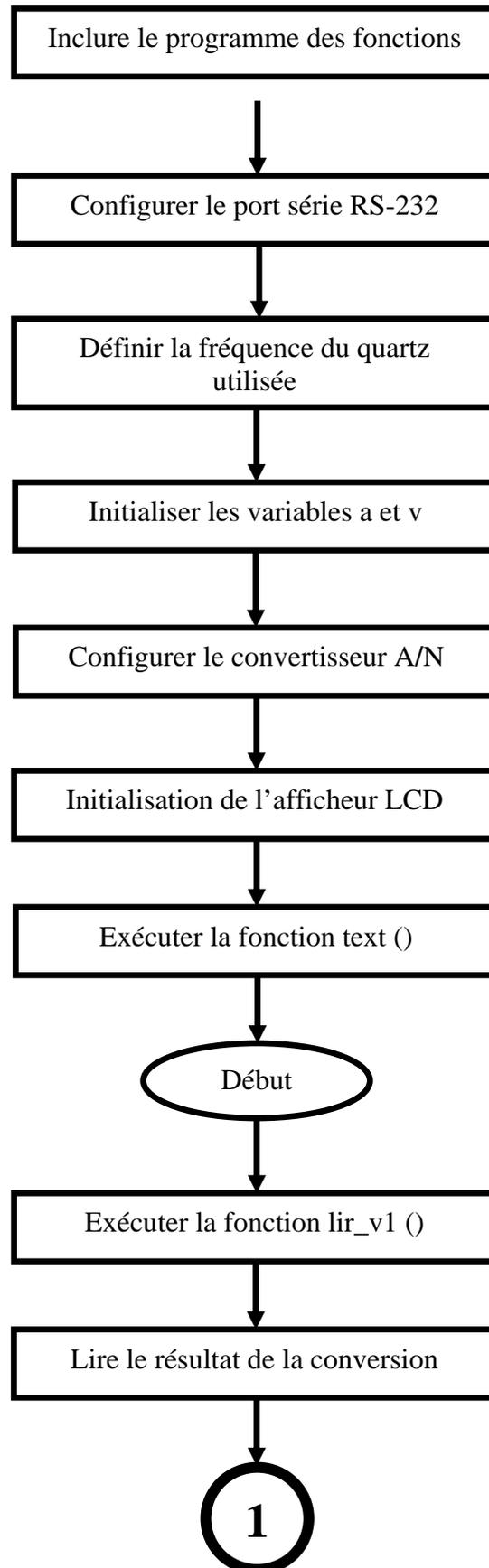
2. L'organigramme :

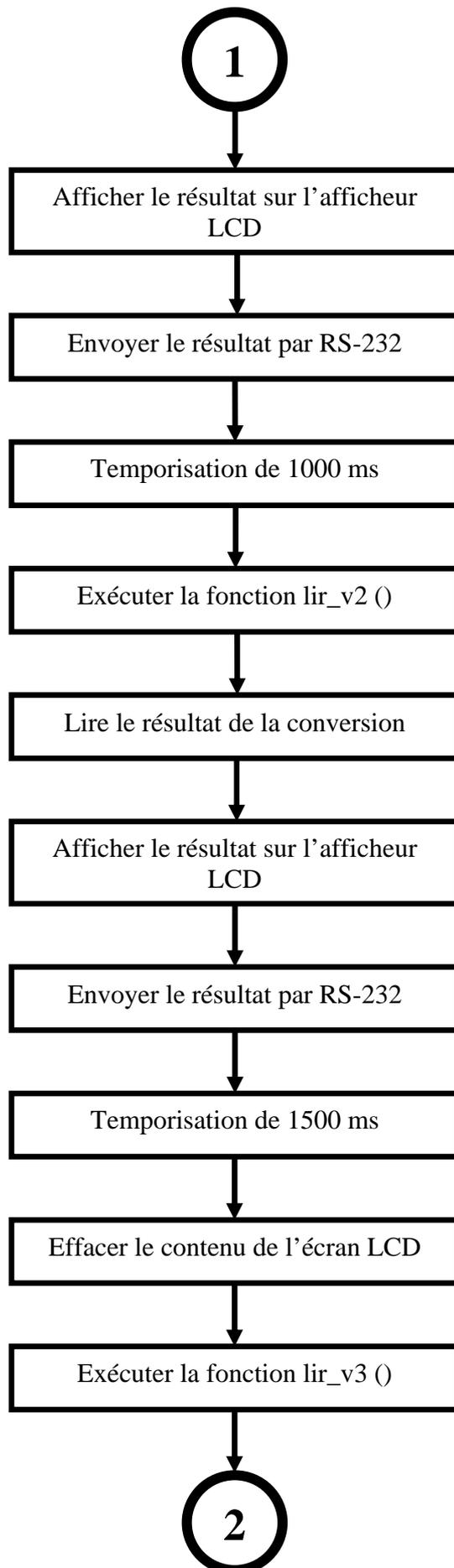
2.1. Programme des fonctions :

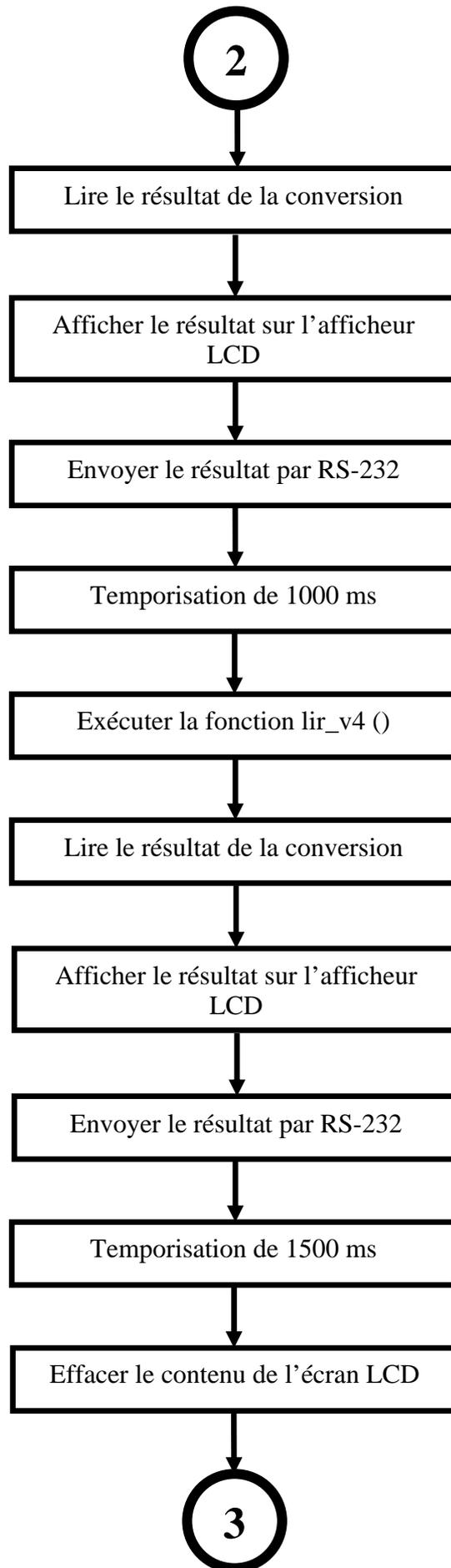


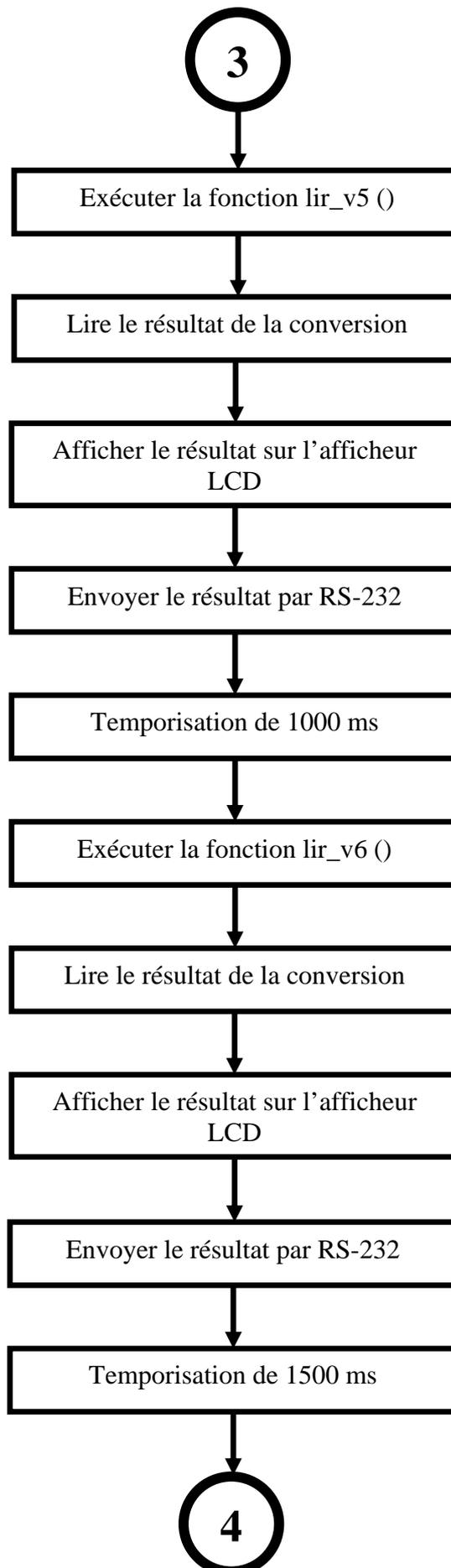


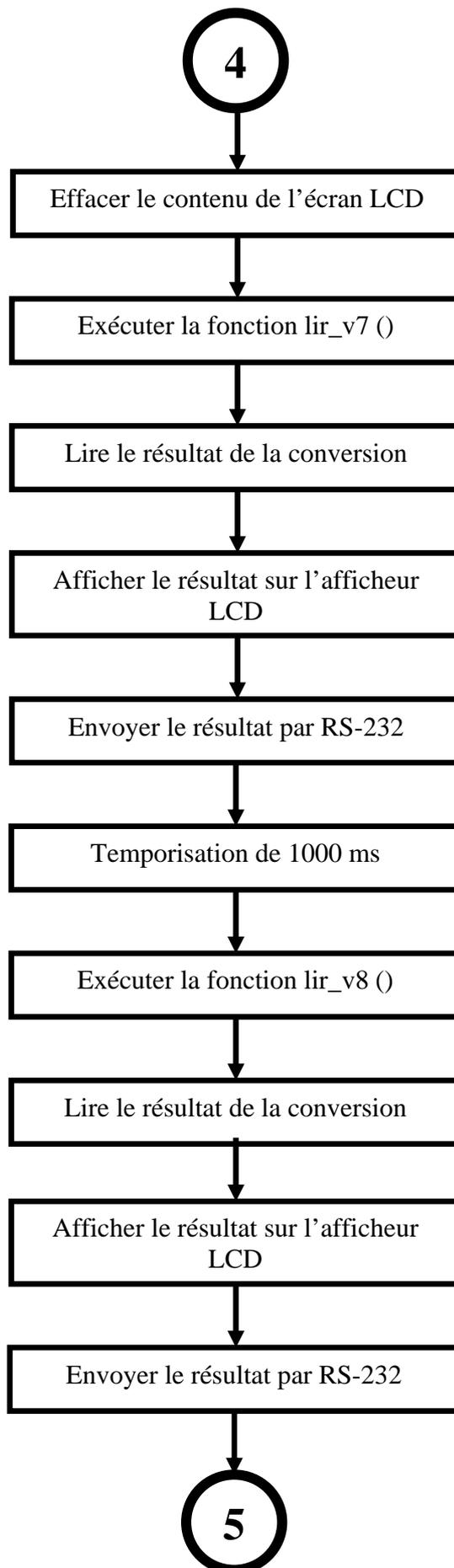
2.2. Programme principal :

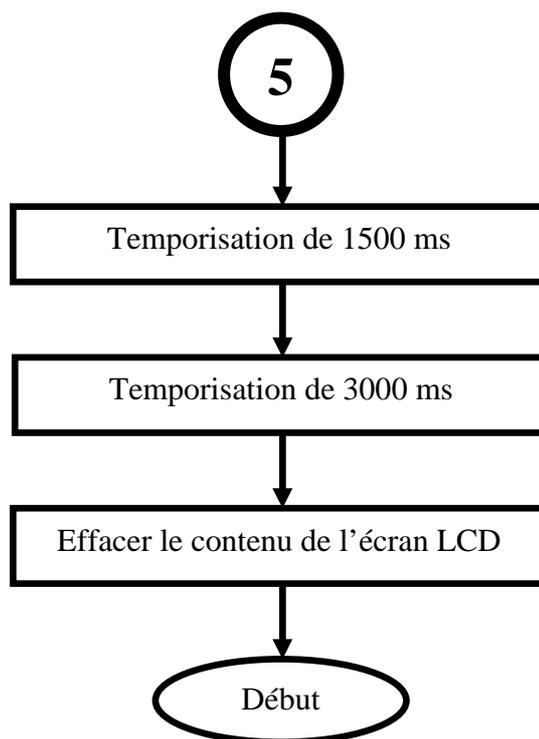












➤ **Explication de l'organigramme :**

Les données acquises par le capteur seront afficher sur LCD et transmise vers le PC via RS-232 une par une suivant les adresses du multiplexeur qui seront gérer par le microcontrôleur et cela en exécutant les différentes fonctions (*lir_v1* jusqu'à *lir_v8*) avec une temporisation donnée.

