

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de La Recherche Scientifique

13/03

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

**Département Electronique
Projet de Fin d'Etudes**

en vue de l'Obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat
en Electronique

Thème

**Etude et réalisation d'un
mesureur d'irradiations solaire
à base d'un microcontrôleur
PIC 16F84**

Proposé et Dirigé par :

M.HADDADI

C.LARBES

Maîtres de conférences

Présenté par :

MOKHFI Omar

BENBEDJA Salim

Promotion : Septembre 2003

يتم قياس الإشعاعات الشمسية بواسطة وسائل متعددة حسب طبيعة الإشعاع نجد منها: الهيليوغراف، البيرانومتر و البيريليوغراف.

تهدف الدراسة التي قمنا بها إلى إنجاز بطاقة الكترونية تقوم بقياس الإشعاعات الشمسية اعتمادا على المعالج الدقيق (PIC16F84)

في الحقيقة هذه البطاقة تقوم بقياس التيار الكهربائي لقصر الدارة بين طرفي خلية ضوئية لأن هذا التيار متناسب طردا معه الإشعاعات الشمسية.

الكلمات المفتاحية: الإشعاعات الشمسية، المعالج الدقيق 16f84، خلية ضوئية

Résumé :

Le mesure de rayonnement solaire est effectué par des instruments spécifiques selon sa nature on trouve : l'héliographe, le pyranomètre, le pyréliomètre.

Le but de cette étude, consiste a réaliser une carte électronique sert a mesuré l'irradiations solaire à base d'un microcontrôleur PIC 16F84.

En réalité cette carte mesure le courant de court circuit à la borne d'une cellule solaire, par ce que ce courant est proportionnel avec l'irradiation solaire.

Mots clés : irradiations solaires, microcontrôleur PIC 16F84, cellule solaire

Abstract :

The measure of solar radiation is effect by specific instrument like the heliograph, pyranometer pyreliometer.

The aim of this study is to realize an electronic card with microcontrolor PIC 16F84 used to measure the solar radiation.

In reality this card measure the current of short circuit between the borns of the solar cell, this current is proportional with the solar radiation.

Key Word: solar radiation, microcontrolor16F84, solar cell

Remerciement

*E*n premier, nous exprimons notre profonde gratitude à nos promoteurs, Mr HADDADI et Mr LARBES pour ses conseils judicieux, son suivi attentif et sa confiance qui nous a été très précieuse, de plus nous tenons à les remercier pour nous avoir assuré l'encadrement et la documentation nécessaire pour l'élaboration de ce mémoire.

Nos remerciements à l'ensemble des enseignants et les membres du personnel de notre Département pour leurs aides et leur disponibilité tout au long de notre cursus à l'ENP.

Enfin, nous remercions toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Sommaire



Introduction générale	1
Chapitre I	2
L'énergie solaire	2
I.1 introduction	2
I.2 le rayonnement solaire	2
I.2.1 les différents types de rayonnement solaire	4
I.2.2 les instruments de mesure du rayonnement solaire	4
I.2.2.1 l'héliographe	4
I.2.2.2 le pyranomètre	5
I.2.2.3 le pyréliomètre	6
I.3 technique de conversion photovoltaïque	7
I.3.1 conversion photon-électron	7
I.3.1.1 interaction rayonnement matière	7
I.3.1.2 notion de paire électron trou	8
I.3.2 absorption du rayonnement solaire	9
I.4. conclusion	10
Chapitre II	
Les systèmes d'acquisition de données	11
II.1 Généralités	11
II.1.1 Introduction	11
II.1.2 définition	11
II.1.3 les éléments d'un système d'acquisition de données	12
II.1.3.1 les capteurs	14
II.1.3.2 échantillonneur bloqueur	14
II.1.3.3 amplificateur programmable	14
II.1.3.4 la conversion analogique numérique	14
II.1.3.5 la zone de stockage	15
II.1.3.6 interface de carte d'acquisition	15
II.1.4 acquisition de plusieurs données	16
II.1.4.1 acquisition séquentielle décalée	16
II.1.4.2 acquisition séquentielle simultanée	17
II.1.4.3 acquisition parallèle	17
II.2 les applications des systèmes d'acquisition de données	18
II.3. les enregistreurs de données (data logger)	18
II.3.1 introduction	18
II.3.2 définition	18
II.3.3 utilisation des data loggers	19
II.3.4 les différents types de data loggers	19
II.4 conclusion	20
Chapitre III	
Principe du système réalisé	21
III.1 introduction	21
III.2. les capteurs de rayonnement	21
III.2.1 définition	22
III.2.2 principaux types de photo détecteurs	22
III.3 le microcontrôleur 16F84	29
III.3.1 présentation générale	31
III.3.2 organisation interne du pic 16F84	32
III.3.3 les avantages de 16F84	38

III.3.4 les inconvénients.....	38
III.4 le convertisseur analogique numérique l'ADC804.....	39
III.5 la mémoire 24C16.....	41
III.6 conclusion.....	44
Chapitre IV	
Description de la réalisation	46
IV.1 Introduction.....	46
IV.2 système électronique.....	48
IV.3 bloc d'amplification.....	49
IV.4 bloc de traitement.....	59
IV.5 bloc d'affichage et de stockage.....	60
IV.5.1 l'affichage.....	61
IV.5.2 le stockage.....	62
IV.5.3 l'interface PC.....	63
IV.6 circuits électroniques réalisés.....	64
IV.7 logiciel réalisé.....	68
IV.7.2 l'organigramme.....	69
IV.8 le cahier des charges.....	70
Conclusion générale	71
Bibliographie	72
Annexe A	73
Annexe B	80

Introduction générale :

L'énergie solaire qui atteint chaque année la surface de la terre est d'environ $1.56 \cdot 10^{18}$ KWh, soit 15000 fois la consommation mondiale actuelle de l'énergie primaire. La source principale de cette énergie est le rayonnement engendré par le soleil. La mesure de ce rayonnement est effectuée à l'aide d'instruments spécifiques à chaque type de rayonnement direct, diffus, et global : le pyranomètre, le pyréliomètre, et l'héliographe.

Notre travail consiste à réaliser une carte électronique destinée à mesurer les irradiations solaires globales. En réalité cette carte mesure le courant de court-circuit d'une cellule solaire, par ce qu'il existe une relation linéaire directe entre les irradiations solaires et le courant de court-circuit aux bornes d'une cellule solaire selon la formule suivante :

$I_{cc} = \alpha \times \phi \times S$, avec α coefficient de proportionnalité ϕ le flux d'irradiations, et S la surface de la cellule solaire.

Cette carte permet aussi de stocker les valeurs mesurées, et la date de mesure correspondante dans une mémoire externe de type EEPROM, et les envoyer vers un PC pour des traitements futurs, donc elle joue le rôle d'un enregistreur de données.

Ce mémoire se compose de quatre chapitres. Dans le premier nous donnons quelques notions de base sur le rayonnement solaire, ses types, les instruments de mesure, ainsi que le principe de conversion photovoltaïque.

Dans le deuxième chapitre nous parlerons des systèmes d'acquisition des données et nous décrirons les différents éléments constituant ces systèmes. On verra aussi dans ce chapitre les enregistreurs des données (*data logger*) comme une des applications de ce type de systèmes.

Au troisième chapitre nous exposerons les principaux éléments qui constituent notre réalisation telle que la cellule solaire, le CAN (ADC804), le microcontrôleur PIC 16F84, la mémoire 24C16

Nous terminons ensuite notre travail, par la présentation de notre carte électronique, ses différents éléments, et leur fonctionnement ainsi que le logiciel de gestion de cette carte

Chapitre I

L'énergie solaire

I. Introduction :

Dans le but de mesurer l'irradiation solaire, il est nécessaire d'introduire quelques notions sur le rayonnement solaire, ses composants, les instruments de sa mesure, et la technique de conversion de ce rayonnement en énergie électrique.

I.2. Le rayonnement solaire :

L'énergie émise par le Soleil l'est d'abord sous la forme de rayonnements électromagnétiques dont l'ensemble forme le rayonnement solaire, qui constitue la seule source externe notable d'énergie pour l'atmosphère. Ce rayonnement se propage à la vitesse de la lumière c . [1]

Le rayonnement solaire est composé essentiellement :

- de **lumière visible** de longueur d'onde comprise entre 400nm et 800 nm ;
- de **rayonnement infra rouge (IR)** de longueur d'onde inférieure à 400 nm ;
- de **rayonnement ultra violet (UV)** de longueur d'onde supérieure à 800nm.

I.2.1. Les différents types de rayonnement [1] [2] :**I.2.1.1. Le rayonnement réfléchi :**

C'est le rayonnement qui est réfléchi par la surface terrestre, c'est-à-dire renvoyé dans une direction privilégiée ou de manière diffuse. Le sol réfléchit plutôt le rayonnement de manière diffuse et anisotrope.

I.2.1.2. Le rayonnement Diffus :

Ce rayonnement est renvoyé dans toutes les directions. Il est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire par l'atmosphère et sa réflexion par les nuages. Il est mesuré par un pyranomètre.

I.2.1.3. Le rayonnement Absorbé :

C'est le rayonnement qui est absorbé par les composants gazeux de l'atmosphère. Cette absorption est dite sélective, car elle s'opère pour des valeurs de longueur d'onde bien précises. Elle est due essentiellement à la vapeur d'eau, à l'ozone, au dioxyde de carbone et, à un degré moindre, à l'oxygène.

I.2.1.4. Le rayonnement direct :

C'est le rayonnement reçu par une surface réceptrice normale aux rayons solaires ou celui qui arrive au sol sans avoir subi de diffusion. Il est mesuré par un pyréliomètre.

I.2.1.5. Le rayonnement global :

C'est le rayonnement solaire parvenant au niveau du sol sur une surface horizontale, soit directement, soit après diffusion. Il s'exprime simplement comme la somme du rayonnement diffus et du rayonnement direct pondéré par le cosinus de l'angle zénithal.

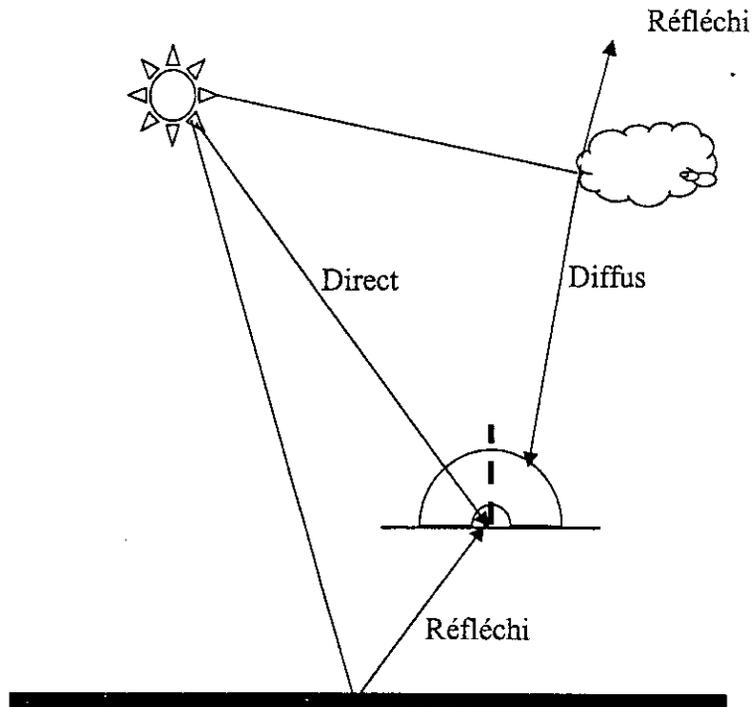


Figure I.1 : Composantes du rayonnement solaire.

I.2.2. Les instruments de mesures du rayonnement solaire [3] :

Le rayonnement solaire est mesuré par plusieurs types instruments selon sa nature.

Parmi ces instruments on trouve :

I.2.2.1. L'héliographe :

L'héliographe est un appareil qui mesure l'insolation et la durée d'ensoleillement au cours de la journée. L'appareil applique le même principe que celui qu'on met en oeuvre quand, avec une loupe, on concentre les rayons solaires pour brûler un morceau de papier.

L'appareil est constitué d'une loupe sphérique en verre, fixée par ses deux pôles à un pied (figure I.2). A l'arrière de la sphère, on place un carton thermosensible sur un support métallique incurvé et concentrique à la lentille de verre. L'axe de la sphère est incliné exactement comme celui de la terre par rapport au soleil. La sphère de verre, constituant une lentille convergente, concentre les rayons du soleil sur le carton, gradué en heures, placé sur le support.

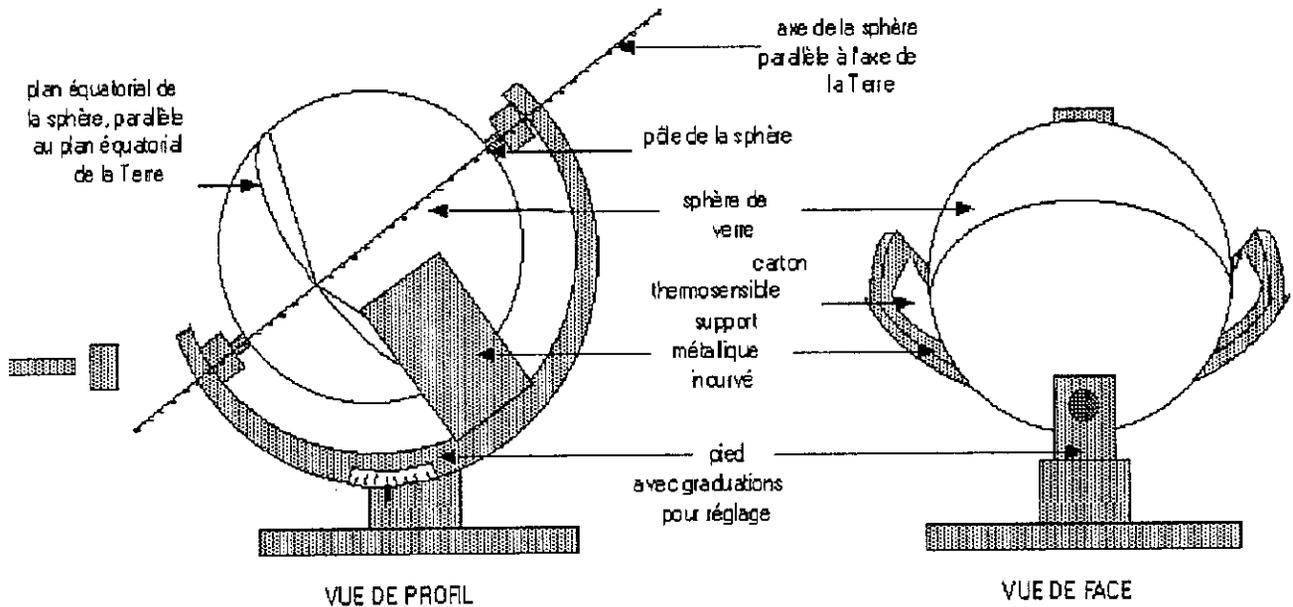


Figure I.2: Schéma d'un héliographe.

I.2.2.2. Le pyranomètre :

Le pyranomètre mesure le rayonnement global (direct+diffus) de tout l'hémisphère céleste dans la bande de longueur d'onde 0.3 à $3\mu\text{m}$. Le pyranomètre d'Eppley est une thermopile adaptée à cet usage. La surface réceptrice comporte deux anneaux concentriques en argent ; l'anneau intérieur est recouvert de noir, l'anneau extérieur recouvert de blanc. La différence de température mesurée entre les deux anneaux par des thermocouples en contact thermique avec les surfaces intérieures des anneaux, mais isolés électriquement, peut être enregistrée à raison d'une lecture par heure sous forme d'une tension de sortie de l'ordre du mV. Pour éliminer le rayonnement direct, certains pyranomètres sont munis d'un cache à orienter suivant la saison pour suivre la déclinaison (figure I.3).

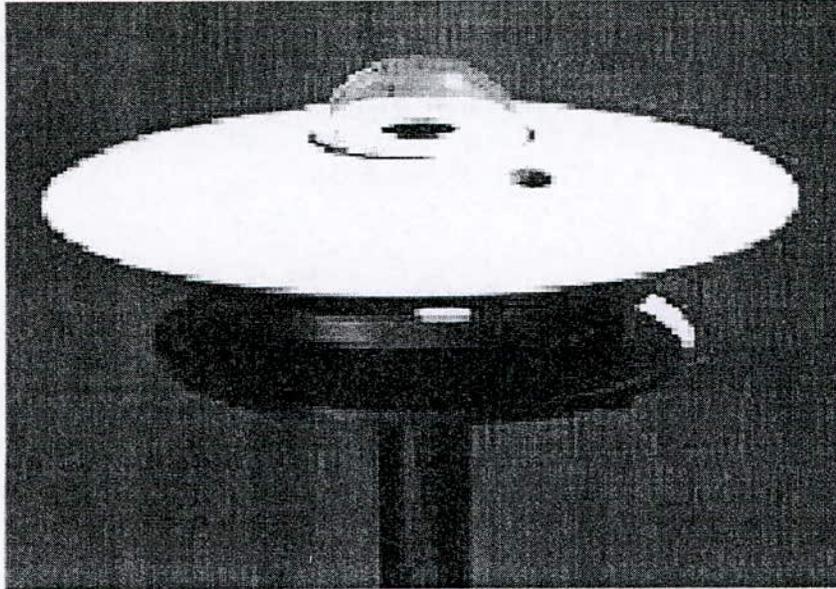


Figure I.3 : le pyranomètre.

I.2.2.3. Le pyréliomètre :

Le pyréliomètre mesure les irradiances directes. Cet instrument comporte une ouverture réduite et une surface réceptrice qui doit être maintenue normale aux rayons du soleil (**figure I.4**). Le pyréliomètre reçoit, par un tube allongé, une énergie qui provient uniquement du disque solaire par un étroit anneau concentrique. Pour un enregistrement continu, il est nécessaire d'utiliser une monture équatoriale.

On peut prendre pour exemple de cette classe d'instrument le pyréliomètre à disque d'argent. Il se compose essentiellement d'un disque d'argent noirci, placé sur la face inférieure d'un tube, avec un diaphragme limitant l'angle d'ouverture à 5.7° , et d'un obturateur. On utilise un thermomètre à mercure en verre pour mesurer la température du disque à intervalles réguliers.

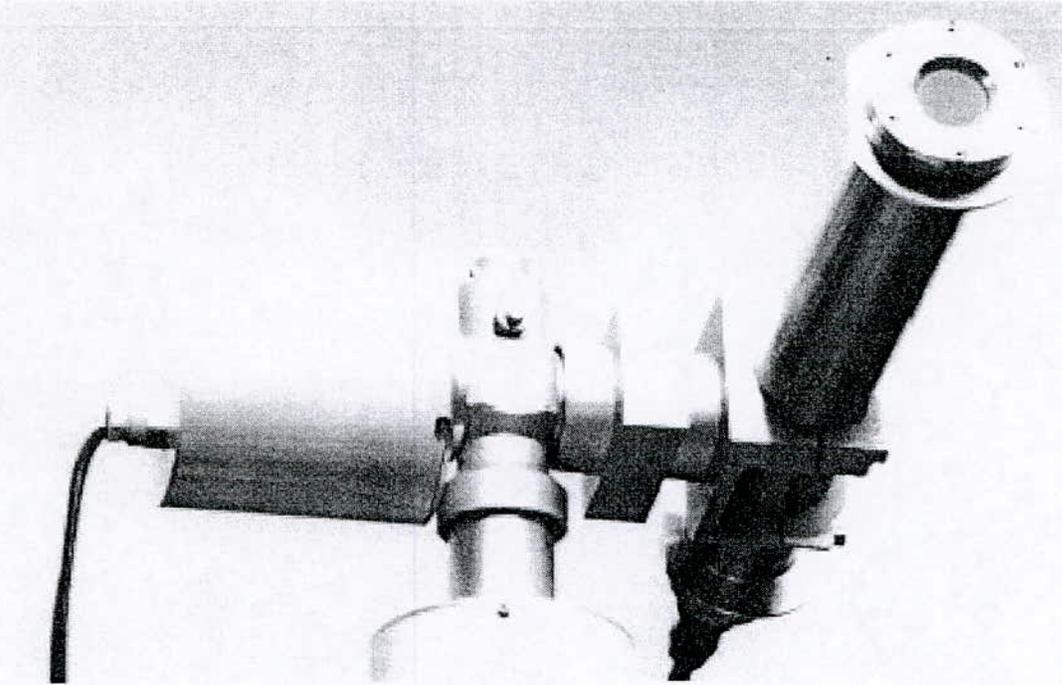


Figure I.4 : Pyrhéliomètre

I.3. Technique de conversion photovoltaïque :

I.3.1- Conversion photon -électron :

I.3.1.1. Interaction rayonnement matière :

Dans un atome isolé, les électrons ne peuvent pas prendre n'importe quelle énergie. Les règles de distribution des niveaux énergétiques ont été énoncées par NIELS BOHR en 1913. Lorsque les atomes sont rassemblés pour former un solide, les niveaux discrets de chaque atome se différencient pour former des bandes continues d'énergie. [2]

C'est ce que l'on appelle la structure de bande des solides. La **figure.I.5** représente schématiquement cette structure électronique pour les trois grandes familles de matériaux : les métaux, les isolants et les semi-conducteurs.

Lorsqu'un photon interagit avec un électron, il transfère intégralement son énergie à ce dernier, à la condition que le niveau énergétique final de l'électron soit autorisé et libre. Ainsi, dans un métal tous les niveaux supérieurs à E_f étant autorisés et la quasi-totalité de ces niveaux étant inoccupés à température ambiante, toutes les longueurs d'ondes peuvent être absorbées. Mais l'électron excité revient immédiatement à son état

initial, l'énergie perdue étant transformée en chaleur (augmentation de l'état vibrationnel des atomes du réseau). On dit que l'énergie apportée par le rayonnement est convertie en phonons à travers la thermalisation (th) des électrons. Un métal réfléchit et absorbe le rayonnement mais il n'est pas possible d'utiliser l'énergie reçue par les électrons autrement que sous forme thermique.

Dans un isolant, le photon n'interagit avec l'électron que s'il peut fournir à cet électron une énergie supérieure à la largeur de la bande interdite E_g , afin d'atteindre les premiers niveaux autorisés et libres. Il faudra donc $E_{ph} > 5eV$, soit $\lambda < 0.25\mu m$. Comme la quasi-totalité du spectre solaire est supérieur à $0.3\mu m$, le rayonnement solaire ne peut pas être absorbé par les isolants.

Dans un semi-conducteur, la largeur de la bande interdite est plus faible que pour les isolants et varie d'environ $0.6eV$ à $2eV$. Elle est de $1.12eV$ pour le silicium cristallin et de $1.8eV$ pour le silicium amorphe. Les photons d'énergie $E_{ph} > 1.12eV$, soit une longueur d'onde $\lambda < 1.12\mu m$ pourront fournir leur énergie aux électrons de la bande de valence. Cet électron ainsi libéré de la liaison chimique pourra se promener librement dans le cristal comme un électron de conduction. Si l'énergie E_{ph} est supérieure à l'énergie de gap E_g , l'excès d'énergie est perdu par thermalisation.