3. Le programme :

Pour le programme, on le rédige avec le langage C du compilateur CCS. Nous l'écrivons d'abord en langage évolué en suite il sera compilé.

Après cette étape, un fichier hexadécimal sera créé automatiquement et c'est ce fichier la qui sera chargé sur le PIC pour qu'il fonctionnel.

Chapitre IV

Réalisation pratique

Après avoir étudié chaque élément de notre maquette théoriquement, dans les chapitres précédents, nous allons maintenant les mettre en pratique, c'est l'objectif de ce quatrième et dernier chapitre.

Cette étape de caractérisation est indispensable afin de voir les limites et les performances de notre travail.

Tout d'abords nous commençons par la réalisation du circuit imprimé, ensuite après la soudure des composants puis nous effectuerons les mesures nécessaires.

1. Choix des composants :

Comme illustré sur le synoptique précédent, le montage à réaliser doit rassembler :

- ❖ Capteur ;
- ❖ Un convertisseur Analogique/Numérique ;
- ❖ Des ports d'entrée/sortie ;
- ❖ Afficheur LCD ;
- ❖ Un port série pour la communication avec le PC.

Notre choix s'est naturellement porté sur un microcontrôleur qui rassemble toutes ces fonctions sur une seule puce, le PIC18F452. Nous avons opté pour un PIC de Microchip pour des raisons de disponibilité.

Notre capteur est formé de huit (08) photodiodes BPW34, que nous allons relier chacune vers une entrée du multiplexeur analogique 8 vers 1 pour acquérir les valeurs qu'elles délivrent une par une et pas toutes à la fois. La sortie du multiplexeur sera jointe vers l'entrée du circuit de mise en forme où le courant est amplifié et converti en tension. De la sortie de ce circuit vers l'entrée analogique du PIC où se déroule le traitement de l'information.

Pour afficher les données, on utilise un afficheur LCD 2 lignes, 16 caractères qui permet de visualiser en instantané les mesures acquises par notre capteur et procure une certaine convivialité.

La communication avec le PC va se faire par l'intermédiaire du port série RS-232. Le microcontrôleur dispose d'un USART qui permet de respecter les temps de communication du protocole RS-232. En revanche, une adaptation des niveaux de tension est nécessaire, celle-ci se fera par l'intermédiaire d'un circuit spécialisé, le MAX-232, qui converti les

niveaux de sortie TTL du PIC en signaux RS-232. La norme RS-232 préconise des tensions entre -15 et $-3V$ pour coder un niveau logique haut et entre 3 et $15V$ pour un niveau bas. Ces tensions sont obtenues à partir de l'alimentation $0-5V$ par un principe de charge/décharge de capacités.

2. Réalisation de la carte :

Les composants ont été implantés sur deux cartes :

- Une carte principale comportant le microcontrôleur, les divers connecteurs pour le PC, l'afficheur et les différents composants
- La seconde carte comporte les huit photodiodes, c'est la partie capteur.

Nous avons utilisé le logiciel Proteus7 pour réaliser le circuit électrique ainsi que le routage du circuit imprimé, ce logiciel nous a beaucoup simplifié la tâche.

a) Le circuit électrique :

Nous avons effectué un branchement initial des différents composants que nous allons utiliser dans notre circuit sur ISIS de Proteus7 qui a l'avantage de tester le circuit ainsi que le programme de fonctionnement avant de les mettre en pratique.

En premier lieu, nous avons schéma de la carte principale qui contient le PIC.

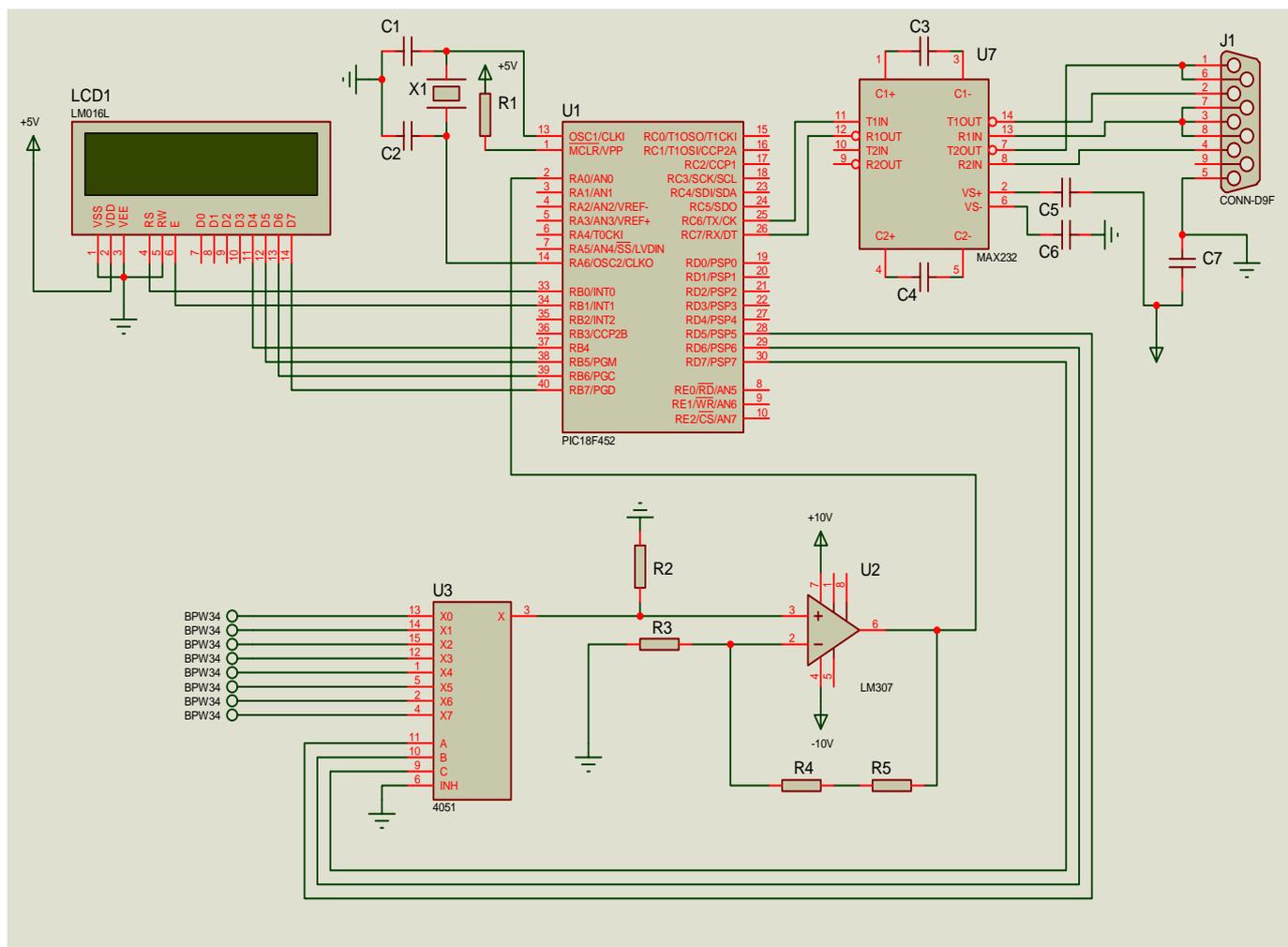


Figure IV.1: Schéma électrique de la carte principale

Et voici un tableau récapitulatif des différents composants utilisés dans notre circuit.

Tableau IV.0 : Nomenclature des composants de la carte d'acquisition

<u>Références</u>	<u>Composants</u>
U1	PIC 18F452
U3	Multiplexeur CD4051
U4 : A	Amplificateur LM307
U7	Max 232
J1	Connecteur série D9 femelle
LCD1	Afficheur LCD 2*16
X1	Quartz 8 Mhz

R1	Resistance de 470 Ω
R2	Resistance de 100 Ω
R3	Resistance de 10 K Ω
R4	Resistance de 1 K Ω
RV1	Resistance variable de 10 K Ω
C1, C2	Capacités de 150 pF
C3, C4, C5, C6	Capacités de 1 μ F
C7	Capacité de 10 μ F

En suite, nous avons le second qui est celui de la carte du capteur.

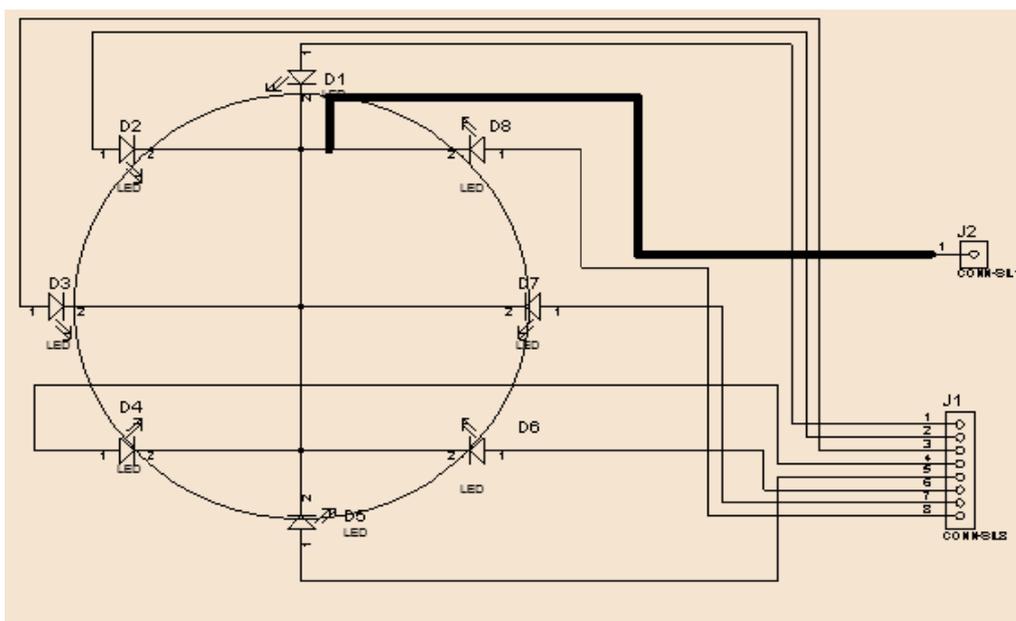


Figure IV.2 : Schéma électrique de la carte du capteur

b) Le circuit imprimé :

Pour réaliser le circuit définis en haut, nous avons choisi de les implanter sur un circuit imprimé où nous avons distribué la masse sur une grande partie pour la bonne raison de diminuer l'effet des bruits causés par des phénomènes extérieurs ainsi que l'encombrement sur la carte.

Pour cela, nous avons utilisé ARES de Proteus7 pour la transformation du circuit électrique en circuit imprimé.

Le matériel nécessaire pour la réalisation des circuits imprimés :

- ❖ Une imprimante laser format A4 pour les typons
- ❖ Une insoleuse 25*15 cm
- ❖ Un flacon de révélateur positif
- ❖ Un bain de perchlorure de fer à ébullition pour la gravure
- ❖ Un flacon d'étain à froid pour l'étamage
- ❖ Plaques époxy double et simple face

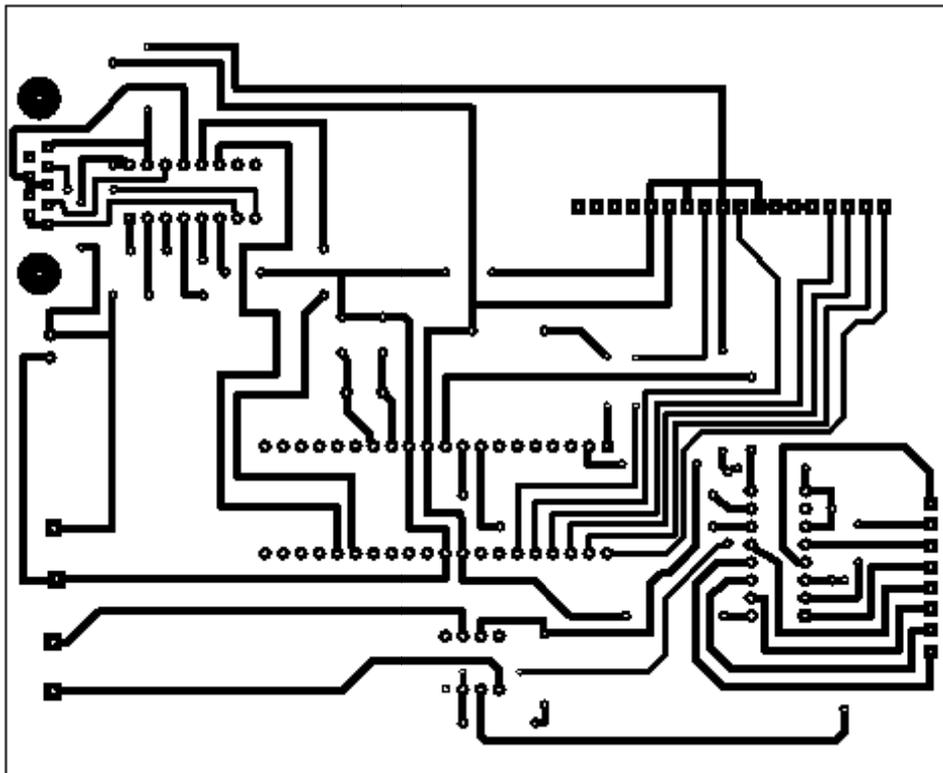


Figure IV. 3: Circuit imprimé de la carte principale

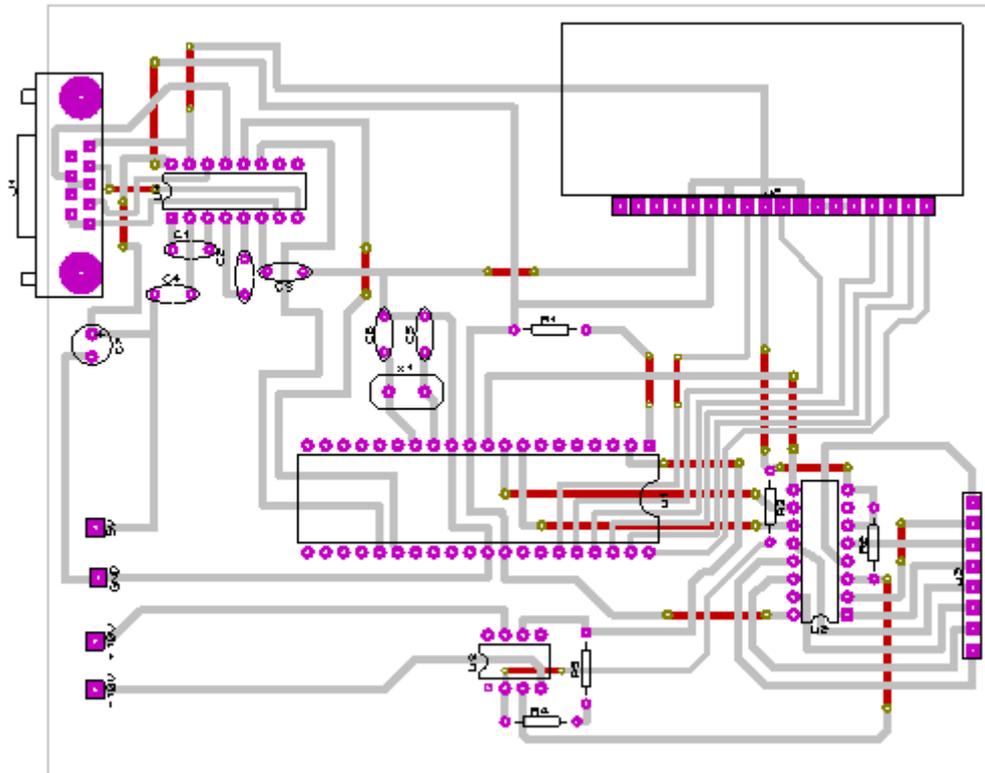


Figure IV. 4: Schéma d'implantation de la carte principale

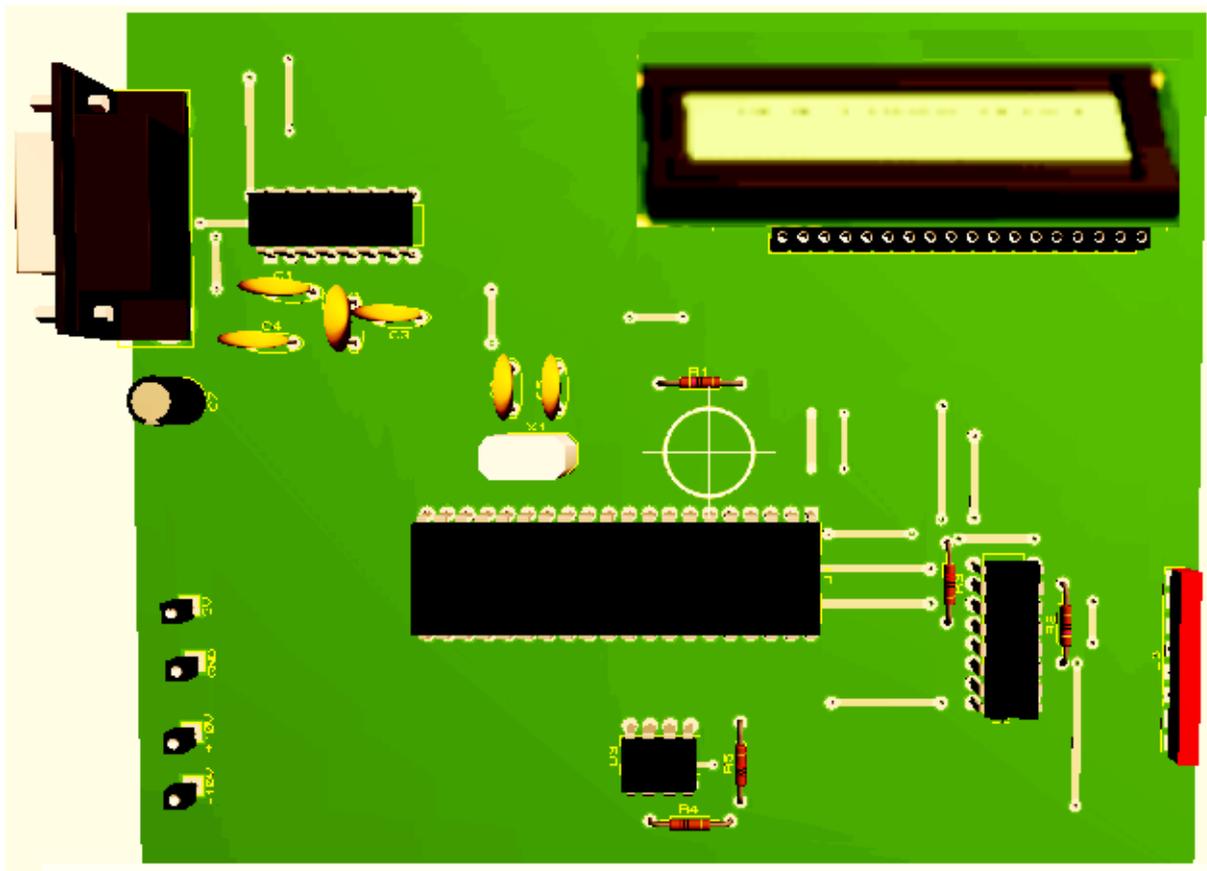


Figure IV.5: Schéma d'implantation à 3D pour la carte principale

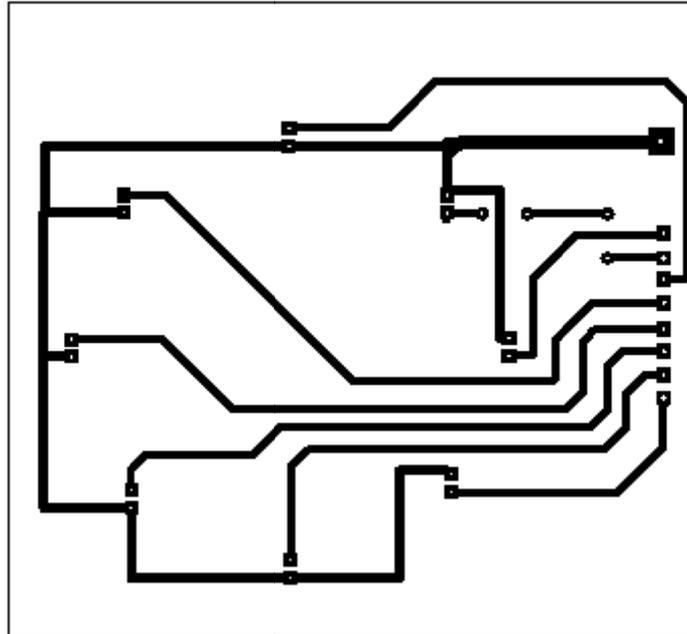


Figure IV. 6: Circuit imprimé de la carte du capteur

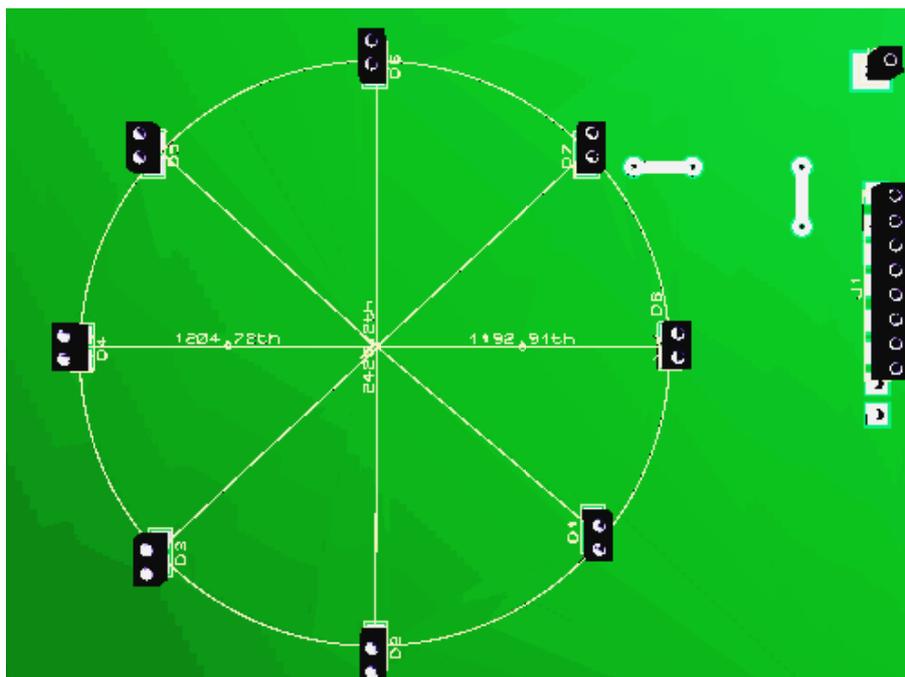


Figure IV.7 : Schéma d'implantation pour la carte du capteur

c) Soudure et circuit final :

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 les pistes.

Il faut souder en premier lieu les supports des circuits intégrés et ensuite souder les autres composantes dans l'ordre croissant de taille.