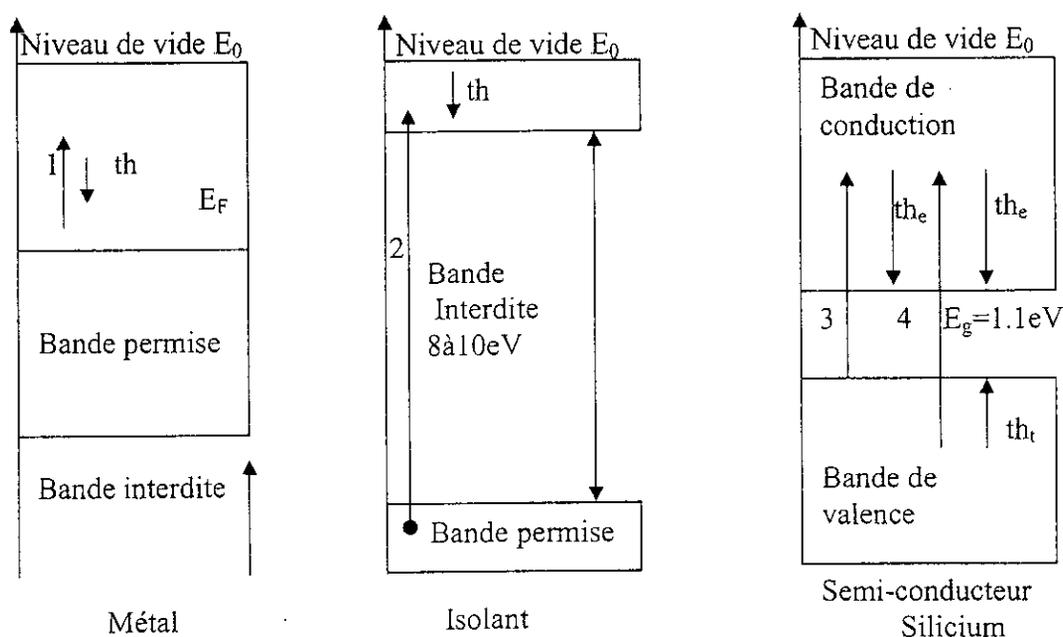


Figure I.5 : structure de bande pour les trois grandes familles de matériaux.

I.3.1.2. Notion de paire électron trou :

La transition électronique qui vient d'être décrite a en fait généré deux types de porteurs de charge :

- Des électrons de conduction.
- Des liaisons chimiques manquantes, absence d'électron de valence appelées trous.

On a créé une paire électron trou dont les deux composantes se meuvent dans le matériau suivant des modalités différentes. Le trou peut en effet se déplacer dans le matériau par le saut en sens inverse d'un électron de valence qui se déplace de liaison chimique lacunaire en liaison chimique lacunaire. Ainsi, la mobilité d'un trou est toujours plus faible que celle d'un électron de conduction.

Si la transition électronique concerne un électron de l'intérieur de la bande de valence, la thermalisation aura lieu pour les deux types de porteurs. En définitive, on ne dispose après thermalisation que d'une paire électron trou d'énergie E_g . Contrairement à ce qui se passe dans un métal, ces paires électron trou pourront être utilisées pour générer un courant électrique avant de disparaître par recombinaison. La durée de vie des porteurs dans un semi-conducteur est un million de fois plus grande que dans un métal. Il est alors possible de séparer les électrons des trous par un champ électrique afin de les collecter pour créer un courant électrique utilisable.

I.3.2. Absorption du rayonnement solaire dans le matériau :

L'intensité transmise par un matériau absorbant s'écrit :

$$I = I_0 e^{-\alpha \cdot z} \quad \alpha(\lambda) \quad (1.1)$$

Avec $\alpha(\lambda)$ est le coefficient d'absorption du matériau fonction de la longueur d'onde et z l'épaisseur de matériau traversé. L'absorption diminue lorsqu'augmente la longueur d'onde λ .

À la limite, les photons d'énergie inférieure au gap n'étant pas absorbés, ils traversent le matériau comme s'il n'existait pas. Et le tableau suivant donne le coefficient d'absorption du silicium monocristallin en fonction de la longueur d'onde.

λ (μm)	α (λ) cm^{-1}
0.40	50000
0.50	10000
0.53	7500
0.60	4500
0.70	2000
0.80	900
0.90	300
1.00	100
1.06	15
1.15	0.4

**Tableau.I.1. le coefficient d'absorption du silicium monocristallin
en fonction de la longueur d'onde.**

I.4.Conclusion :

On a donné dans ce chapitre un petit rappel sur le rayonnement solaire comme matière première de l'énergie solaire, ses différents composants, ses instruments de mesure, et on a terminé par le principe de conversion photovoltaïque.

Chapitre II

Systeme d'acquisition de données

II. Les systèmes d'acquisition de données :

II.1. Introduction :

Notre circuit fonctionne comme un enregistreur de données (*data logger*), qui mesure l'irradiation solaire et stocke ces informations. Dans ce chapitre on donnera une vue générale sur les systèmes d'acquisition de données et les *data loggers* comme application de ces systèmes

II.2. Définition :

L'acquisition de données est l'opération qui consiste à transformer des signaux électroniques analogiques en informations numériques dans le but de les enregistrer, de les visualiser, de les traiter, de les transmettre ou de les utiliser pour des fonctions d'asservissement ou de commande. Cette tâche est effectuée par un système d'acquisition de données, système électronique constitué de capteurs, de transducteurs de mesure, de circuits de conditionnement de signal, de mémoires analogiques, de multiplexeurs analogiques et de convertisseurs analogiques- numériques (**figure II.1**). [4]

La réalisation technique se compose donc des quatre éléments suivants :

- Les capteurs et les actionneurs pour transformer les grandeurs ou phénomènes physiques à mesurer et à contrôler en signaux électriques : thermocouples (température), vanne (débit) ;
- Le câblage et le conditionnement des signaux ;

- Le matériel d'acquisition et de restitution de données ;
- Les techniques de traitement des données (logiciel, matériel) ;

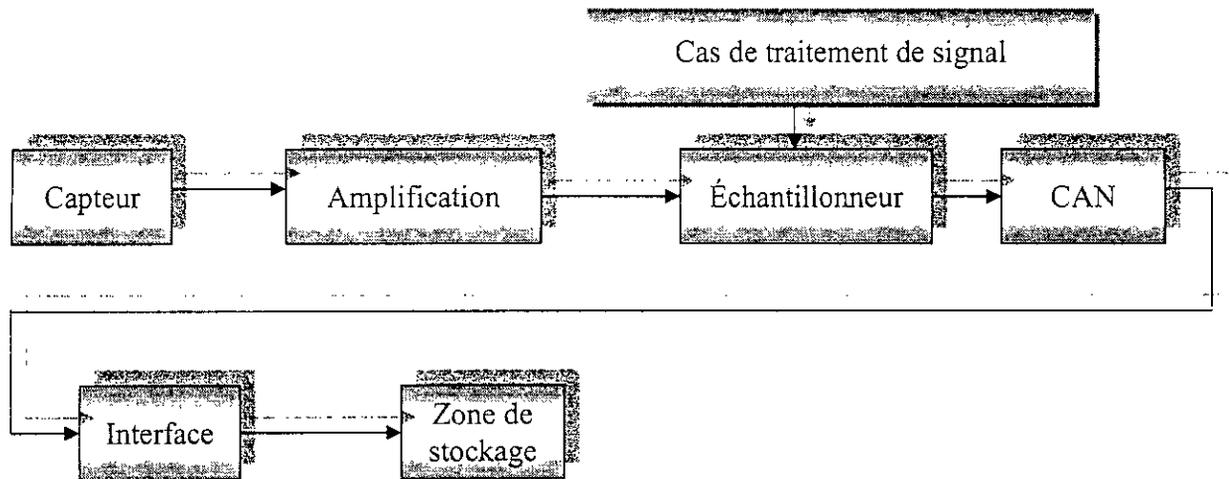


Figure II.1. Structure d'un système d'acquisition de données.

II.3. Les éléments de système d'acquisition des données :

II.3.1. Les capteurs :

L'importance du capteur est bien mise en évidence. En effet le signal électrique de sortie doit être effectivement le support de l'information puisque la décision de commande ou simplement l'interprétation de la mesure est faite à partir du signal et non de l'information elle-même. Les capteurs, qui sont les sens du système d'acquisition, le traitement et la restitution de données, doivent être choisis avec beaucoup de précision. [5]

II.3.1.1. Principaux types de capteurs :

Un capteur peut être défini comme un transducteur convertissant une grandeur physique en un signal électrique.

Le classement des capteurs peut se faire selon la grandeur à mesurer ; longueur, épaisseur, force, poids, pression, déplacement, allongement, position, etc. le tableau suivant présente des exemples de capteurs classés selon la grandeur mesurée.

Phénomène physique	Capteurs
Température	<ul style="list-style-type: none"> - thermocouples ; - détecteur résistifs - thermistances - thermomètres - pyromètre à infrarouge
Position et déplacement	<ul style="list-style-type: none"> - Potentiomètre - Capteurs inductifs - Capteurs capacitifs - Capteurs optiques incrémentaux - Télémètres, etc.
Pression et force, son	<ul style="list-style-type: none"> - Microphones - Capteurs piézo-électriques - Jauges de contrainte, etc.
Lumière	<ul style="list-style-type: none"> - Cellules photoélectriques - Surfaces photosensibles - Caméra CCD - Photo- élément
Niveau de fluides, débit de fluides	<ul style="list-style-type: none"> - Capteurs de flotteurs - Conductimètres - Débitmètres mécaniques - Débitmètres à ultrason, etc.

Tableau II.1. classement des différents capteurs selon la grandeur physique mesurer.

Dans le cas de traitement des signaux, un bloc est additionné ; c'est le circuit de conditionnement de signal.

Ce circuit, qui précède généralement le multiplexeur et l'échantillonneur_ bloqueur, conditionne le signal d'entrée en vue de sa conversion. Il peut fournir des entrées différentielles, assurer une mise à l'échelle, une programmation du gain, une amplification linéaire ou logarithmique, un filtrage, un découplage, une linéarisation, etc.

II.3.2. Echantillonneur bloqueur :

Ce bloc est utilisé aussi dans le cas du traitement des signaux. Celui-ci réalise l'acquisition du signal d'entrée, l'échantillonne au moment voulu, puis maintient sa sortie à la valeur échantillonnée pendant toute la durée de la conversion analogique numérique.

II.3.3. Amplificateur programmable :

On parle d'amplification programmable dans le sens où l'utilisateur de la carte d'acquisition de données peut choisir pour une voie considérée l'amplification associée. Les cartes offrent à l'utilisateur un ensemble de gains qui dépend beaucoup du domaine d'utilisation. L'architecture interne d'un tel amplificateur programmable est très simple. Il suffit seulement d'utiliser des amplificateurs opérationnels, quelques résistances et une sélection de gain.

II.3.4. La conversion analogique numérique :

Effectuer une conversion analogique numérique, c'est rechercher une expression numérique dans un code déterminé, pour représenter une information analogique. Un convertisseur A/N est un dispositif qui reçoit un signal analogique et le transforme en un signal numérique (figure II.2).

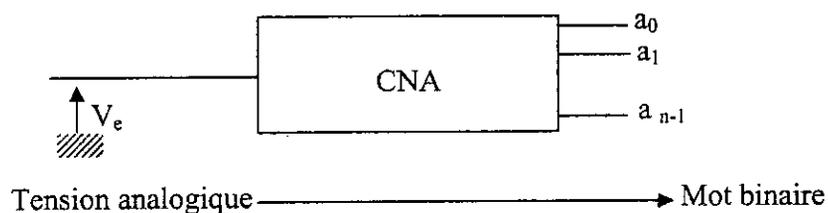


Figure II.2. Convertisseur analogique numérique.

II.3.5. La zone de stockage :

C'est l'élément le plus important dans un système d'acquisition des données. Elle peut être un support de traitement (DSP, ordinateur), un élément de sauvegarde (RAM, Disque dur) ou encore une transmission vers un récepteur situé plus loin. Dans le cas de traitement des signaux la plupart des fois la zone de stockage est un DSP, ce microprocesseur est dédié aux applications du traitement de signal (quantification, convolution, FFT, etc.)

Par contre dans d'autre cas, c'est-à-dire des traitements normaux on peut utiliser soit des microcontrôleurs (notre cas), des microprocesseurs ou bien des ordinateurs. Ces derniers reçoivent les données converties par le convertisseur analogique numérique, et les transmettent vers les autres périphériques pour compléter le reste des tâches.

II.3.6. Interface de carte d'acquisition :

La communication la plus simple entre deux éléments est la transmission des signaux de type série asynchrone, c'est-à-dire que deux lignes électriques suffisent pour le transfert des données : une ligne de transmission de données (*Tx data*) et une ligne de réception des données (*Rx data*). Les caractéristiques de la transmission ont été standardisées selon la norme *EIA RS232C* (norme américaine : Electronic Industries Association).

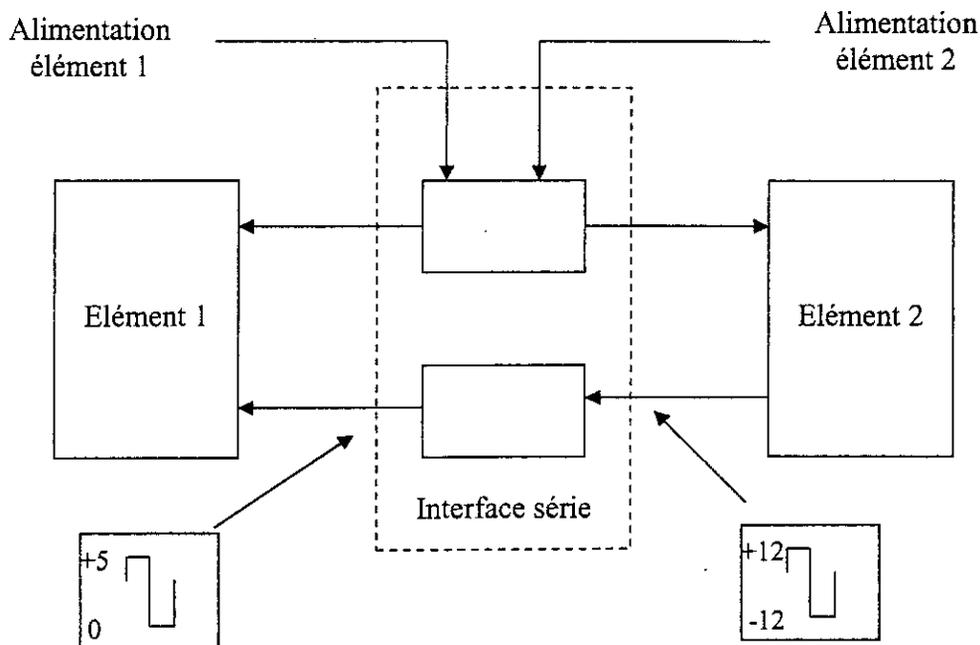


Figure II.3. Schéma de principe d'une transmission série norme RS232.

Il existe d'autres méthodes d'interfaçage, par exemple l'utilisation des ports USB, ou bien par des émetteurs et récepteurs infrarouges, mais la majorité des cartes d'acquisition utilisent des RS232.

II.1.4. Acquisition de plusieurs données :

Dans le cadre d'un système d'acquisition traitant plusieurs capteurs (N) c'est à dire multivoies vers une même zone de stockage, il existe différentes structures qui diffèrent en terme de performances et de coût. [5]

N Capteurs \Rightarrow 1 zone de stockage (traitement) numérique.

II.1.4.1. Acquisition séquentielle décalée :

Elle se base sur l'utilisation en amont d'un multiplexeur qui va orienter un capteur vers le système unique d'acquisition (**figure II.4**) :

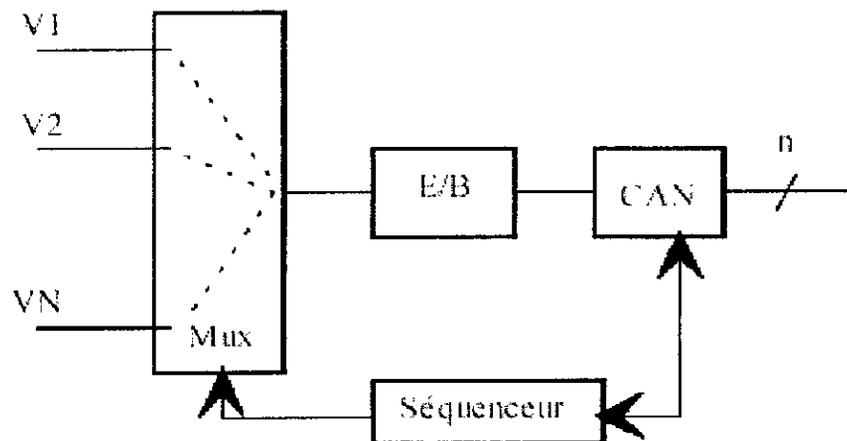


Figure II.4. : Structure séquentielle décalée.

L'avantage de cette structure est bien évidemment son côté économique. Par contre il y a un décalage dans le temps des acquisitions. On réservera donc cette structure ne nécessitant pas une synchronisation entre les données numérisées. De plus le temps d'acquisition complet est à priori élevé car proportionnel au nombre de capteurs.

II.1.4.2. Acquisition séquentielle simultanée :

De manière à avoir des acquisitions « synchrones », on utilise la même structure que précédemment mais en utilisant des Echantillonneurs Bloqueurs (E/B) en amont du multiplexeur. On est dans une situation d'E/B en tête (Figure II.5).

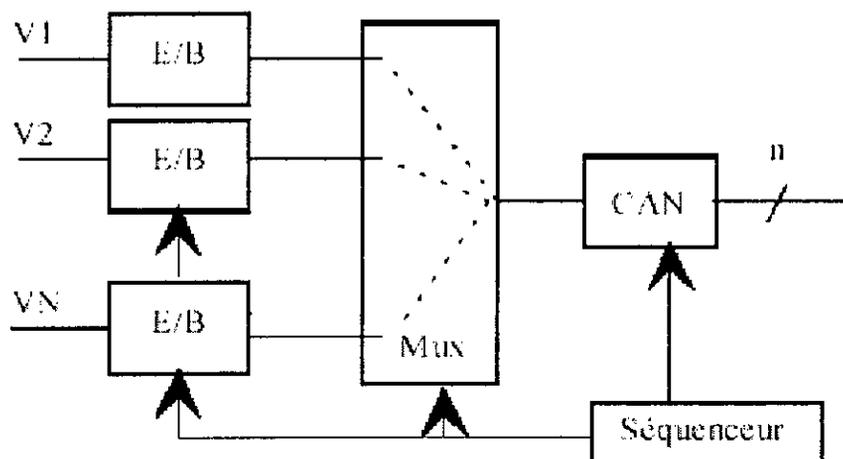


Figure II.5 : Structure séquentielle simultanée.

II.1.4.3. Acquisition parallèle :

C'est la structure la plus complète puisqu'elle consiste à disposer N systèmes d'acquisition en parallèle et à les connecter sur un bus de données commun. Comme indiqué sur la figure II.6.

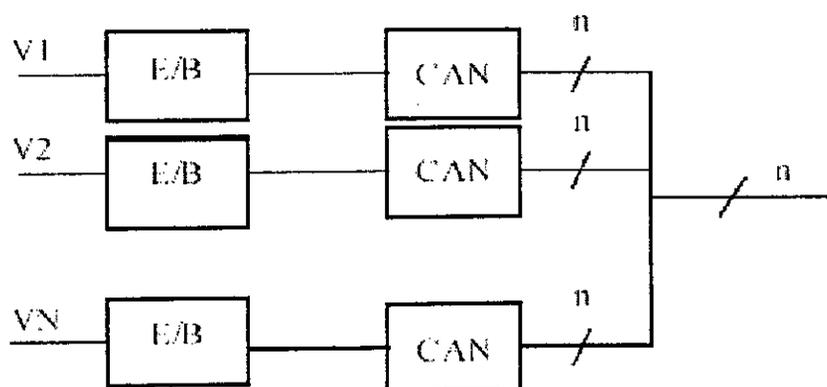


Figure II.6 : Structure parallèle.

Avec cette structure, il est possible d'effectuer en même temps l'acquisition d'une donnée pendant que l'on en stocke une autre. De même, toutes les conversions peuvent être

simultanées, le stockage s'effectuant après. Cela permet un gain de temps sur l'acquisition complète. Mais elle est coûteuse.

II.2. Les applications des systèmes d'acquisition données :

Parmi les nombreux domaines d'applications des systèmes d'acquisitions de données, on peut citer : les enregistreurs de données, la conduite de processus et asservissements et la communication. On insiste dans ce chapitre sur les enregistreurs de données ou bien (*DATA LOGGER*). Donc que signifie un data logger ?

II.3. Les enregistreurs de données (*data logger*) :

II.3.1. Introduction :

Pendant plus de soixante-dix années, les enregistreurs de diagramme de papier ont été l'instrument la plus efficace pour enregistrer les données tel que la température, humidité, la tension etc. Maintenant les enregistreurs de données (*data logger*), sont les dispositifs électroniques les plus efficaces pour réaliser ces opérations.

En général, les enregistreurs de données offrent une plus grande exactitude et précision que les enregistreurs de diagramme de papier. [6]

Premièrement, les enregistreurs de données ne se fondent sur aucune pièce mobile parce qu'ils sont complètement basés sur les microprocesseurs et les sondes électroniques. Par contre, les enregistreurs de diagramme de papier présentent des erreurs à cause de l'utilisation des bras électromécaniques avec le stylo et le papier.

Les enregistreurs de données évitent également les erreurs liées au papier de diagramme lui-même. Le papier de diagramme limite l'exactitude parce que la précision des lectures est limitée aux graduations de diagramme.

II.3.2. Définition :

L'enregistreur de données (*data logger*) est un instrument électronique qui mesure et enregistre les données pour des analyses ou bien pour des traitement ultérieurs. La nature de ces données peut être une température, une humidité relative, une intensité de la lumière, "Marche/Arrêt", l'ouverture ou la fermeture, une tension, une pression etc.)

Typiquement, la taille des enregistreurs de données est petite. Ils sont équipés d'un microprocesseur, d'un élément de stockage de données et d'une sonde. La plupart de ces

enregistreurs utilisent des logiciels spéciaux sur un ordinateur individuel pour le lancement et pour la visualisation des données enregistrées. Le *Data logger* est une application de système d'acquisition de données.

II.3.3. Pourquoi on utilise les data loggers ?

On a dit dans la définition que les data loggers sont utilisées pour mesurer et stocker les données pour une durée spécifiée.

1. Par exemple dans le cas de température, voir comment la température change pendant le refroidissement, la fusion, etc.
2. étudier le rapport entre la lumière, la température et la croissance de plantes.
3. étudier les facteurs affectant la vitesse et l'accélération d'un moteur, d'une machine, etc.
4. étudier les facteurs affectant les réactions chimiques en cas de mesure de PH
5. pour le son, comparer les bruits faits sous différentes conditions
6. étudier le rapport entre la tension et le courant.

Le domaine d'utilisation des data logger est très vaste, donc il existe bien d'autres raisons pour utiliser le data logger.

II.3.4. Les différents types de data loggers :

Il existe deux types des data loggers soit des data loggers à une seule voie, ou bien des data loggers multivoies. La séparation entre ces deux types est faite selon l'entrée, c'est à dire si le data logger mesure et enregistre une seule grandeur on dit que ce data logger est uni voie, et s'il mesure et enregistre plusieurs grandeurs, ce data logger est multivoie. On va citer quelques exemples de ces types pour voir la différence entre eux.

II.3.4.1. Les data loggers à une seule voie :

Le principe de ce type de data loggers est que la voie de capteur est compatible seulement avec le capteur spécifié pour la mesure. Comme exemple on prend le data logger de marque H 140. Le H140 est un data logger qui contrôle la température idéal dans bien des cas. Il convient particulièrement pour les applications dans le secteur agro-alimentaire : par exemple, transport de denrées alimentaire, chambre d'entreposage etc. On peut aussi l'utiliser pour la surveillance des produits chimiques en poudre ou comme contrôleur d'ambiance dans les musées. Ce data logger est formé d'un capteur interne logé dans un boîtier plastique robuste, résistant à l'humidité et à la poussière. L'afficheur LCD sur le

boîtier est un indicateur d'états (enregistrement en cours, alarme activée, transfert en cours etc.)

Le data logger est alimenté par piles classiques. Les 3 piles (1.5V) fournies assureront environ 4ans de fonctionnement en continu. Lors du changement des piles, les données restent en mémoire EEPROM.