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

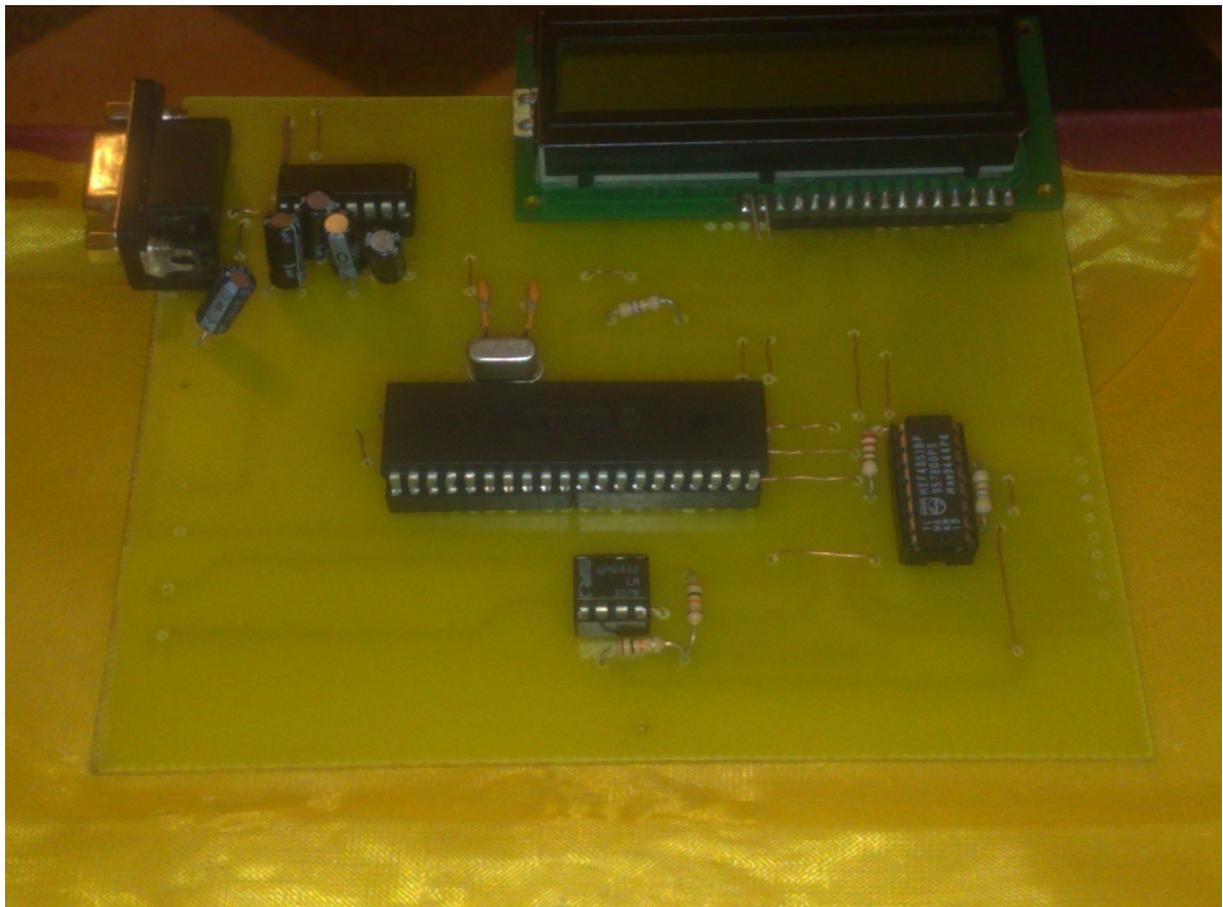


Figure IV.8 : Photo de la carte

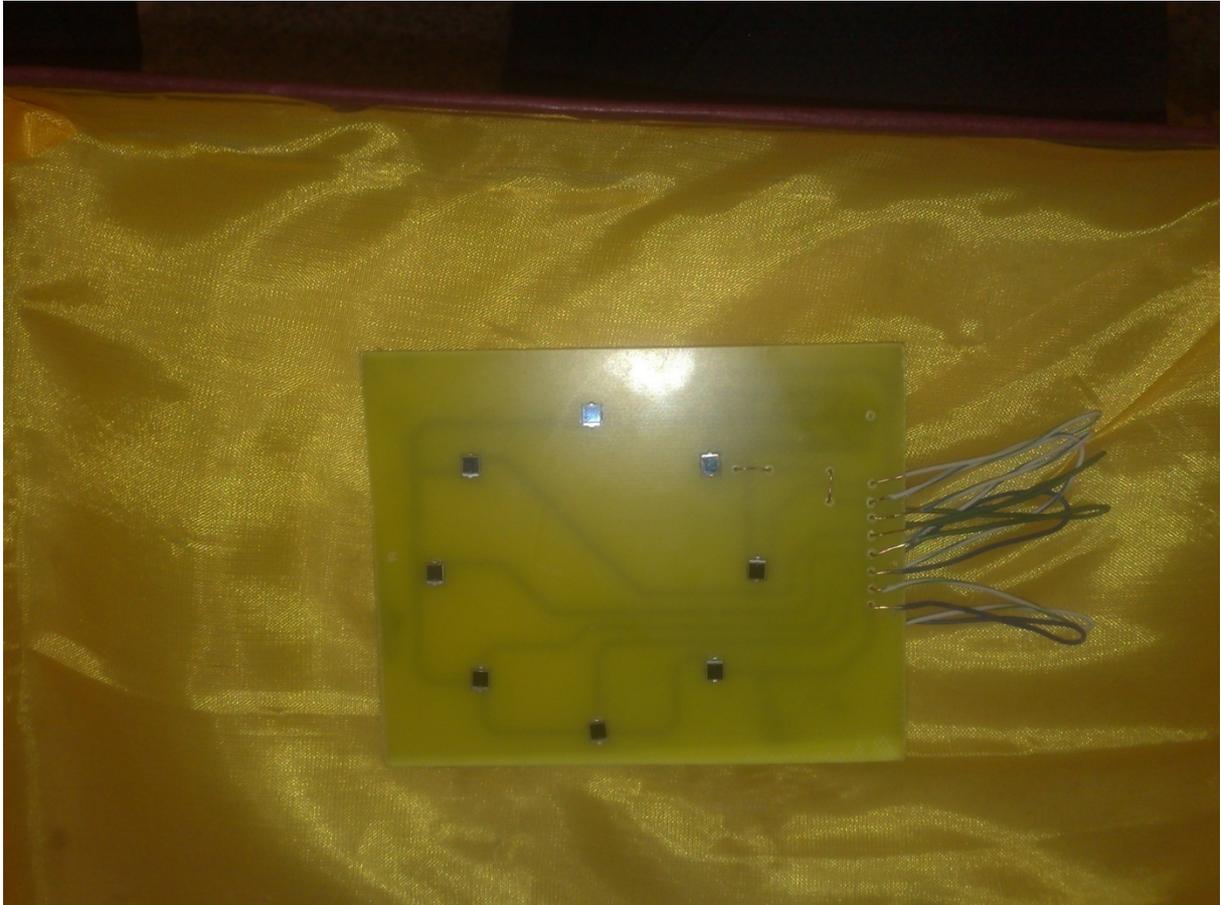


Figure IV.9 : Photo du capteur

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce travail, nous avons pu réaliser deux cartes, la première est un capteur de rayonnement solaire et la deuxième est la carte d'acquisition qui affiche les valeurs sur un afficheur LCD et les envoyer sur un PC par une liaison RS-232 pour les afficher en suite sous forme graphique.

En plus des difficultés qu'on a rencontré, nous avons acquit une expérience pratique non négligeable sur les circuits électroniques programmables et on s'est familiarisé avec des logiciels de simulation et de conception (Proteus7 Professionnel et CCS C Compiler) et surtout avec la programmation des microcontrôleurs.

Comme toute conception, il reste toujours des améliorations à lui apporter telle qu'une mémoire pour stocker les données acquises et un port USB au lieu de RS-232 pour le transfert des données vers le PC qui rendra ce système plus adapter aux nouvelles technologies.

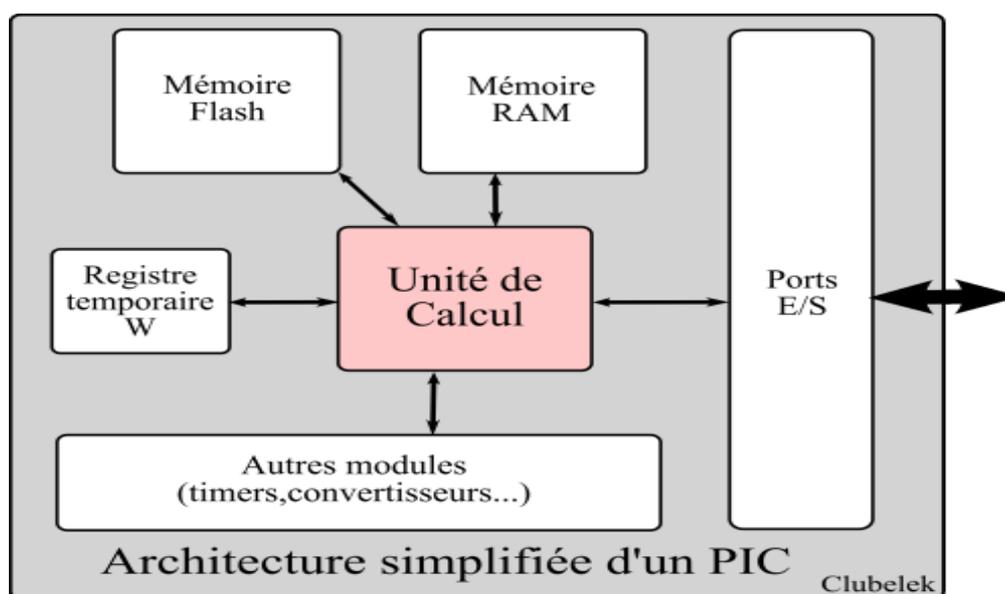
On espère bien que notre travail sera repris par les promotions à venir, et qu'il constituera un point de départ pour des travaux beaucoup plus élaborés.

ANNEXES

ANNEXE 1

Architecture interne :

Le schéma ci-dessous présente les principaux blocs fonctionnels présents à l'intérieur d'un PIC ainsi qu'une courte description. Pour un schéma plus précis, se référer au datasheet de notre PIC.



Description des blocs fonctionnels:

- **Mémoire flash** : C'est une mémoire réinscriptible qui conserve ses données lorsque le PIC n'est pas alimenté. Elle est utilisée pour stocker le programme. A chaque ligne du programme est attribuée une adresse qui permettra à l'unité de calcul de se repérer.
- **Mémoire RAM** : C'est une mémoire volatile (qui s'efface quand le PIC n'est plus alimenté). Les variables utilisées au cours du programme sont stockées à cet endroit.
- **Unité de Calcul** : C'est le cœur du microcontrôleur. Ici se déroulent toutes les opérations à une vitesse définie par la fréquence d'horloge (fréquence d'oscillation divisée par 4).
- **Registre temporaire W** : C'est ici qu'est stockée la valeur nécessaire pour une opération de l'unité de calcul.
- **Ports E/S (Entrées/Sorties)** : Ce sont les unités qui font le lien entre ce qui se passe à l'intérieur du PIC et l'extérieur.
- **Modules annexes** : Toutes les fonctions annexes (timers, comparateurs, convertisseurs analogiques/numériques ...)

ANNEXE 2

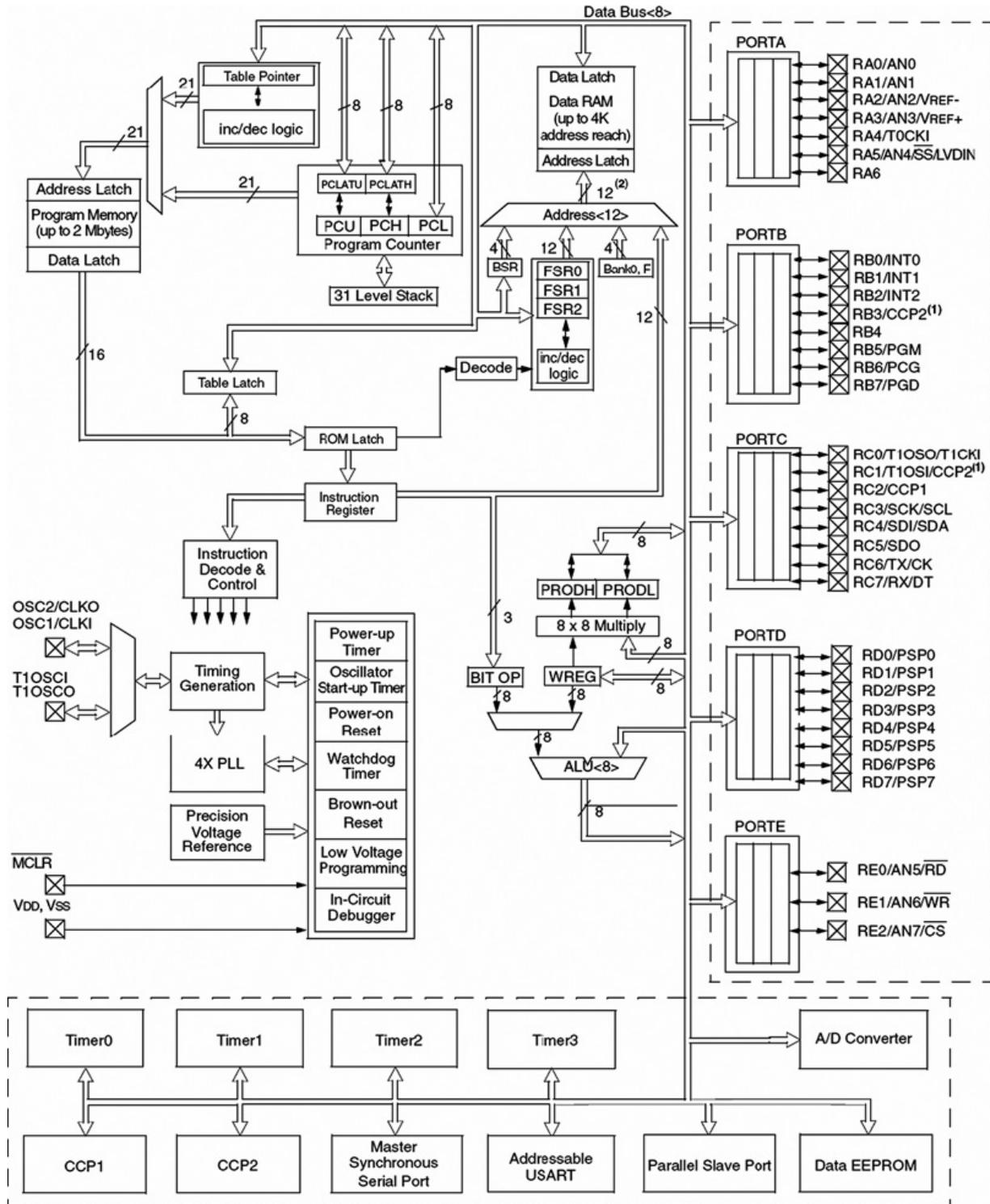


Figure 2: Block diagram of the PIC18F452 microcontroller

ANNEXE 3

Program Memory Organization:

The program memory map is shown in Figure 2.3. All PIC18F devices have a 21-bit program counter and hence are capable of addressing 2Mbytes of memory space. User memory space on the PIC18F452 microcontroller is 00000H to 7FFFH. Accessing a nonexistent memory location (8000H to 1FFFFFFH) will cause a read of all 0s. The reset vector, where the program starts after a reset, is at address 0000. Addresses 0008H and 0018H are reserved for the vectors of high-priority and low-priority interrupts respectively, and interrupt service routines must be written to start at one of these locations.

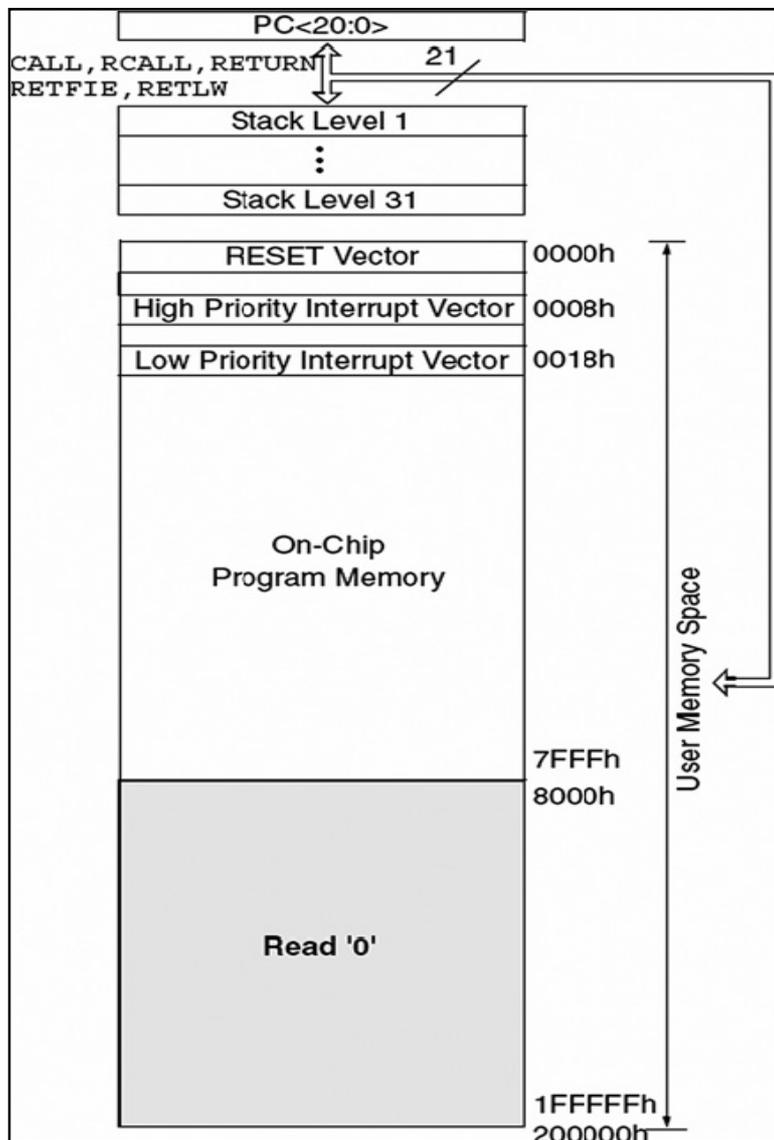


Figure 3.1: Program memory map of PIC18F452

Data Memory Organization:

The data memory map of the PIC18F452 microcontroller is shown in figure 1.2. The data memory address bus is 12 bits with the capability to address up to 4Mbytes.

The memory in general consists of sixteen banks, each of 256 bytes, where only 6 banks are used. The PIC18F452 has 1536 bytes of data memory (6 banks _ 256 bytes each) occupying the lower end of the data memory. Bank switching happens automatically when a high-level language compiler is used, and thus the user need not worry about selecting memory banks during programming.

The special function register (SFR) occupies the upper half of the top memory bank.

SFR contains registers which control operations such as peripheral devices, timers/ counters, A/D converter, interrupts, and USART. Figure 2.5 shows the SFR registers of the PIC18F452 microcontroller.

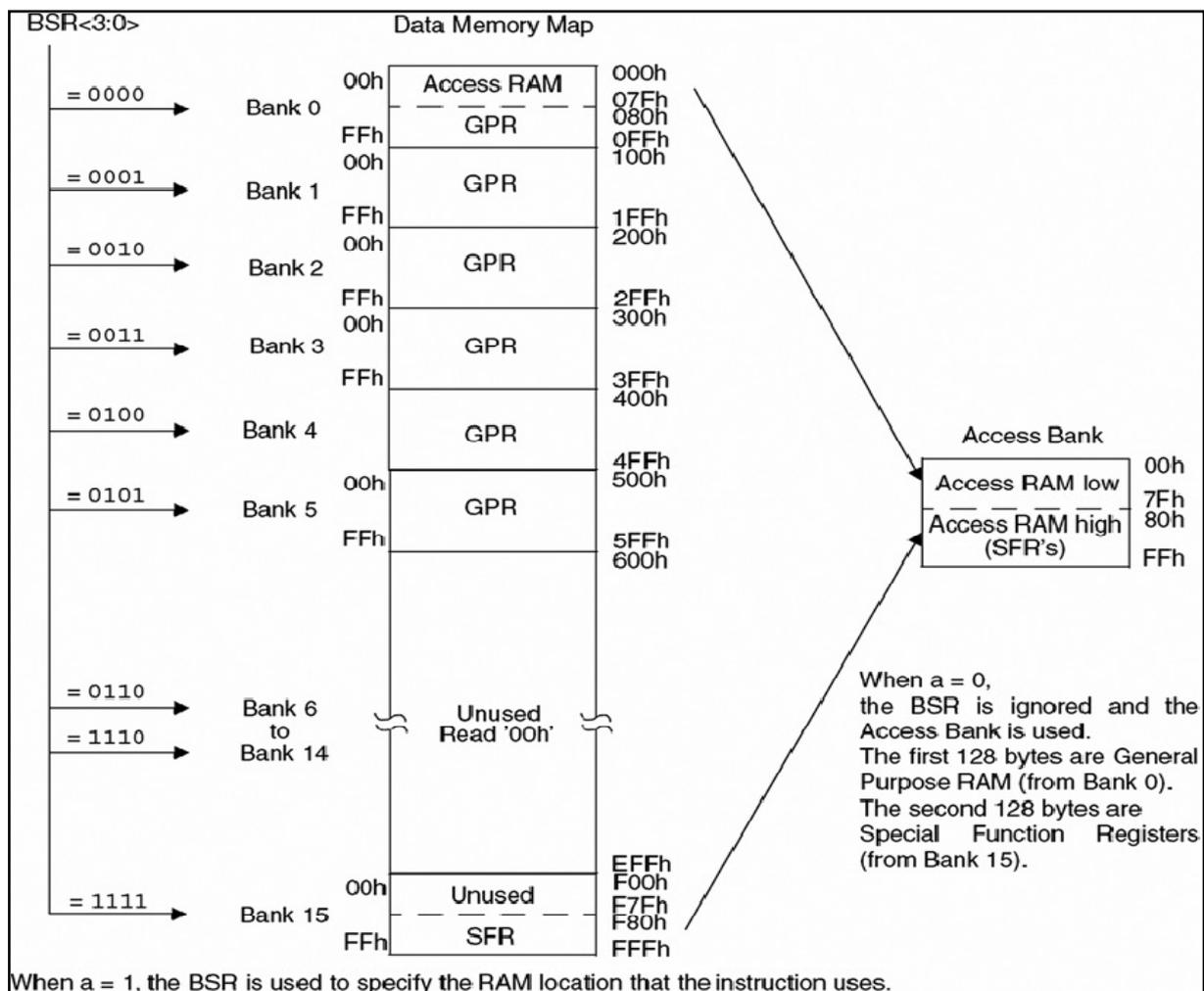


Figure 3.2: The PIC18F452 data memory map

ANNEXE 4

➤ **PORTA:**

The architecture of PORTA is shown in figure 1.3. There are three registers associated with PORTA:

- ❖ Port data register : PORTA
- ❖ Port direction register : TRISA
- ❖ Port latch register: LATA

PORTA is the name of the port data register. The TRISA register defines the direction of PORTA pins, where logic 1 in a bit position defines the pin as an input pin, and a 0 in a bit position defines it as an output pin. LATA is the output latch register which shares the same data latch as PORTA.