L'interface et le logiciel :

Ce data logger utilise l'interface infrarouge pour transférer à l'ordinateur les données mises en mémoire. L'interface doit être lie au port série d'un PC grâce au connecteur DB9

Le logiciel de ce data logger permet :

1. de régler l'horloge interne
2. de programmer l'intervalle d'acquisition (d'une minute à 23h 59 min) et détermine le début d'enregistrement
3. de visualiser la courbe d'évolution des températures sur toute la période d'enregistrement
4. de sauvegarder les données sur le disque ou dans graphiques

II.3.4.2. Les data loggers multi voies :

Ce sont des data logger qui mesurent et enregistrent plusieurs données. Ils utilisent des capteurs et chaque capteur est branché dans une voie spéciale. Donc ce type de data logger est un système d'acquisition de plusieurs données. L'acquisition des données dans ce type de data loggers est séquentielle décalée, soit séquentielle simultanée ou bien parallèle. Comme exemple de ce type de data loggers on prendre le UMI (*universal multichannel instrument*), est un data logger multivoies compatible avec tous les capteurs à fibre optique. Cet appareil convient à des mesures multipoints de température, de pression, de déformation, de déplacement de force dans des environnements hostiles. Les avantages de ce data logger sont les suivants :

1. il comporte 4 voies de mesure
2. compatible avec tous les capteurs à fibre optique
3. tension de sortie et port de communication RS232
4. capacité de stockage des données jusqu'à 50000mesures
5. grand afficheur

II.4. Conclusion :

On a donné dans ce chapitre une vue générale sur les systèmes d'acquisition des données, les différents éléments qui constituent ce système et on a vu aussi les enregistreurs de données comme application des systèmes, avec quelques exemples

Chapitre III

Principe du système réalisé

III.1. Introduction :

Notre travail consiste à réaliser une carte servant à mesurer et enregistrer l'irradiation solaire. Il existe dans cette carte électronique des composants ayant une grande importance, c'est à dire, qui exercent les principales tâches. Parmi ces composants, on trouve la cellule solaire, le convertisseur analogique numérique l'ADC804, le microcontrôleur 16F84, et l'EEPROM 24C16. Tous ces composants constituent le cœur de notre système.

III.2. Capteurs de rayonnement (photodétecteur):

Un capteur est un dispositif qui fournit une interface entre l'équipement électronique et un phénomène physique. En effet, il convertit une quantité physique ou chimique en un signal électrique. En particulier un photodétecteur (ou détecteur photoélectrique) est un détecteur de rayonnement, il absorbe un signal optique et le transforme en un signal thermique, mécanique ou dans la majorité des cas un signal électrique. [7]

III.2.2. Principaux types de photodétecteurs [7] :

III.2.2.1. Cellule photoconductrice ou photoconducteur:

III.2.2.1.1. description

Une cellule photoconductrice est un matériau semiconducteur homogène qui exploite l'augmentation de la photoconductivité électrique. La cellule est polarisée par une tension V et débite un courant I par l'intermédiaire des contacts ohmiques. Sous un éclairage lumineux (figure III.1), il y a création de photoporteurs, et donc augmentation des porteurs dans le dispositif, cela entraîne une augmentation de conductivité du matériau et donc la conduction de la cellule.

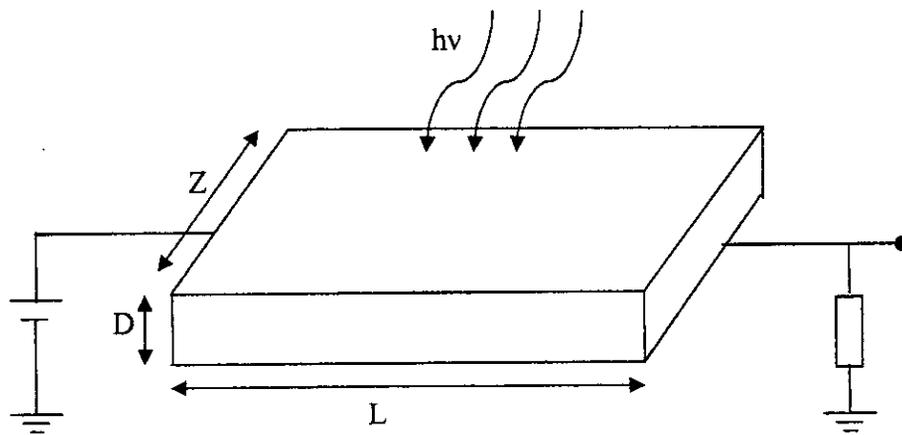


Figure III.1. Principe d'une cellule photodétectrice

Les photoconducteurs sont constitués par des dispositifs à couche mince en déposant une couche d'un matériau photoconducteur sur un substrat en céramique. Le matériau déposé peut être de Sulfure de cadmium, de Séléniure de cadmium ou de Sulfo-séléniure de cadmium. Ces couches minces ont une résistance élevée. Des contacts en métal sont évaporés au-dessus de la surface du photoconducteur et le rapport électrique externe est établi à ces contacts.

III.2.2.1.2 Caractéristiques d'une cellule photoconductrice :

➤ Sensibilité

C'est le rapport entre la lumière incidente et la résistance correspondante de la cellule. Pour un type donné de matériau photoconducteur, à un niveau donné de l'illumination, le film photoconducteur aura une certaine résistivité.

➤ Réponse Spectrale

La réponse spectrale du matériau spécifique devrait être considérée par rapport à une application particulière.

➤ Tolérance de Résistance

La sensibilité d'une cellule photo-électrique est définie en tant que sa résistance à un niveau spécifique de l'illumination. Puisque deux cellules photo-électriques ne sont pas exactement semblables, la sensibilité est énoncée comme valeur typique de résistance plus une tolérance permise. La valeur de la résistance et sa tolérance sont indiquées pour seulement un niveau de lumière.

➤ Rapidité

C'est le temps de montée et de descente lors du changement d'état lumière-obscurité. Le temps de montée est défini comme le temps nécessaire pour la conductivité de la cellule pour atteindre 63% de sa valeur finale. Le temps de descente est défini comme le temps nécessaire pour la conductivité de la cellule pour se délabrer à 1/e de son état lumineux initial.

III.2.2.2. Photodiode :

III.2.2.2.1. description :

Une photodiode est un semiconducteur formé par une simple jonction P-N photoréceptrice généralement non amplificatrice mais dans certaines conditions une amplification interne peut se produire (**figure III.2**) ; dans cette configuration il y a apparition de trois zones (ou régions), une zone de charge d'espace (ZCE) et deux régions

neutres de type N et P. Lorsque les photons pénètrent dans le semiconducteur, pourvu qu'ils aient une énergie suffisante, peuvent créer des photoporteurs en excès dans le matériau. Ces photoporteurs sont des paires d'électrons-trous. Chaque paire créée se traduit par la circulation dans le circuit extérieur d'une charge élémentaire. On observe ainsi une augmentation du courant. Vu que les photocourants créés sont très faibles, il faut que la jonction soit polarisée en inverse, d'une part pour éviter le courant en direct de la photodiode qui est beaucoup plus important que les photocourants et d'autre part pour augmenter son rendement. [7]

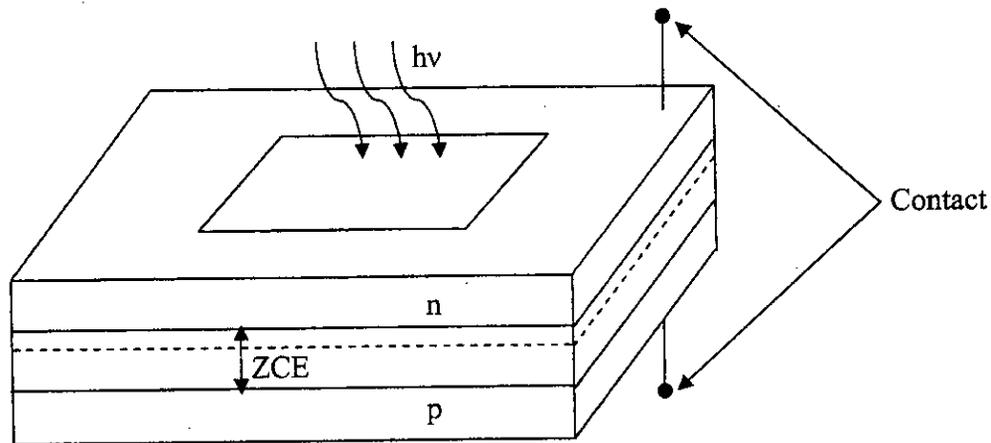


Figure III.2. Structure d'une photodiode.

On trouve les photodiodes dans la détection rapide des signaux faibles, asservissement, photométrie, instruments de mesure, lecteurs de code barre, spectrophotométrie, télécommunication par fibre optique, imagerie médicale.

III.2.2.2.2. Caractéristiques d'une photodiode :

Une photodiode peut être représentée par une source de courant I_{ph} (une source de courant pour la simple raison que le courant que fournit la photodiode dépend uniquement de l'intensité de lumière). Cette source est due à la génération des électrons-trous que constitue le courant. En parallèle avec la source, on trouve la capacité de jonction et une résistance de shunt R_{sh} d'une valeur élevée et qui décrit la fuite de

courant. Ensuite il existe une résistance interne de la photodiode appelée R_s et qui en série. La figure III.3 décrit le schéma équivalent d'une photodiode.

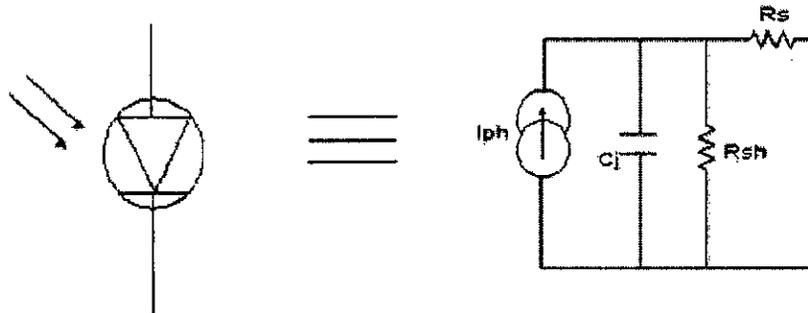


Figure III.3 : Symbole d'une photodiode (gauche) et son circuit équivalent (droite)

➤ **Résistance de shunt R_{sh} :**

Si on considère une photodiode comme idéale, elle devrait avoir une résistance de shunt égale à l'infini. En réalité cette résistance est comprise entre 100 et 1 $G\Omega$ selon la qualité de la photodiode. Cette résistance est utilisée pour calculer le courant de fuite (ou bruit) en mode photovoltaïque, c'est à dire sans polarisation de la photodiode.

➤ **Résistance série R_s :**

Cette résistance est essentiellement due à la résistance du substrat et la résistance des contacts. R_s peut varier entre 10 et 500 Ω selon la surface de la photodiode.

➤ **Temps de réponse :**

Le temps de réponse est défini comme le temps de montée ou de descente. Il est habituellement défini comme le temps nécessaire pour atteindre les 90% du courant final de la photodiode. Ce temps dépend de 3 facteurs : $t_{transit}$, $t_{diffusion}$ et la constante de temps t_r .

$t_{transit}$: est le temps que parcourt les porteurs dans la zone de charge d'espace.

$t_{diffusion}$: est le temps que parcourt les porteurs dans les régions neutres.

t_r : est la constante du temps à partir de notre schéma équivalent, la résistance est égale à la résistance R_s plus la résistance de charge R_c (dispositif qu'on place avec la photodiode). La capacité est égale à la capacité de jonction C_j plus la capacité de charge C_r . ce qui donne : $t_r = (R_s + R_c)(C_j + C_r)$

Ainsi la constante de temps peut être égale à : $\sqrt{t_{diffusion}^2 + t_{transit}^2 + t_r^2}$

Il n'y a pas de paramètre qui domine l'autre. D'ailleurs chaque temps est difficile à déterminer, et seul le temps global est pris en compte. En général le temps de diffusion est plus lent que le temps de transit.

➤ **Non uniformité :**

Si la photodiode est éclairée non pas sur sa totalité mais sur une partie de sa surface, on parle alors de non uniformité puisque seul une région de la surface va créer un courant.

➤ **Non linéarité :**

Une photodiode est linéaire (courant généré proportionnel à puissance optique émise) du moment où on ne dépasse pas un certain niveau d'éclairage qui peut faire saturer le courant généré par la photodiode. Si on dépasse ce seuil, la photodiode devient non linéaire c'est à dire que le photocourant n'est plus proportionnel avec l'intensité de la lumière.

III.2.2.3. Phototransistor:

Un phototransistor est un transistor bipolaire dont la base est accessible à la lumière. Cette base est flottante, (figure III.4), son courant est donc nul. Lorsqu'on la soumet à un rayonnement, le courant de l'émetteur s'écrit :

$I_e = (1 + \beta)(I_{co} + I_{ph}) \approx \beta I_{ph}$, I_{co} est le courant de saturation de la jonction collecteur-base et I_{ph} est le photocourant créés par les photoporteurs.

Le courant est ainsi multiplié par le facteur β qui n'est autre que le gain en émetteur commun du transistor. La sensibilité du phototransistor est située entre celle de la photodiode PIN et celle de la photodiode à avalanche. Cependant ce dispositif présente des inconvénients tel que sa linéarité, sa termosensibilité et surtout sa constante de temps qui très élevée (de l'ordre de 10^{-5} s).

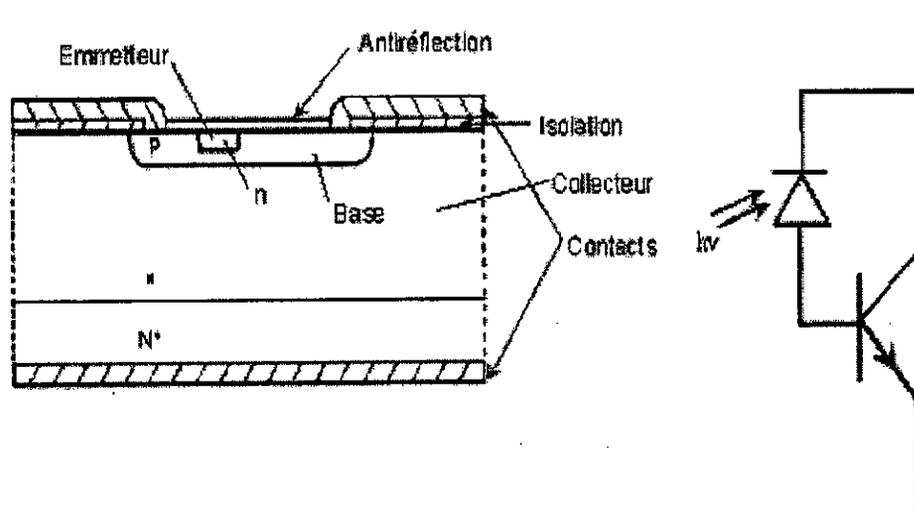


Figure III.4. Coupe transversale d'un phototransistor et circuit équivalent

III.2.2.4. Photodétecteur à transfert de charge (CCD) :

Le bloc de base du CCD est une capacité M.O.S. montré dans la figure (10) polarisée avec une tension supérieure à la tension de seuil (régime de déplétion profonde). Quand cette cellule est excitée par la lumière il y a absorption et génération de photoporteurs. Si la génération se produit dans la région de charge d'espace, les électrons et les trous sont séparés par le champ électrique ; les charges positives descendent à l'électrode en bas tandis que les charges négatives sont piégées à l'interface SiO_2/Si . Si l'absorption se produit hors ZCE, les charges positives vont ou bien se recombiner ou bien contribuer au signal par diffusion.

En même temps que les électrons dus à la lumière s'établissent à l'interface, d'autres électrons dus au phénomène de génération thermique viennent s'y ajouter. On définit un temps de stockage comme le temps nécessaire pour l'établissement de la couche d'inversion. Pour le Silicium ce temps est de l'ordre de la seconde. Ce temps est

atteint si la charge accumulée est égale à la charge positive de l'électrode. Tant que le temps est très inférieur au temps de stockage, les charges dues aux générations thermiques sont négligeables de sorte que les charges accumulées sont proportionnelles à la lumière reçue.

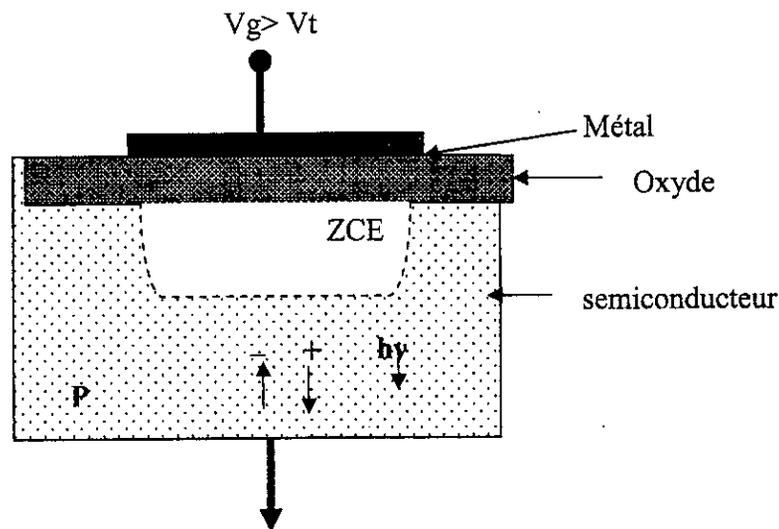


Figure III.5. Coupe transversale d'une cellule CCD.

III.2.2.5. les cellules solaires:

III.2.2.5.1. description :

Une cellule solaire (photopile) n'est autre qu'une photodiode qui fonctionne sans polarisation extérieure. Elle débite son photocourant dans une charge. Le principe de fonctionnement de cette dernière est le suivant :

Le silicium a été choisi pour réaliser les cellules solaires pour ses propriétés électroniques, caractérisées par la présence de quatre électrons sur sa couche périphérique (colonne IV du tableau de MENDELEIEV). Dans le silicium solide, chaque atome est lié à quatre voisins, et tous les électrons de la couche périphérique participent aux liaisons. Si un atome de silicium est remplacé par un atome de la colonne V (phosphore par exemple), un des électrons ne participe pas aux liaisons; il peut donc se déplacer dans le réseau. Il y a conduction par électron, et le semi-conducteur est dit dopé de type n. Si au contraire un atome de silicium est remplacé par un atome de la colonne III (bore par exemple), il manque un électron pour réaliser toutes les liaisons, et un électron peut venir combler ce

manque. On dit alors qu'il y a conduction par un trou, et le semi-conducteur est dit dopé de type **p**. les atomes tels que le bore ou phosphore sont des dopants du silicium. [2]

Lorsque le semi-conducteur de type **n** est mis en contact avec un semi-conducteur de type **p**, les électrons en excès dans le matériau **n** diffusent dans le matériau **p**. la zone initialement dopée **n** devient chargée positivement, et la zone initialement dopée **p** devient chargée négativement. Il se crée donc un champ électrique entre les zones **n** et **p**, qui tend à repousser les électrons dans la zone **n** et un équilibre s'établit. Une jonction a été créée, et en ajoutant des contacts métalliques sur les zones **n** et **p**, c'est une diode qui est obtenue.

Lorsque cette diode est éclairée les photons sont absorbés par le matériau et chaque photon donne naissance à un électron et un trou (paire électron-trou). La jonction de la diode sépare les électrons et les trous, donnant naissance à une différence de potentiel entre les contacts **n** et **p**, et un courant circule si une résistance est placée entre les contacts de la diode (Figure.III.6).

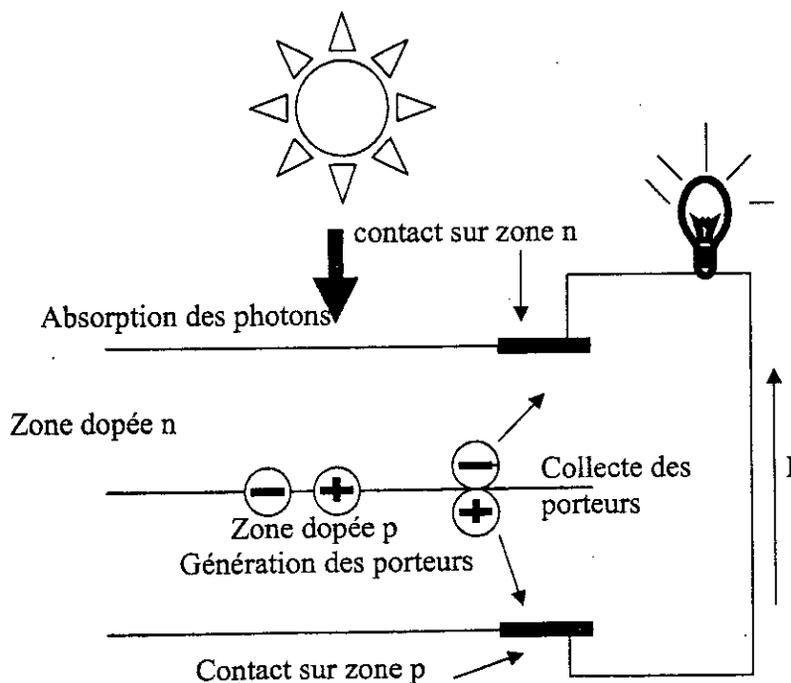


Figure.III.6 : principe de fonctionnement d'une cellule solaire

III.2.2.5.2. Schéma équivalent d'une cellule solaire :

Une photopile (cellule solaire) est électriquement considérée comme une source de courant shuntée par une diode comme le montre la figure III.7. [8] La source de courant fournit un courant I_{ph} proportionnel au flux solaire incident ϕ et la surface S de la cellule qui est donnée par l'expression :

$$I_{ph} = \alpha \cdot \phi \cdot S$$

Où α est un facteur de proportionnalité.

Le courant direct de la diode $I_D(V_j)$ a pour expression :

$$I_D = I_s (\exp(qV_j / nKT) - 1)$$

Où n : est le coefficient d'idéalité.

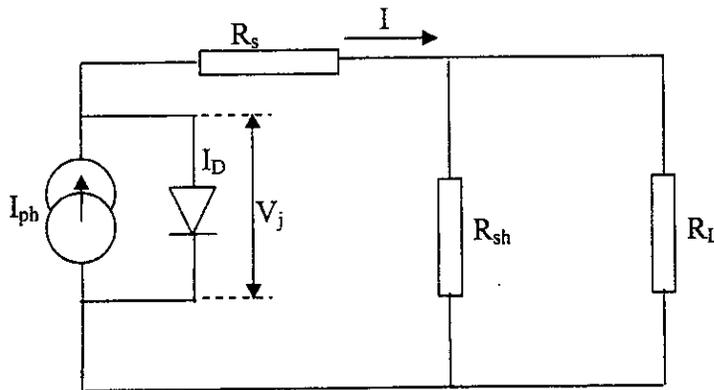


Figure .III.7: schéma électrique équivalent d'une cellule solaire

III.3. Le microcontrôleur 16F84 :[10]

III.3.1. Présentation générale :

Ce modèle de PIC est un circuit de petite taille, fabriqué par la Société américaine Arizona MICROCHIP Technology. Son boîtier est un DIL (*Dual In Line*) de 2x9 pattes. En dépit de sa petite taille, il est caractérisé par une architecture interne qui lui confère souplesse et vitesse incomparables. Ses principales caractéristiques sont :

- 13 lignes d'entrées/sorties, réparties en un port de 5 lignes (PortA) et un port de 8 lignes (PortB)
- alimentation sous 5 Volts
- architecture interne révolutionnaire lui conférant une extraordinaire rapidité
- une mémoire de programme pouvant contenir 1.019 instructions de 14 bits chacune (allant de l'adresse 005 à l'adresse 3FF)
- une mémoire RAM utilisateur de 68 emplacements à 8 bits (de l'adresse 0C à l'adresse 4F)
- une mémoire RAM de 2x12 emplacements réservée aux registres spéciaux
- une mémoire EEPROM de 64 emplacements
- une horloge interne, avec pré diviseur et chien de garde
- possibilité d'être programmé *in-circuit*, c'est à dire sans qu'il soit nécessaire de le retirer du support de l'application
- vecteur de Reset situé à l'adresse 000
- un vecteur d'interruption, situé à l'adresse 004
- bus d'adresses de 13 lignes
- présence d'un code de protection permettant d'en empêcher la duplication
- facilité de programmation
- simplicité
- faible prix.

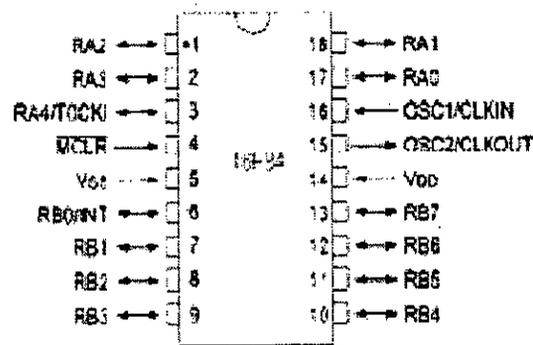


Figure III.8. Brochage de pic16F84

III.3.2. Organisation interne du PIC 16F84 :

La figure.III.9, nous montre comment est construit un 16F84. On peut remarquer les largeurs de bus internes qui nous rappellent les limitations des modes d'adressage. Vous voyez par exemple que le PC (Program Counter) n'a qu'une largeur de 13 bits.