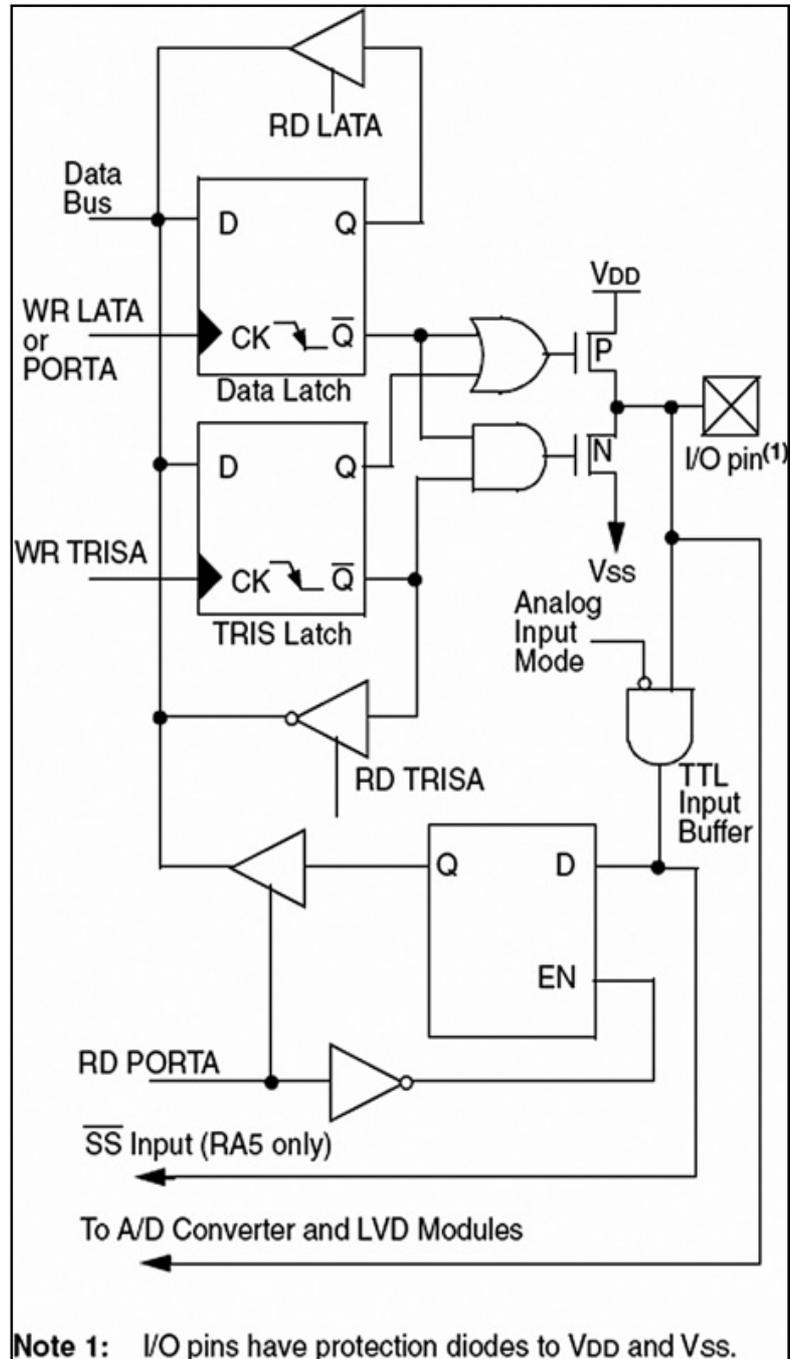


Figure 4.1: PIC18F452 PORTA RA0–RA3 and RA5 pins

➤ **PORTB:**

In PIC18F452 microcontroller PORTB is an 8-bit bidirectional port shared with interrupt pins and serial device programming pins.

PORTB is controlled by three registers:

- ❖ Port data register: PORTB
- ❖ Port direction register: TRISB
- ❖ Port latch register: LATB

The general operation of PORTB is similar to that of PORTA.

Figure 1.4 shows the architecture of PORTB.

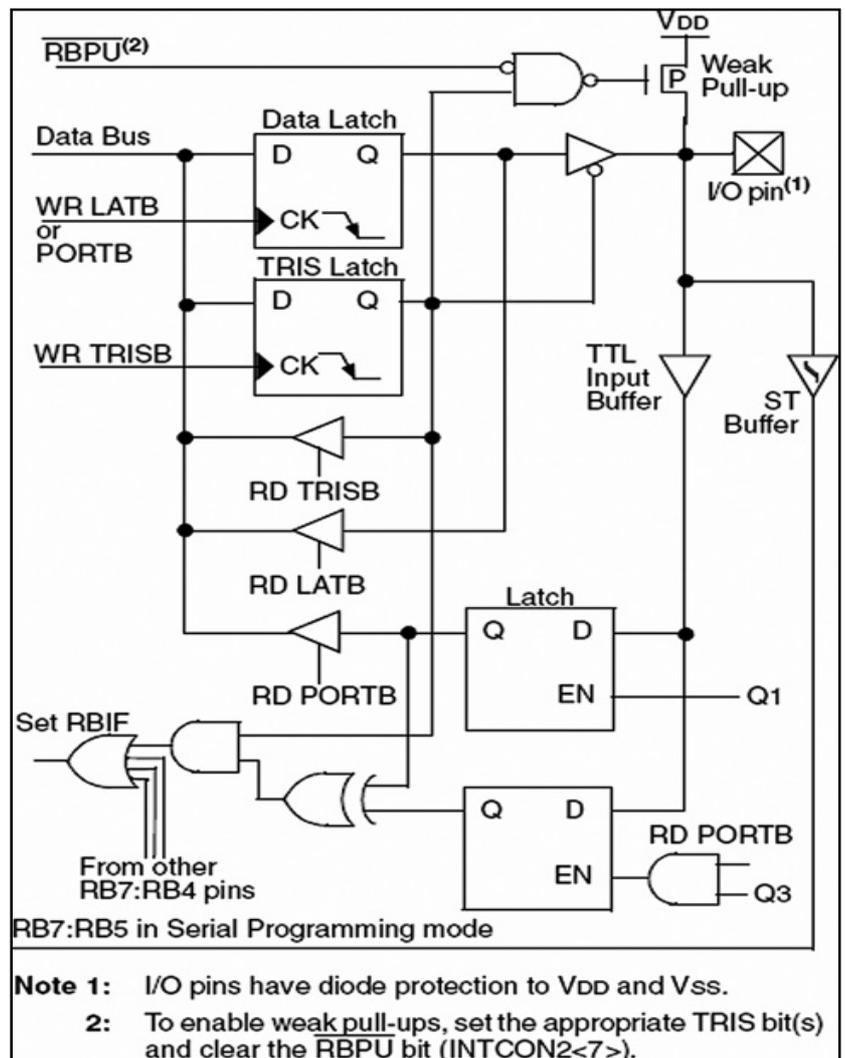


Figure 4.2: PIC18F452 PORTB RB4–RB7 pins

ANNEXE 5

The A/D converter used by the PIC18F452 microcontroller has eight channels, named AN0 – AN7, which are shared by the PORTA and PORTE pins. Figure 2.41 shows the block diagram of the A/D converter.

The A/D converter has four registers. Registers ADRESH and ADRESL store the higher and lower results of the conversion respectively. Register ADCON0, shown in Figure 2.42, controls the operation of the A/D module, such as selecting the conversion clock together with register ADCON1, selecting an input channel, starting a conversion, and powering up and shutting down the A/D converter.

Register ADCON1 (see Figure 2.43) is used for selecting the conversion format, configuring the A/D channels for analog input, selecting the reference voltage, and selecting the conversion clock together with register ADCON0.

A/D conversion starts by setting the GO/DONE bit of ADCON0. When the conversion is complete, the 2 bits of the converted data is written into register ADRESH, and the remaining 8 bits are written into register ADRESL. At the same time the GO/DONE bit is cleared to indicate the end of conversion. If required, interrupts can be enabled so that a software interrupt is generated when the conversion is complete.

	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
bit 7-6	ADCS1:ADCS0: A/D Conversion Clock Select bits (ADCON0 bits in bold)							
	ADCON1 <ADCS2>	ADCON0 <ADCS1:ADCS0>	Clock Conversion					
	0	00	Fosc/2					
	0	01	Fosc/8					
	0	10	Fosc/32					
	0	11	FRC (clock derived from the internal A/D RC oscillator)					
	1	00	Fosc/4					
	1	01	Fosc/16					
	1	10	Fosc/64					
	1	11	FRC (clock derived from the internal A/D RC oscillator)					
bit 5-3	CHS2:CHS0: Analog Channel Select bits							
	000 = channel 0, (AN0)							
	001 = channel 1, (AN1)							
	010 = channel 2, (AN2)							
	011 = channel 3, (AN3)							
	100 = channel 4, (AN4)							
	101 = channel 5, (AN5)							
	110 = channel 6, (AN6)							
	111 = channel 7, (AN7)							
	Note: The PIC18F2X2 devices do not implement the full 8 A/D channels; the unimplemented selections are reserved. Do not select any unimplemented channel.							
bit 2	GO/DONE: A/D Conversion Status bit							
	<u>When ADON = 1:</u>							
	1 = A/D conversion in progress (setting this bit starts the A/D conversion which is automatically cleared by hardware when the A/D conversion is complete)							
	0 = A/D conversion not in progress							
bit 1	Unimplemented: Read as '0'							
bit 0	ADON: A/D On bit							
	1 = A/D converter module is powered up							
	0 = A/D converter module is shut-off and consumes no operating current							

Figure 5.1: register ADCON0

ANNEXES

	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0				
	ADFM	ADCS2	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0				
	bit 7								bit 0			
bit 7	ADFM: A/D Result Format Select bit 1 = Right justified. Six (6) Most Significant bits of ADRESH are read as '0'. 0 = Left justified. Six (6) Least Significant bits of ADRESL are read as '0'.											
bit 6	ADCS2: A/D Conversion Clock Select bit (ADCON1 bits in bold)											
	ADCON1 <ADCS2>	ADCON0 <ADCS1:ADCS0>		Clock Conversion								
	0	00		Fosc/2								
	0	01		Fosc/8								
	0	10		Fosc/32								
	0	11		FRC (clock derived from the internal A/D RC oscillator)								
	1	00		Fosc/4								
	1	01		Fosc/16								
	1	10		Fosc/64								
	1	11		FRC (clock derived from the internal A/D RC oscillator)								
bit 5-4	Unimplemented: Read as '0'											
bit 3-0	PCFG3:PCFG0: A/D Port Configuration Control bits											
	PCFG <3:0>	AN7	AN6	AN5	AN4	AN3	AN2	AN1	AN0	VREF+	VREF-	C / R
	0000	A	A	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	8 / 0
	0001	A	A	A	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	7 / 1
	0010	D	D	D	A	A	A	A	A	VDD	VSS	5 / 0
	0011	D	D	D	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	4 / 1
	0100	D	D	D	D	A	D	A	A	VDD	VSS	3 / 0
	0101	D	D	D	D	VREF+	D	A	A	AN3	VSS	2 / 1
	011x	D	D	D	D	D	D	D	D	—	—	0 / 0
	1000	A	A	A	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	6 / 2
	1001	D	D	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	6 / 0
	1010	D	D	A	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	5 / 1
	1011	D	D	A	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	4 / 2
	1100	D	D	D	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	3 / 2
	1101	D	D	D	D	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	2 / 2
	1110	D	D	D	D	D	D	D	A	VDD	VSS	1 / 0
	1111	D	D	D	D	VREF+	VREF-	D	A	AN3	AN2	1 / 2
	A = Analog input D = Digital I/O											

Figure 5.2: register ADCON1

The steps in carrying out an A/D conversion are as follows:

- Use ADCON1 to configure required channels as analog and configure the reference voltage.
- Set the TRISA or TRISE bits so the required channel is an input port.
- Use ADCON0 to select the required analog input channel.
- Use ADCON0 and ADCON1 to select the conversion clock.
- Use ADCON0 to turn on the A/D module.
- Configure the A/D interrupt (if desired).
- Set the GO/DONE bit to start conversion.
- Wait until the GO/DONE bit is cleared, or until a conversion complete interrupt is generated.
- Read the converted data from ADRESH and ADRESL.
- Repeat these steps as required.

For correct A/D conversion, the A/D conversion clock must be selected to ensure a minimum bit conversion time of 1.6ms. Table 2.11 gives the recommended A/D clock sources for various microcontroller operating frequencies. For example, if the microcontroller is operated from a 10MHz clock, the A/D clock source should be FOSC/16 or higher (e.g., FOSC/32).

ANNEXE 6

Le temps d'acquisition

C'est le temps qu'il faut pour que le condensateur interne atteigne une tension proche de la tension à convertir. Cette charge s'effectue à travers une résistance interne et la résistance de la source connectée à la pin.

Ce temps est incrémenté du temps de réaction des circuits internes, et d'un temps qui dépend de la température (coefficient de température). Il faut savoir en effet que les résistances augmentent avec la température, donc les temps de réaction des circuits également.