Le cœur du 16F84, comme dans tout processeur, est l'ALU. C'est dans cette Unité Arithmétique et Logique que s'effectuent tous les calculs. Notons la liaison entre le registre W et l'unité ALU.

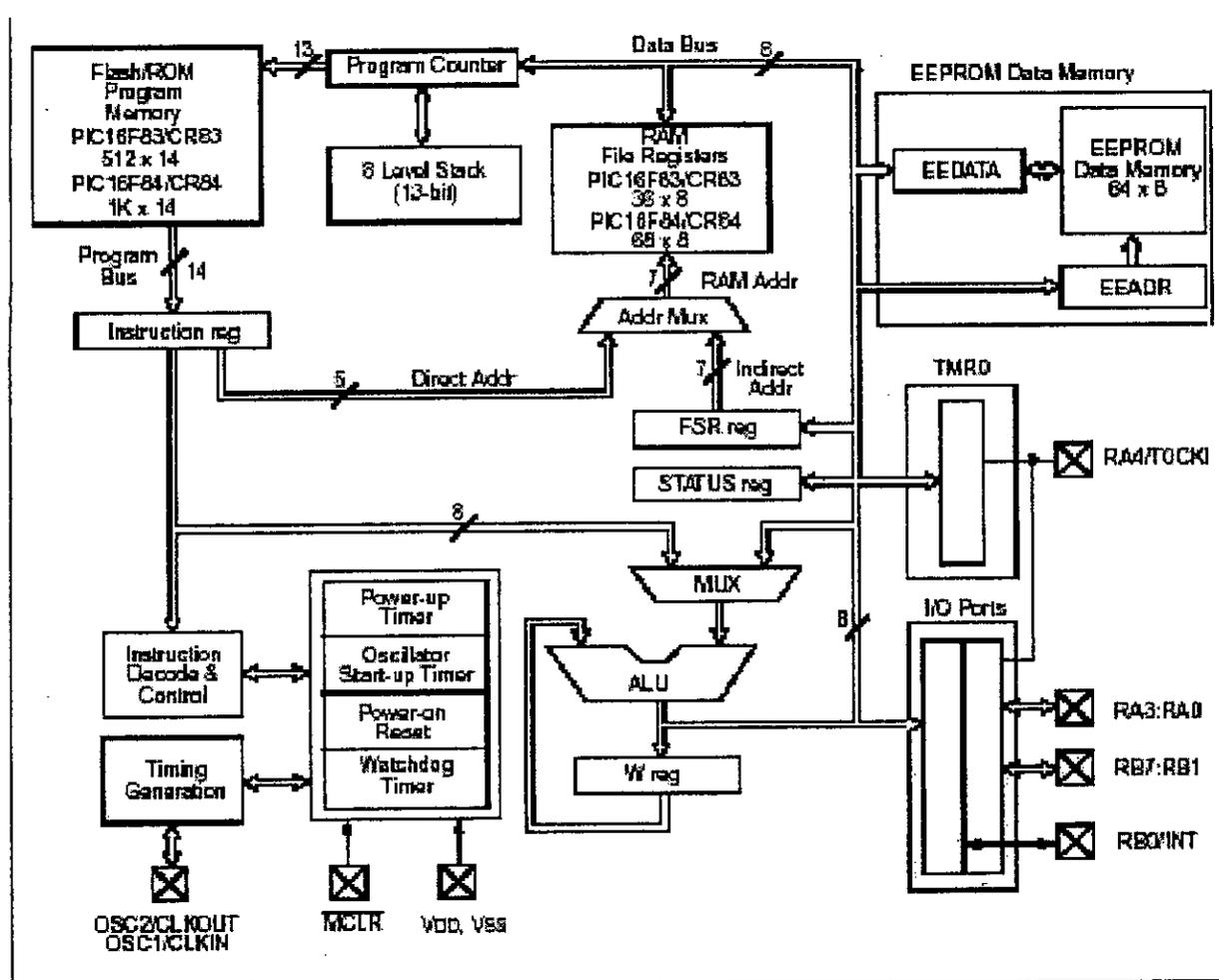


Figure III.9. Schéma fonctionnel d'un PIC16F84.

III.3.2.1. Organisation mémoire du 16F84 [9] :

La figure II.10 nous montre que La mémoire du 16F84 est divisée en 3 parties.

III.3.2.1.1. La mémoire programme :

La mémoire programme est constituée de 1K mots de 14 bits. C'est dans cette zone que nous allons écrire notre programme.

III.3.2.1.2. La mémoire eeprom :

La mémoire eeprom (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory), est constituée de 64 octets qu'on peut 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. Leur utilisation implique une procédure spéciale que nous verrons par la suite car ce n'est pas de la RAM, mais bien une ROM de type spécial. Il est donc plus rapide de la lire que d'y écrire.

III.3.2.2. Organisation des instructions [10] [11] :

De la figure III.11 on constate qu'il existe 4 types d'instructions :

III.3.2.2.1. Les instructions « orientées octet »

Ce sont des instructions qui manipulent les données sous forme d'octets. Elles sont codées de la manière suivante :

- 6 bits pour l'instruction : logique, car comme il y a 35 instructions, il faut 6 bits pour pouvoir les coder toutes

- 1 bit de destination (d) pour indiquer si le résultat obtenu doit être conservé dans le registre de travail de l'unité de calcul (W pour Work) ou sauvé dans l'opérande (F pour File).

- Reste 7 bits pour encoder l'opérande (File).

Or, 7 bits ne donnent pas accès à la mémoire RAM totale, donc voici ici l'explication de la division de la RAM en deux banques.

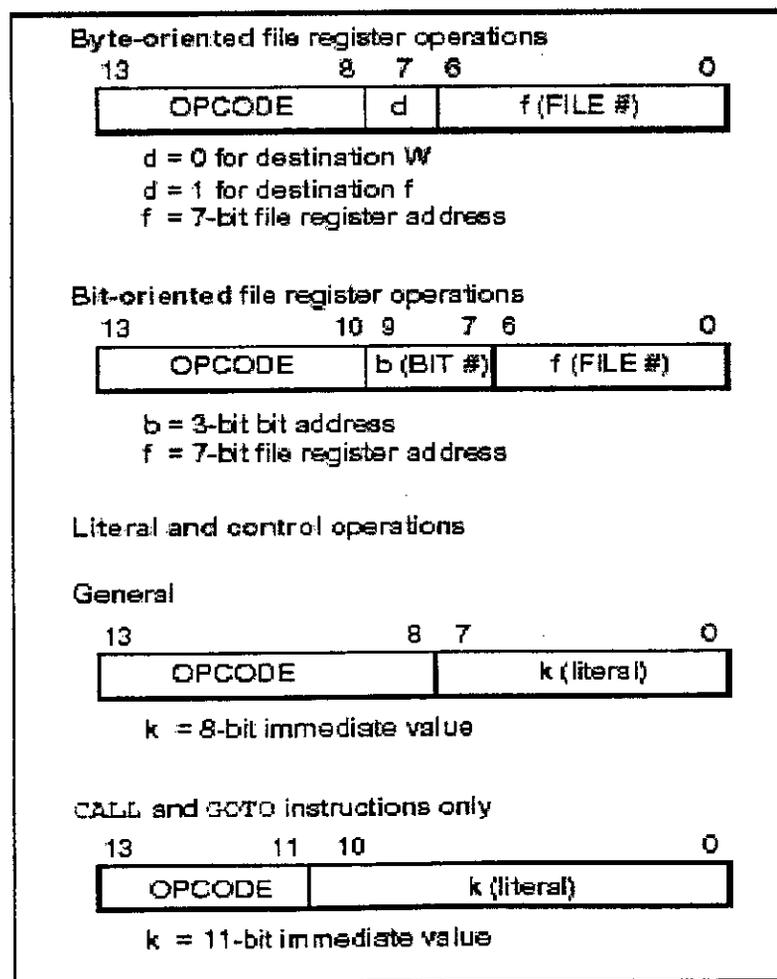


Figure .III.11 : Organisation des instruction

III.3.2.2.2. Les instructions « orientées bits »

Ce sont des instructions destinées à manipuler directement des bits d'un registre particulier.

Elles sont codées de la manière suivante :

- 4 bits pour l'instruction (dans l'espace resté libre par les instructions précédentes)
- 3 bits pour indiquer le numéro du bit à manipuler (bit 0 à 7 possible), et de nouveau :
- 7 bits pour indiquer l'opérande.

III.3.2.2.3. Les instructions générales :

Ce sont les instructions qui manipulent des données qui sont codées dans l'instruction Directement. Elles sont codées de la manière suivante :

- L'instruction est codée sur 6 bits
- Elle est suivie d'une valeur IMMEDIATE codée sur 8 bits (donc de 0 à 255).

III.3.2.2.4. Les sauts et appels de sous-routines

Ce sont les instructions qui provoquent une rupture dans la séquence de déroulement du programme. Elles sont codées de la manière suivante :

- Les instructions sont codées sur 3 bits
- La destination codée sur 11 bits

III.3.2.3. Le jeu d'instruction du 16F84 :

Il existe 35 instructions dans le PIC 16F84 qui sont [11] :

mnémonique	Instructions sur les registres (octets)	bits modifi
ADDWF f,d	d:=W+f	C,DC,Z
ANDWF f,d	d:=W AND f	Z
CLRF f	f:=0	Z
CLRW	W:=0	Z
COMF f,d	d:=NOT(f)	Z
DECF f,d	d:=f-1	Z
DECFSZ f,d	d:=f-1 ; Skip if Zero	.
INCF f,d	d:=f+1	Z
INCFSZ f,d	d:=f+1 ; Skip if Zero	.
IORWF f,d	d:=W OR f	Z
MOVF f,d	d:=f (permet de savoir si f=0 en faisant MOVF f,1)	Z
MOVWF f	f:=W	.
NOP	n'effectue aucune opération	.
RLF f,d	d=f SHL 1 	C
RRF f,d	d=f SHR 1 	C
SUBWF f,d	d:= f-W(en complément à 2-->d:=f + not (W) +1)	C,DC,Z
SWAPF f,d	d:= f[4..7] <- - > f[0..3] (inverse les quartets)	.
XORWF f,d	d:= W XOR f	Z

mnémonique	Instructions sur les registres (bit par bit)	bits modifi
BCF f,b	f[b]:=0 (mets à 0 le bit b de f)	.
BSF f,b	f[b]:=1 (mets à 1 le bit b de f)	.
BTFSC f,b	teste le bit b de f ; Skip if Clear (0)	.
BTFSS f,b	teste le bit b de f ; Skip if Set (1)	.

mnémonique	Instructions de contrôle	bits modifi
ADDLW k	W:=W+k	C,DC,Z
ANDLW k	W:=W AND k	Z
CALL k	appel un sous programme	.
CLRWDT	remet à 0 le timer du chien de garde	TO,PD
GOTO k	se branche à l'adresse k	.
IORLW k	W:=W OR k	Z
MOVLW k	W:=k	.
RETFIE	fin d'une interruption	.
RETLW k	w:=k , puis effectue un retour de sous programme	.
RETURN	effectue un retour de sous programme	.
SLEEP	place le circuit en mode sommeil et stoppe l'oscillateur	TO,PD
SUBLW k	W:=W-k	C,DC,Z
XORLW k	W:=W XOR k	Z

Tableau III.1. le jeu d'instruction de 16F84

Le F (comme File register) indique un registre

Le L (comme littéral) indique une valeur immédiate

C : Carry (retenue)

DC : Demi carry (demi retenue) sur un quartet

Ces 2 éléments sont mis a 1 si retenue sinon non en cas d'addition, et mis a 0 si il y a une retenue en cas de soustraction.

Z: Zero

TO: Time OUT (chien de garde)

PD: Power Down

On trouve ces éléments binaires dans le registre STATUS du pic.

III.3.2.4. Les avantages d'un 16F84 :

- présence d'un code de protection permettant d'en empêcher la duplication
- facilité de programmation
- simplicité
- faible prix
- architecture interne révolutionnaire lui conférant une extraordinaire rapidité.

III.3.2.5. Les inconvénients :

- une mémoire de programme limitée contenir 1.019 instructions
- ne contient pas un convertisseur analogique numérique

III.4. L'ADC804 :

III.4.1 description :

L'ADC 804 est un convertisseur analogique numérique de 8 bits à approximations successives CMOS dont le temps de conversion est de 100 μ s. Ce convertisseur est considéré par le microprocesseur comme une position mémoire ou un port d'entrée/sortie. L'entrée analogique différentielle permet d'améliorer le taux de réjection en mode commun et d'éliminer le décalage dû au zéro analogique d'entrée. Une entrée de référence est disponible pour permettre la conversion sur 8 bits de tensions analogiques de faible amplitude ou l'utilisation d'une référence extérieure. La gamme de tension d'entrée s'étend de Vcc à la masse analogique. L'ADC 804 peut fonctionner avec un signal d'horloge extérieur ou bien avec le générateur d'horloge intégré. [5]

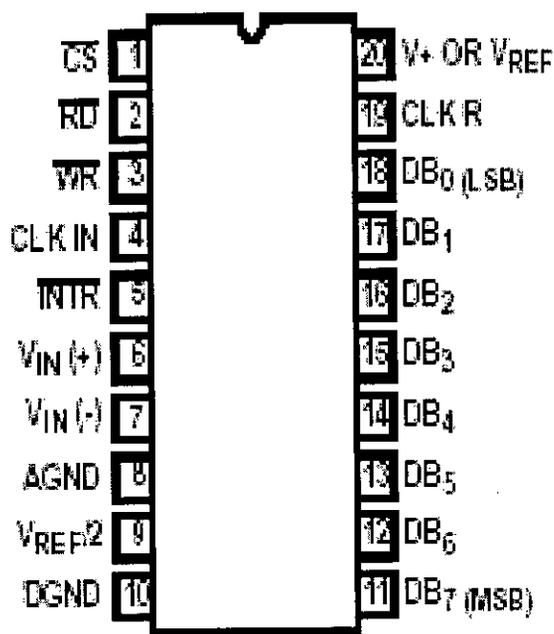


Figure III.12 : brochage de l'ADC804

III.4.2. Principe de fonctionnement [8] [12]

L'ADC 804 comporte un circuit équivalent à un réseau de 256 résistances. La logique d'approximations successives commande des interrupteurs analogiques de façon à faire correspondre une tension d'entrée analogique différentielle à une prise du réseau de résistances. La comparaison porte d'abord sur le poids le plus fort (MSB). Après 8 comparaisons (64 périodes d'horloge), un code binaire de 8 bits (11111111 = pleine échelle) est transféré dans un verrou de sortie et la sortie interruption (\overline{INTR}) passe au niveau bas. On peut faire fonctionner le circuit en mode astable en reliant la sortie \overline{INTR} à

niveau bas. On peut faire fonctionner le circuit en mode astable en reliant la sortie \overline{INTR} à l'entrée \overline{WR} et en maintenant l'entrée début de conversion \overline{CS} au niveau bas. Pour assurer l'initialisation de circuit dans toutes les conditions, l'entrée \overline{WR} doit être au niveau bas à la mise sous tension. Par la suite, la retombée \overline{CS} interrompt la conversion en cours.

Lorsque l'entrée \overline{WR} passe au niveau bas, le registre à approximations successives et le registre à décalage 8bits sont remis à zéro. Tant que \overline{CS} et \overline{WR} restent au niveau bas, le CAN reste dans l'état initial. Une à huit périodes d'horloge après le passage au niveau haut de \overline{CS} ou de \overline{WR} , la conversion débute. Lorsque les entrées \overline{CS} et \overline{WR} sont au niveau bas, la bascule de début de conversion est mise à 1 ; la bascule d'interruption et le registre 8 bits sont remis à zéro. L'impulsion d'horloge suivante provoque le passage au niveau haut de la sortie de la bascule de début de conversion.

Ce niveau haut est combiné en ET avec l'impulsion d'horloge suivante, ce qui a pour effet de faire passer au niveau haut l'entrée RESET de bascule de début de conversion. Si \overline{CS} et \overline{WR} est remonté, le signal appliqué à l'entrée S de la bascule de début de conversion est supprimé, et celle-ci est remise à zéro. Un niveau haut est appliqué à l'entrée D du registre à décalage 8bits ; la conversion commence. Si l'entrées \overline{CS} et \overline{WR} sont toujours au niveau bas, la bascule de début de conversion, le registre à décalage 8bits et le registre approximation successives restent à zéro. La conversion démarrant de 1 à 8 périodes d'horloge après le passage au niveau haut de l'un de ces signaux.

Lorsque le niveau haut a traversé le registre à décalage 8 bits, ce qui marque la fin d'un cycle du registre à approximations successives, il est appliqué à une porte ET qui commande les verrous de sorties et à l'entrée D d'une bascule. La sortie de la bascule d'interruption est inversée pour donner une sortie \overline{INTR} qui est au niveau haut pendant la conversion et au niveau bas quand la conversion est terminée.

Lorsque les entrées \overline{CS} et \overline{WR} sont toutes deux au niveau bas, la donnée numérique est disponible sur les sorties de convertisseur et la bascule d'interruption est remise à zéro.

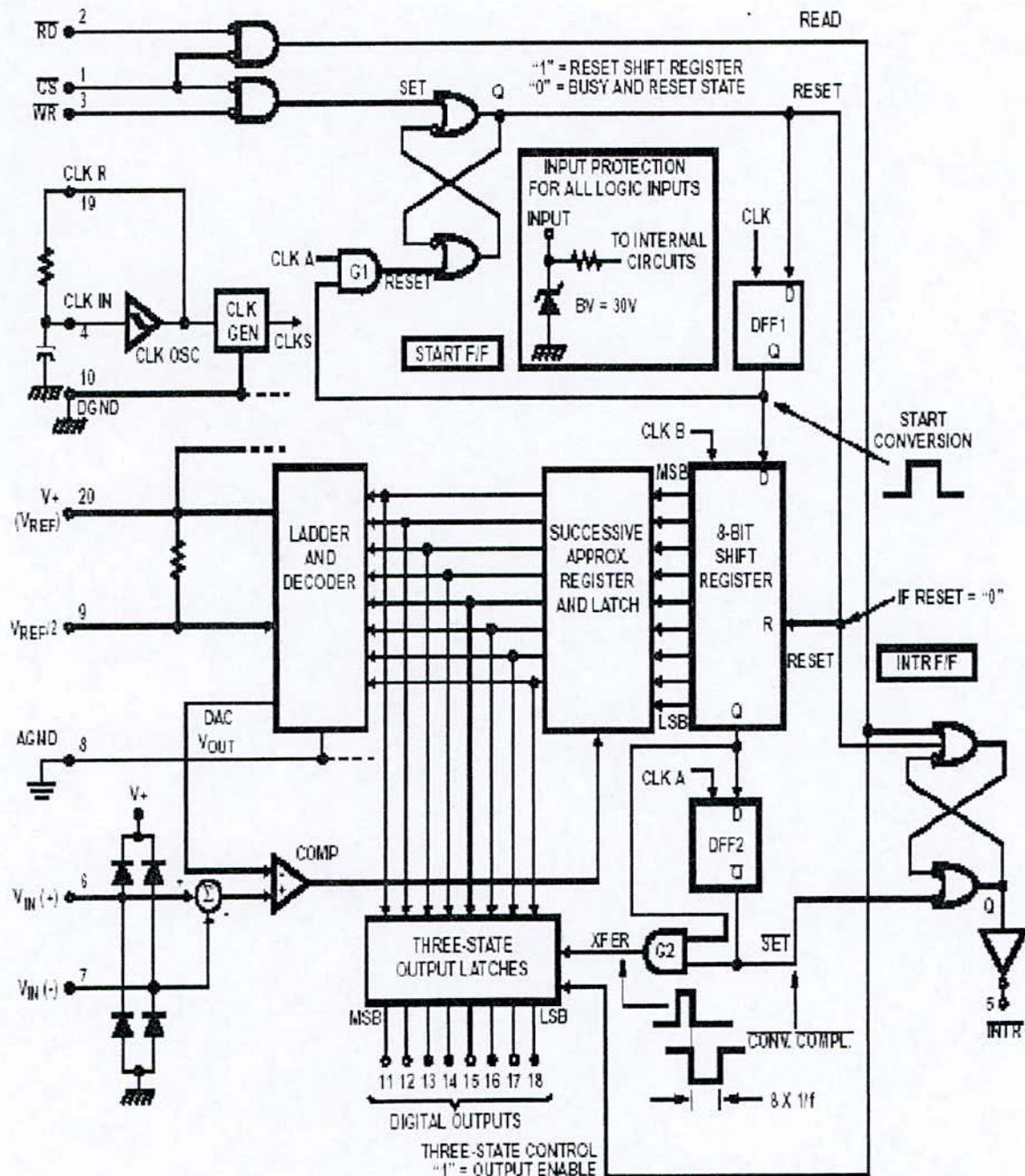


Figure III.13: schéma fonctionnel de l'ADC 804.

III.4.3. Pourquoi l'ADC 804 ?

On a choisi l'ADC 804 a cause de ses caractéristiques qui sont :

1. le temps de conversion inférieur à 100µs
2. facilité à relier avec le 16F84 et avec d'autres microprocesseurs
3. son entrée analogique différentielle

4. travaille avec une plage de tension de référence
5. horloge interne
6. ne nécessite pas de logique d'interfaçage
7. disponible surtout

III.5. La mémoire 24C16 [13] :

La 24C16 est une EEPROM de technologie CMOS. Ses caractéristiques sont :

- Alimentation : 1.8V à 5.5 V
- Consommation :
 Courant des Veille inférieur à 2 μ A
 Courant de lecture inférieur à 1mA
 Courant d'écriture inférieur à 3mA
- Fréquence de 100KHz pour une tension de 1.8V et 400KHz pour une tension de 5V
- Protections de données
 Pin de protection contre l'écriture
- Dispositif de lecture séquentiel
- Des entrées filtrées pour la suppression de bruit
- temps d'un cycle d'écriture avec l'auto-effacement 5ms

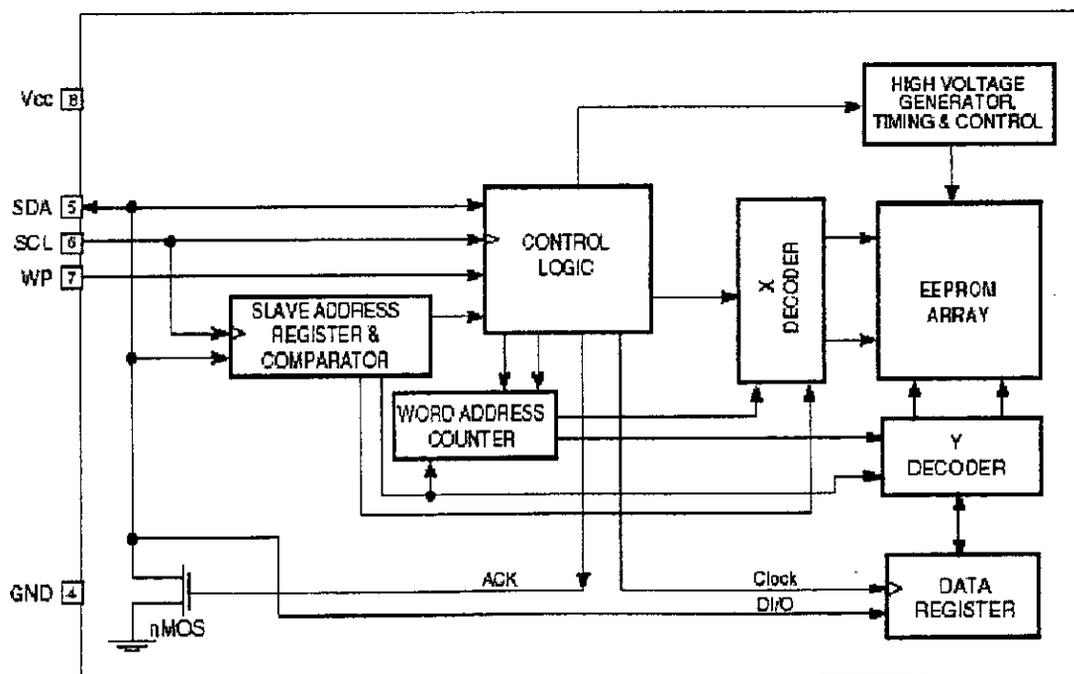


Figure III.14 : Diagramme fonctionnel d'une 24C16.

III.5.2. Description de la 24C16 :

SCL : (Serial Clock), qui sert à transmettre les impulsions d'horloge qui vont rythmer les échanges.

SDA: (Serial Data est un pin bidirectionnelle utilisé pour transférer les information (les adresses les données et les commandes.

A0, A1, A2 : les entrées des adresses dans notre ils n'ont pas utilisées

Wp : est un pin de protection contre l'écriture.

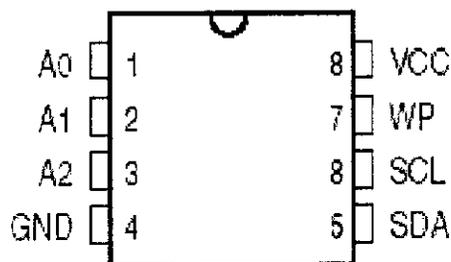


Figure III.15 : la configuration des pins de 24C16.

III.5.3.L'écriture d'un octet :

Pour écrire un octet il faut suivre les étapes du protocole I2C :

1. Mettre les lignes SDA et SCL à 1, c'est-à-dire le bus en repos
2. on envoie un START : SDA passe à 0, puis SCL passe à 0
3. on envoie un premier octet, bit à bit :
 - on donne à SDA la valeur de bit plus élevé (B7), puis on valide par une impulsion positive sur SCL
 - on procède ainsi avec B6, puis B5 etc....

La signification de ces bits :

- Les bits (B7, B6, B5, B4) indiquent l'adresse de périphérique de 24C16
- Les bits (B3, B2, B1) sont les trois bits de poids fort de l'adresse ces bits AD10, AD9, et AD8, représentent les valeurs des broches A2, A1, et A0
- Le bit B0 est le bit R/W, mis à 0, il donne à la mémoire un ordre d'écriture; mis à 1, un ordre de lecture. Ici il est mis à 0
- Le SDA est remis à 1 pour laisser la ligne disponible

4. après chaque octet transmis, le périphérique récepteur indique qu'il reçu l'octet en mettant SDA à 0, le temps d'une impulsion d'horloge envoyée par le maître, ici le pic16F84 ; on nomme cette validation (ACKNOWLEDGE), en abrégé ACK.
5. transmission du deuxième octet, qui représente les huit bits de poids faibles de l'adresse ; sur SDA avec chaque fois une impulsion positive sur SCL.
6. nouvel ACK : impulsion positive sur SCL
7. transmission de l'octet de données (D7 à D0)
8. dernier ACK : impulsion positive sur SCL
9. pour conclure, un STOP : SCL passe à 1, puis SDA passe à 1.

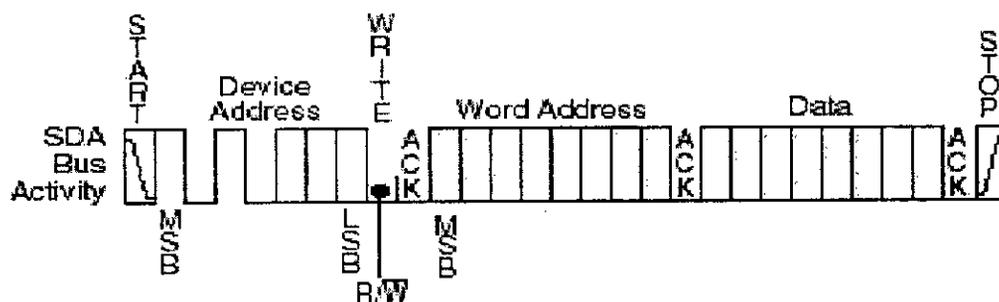


Figure III.16: Cycle d'écriture d'un octet.

III.5.3. Lecture d'un octet :

Pour lire un octet il faut aussi suivre les étapes suivantes :

1. la première étape consiste à pointer l'adresse à lire dans le périphérique ; tout passe comme lors d'une opération d'écriture, mais ici le STOP n'est pas nécessaire.
2. l'étape de lecture :
 - on enchaîne directement sur START.
 - On émet l'octet d'adressage du périphérique, puis vient le bit R/W qui est cette fois à 1
 - Impulsion d'horloge correspondant à l'ACK.
 - Nous allons lire les huit bits de données en envoyant huit impulsions positives sur SCL ; la lecture de chaque bit s'effectue sur SDA après

chaque front montant de SCL ; le premier bit reçu est D7, le dernier est donc D0.

- Si l'on souhaite continuer à lire des octets, il revient de générer un ACK ; le maître (dans notre cas le pic 16F84) étant l'entité qui a reçu l'octet, c'est à lui de mettre SDA à 0
- Si l'on souhaite arrêter là la lecture, il faut générer un NO ACK c'est-à-dire une impulsion positive sur SCL, mais en laissant SDA à 1.
- En fin on termine l'opération par un STOP c'est-à-dire SCL passe à 1, puis SDA passe à 1.

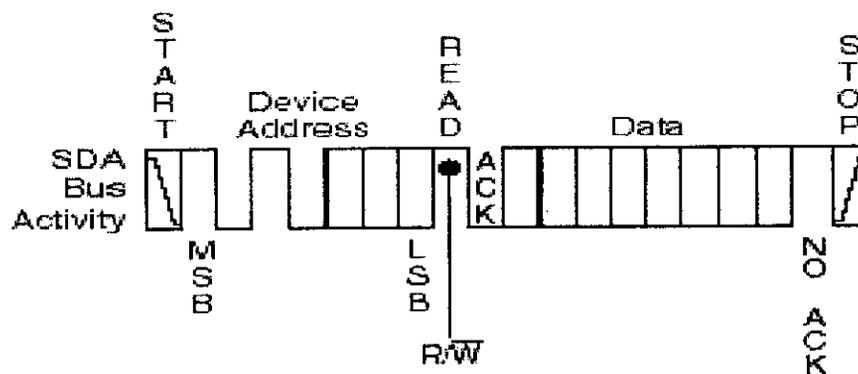


Figure III.17: Cycle de lecture d'un octet.

III.6.Conclusion :

Nous avons décrit dans ce chapitre les principaux composants électroniques constituant notre carte, et on a justifié le choix de chaque composant, selon ses caractéristiques.

Chapitre IV

Description de la réalisation

IV.1. Introduction :

Le but de ce chapitre est de décrire le fonctionnement du dispositif électronique réalisé pour la mesure des irradiations solaires. Le schéma synoptique du système comporte les différents blocs suivants (**figure IV-1**) :

- Cellule solaire et circuit d'amplification
- Circuit de traitement : ADC 804 et le microcontrôleur 16F84
- Circuit d'affichage : les afficheurs 7segments, le convertisseur BCD/7segments.)
- Circuit de stockage : mémoire externe 24C16
- Interface PC : MAX232

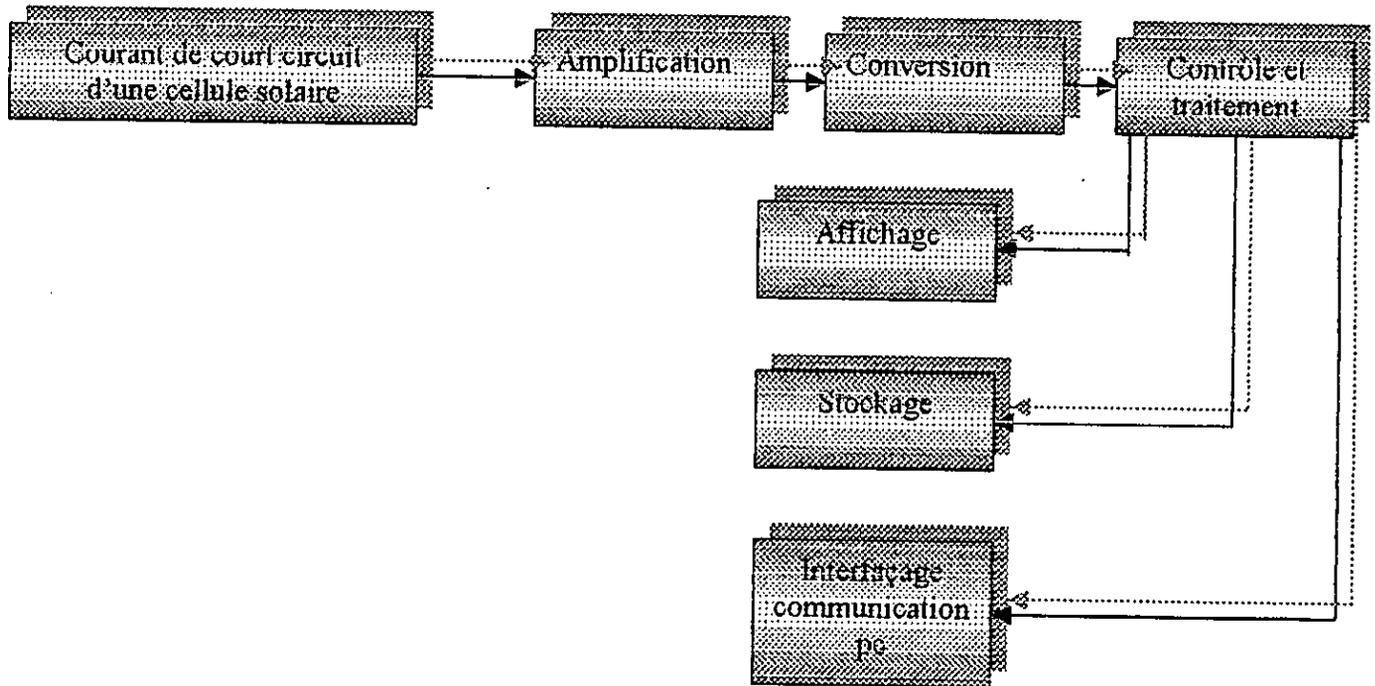


Figure IV.1. Schéma synoptique de la réalisation

La cellule solaire fournit une tension très faible qui sera amplifiée par le bloc d'amplification. Cette valeur est convertie par le convertisseur analogique numérique puis lue par le microcontrôleur. Après la fin de l'opération de lecture le microcontrôleur envoie la valeur mesurée vers les afficheurs.

Ensuite, on stocke dans la mémoire externe, la valeur affichée avec une date après chaque minute. Finalement on envoie les données stockées de la mémoire externe vers le PC lors d'une demande d'interruption ou bien quand la mémoire est pleine.

Le schéma de principe de notre mesureur est donné dans la figure IV.2

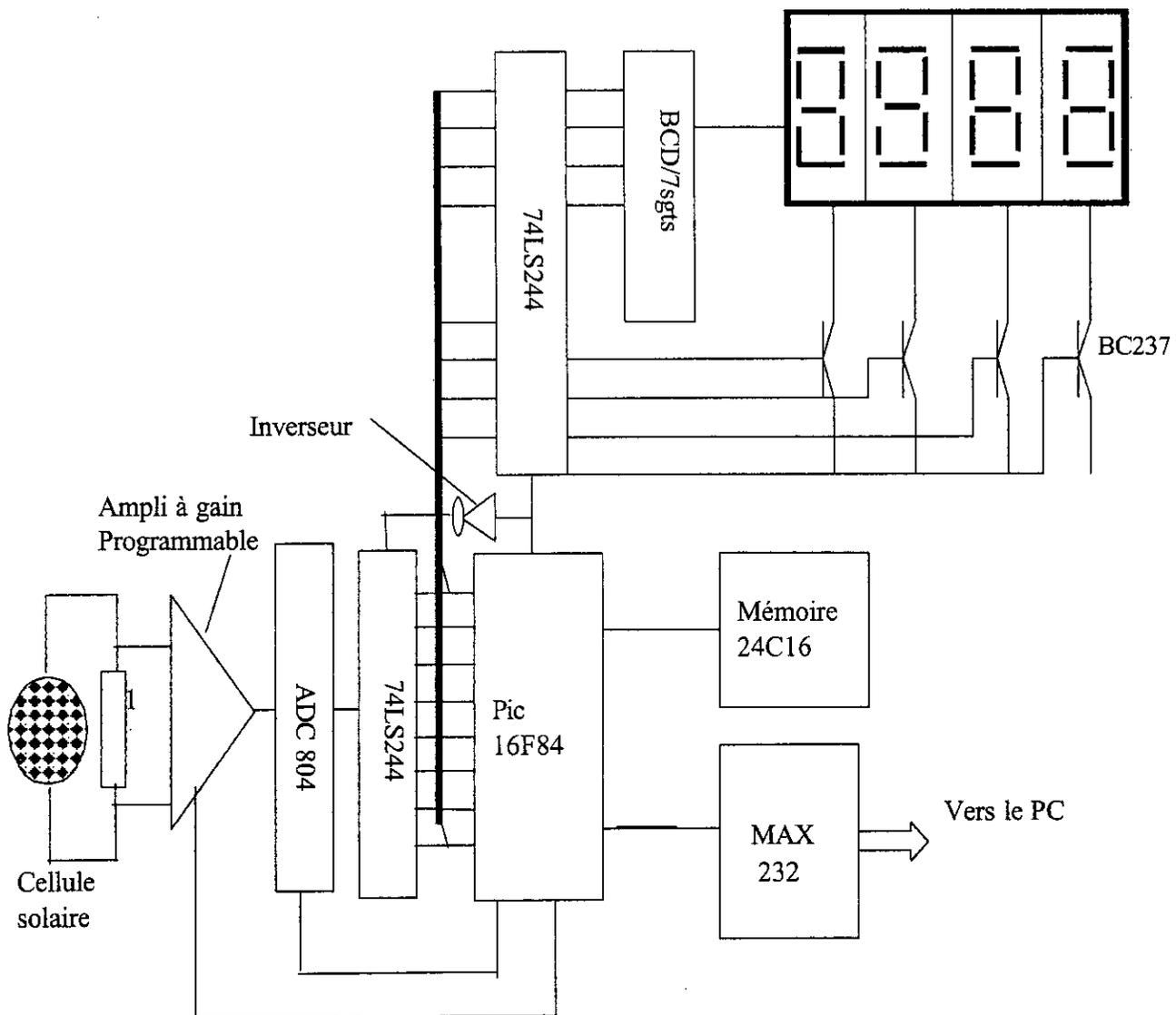


Figure IV.2. Schéma de principe de mesureur.

IV.2. SYSTEME ELECTRONIQUE :

On a divisé notre système en 3 blocs

1. bloc d'amplification
2. bloc de traitement
3. bloc d'affichage et de stockage

Avant d'expliquer les blocs en détail, il faut préciser que notre circuit a besoin d'une initialisation de temps car l'enregistrement des mesures doit comporter une date. Le processus d'initialisation de temps est le suivant :

On place deux boutons poussoirs SW1 et SW2 dans les pins RB0 et RB5 selon la configuration de brochage donnée dans la **figure IV.3**. Donc pour activer le compteur on appuie sur SW1 (RB0), dans ce cas là le microcontrôleur fonctionne on mode compteur et sert aussi à basculer entre les jours, mois, heures et minutes. Le dixième bouton poussoir SW2 (RB5) sert à varier la valeur indiquée par l'afficheur.

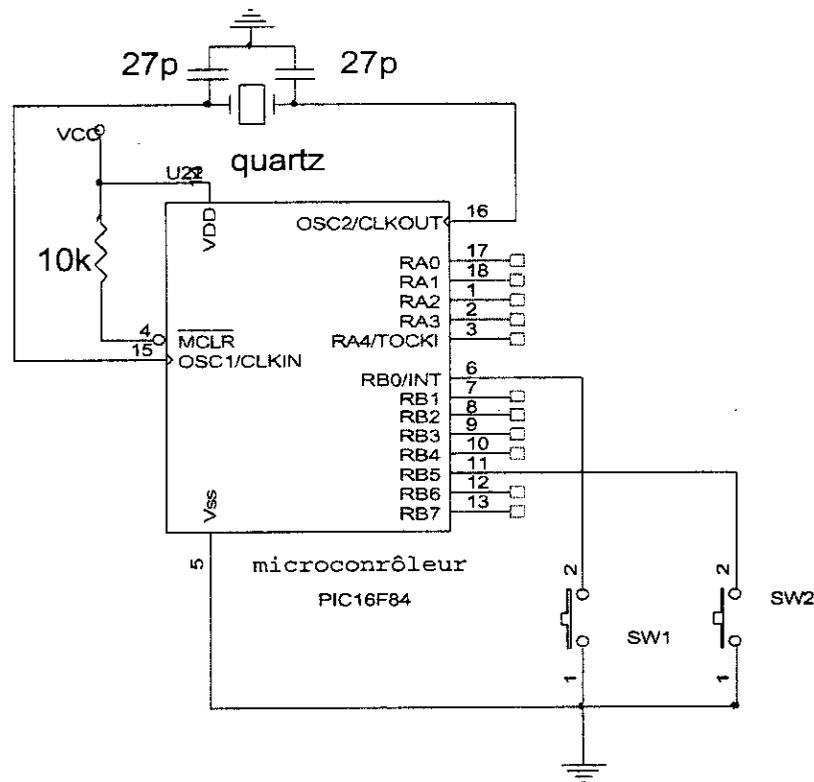


Figure IV.3 : L'initialisation de temps.

IV.3. Bloc d'amplification :

Ce bloc comporte :

- un amplificateur opérationnel le LM 324
- un interrupteur commandé le CD4066 [AnnexeA]

Le capteur des irradiations solaires dans notre cas est une cellule solaire. Cette cellule donne 20mA de courant de court circuit à $1200\text{mW}/\text{cm}^2$.mais il faut avoir 5V à l'entrée du CAN donc il faut un gain de $5000/20=250$. Si l'irradiation est de $100\text{mW}/\text{cm}^2$, la cellule donne un courant

IV.3.1. Partie 1 :

Composée par 3 amplificateurs parmi les 4 de LM324, elle constitue un amplificateur d'instrumentation a trois étages.

Il associe un amplificateur de différence (en général de gain 1) à un étage d'entrée différentiel symétrique. En faisant une étude du circuit, par superposition, on obtient :

$$\frac{s_1}{(e_2 - e_1)} = \left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right) \quad (\text{IV-3})$$

- Où
- s_1 : tension de sortie de 1^{ère} partie
 - $(e_2 - e_1)$: Différence de potentiel aux bornes de la cellule
 - R_1 : résistance de 100k Ω
 - R_2 : potentiomètre de 500 Ω pour ajuster le gain à 250

La simulation de cette partie est représentée dans la **figure IV.4**. On a représenté la tension de cellule par un générateur de 20mV qui représente le courant maximal fourni par la cellule. On a donné aussi au potentiomètre R2 une valeur de 800 Ω pour que la sortie de cette partie soit de 5V. Les amplificateurs opérationnels sont alimentés par une tension entre +5V et 0V, le potentiomètre est remplacé par une résistance de 800 Ω pour avoir un gain de 250.

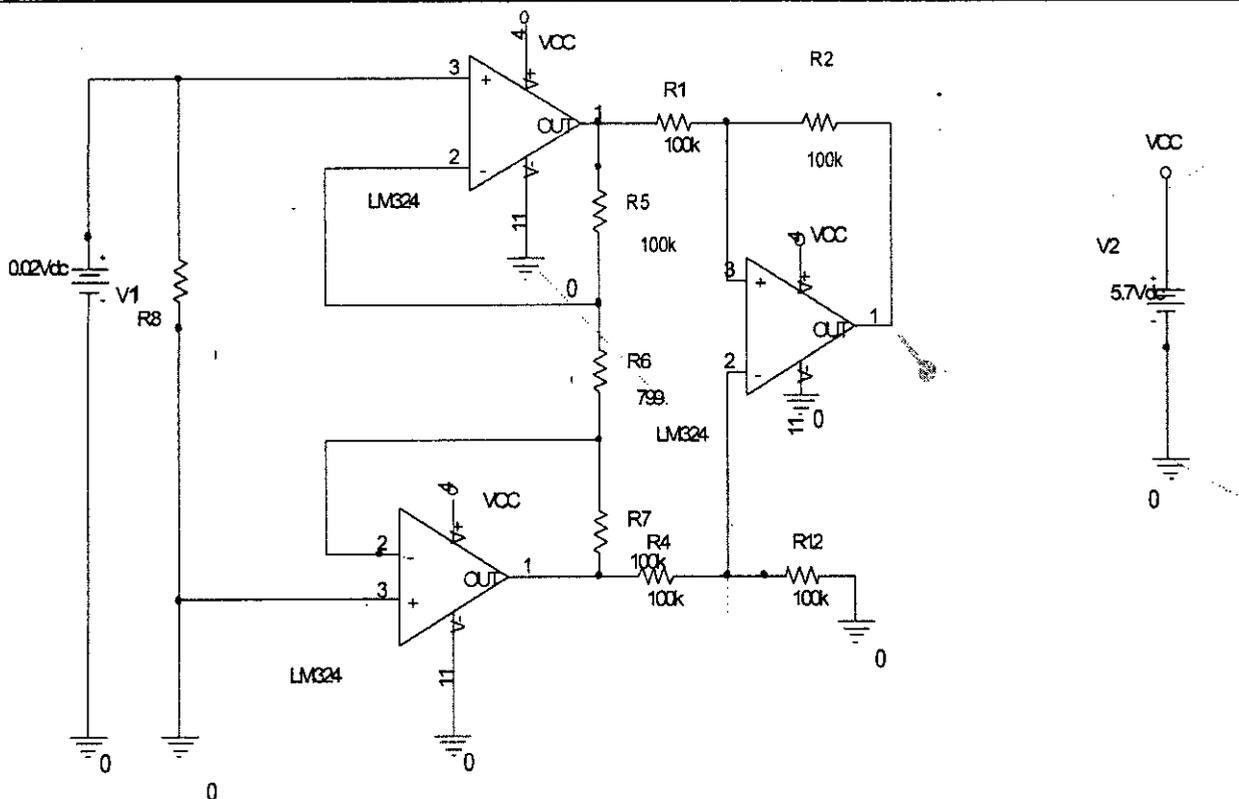


Figure IV.4. Simulation de la 1^{ère} partie du bloc1.

Le graphe de la simulation est donné dans la figure IV.5. Ce graphe illustre la tension de sortie de la première partie. On voit directement dans le graphe que la tension de sortie est de 5V

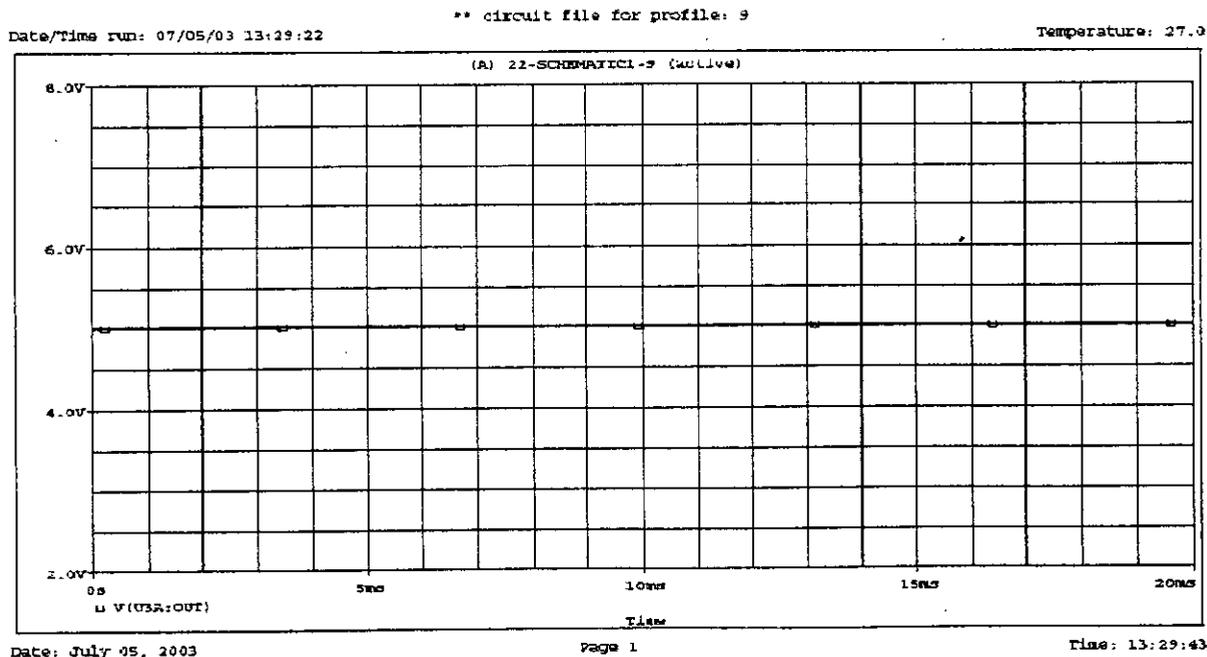


Figure IV.5. Tension de sortie de la 1^{ère} partie.