Si on pose :

T_{acq} = temps d'acquisition total

T_{amp} = temps de réaction des circuits

T_c = temps de charge du condensateur

T_{coff} = temps qui dépend du coefficient de température.

La formule est donc :

$$\mathbf{T_{acq} = T_{amp} + T_c + T_{coff}}$$

Le temps de réaction T_{amp} est typiquement de $2\mu s$, pas donc de problème à ce niveau:

$$\mathbf{T_{amp} = 2\mu s}$$

Pour le coefficient de température, il n'est nécessaire que pour les températures supérieures à $25^\circ C$. Dans les autres cas, il n'entre pas en compte. Ce coefficient est typiquement de $0,05 \mu s$ par $^\circ C$ qui est supérieur à $25^\circ C$. Il s'agit bien entendu de la t° du PIC®, et non de la température ambiante.

Donc, ce temps T_{coff} sera au minimum de $0 \mu s$ (à moins de $25^\circ C$) et au maximum de $(50-25)*0.05$, soit $1,25 \mu s$. La t° du PIC® ne pouvant pas, en effet, excéder $50^\circ C$.

$$\mathbf{0 \leq T_{coff} \leq 1,25\mu s}$$

Première constatation, si on veut bénéficier d'une fréquence maximale, on doit maintenir le PIC® sous $25^\circ C$.

ANNEXES

Reste le temps de charge. Ce temps de charge dépend de la résistance placée en série avec le condensateur. En fait, il y a 2 résistances, celle de votre source de signal, et celle à l'intérieur du PIC®.

Il est recommandé que la résistance de votre source reste inférieure à 10KOhms.

Celle interne au PIC® est directement liée à la tension d'alimentation. Plus la tension baisse, plus la résistance est élevée, donc plus le temps de chargement est long.

Donc, de nouveau, pour obtenir de hautes vitesses, il vous faudra alimenter le PIC® avec la tension maximale supportée, soit 5,5V à l'heure actuelle pour le 18F452.

La résistance interne totale (composée de 2 résistances internes) varie de 6Kohms à 5,5V pour arriver à 12Kohms sous 2V, en passant par 8Kohms sous 5V.

De plus, comme la charge du condensateur dépend également de la résistance de la source du signal, pour augmenter notre vitesse, nous devons également utiliser une source de signal présentant la plus faible impédance (résistance) possible.

Sachant que le condensateur interne à une valeur de 150pF pour les versions actuelles de PIC® (18F452), les formules données pour le calcul du temps de chargement d'un condensateur restant valables, la formule du temps de charge du condensateur est :

$$T_c = -C * (R_{interne} + R_{source}) * \ln (1/2047)$$

Le 2047 provient de ce que pour numériser avec une précision de ½ bit, la numérisation utilisant une valeur maximale de 1023, la charge du condensateur doit être au minimum de $2046/2047^{\text{ème}}$ de la tension à mesurer.

Comme « C » est fixe et « $\ln (1/2047)$ » également, on va calculer la constante une fois pour toutes :

$$-C * \ln (1/2047) = 0,914895 * 10^{-9}$$

La formule devient donc :

$$T_c = 0,914895 * 10^{-9} * (R_{interne} + R_{source})$$

Si on se place dans le cas le plus défavorable (tension de 2V, et résistance source = 10Kohms), notre temps de chargement est de :

$$T_c = 0,914895 * 10^{-9} * (10 * 10^3 + 12 * 10^3)$$

ANNEXES

⇒ **Tc maximal = 20,12 μs**

Maintenant le cas le plus favorable (tension de 6V, et résistance source négligeable) :

$$\mathbf{Tc = 0,914895 * 10^{-9} * (0 * 10^3 + 6 * 10^3)}$$

⇒ **Tc minimal : 5,03 μs.**

Si, maintenant, nous prenons un cas typique, à savoir une tension d'alimentation de 5V et une résistance de source de 10 KOhms, nous aurons :

$$\mathbf{Tc = 0,914895 * 10^{-9} * (10 * 10^3 + 8 * 10^3)}$$

⇒ **Tc typique = 16,46 μs.**

Nous allons maintenant calculez les temps minimum, maximum, et typique du temps total d'acquisition Tacq.

Le cas le plus défavorable est : une température de 50°C et un Tc maximal, ce qui nous donne : **Tacq = Tamp + Tac + Tcoff**

$$\mathbf{Tacq\ maximum = 2\mu s + 20,12\mu s + 1,25\mu s = 23,37\ \mu s}$$

Le cas le plus favorable, une température inférieure ou égale à 25°C et un Tc minimal, nous donne : **Tacq minimum = 2μs + 5,03μs = 7,03 μs.**

Maintenant, pour nos utilisations classiques, sous 5V, nous aurons dans le pire des cas : **Tacq (sous 5V) = 2μs + 16,46μs + 1,25μs = 19,71μs.**

Donc, nous prendrons un Tacq de 20μs pour notre PIC® alimentée sous 5V. Mais on doit se rappeler que si on travaille sous une tension différente, il faudra adapter ces valeurs.

Il faut à présent préciser que le PIC® nécessite un temps *Tad avant le démarrage* effectif de la conversion, et un temps supplémentaire *Tad à la fin de la conversion*. Donc, le temps total de conversion est de :

- *Tad* : avant le début de conversion (le temps de connexion du condensateur est inclus)
- $10 * Tad$ pour la conversion des 10 bits du résultat
- *Tad* supplémentaire pour la fin de la conversion de b0

Soit, au total, un temps de $12 Tad$, soit dans le meilleur des cas, un temps de :

$$\mathbf{12 * 1,6\mu s = 19,2\mu s.}$$

ANNEXES

Notons qu'un temps équivalent à $2 * T_{ad}$ est nécessaire avant de pouvoir effectuer une nouvelle conversion.

Enfin, le temps nécessaire pour effectuer l'ensemble des opérations :

- ✓ *Charger le condensateur interne pendant un temps qui dure T_{acq}*
- ✓ *Effectuer la conversion pendant un temps de $(12 * T_{ad})$*
- ✓ *Attendre $(2 * T_{ad})$ avant de pouvoir recommencer une autre conversion*

ANNEXE 7



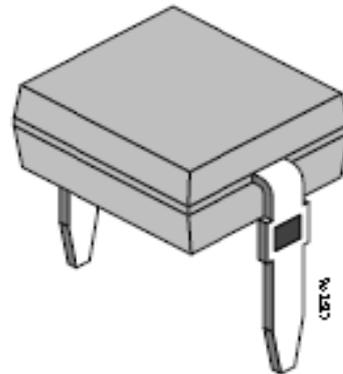
BPW34

Vishay Semiconductors

Silicon PIN Photodiode

Description

The BPW34 is a high speed and high sensitive PIN photodiode in a miniature flat plastic package. Its top view construction makes it ideal as a low cost replacement of TO-5 devices in many applications. Due to its waterclear epoxy the device is sensitive to visible and infrared radiation. The large active area combined with a flat case gives a high sensitivity at a wide viewing angle.



Features

- Large radiant sensitive area ($A = 7.5 \text{ mm}^2$)
- Wide angle of half sensitivity $\varphi = \pm 65^\circ$
- High photo sensitivity
- Fast response times
- Small junction capacitance
- Suitable for visible and near infrared radiation

Applications

High speed photo detector

Absolute Maximum Ratings

$T_{amb} = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Test Conditions	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage		V_R	60	V
Power Dissipation	$T_{amb} = 25^\circ\text{C}$	P_V	215	mW
Junction Temperature		T_j	100	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range		T_{stg}	-55...+100	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature	$t = 3 \text{ s}$	T_{sd}	260	$^\circ\text{C}$
Thermal Resistance Junction/Ambient		$R_{th(j-a)}$	350	K/W

BPW34

Vis hay Semiconductors



Basic Characteristics

T_{amb} = 25 °C

Parameter	Test Conditions	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Breakdown Voltage	I _R = 100 μA, E = 0	V _(BR)	60			V
Reverse Dark Current	V _R = 10 V, E = 0	I _{ro}		2	30	nA
Diode Capacitance	V _R = 0 V, f = 1 MHz, E = 0	C _D		70		pF
	V _R = 3 V, f = 1 MHz, E = 0	C _D		25	40	pF
Open Circuit Voltage	E _e = 1 mW/cm ² , λ = 950 nm	V _o		350		mV
Temp. Coefficient of V _o	E _e = 1 mW/cm ² , λ = 950 nm	TK _{V_o}		-2.6		mV/K
Short Circuit Current	E _A = 1 klx	k		70		μA
	E _e = 1 mW/cm ² , λ = 950 nm	k		47		μA
Temp. Coefficient of I _k	E _e = 1 mW/cm ² , λ = 950 nm	TK _k		0.1		%/K
Reverse Light Current	E _A = 1 klx, V _R = 5 V	I _{rs}		75		μA
	E _e = 1 mW/cm ² , λ = 950 nm, V _R = 5 V	I _{rs}	40	50		μA
Angle of Half Sensitivity		ψ		±65		deg
Wavelength of Peak Sensitivity		λ _p		900		nm
Range of Spectral Bandwidth		λ _{0.5}		600...1050		nm
Noise Equivalent Power	V _R = 10 V, λ = 950 nm	NEP		4x10 ⁻¹⁴		W/√Hz
Rise Time	V _R = 10 V, R _L = 1k Ω, λ = 820 nm	t _r		100		ns
Fall Time	V _R = 10 V, R _L = 1k Ω, λ = 820 nm	t _f		100		ns

Typical Characteristics (T_{amb} = 25 °C unless otherwise specified)