IV.3.2. Partie 2 :

Est composée par le quatrième amplificateur de LM324 monté en suiveur et l'interrupteur commandé le CD4066.

Le gain de cette partie est donné par :

$$\frac{s}{s_1} = \left(1 + \frac{R_3}{R}\right) \quad (\text{IV-4})$$

4)

Avec :

- s : tension de sortie de ce bloc
- s_1 : tension de sortie de la 1^{ère} partie
- R : résistance dont la valeur est de $10\text{k}\Omega$
- R_3 : une résistance qui peut prendre des valeurs différents pour avoir plusieurs gains, soit $90\text{k}\Omega$ ou $45\text{k}\Omega$.

Le CD 4066 est un interrupteur commandé composé de quatre interrupteurs indépendants [annexe]. Mais dans notre cas on utilise deux parmi les quatres qui sont K_1 et K_2 . Ces interrupteurs sont commandés par le microcontrôleur.

Le gain (s/s_1) est donné en fonction des positions des interrupteurs K_1 et K_2 de CD 4066.

K1	K2	Gain
Ouvert	Ouvert	10
Fermé	Ouvert	4
Fermé	Fermé	1

Tableau IV.1 variation de gain en fonction de K_1 et K_2

1^{er} cas :

K_1 ouvert et K_2 ouvert :

Dans ce cas $R_3 = 90\text{k}\Omega$. Après l'application numérique on trouve le gain ($\frac{s}{s_1}$) égal à 10

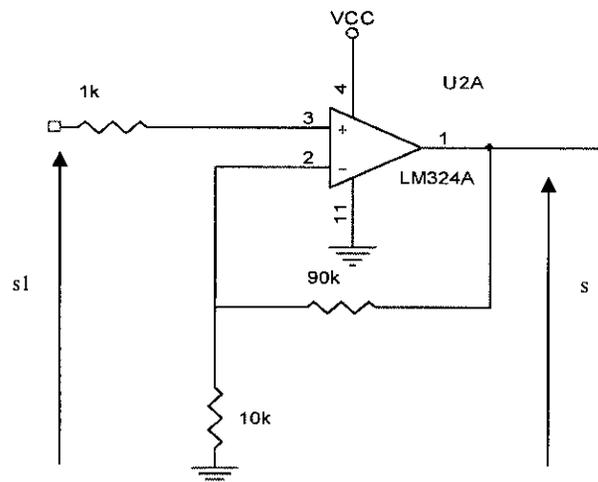


Figure IV-6. Schéma d'un amplificateur pour (K1 ouvert et K2 ouvert).

Le résultat de simulation est donné dans la figure IV.7, la tension d'entrée est de 2mv donc pour avoir 5V il faut que le gain soit égal à 1000

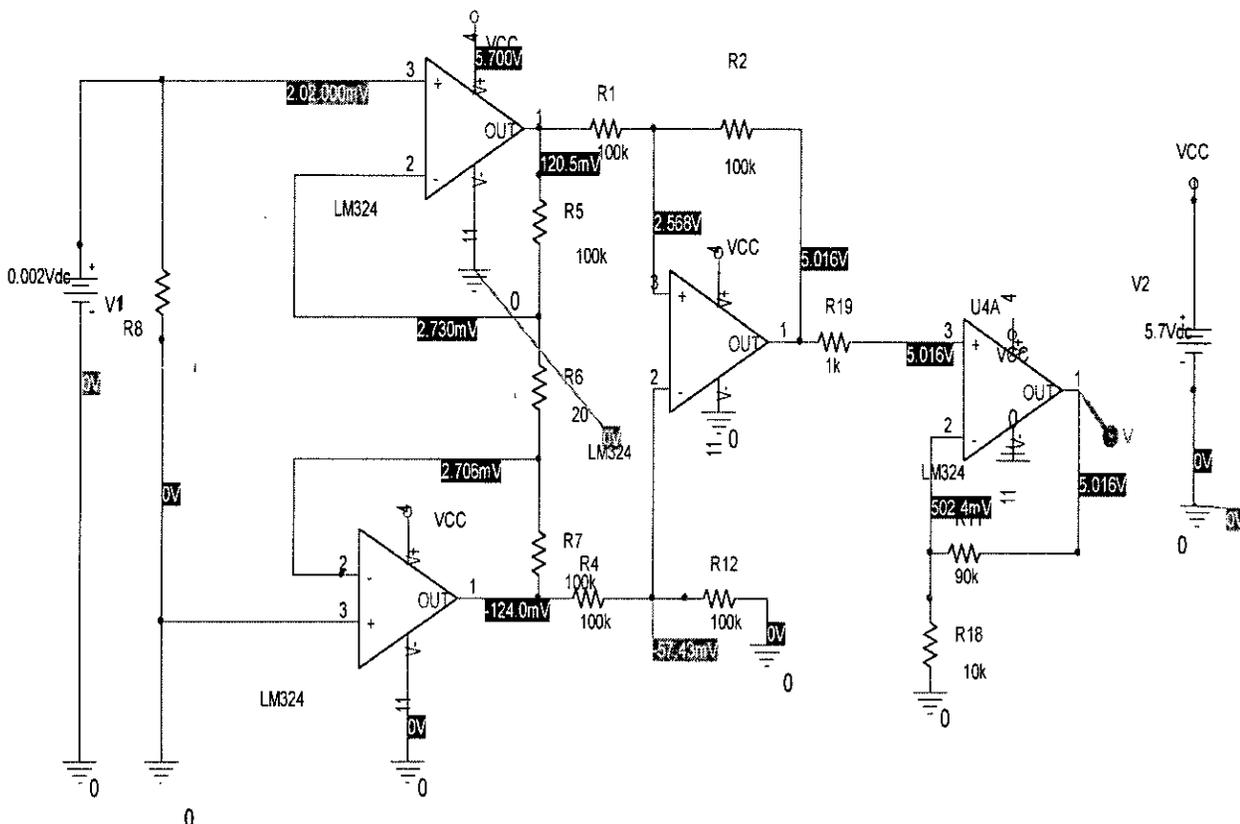


Figure IV.7. Simulation pour K1 ouvert et K2 ouvert.

La figure IV.8 donne la tension de sortie dans le cas où K1 est ouvert et K2 fermé. Le graphe représente la tension de sortie qui est égale à 5V

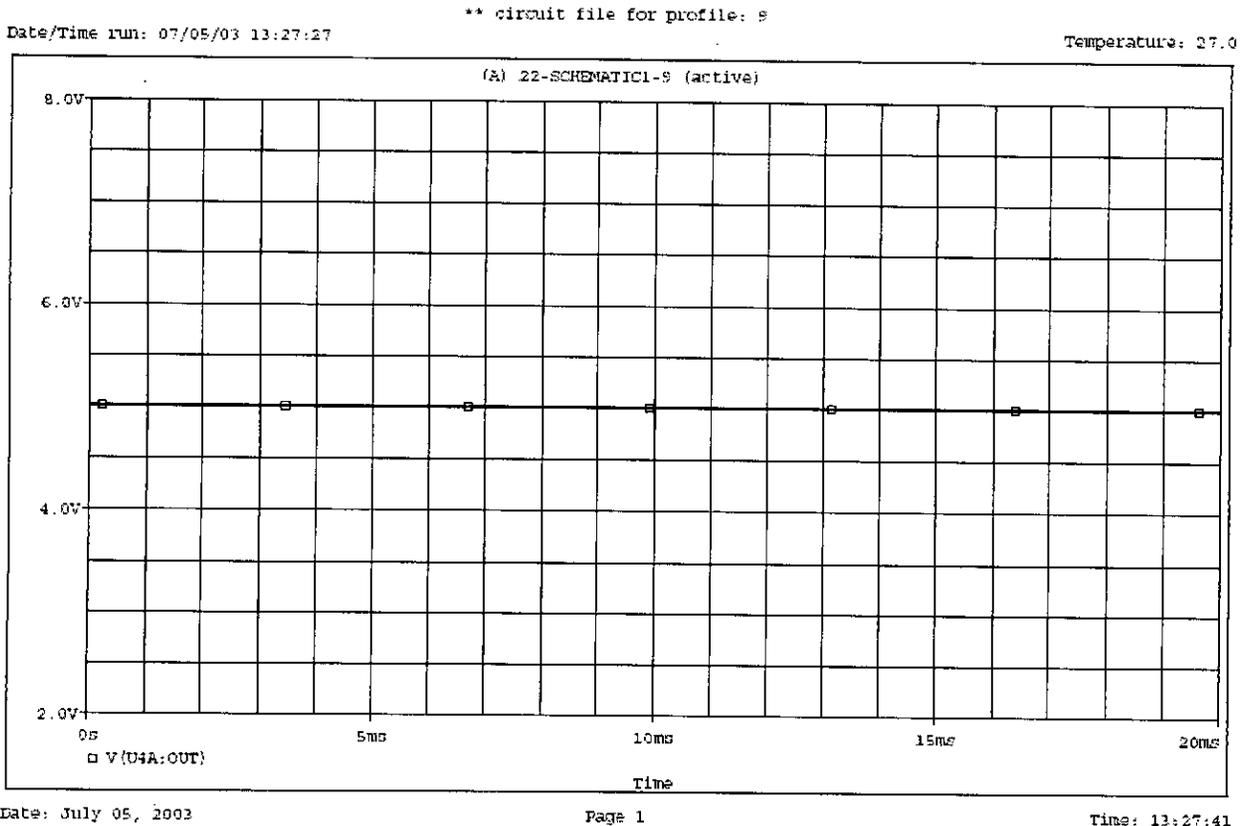


Figure IV.8 : graphe de la tension de sortie pour (K1 ouvert et K2 ouvert).

2^{ème} cas :

K1 fermé et K2 ouvert

Dans ce cas $R_3 = 30k\Omega$, est la résistance équivalente de $90k\Omega$ et $45k\Omega$ en parallèle. Après

l'application numérique on trouve le gain $(\frac{S}{s_1})$ égal à 4

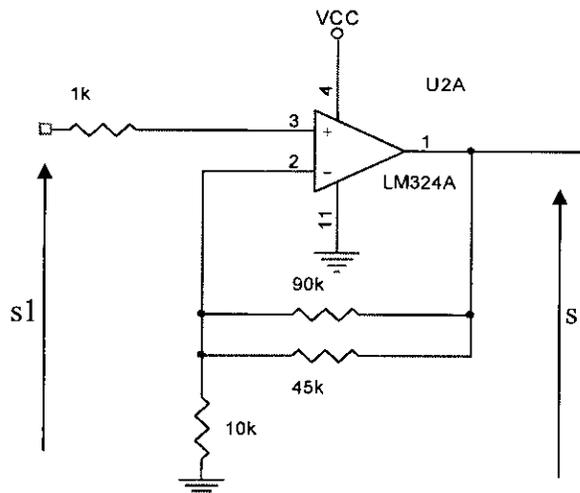


Figure IV-9. Schéma d'un amplificateur pour (K1 fermé et K2 ouvert).

La simulation de ce cas est donnée dans la **figureIV-10**, la tension d'entrée est de 5mV. Donc pour un gain de 1000 la sortie de bloc d'amplification doit être de 5V, les amplificateurs sont alimentés par +5.7V et 0V

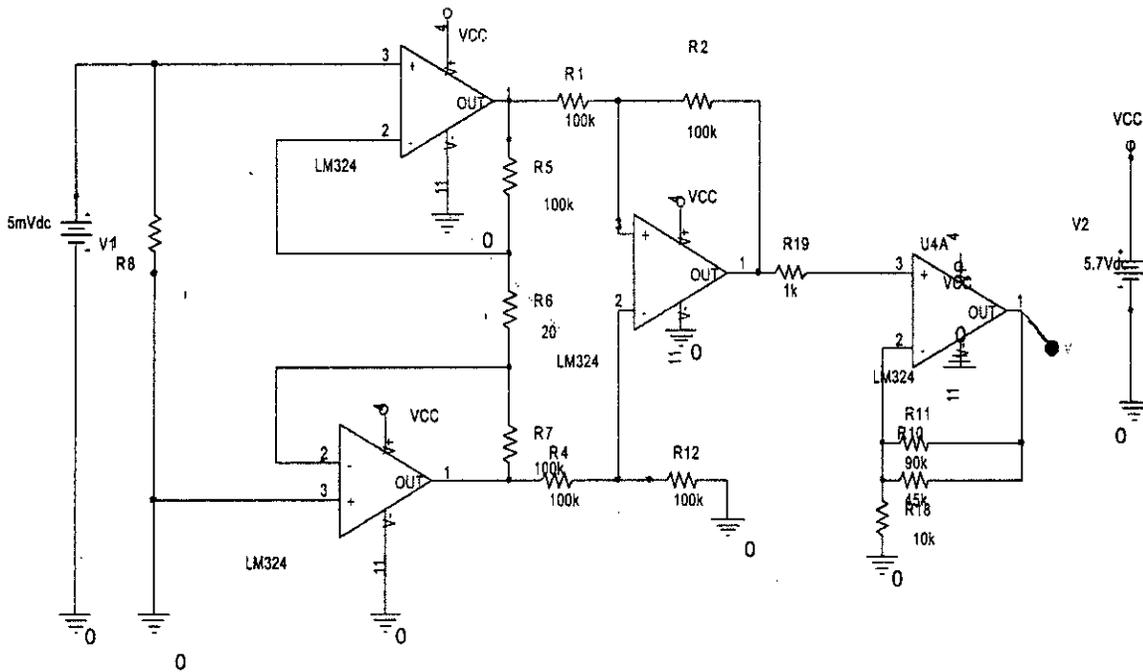


Figure IV.10. Simulation pour K1 fermé et K2 ouvert.

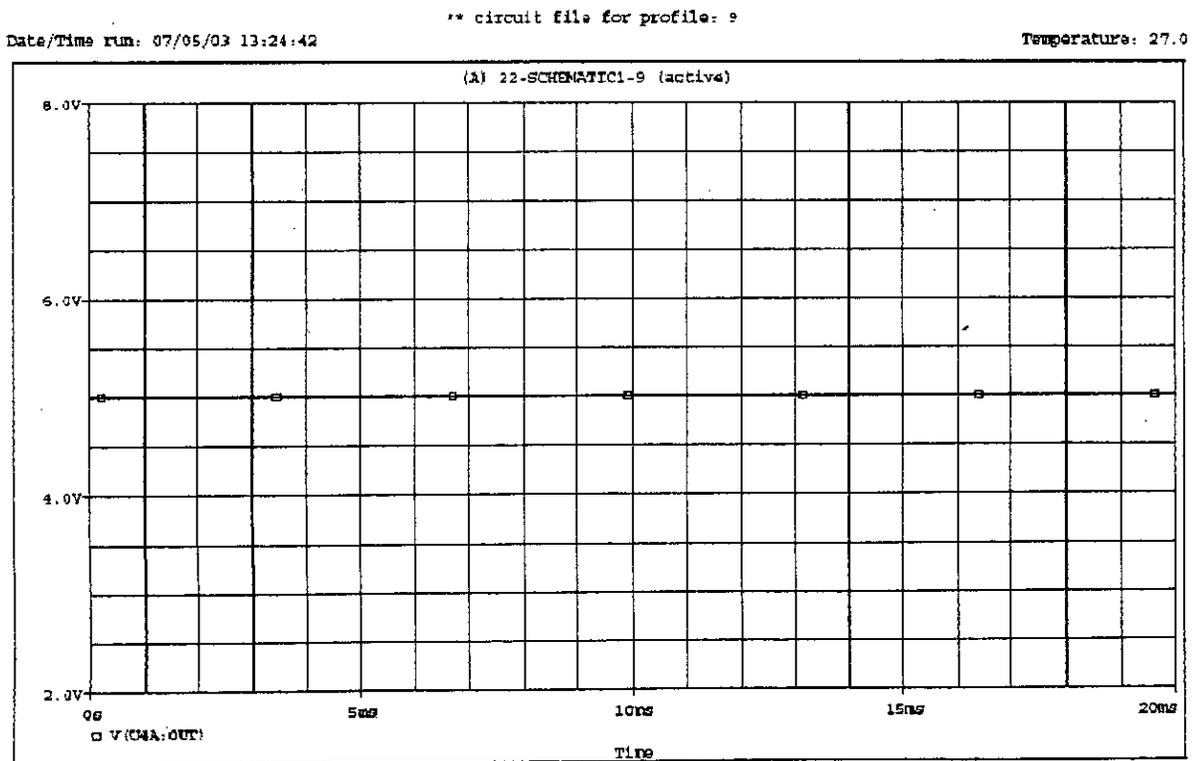


Figure IV.11 : Graphe de la tension de sortie pour (K1 fermé et K2 ouvert).

3^{ème} cas :

K1 fermé, K2 fermé

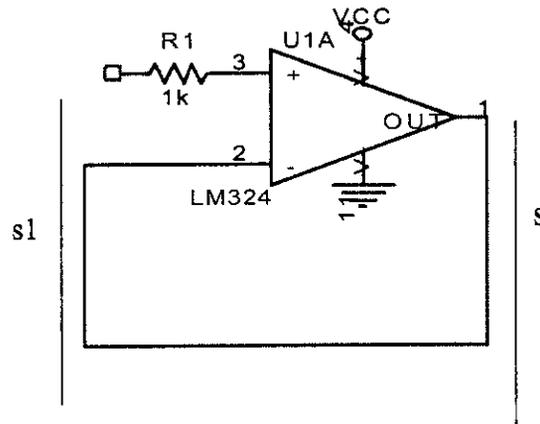


Figure IV-12 : Schéma de suiveur (K1 fermé et K2 fermé).

Cette fois la résistance R_3 est un fil de résistance nulle, ainsi, le gain ($\frac{S}{s_1}$) est égal à l'unité. Pour la simulation, la tension d'entrée est de 20mv c'est-à-dire la valeur maximale, et puisque l'interrupteur K2 est fermé donc le gain général du bloc d'amplification est de 250. Dans ce cas là la tension de sortie est de 5V (figure IV-13).

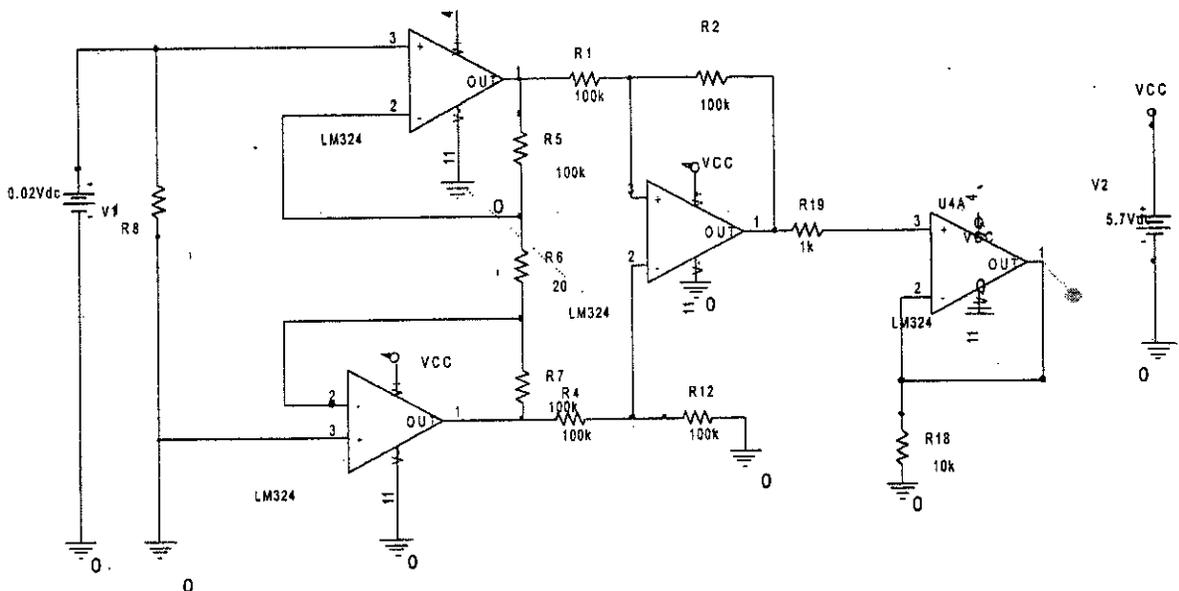


Figure IV.13 : Simulation de la deuxième partie pour K1 et K2 fermés.

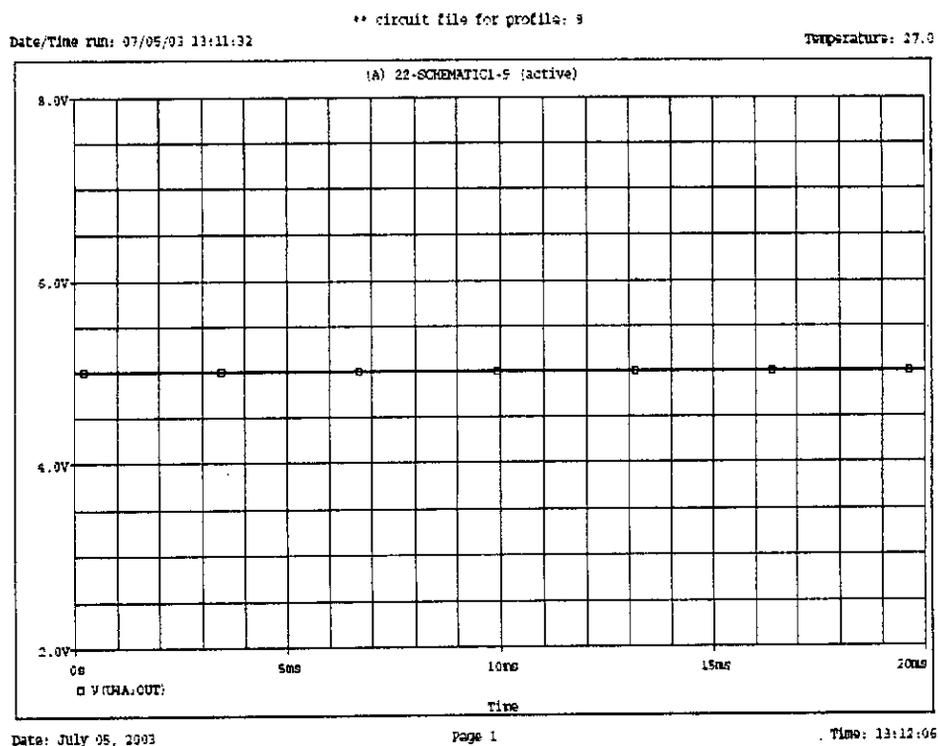


Figure IV.14 : Graphe e de tension pour K1 et K2 fermés.

Remarque : le gain général de ce bloc est le résultat du produit de gain de la 1ère partie et de la 2^{ème} partie.

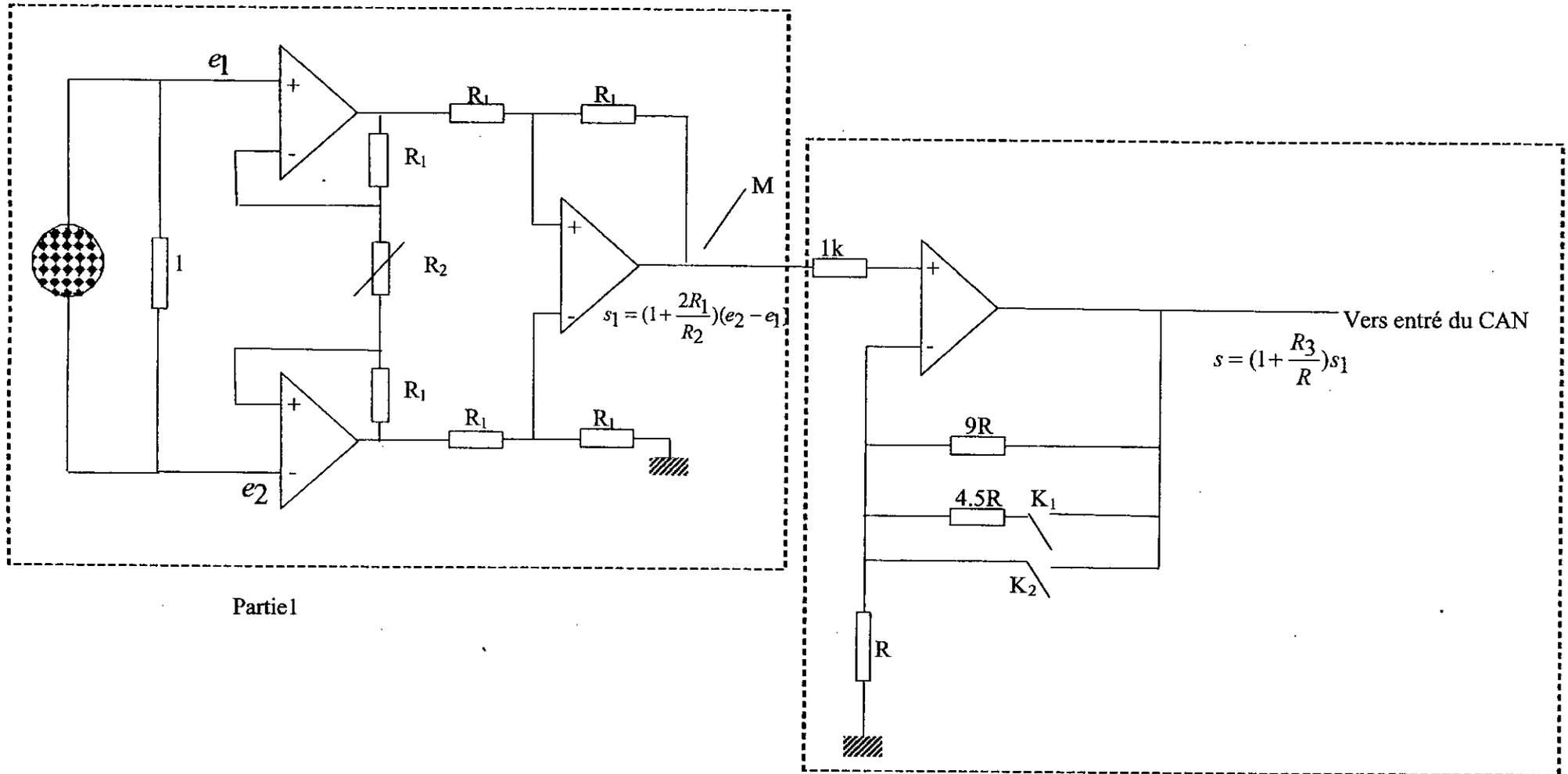


Figure IV-5: bloc d'amplification

Partie2

IV.4. BLOC DE TRAITEMENT :

C'est le cœur de notre circuit, il comporte les éléments suivants :

- un convertisseur analogique numérique l'ADC804
- un buffer 3 états, le 74LS244 [Annexe A]
- un microcontrôleur, le 16F84

Leur configuration de brochage est donnée dans la **figure IV.15**.

Ce bloc doit accomplir les fonctions suivantes

- la conversion de l'entrée analogique en une valeur numérique
- la lecture de la valeur convertie
- la commande des périphériques
- la transmission de cette valeur vers les afficheurs

IV.4.1. Principe de fonctionnement :

IV.4.1.1. la conversion analogique numérique :

L'initialisation :

La **figure IV.15** indique le branchement du convertisseur analogique numérique. Premièrement ;

1. On met le portB dupic en entrée pour la lecture des données
2. On active le buffer1 et le RD de l'ADC804 à travers la pin RA4 de 16F84

Le convertisseur analogique numérique l'ADC804 convertit la valeur amplifiée par le bloc précédent, le principe de conversion est déjà expliqué dans le chapitre3. Lorsque la conversion est terminée on envoie la donnée numérique résultante vers le pic pour effectuer l'opération de lecture.

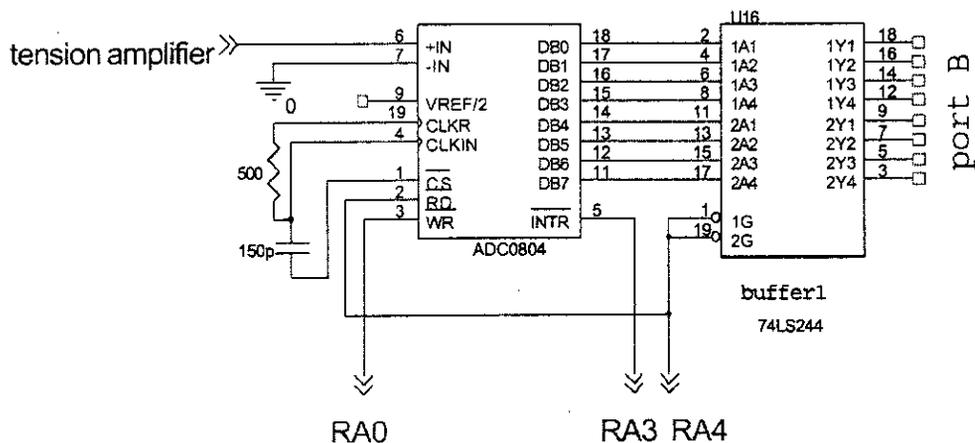


Figure IV.15 : le branchement de L'ADC 804.

IV.4.1.2. La lecture de données :

L'initialisation

- On met le portB en entrée pour recevoir les données

Principe

Cette opération est réalisée par le pic 16F84, qui est l'unité principale de traitement. La donnée lue par le microcontrôleur est binaire (8 bits), cette donnée est celle qui est convertie par le convertisseur. La séquence de lecture est la suivante : le pic met la donnée dans le registre de travail (W). Pour avoir la valeur réelle on multiplie par la résolution de notre convertisseur qui est égale à 0.02, mais attention cette valeur n'est pas la valeur exacte par ce qu'elle est déjà multipliée par le gain du bloc d'amplification. On devra donc diviser par le gain du bloc qui varie entre 2500, 100 et 250. Toutes ces tâches sont effectuées par le microcontrôleur. Le processus de lecture est détaillé dans le programme de gestion de la carte.

IV.4.1.3. Le choix du gain :

Le choix du gain est effectué aussi par le microcontrôleur. Après les opérations de conversion et de lecture de la valeur mesurée, le 16F84 compare la sortie de l'ADC 804 qui est stockée dans le registre de travail de 16F84, à la sortie maximale de ce convertisseur qui est 1111111 en binaire ou bien FF en hexadécimal. Cette sortie correspondant à 5V. Donc si la sortie de l'ADC 804 est inférieure à FF le 16F84 continue les autres tâches, l'affichage, stockage, etc. Sinon il diminue le gain. Jusqu'à obtenir une sortie inférieure à FF.

La diminution de gain est effectuée par la commande des interrupteurs K1 et K2 de CD 4066 selon le tableau IV.1

IV.5. Bloc d'affichage et de stockage et interface PC :

On trouve dans ce bloc :

1. le deuxième buffer 47LS244
2. le décodeur BCD/7segments, le 7447
3. 4 afficheurs anodes communes
4. des transistors NPN les BC237
5. une mémoire externe la 24C16
6. un MAX 232
7. un connecteur DB9

Ce bloc accomplit les opérations suivantes :

- l'affichage de la valeur mesurée

- le stockage des données avec date
- la communication avec un PC

IV.5.1. L’affichage :

L’initialisation :

- On met le portB du 16F84 en sortie
- On active le deuxième buffer, qui comme on a dit précédemment est actif à l’état bas, c’est-à-dire il faut envoyer un 0 pour le sélectionner et puisque on a deux buffers et que le nombre des pins du microcontrôleur est insuffisant on a utilisé un inverseur qui sert à sélectionner les deux buffers par la même pin. Cet inverseur est réalisé autour d’un transistor NPN (le BC237) [14], il est représenté dans la figure IV.16.

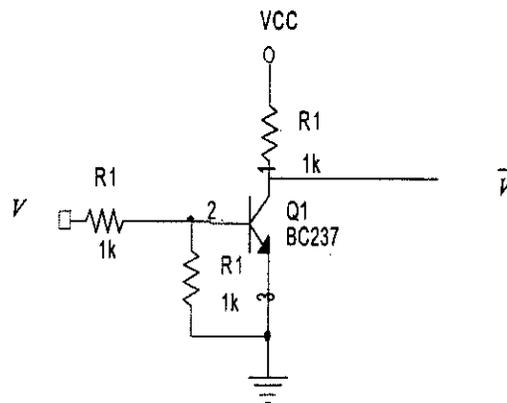


Figure IV.16 : inverseur.

L’inverseur fonctionne comme suit. Si un niveau bas attaque la base du transistor, la sortie sera au niveau 1 c’est-à-dire à une tension de 5V et vice-versa.

Revenons maintenant à la séquence d’affichage. L’affichage se fait par la création d’une temporisation égale au nombre des afficheurs et en envoyant à chaque fois un chiffre sur le portB, configurés en sortie, de la manière suivante :

- Les pins (RB0, RB1, RB2 et RB3) reçoivent un chiffre en BCD.
- Les pins (RB4, RB5,
- RB6et RB7) reçoivent le numéro de l’afficheur selon le tableau IV.2

afficheurs	Afficheur 1	Afficheur2	Afficheur3	Afficheur4
pin	RB4	RB5	RB6	RB7

Tab IV.2 : la sélection des afficheurs.

Les quatre afficheurs sont des anodes communes. Quand l'afficheur est sélectionné la base du transistor correspondant est attaquée par 0 volt et l'anode de l'afficheur passe à 5 volt. Selon la figure IV.17

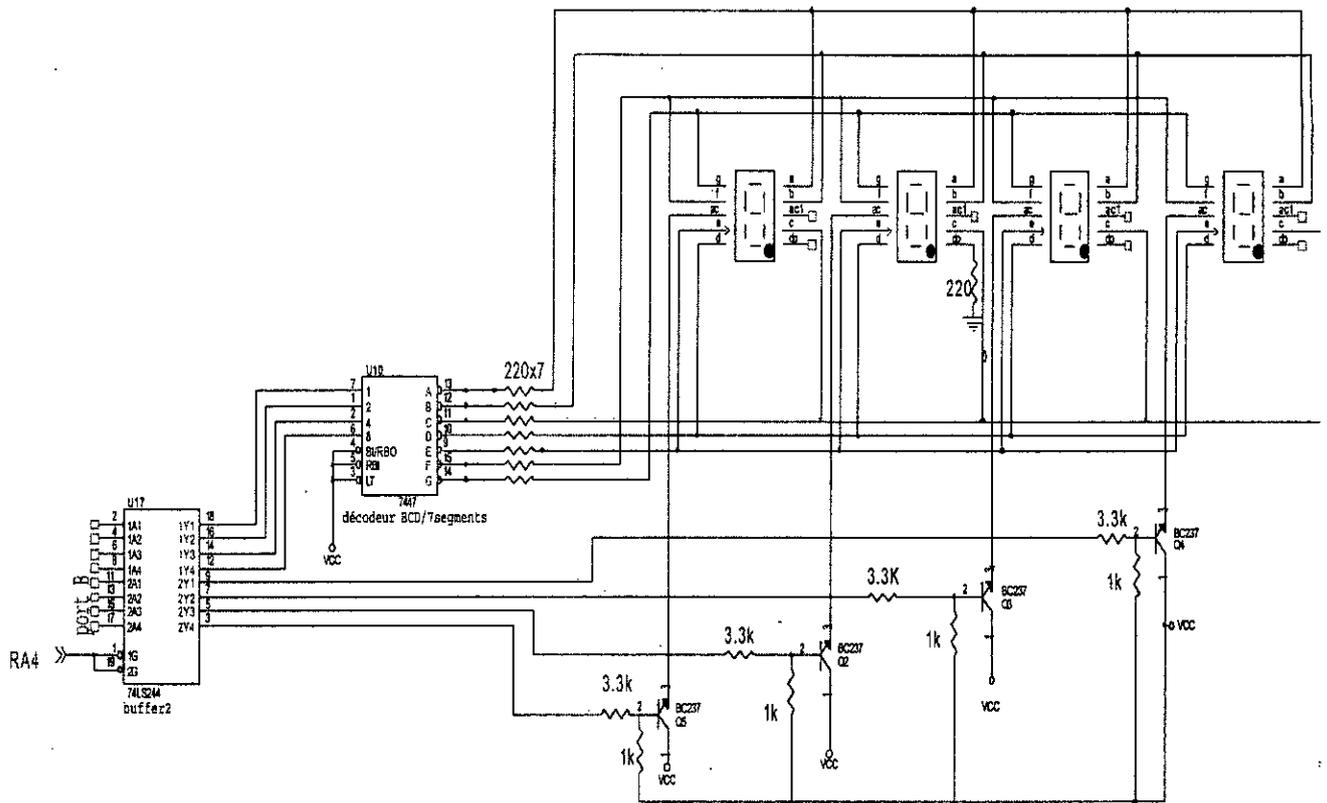


Figure IV.17 : le branchement des afficheurs.

La procédure de conversion est la suivante :

La valeur mesurée est un nombre réel, composé de 4 chiffres (dizaines, unités, et deux chiffres après la virgule, l'affichage de ces chiffres est séquentiel, c'est-à-dire chiffre par chiffre Pour afficher le chiffre des dizaines il faut activer le premier afficheur, ainsi que le décodeur BCD/7 segment .La sélection des afficheurs est effectuée comme indique le **tableau IV.2**

IV.5.2. Stockage dans la mémoire externe :

Ici on utilise la mémoire externe la 24C16 (EEPROM) avec une capacité mémoire de 16KÔ. Le brochage de cette mémoire est donné dans la **figure IV.18**. L'opération de stockage est effectuée chaque minute. Donc il faut tout d'abord tester le temps. Le test est fait par le microcontrôleur lui-

même qui suit l'incrémentation du compteur des seconds. Si 60 secondes écoulent le pic lance le processus de stockage.

Le stockage n'est qu'une opération d'écriture de données dans la mémoire externe. L'opération d'écriture de données dans la mémoire 24C16 est déjà expliqué dans le chapitre précédent. Seulement il faut configurer les broches SDA et SCL de 24C16 selon notre cas. C'est-à-dire comme on a fait on a branché le SDA avec le pin RB7 et le SCL avec le pin RB6. Et le processus de lecture est le même que celui donné dans le chapitre3.

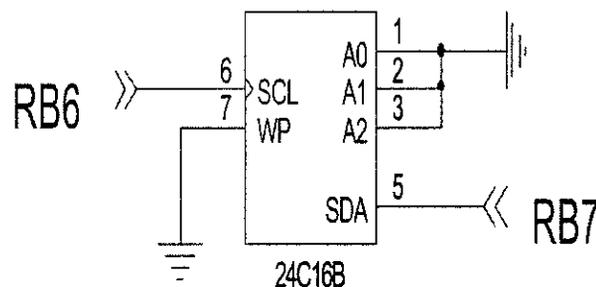


Figure IV.18 : brochage de 24C16.

La donnée stocké est de 5 octet qui sont les mois, les jours, la minutés et la valeur de courant mesurée. Donc la lecture et l'écriture de données est effectuée bit par bit c'est-à-dire en série par ce que il existe une seule broche qui fait ces opérations.

IV.5.3. L'interface PC :

C'est la dernière tâche dans la séquence de notre carte. Elle sert à envoyer le contenu de la mémoire 24C16 vers l'ordinateur. Après une interruption sur la pin RB5 de 16F84, les étapes de cette opération sont les suivantes :

Premièrement, on lit les données stockées dans la mémoire 24C16, la lecture de données est déjà expliquée dans le chapitre précédent. La destination de ces données maintenant est le microcontrôleur, qui les envoie vers l'ordinateur par un intermédiaire qui est le MAX232

[Annexe A].

Le MAX 232 reçoit les données envoyées par le pic à partir de **RB4**, par la ligne T1IN et la ligne T1OUT reliée avec le connecteur qui se trouve entre le MAX 232 et le PC. Le principe de fonctionnement de ce dernier et de convertie seulement sa tension d'entrée qui varie entre 0 et 5 volts en une autre tension variant entre -12 et +12 volts pour la rendre compatible avec l'ordinateur. Les caractéristiques et la description de MAX 232 sont données dans l'annexe.

Le principe de transmission est détaillé dans le sou programme de RS232

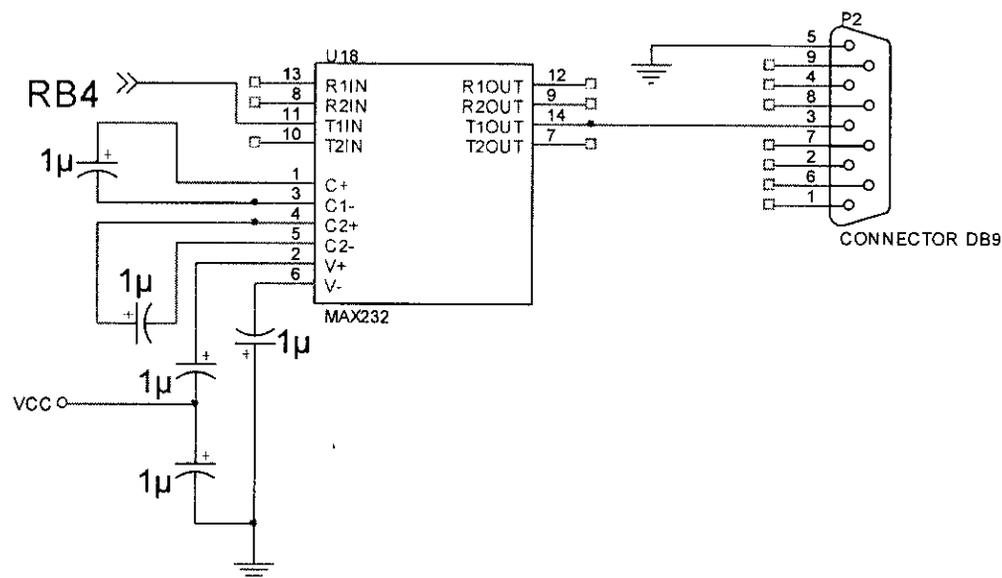


Figure IV.19 : brochage de RS232.

IV.6. Circuits électroniques réalisés :

Les trois blocs de notre circuit sont développés à l'aide du circuit de routage **OrCad Layout**, après la création du schéma électrique dans **l'OrCad capture**. Notre circuit est partagé en trois blocs : le bloc d'amplification (analogique), le bloc de traitement, et le bloc d'affichage et de stockage. Les schémas globaux de ces blocs sont donnés dans les figures suivantes

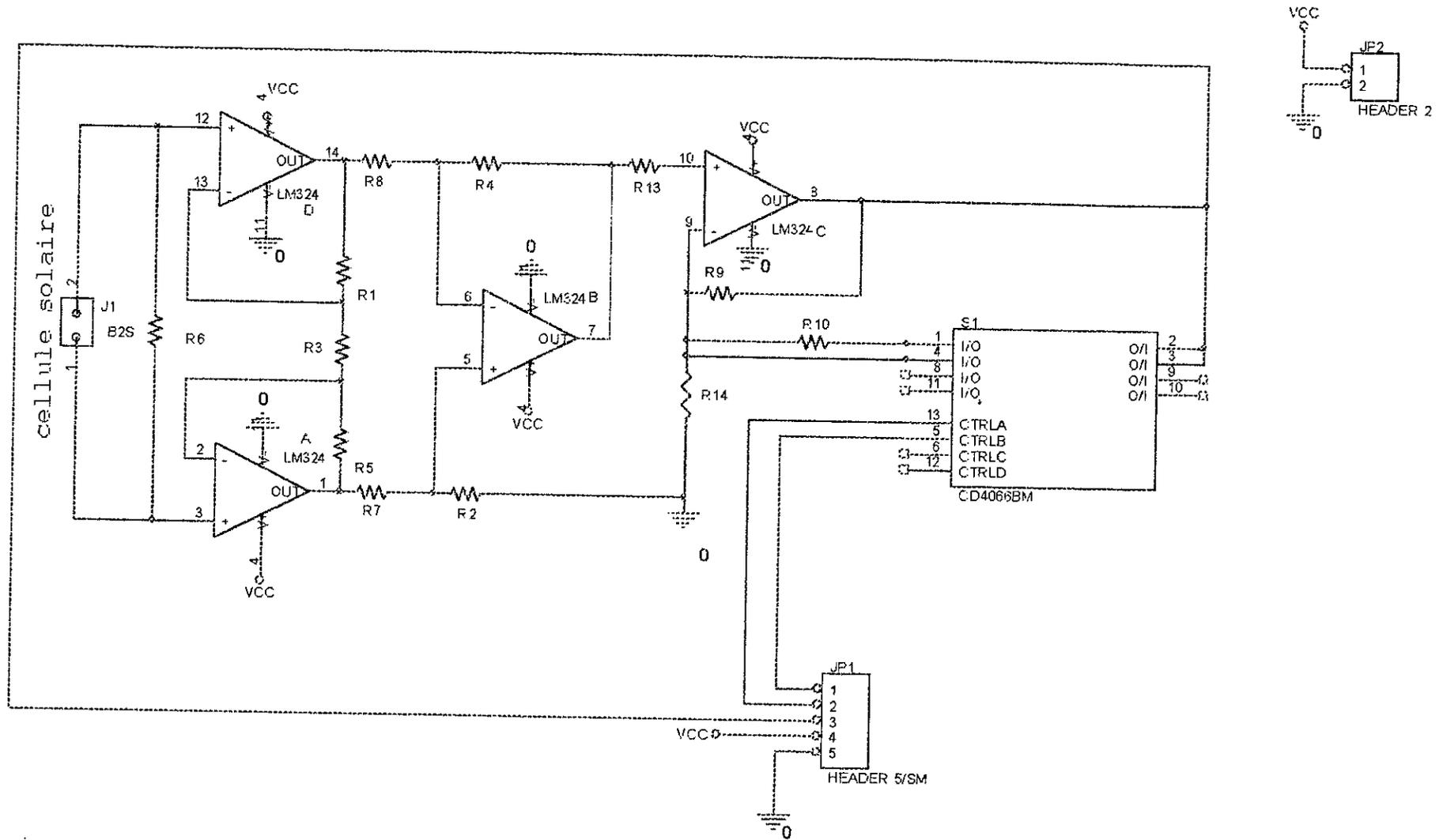


Figure IV.20 : bloc d'amplification

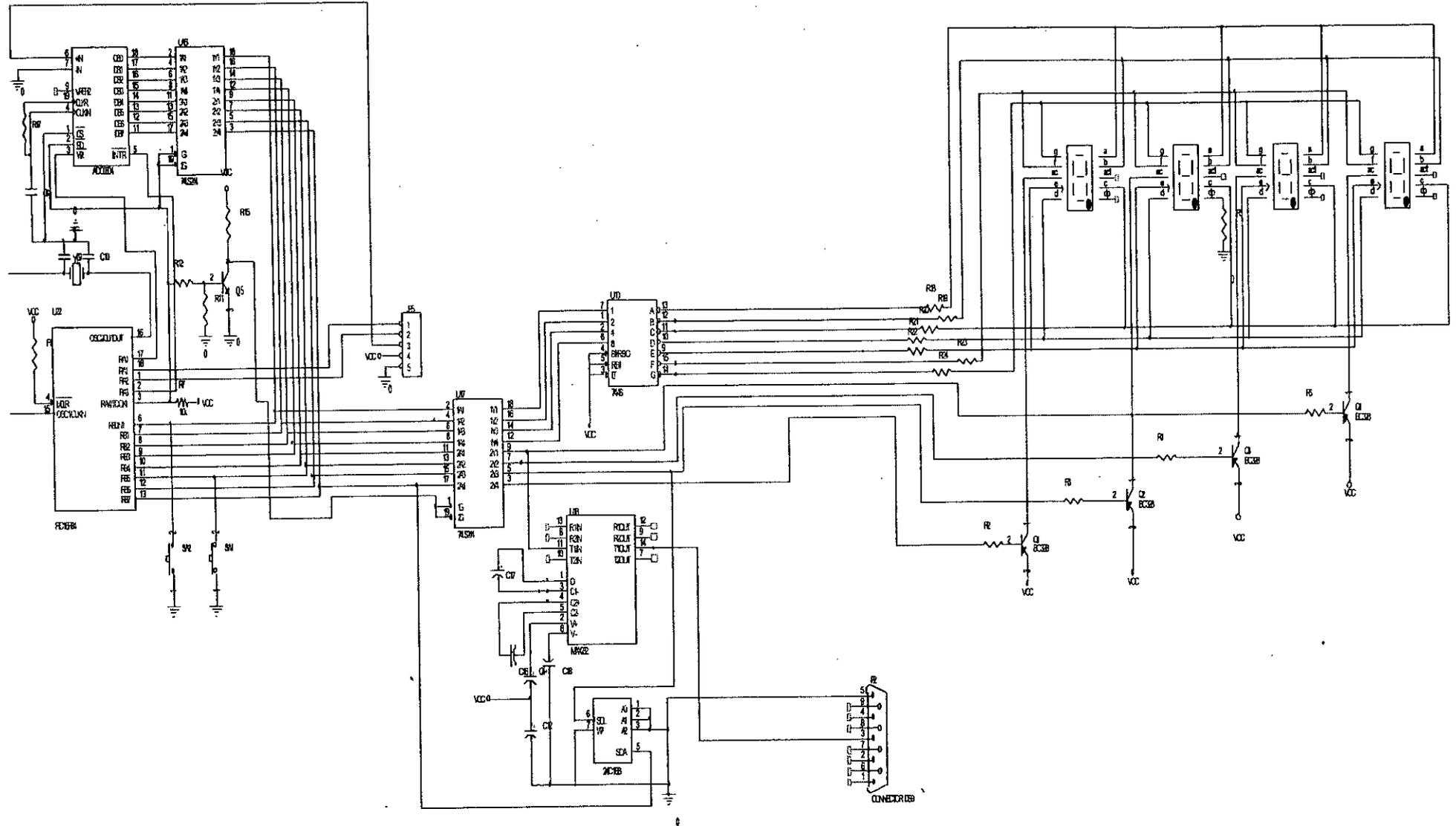


Figure IV.21 : bloc de traitement, d'affichage et de stockage.