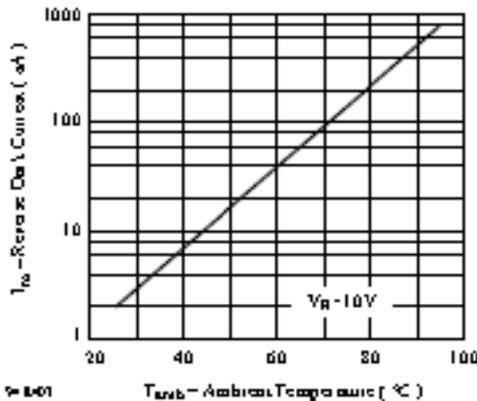


Figure 1. Reverse Dark Current vs. Ambient Temperature

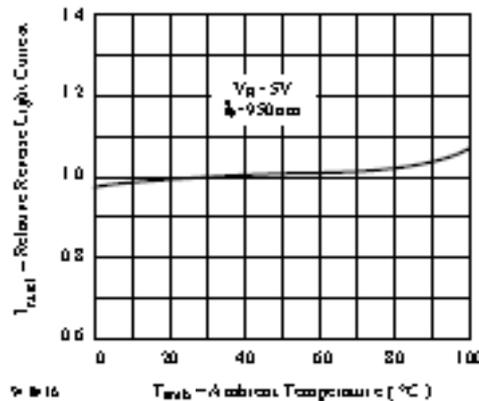


Figure 2. Relative Reverse Light Current vs. Ambient Temperature

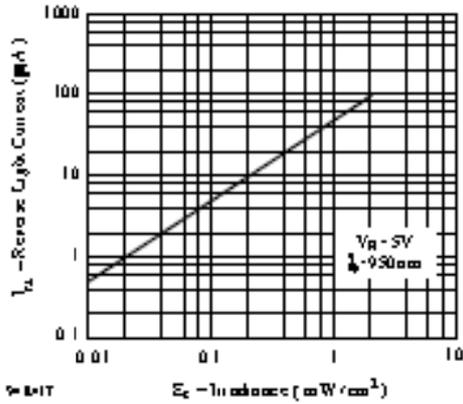


Figure 3. Reverse Light Current vs. Irradiance

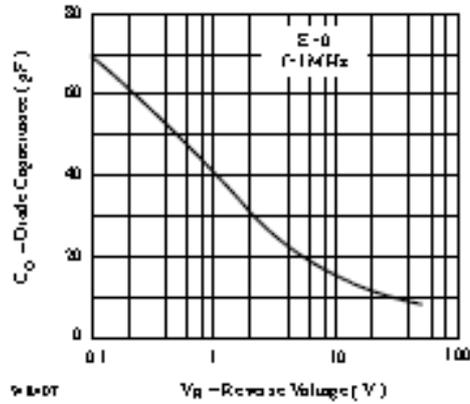


Figure 6. Diode Capacitance vs. Reverse Voltage

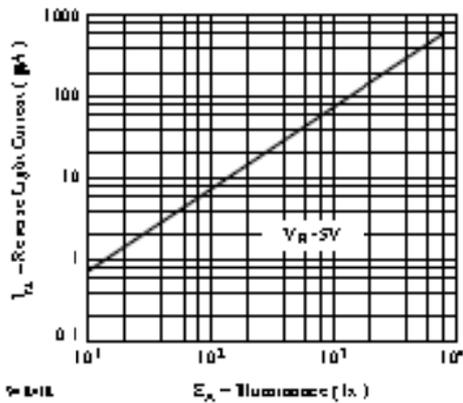


Figure 4. Reverse Light Current vs. Illuminance

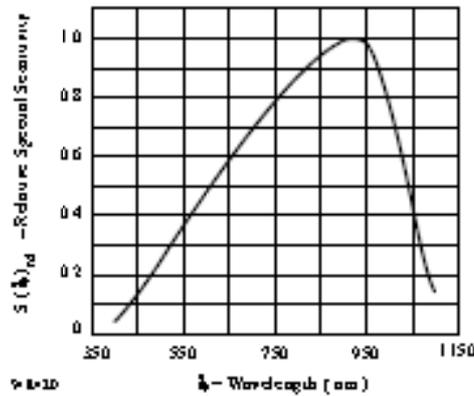


Figure 7. Relative Spectral Sensitivity vs. Wavelength

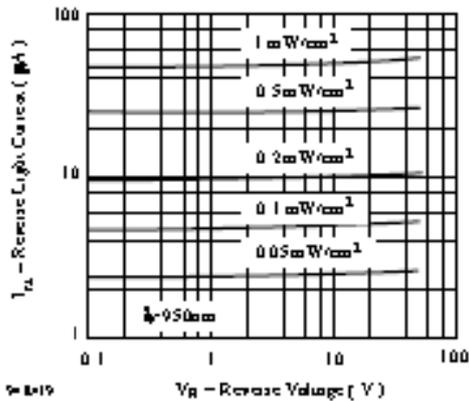


Figure 5. Reverse Light Current vs. Reverse Voltage

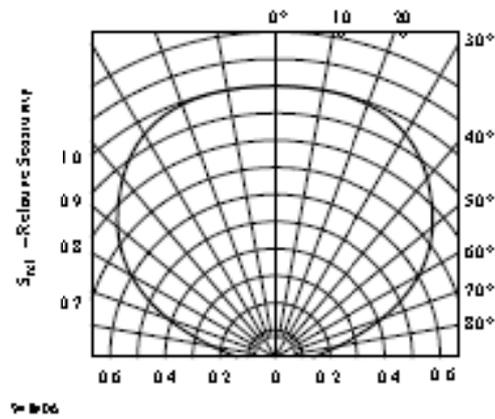


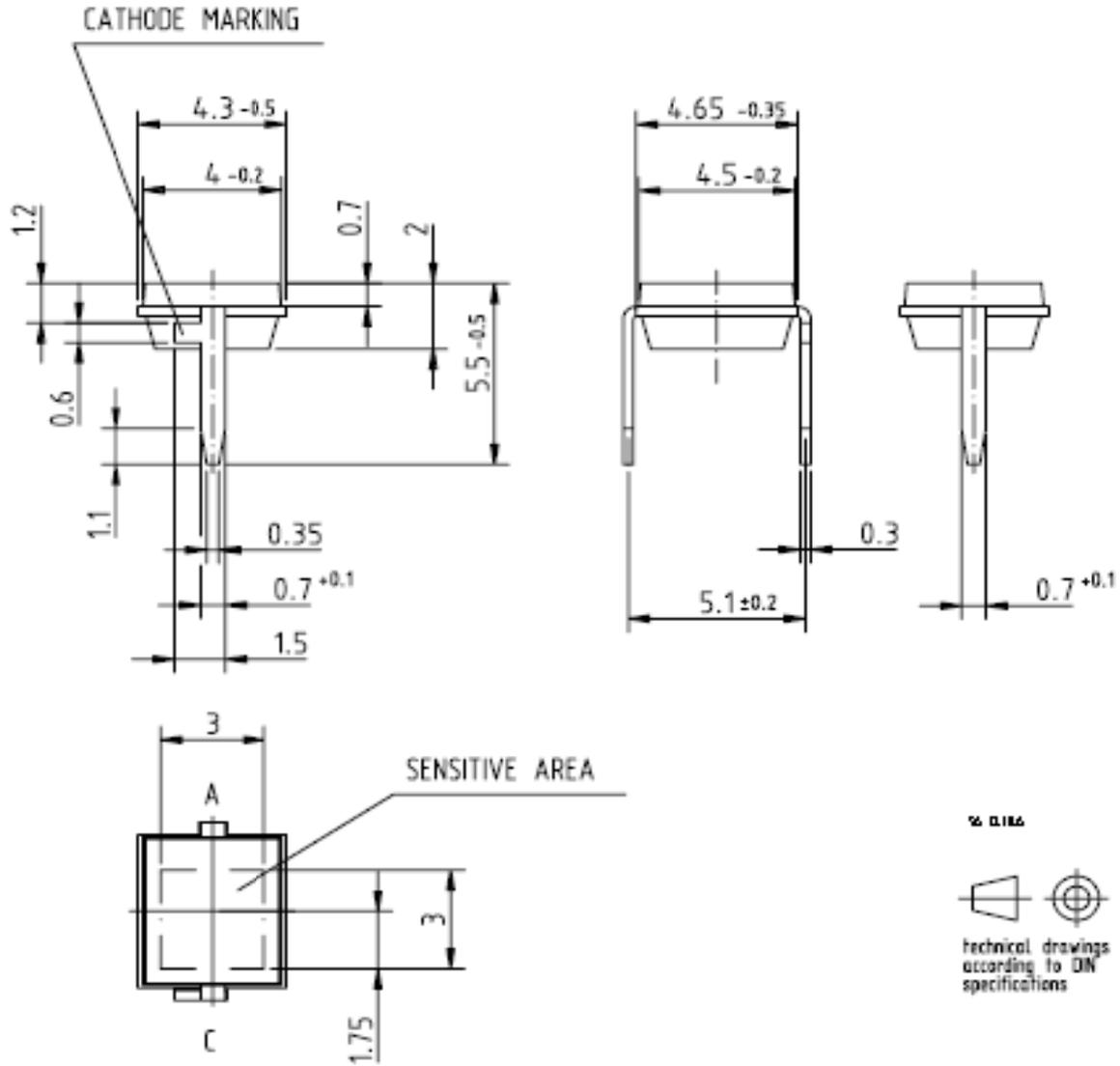
Figure 8. Relative Radiant Sensitivity vs. Angular Displacement

BPW34

Vishay Semiconductors



Dimensions in mm



ANNEXE 8

////////////////////////////////////configuration des fonctions////////////////////////////////////

```
text ()
{
    lcd_putc ('\f');
    lcd_gotoxy (6, 1);
    lcd_putc ("UMMTO");
    delay_ms (3000);
    lcd_putc ('\f');
}
```

```
lir_v1 ()
{
    output_c (0b00000000);
    set_adc_channel (0);
}
```

```
lir_v2 ()
{
    output_c (0b00000001);
    set_adc_channel (0);
}
```

```
lir_v3 ()
{
    output_c (0b00000010);
    set_adc_channel (0);
}
```

```
lir_v4 ()
{
    output_c (0b00000011);
    set_adc_channel (0);
}
```

```
lir_v5 ()
{
    output_c (0b00000100);
    set_adc_channel (0);
}
```

ANNEXES

```
lir_v6 ()
{
    output_c (0b00000101);
    set_adc_channel (0);
}
```

```
lir_v7 ()
{
    output_c (0b00000110);
    set_adc_channel (0);
}
```

```
lir_v8 ()
{
    output_c (0b00000111);
    set_adc_channel (0);
}
```

//////////////////////////////////// Le programme principale //////////////////////////////////////

```
#include "C:\Documents and Settings\Administrateur\Bureau\8photodiode18f452\prog-photodiopdes.h"
```

```
#include "flex_lcd.c"           //inclure le programme de configuration de l'afficheur
```

```
#include "fonctions.c"         //inclure le programme des fonctions
```

```
#use delay (clock=8000000)      // Quartz de 8 MHz
```

```
#use rs232 (BAUD=9600, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7) // Cette ligne configure la liaison série du PIC
```

```
int a=0;
```

```
float v=0;
```

```
void main ()
```

```
{
```

```
    Setup_adc_ports(AN0);           //sélectionner la broche analogique
```

```
    Setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_64);    //sélectionner le temps de la conversion
```

```
    Lcd_init ();                    //initialiser l'afficheur LCD
```

```
    text ();                          //afficher texte
```

debut:

```
lir_v1 (); //Fonction personnalisée pour sélectionner la première adresse.
a=read_adc (); //Lire le résultat de la conversion
v= (5.00*a)/255.00; //Formule pour obtenir le résultat analogique
Lcd_gotoxy(6,1); //Sélectionner l'emplacement d'affichage sur LCD
printf (lcd_putc,"v1=%f", v) ; //afficher le résultat
printf ("%f ", v) ; //envoyer le résultat par RS232
delay_ms (1500); //attente
```

```
lir_v2 ();
a=read_adc ();
v= (5.00*a)/255.00;
lcd_gotoxy (6, 2);
printf (lcd_putc"v2=%f", v);
printf ("%f ", v);
delay_ms (2000);
lcd_putc ("\f");
```

```
lir_v3 ();
a=read_adc ();
v= (5.00*a)/255.00;
lcd_gotoxy (6, 1);
printf (lcd_putc"v3=%f", v);
printf ("%f ", v);
delay_ms (1500);
```

```
lir_v4 ();
a=read_adc ();
v= (5.00*a)/255.00;
lcd_gotoxy (6, 2);
printf (lcd_putc"v4=%f", v);
printf ("%f ", v);
delay_ms (2000);
lcd_putc ("\f");
```

```
lir_v5 ();
a=read_adc ();
v= (5.00*a)/255.00;
lcd_gotoxy (6, 1);
printf (lcd_putc,"v5=%f ", v);
printf ("%f ", v);
delay_ms (1500);
```

```
lir_v6 ();
a=read_adc ();
v= (5.00*a)/255.00;
lcd_gotoxy (6, 2);
printf (lcd_putc,"v6=%f ", v);
printf ("%f ", v);
delay_ms (2000);
lcd_putc ('\f');

lir_v7 ();
a=read_adc ();
v= (5.00*a)/255.00;
lcd_gotoxy (6, 1);
printf (lcd_putc,"v7=%f ", v);
printf ("%f ", v);
delay_ms (1500);

lir_v8 ();
a=read_adc ();
v= (5.00*a)/255.00;
lcd_gotoxy (6, 2);
printf (lcd_putc,"v8=%f ", v);
printf ("%f ", v);
delay_ms (2000);
delay_ms (5000);
lcd_putc ('\f');

goto debut;      //revenir au début

}
```

Bibliographie

- [1] : Guide de l'énergie solaire passive. Mazria
- [2]: sitelec.org/themes/domo/photoresistance.pdf
- [3] : (Physique appliquée) <http://cbissprof.free.fr>
- [4] : lycees.acrouen.fr/maupassant/site2/IMG/ppt/EffetPhotovoltaique.ppt
- [5] : <http://www.abcelectronique.com/bigonoff> , LA PROGRAMMATION DES PIC® PAR BIGONOFF, PREMIERE PARTIE – Révision 28, DEMARRER LES PIC® AVEC LE PIC16F84
- [6]: Advanced PIC Microcontroller Projects in C, From USB to ZIGBEE with the PIC 18F Series, Dogan Ibrahim
- [7]: <http://www.abcelectronique.com/bigonoff> , LA PROGRAMMATION DES PIC® PAR BIGONOFF, SECONDE PARTIE – Révision 17, LA GAMME MID-RANGE PAR L'ETUDE DES 16F87X (16F876-16F877)
- [8]: Cours PIC 18Fxx2.pdf, PIC18Fxx2 V1.0, PIC18Fxx2 – ressources
- [9] : Rapport de pompage.zip
- [10] : capteursB0-2.pdf, Chapitre 2, Principes généraux des capteurs, François Lepoutre