Les figures IV.22 et IV.23 représentent les deux faces de circuit imprimé

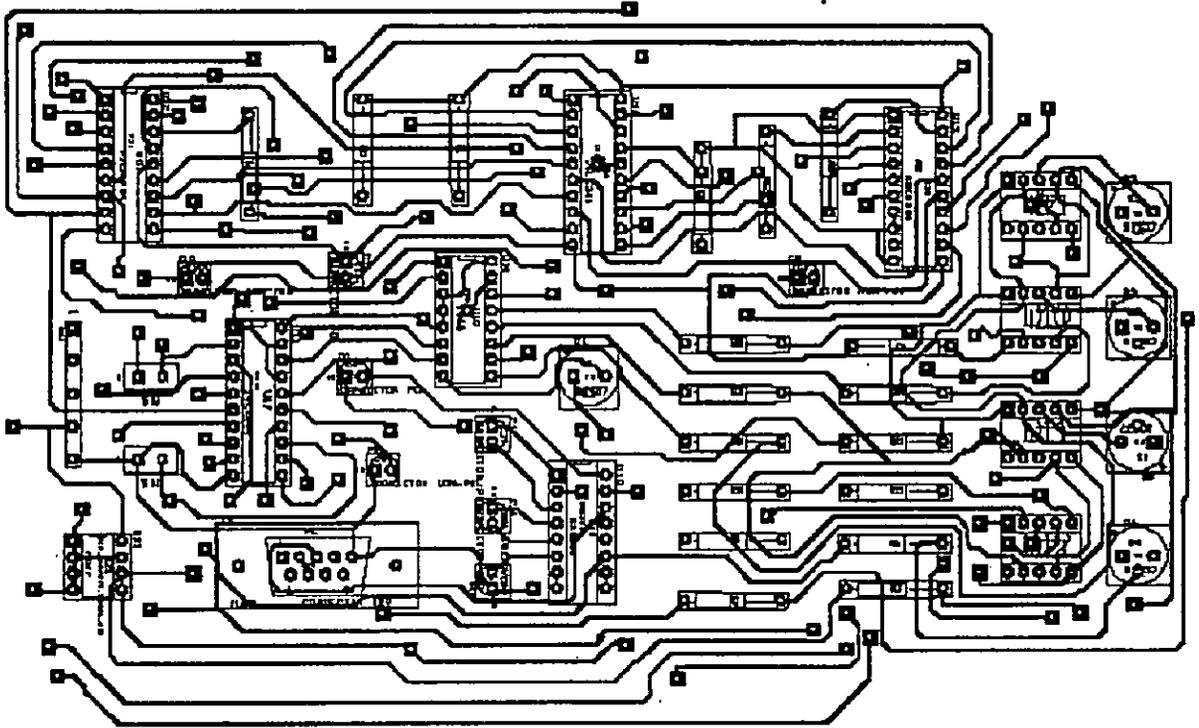


Figure IV.22. La face composante

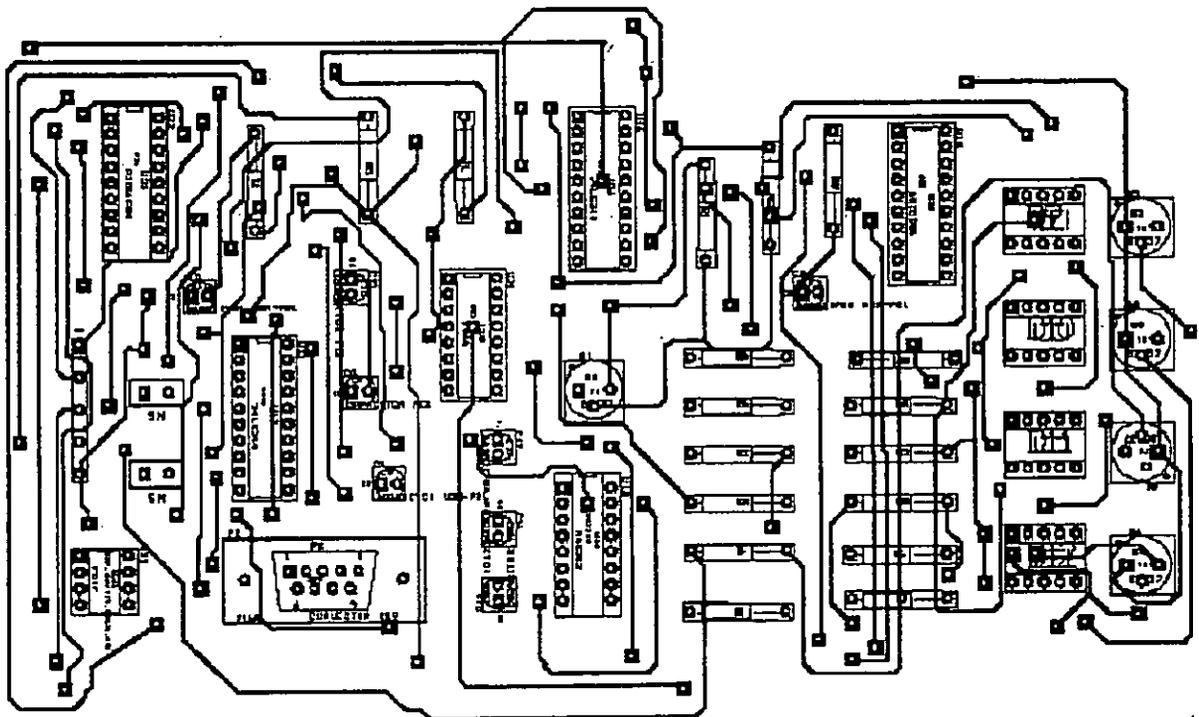


Figure IV.23 La face cuivre

IV.7. Logiciel réalisé

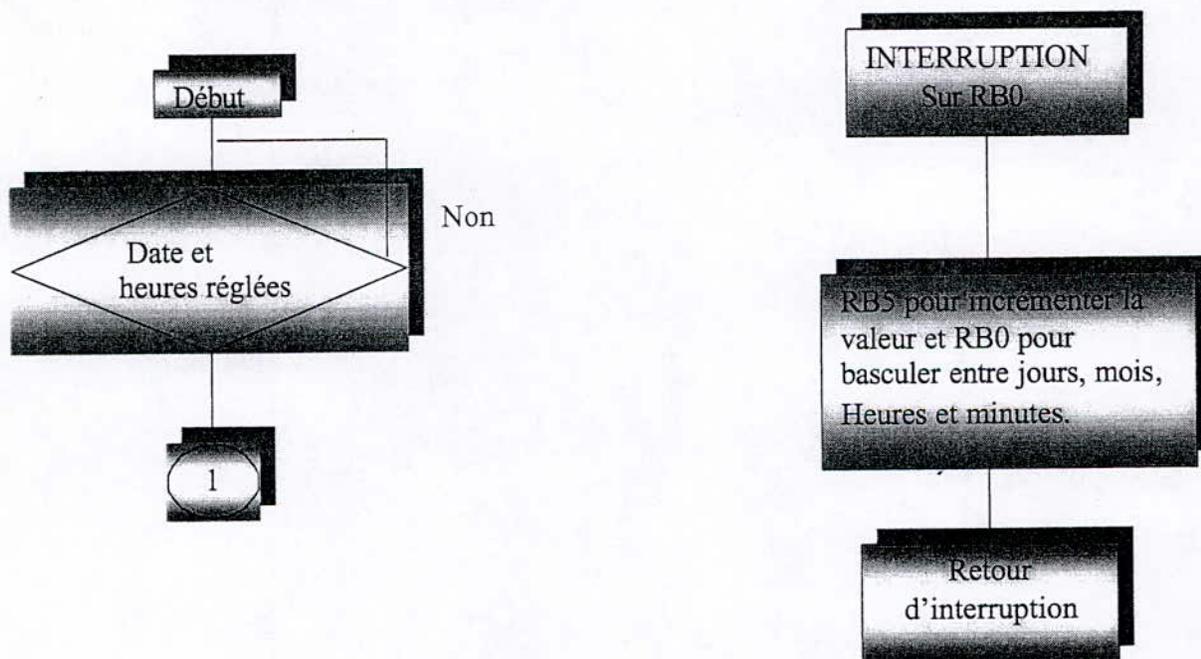
Le programme est écrit en langage ASSEMBLEUR à l'aide d'un logiciel qui est le **MPLAB** de microchip. Ce logiciel est disponible en téléchargement gratuit sur le site de Microchip. Ceci est considéré comme un avantage mais il existe aussi des inconvénients de ce langage par exemple :

- Il faut d'abord connaître le fonctionnement de chaque instruction, l'architecture de microcontrôleur, la structure de la mémoire et l'adresse de chaque registre.
- Il est difficile de connaître les erreurs de votre programme et de les corriger.
- Le programme est plus complexe par rapport au programme écrit en C

L'autre langage possible pour programmer le microcontrôleur, est le C. Ce langage est facile et direct mais son inconvénient est qu'il demande un espace mémoire un peu plus grand mais notre microcontrôleur ne comportant qu'un espace de 1K, on a choisi la programmation en ASSEMBLEUR.

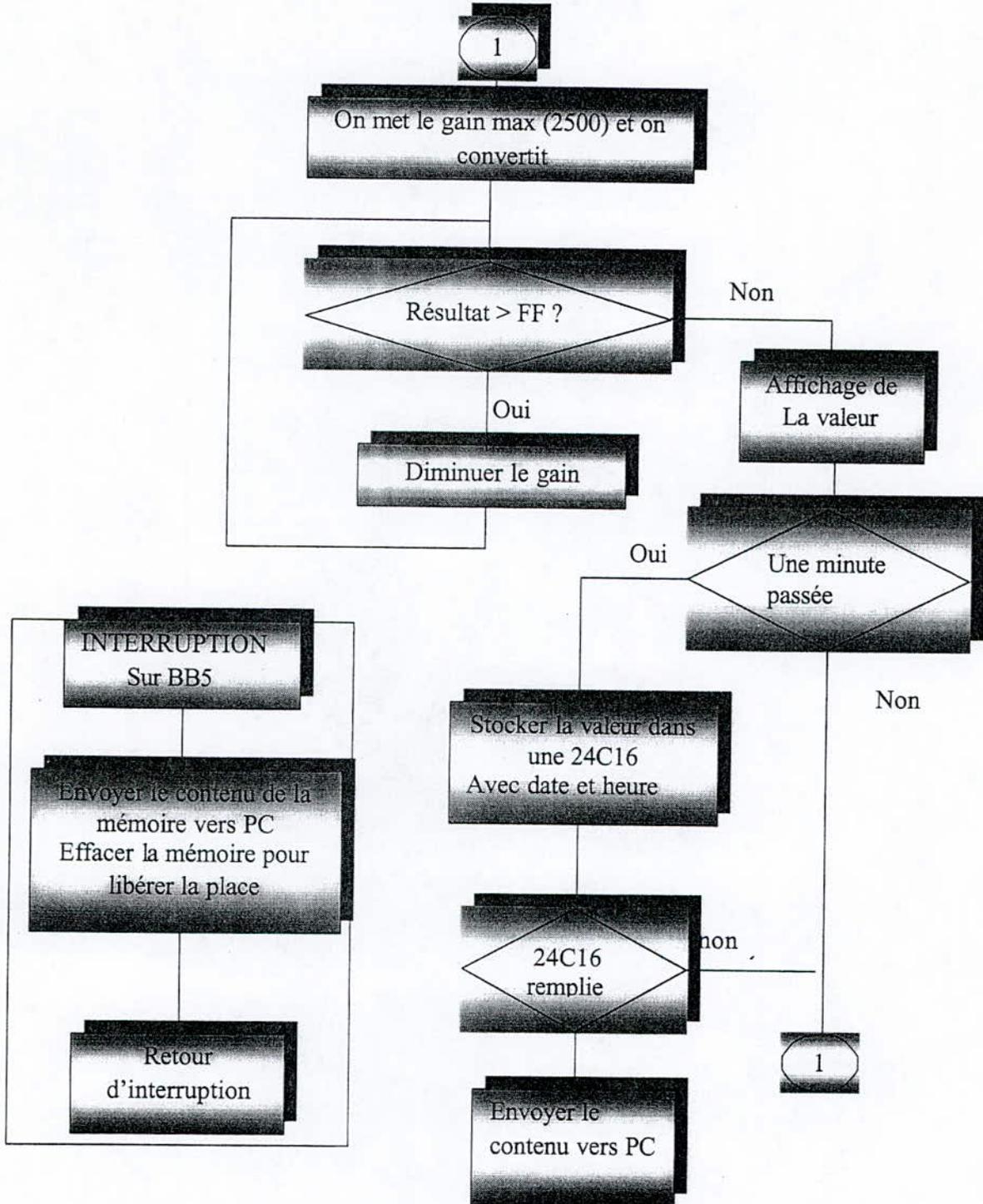
IV.7.2. L'organigramme

IV.7.2.1. Organigramme de réglage du temps :



IV.7.2.2. L'organigramme de programme initiale

L'organigramme



Conclusion générale

Dans notre projet nous avons conçu et réalisé un système électronique destiné à mesurer les irradiations solaires directes à base d'un microcontrôleur le PIC 16F84.

Notre système comporte:

- Un bloc d'amplification : dans ce bloc on trouve le capteur de rayonnement qui est une cellule solaire, et on trouve aussi un ensemble d'amplificateur opérationnels
- Un bloc de traitement qui comporte principalement un microcontrôleur 16F84 et un convertisseur analogique numérique de type ADC804, et les afficheurs 7 segments
- Un bloc de stockage et d'interface PC comprenant par un MAX232 et une mémoire EEPROM la 24C16

En réalité notre système mesure le courant de court circuit aux bornes de la cellule solaire, qui est proportionnel aux irradiations solaires direct selon la relation

$I = \alpha \Phi S$ Où α facteur de proportionnalité, Φ le flux d'irradiation solaire direct et S la surface de la cellule.

Les améliorations qu'on peut apporter à ce circuit sont:

- Remplacer le PIC 16F84 par un autre microcontrôleur par exemple le 16F876 Par ce que ce dernier comporte un convertisseur analogique numérique interne plus précis que ADC804, la mémoire programme de 16F876 est 8K donc elle est 8 fois plus grande que la mémoire du 16F84 et sa vitesse est de 20MHz.
- Remplacer l'EEPROM 24C16 par la 24C32 ou bien 24C64.

Ce travail nous a permis d'aborder le domaine de l'instrumentation et de consolider notre connaissance dans l'électronique analogique et numérique.

Bibliographie

[1]-Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette

Pierre Bessemoulin et Jean Oliviéri, Service central d'exploitation de la météorologie, 2000

[2]- Photopiles solaires

ALAIN Ricaud presses polytechniques et universitaires romandes 1997

[3]- Electricité solaire

W.PALZ. édition Dunod 1979

[4] – les circuits linéaires et d'interface et leurs applications

TEXAS instruments

[5]- traitement des signaux et acquisition de données

FRANCIS Cottet 2^e édition Dunod 2002

[6] Survival of the Fittest

Veriteq Instrument Inc 110-13799 Commerce Pkwy

[7] le site Internet www.abcelectronique.com/dossiers/photodetecteurs

[8]-PFE système automatisé pour la caractérisation des cellules solaires.

LANTRI.T, projet de fin d'études, département d'électronique, ENP1998

[9]- PFE conception et réalisation d'un débit mètre a ultrasons en vue de son application dans le comptage des hydrocarbures.

BELARBI, département électronique, ENP2002

[10]- la programmation des pics

BIGONOFF, 2001

[11]- le site officiel de MICROCHIP www.microchip.com

[12] ADC804

HARRIS semiconductor

[13] IS24C16 CMOS EEPROM

Integrated Silicon Solution, Inc _revue A 2000

[14]- cours et exercices en électronique générale.

Cours de M.HADDADI. Département électronique- ENP

1. LE LM324 : quadruple amplificateur opérationnel

Caractéristique :

- Gain de tension très large : 100dB
- Intensité du courant de polarisation des entrées 20nA
- Ordre d'alimentation est grande

Simple approvisionnement : +3V à +30V

Approvisionnement dual : $\pm 1.5V$ à $\pm 15V$

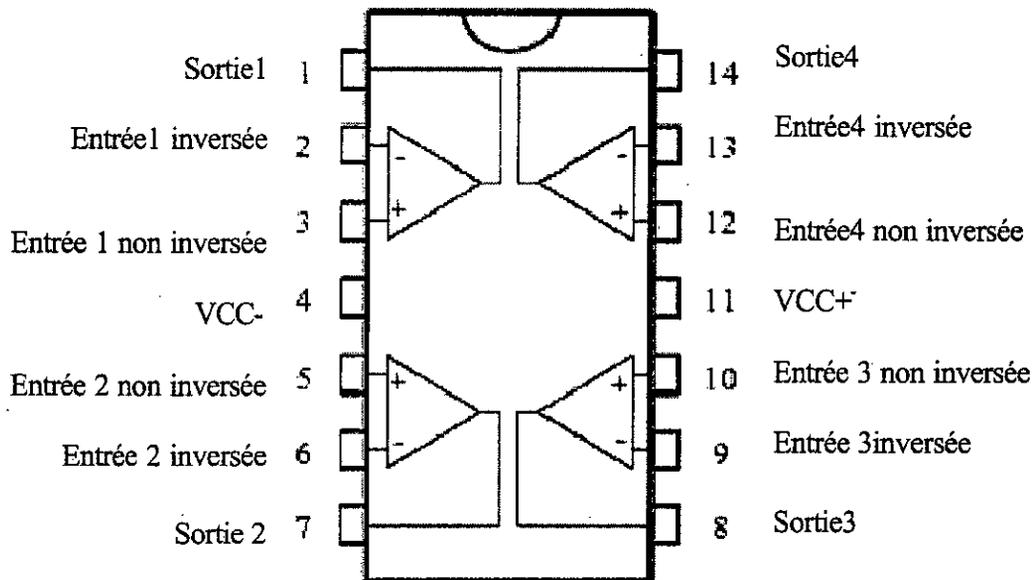


Figure 1 : description des pins

Description:

Ce circuit est composé de quatre amplificateurs opérationnels ont un fonctionnement indépendant, ils ont tous une double entrée et sont compensés en interne.

1. CD 4066B quadruple commutateur bilatéral pour la transmission ou le multiplexage des signaux numériques ou analogiques

Caractéristiques :

- V_{DD} tension d'alimentation de -0.5 à +22 V
- Tension d'entrée V_I de -0.5 à $V_{DD} + 0.5$
- Courant d'entrée $I_I \pm 10\text{mA}$
- température de fonctionnement de -55 à +125 °C
- la température de stockage de -65 à +150 °C

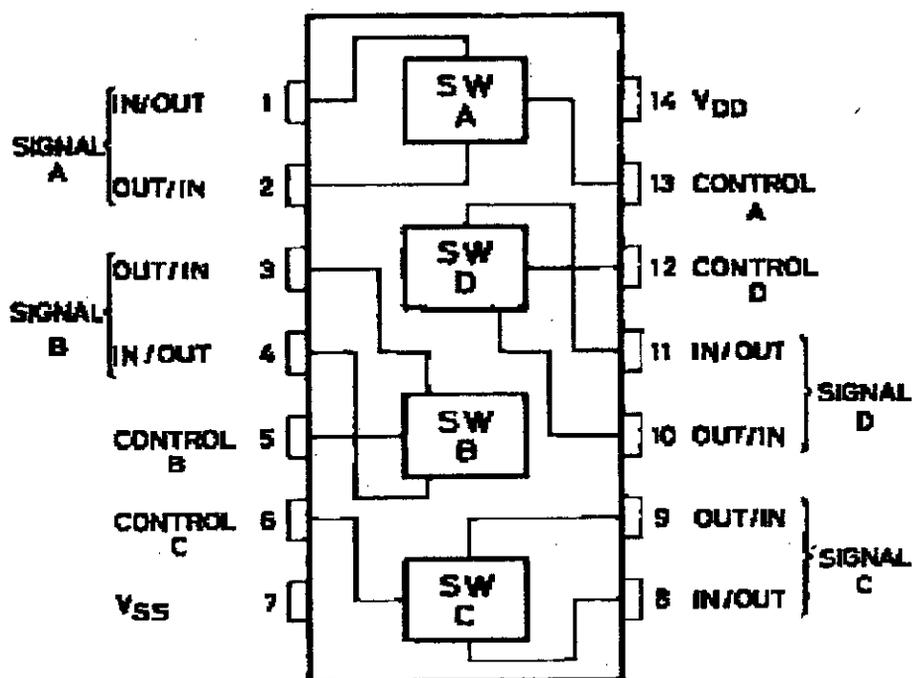


Figure 2 : Schéma d'un CD4066

Description :

Le CD4066B est un circuit intégré monolithique fabriqué en technologie de semi-conducteur d'oxyde de métal, disponible en DIP et en SOP. Le CD4066 est un commutateur bilatéral destiné à la transmission ou au multiplexage des signaux numériques ou analogiques. Le CD4066B se compose de quatre commutateurs bilatéraux indépendants. Un signal de commande simple est exigé par commutateur.

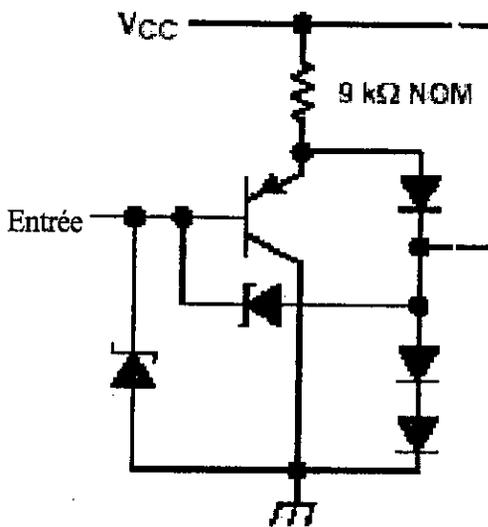
3. LE SN 74L244 buffer octal et ligne conductrice avec sortie 3états :

Figure 3. Schéma électrique d'entrée

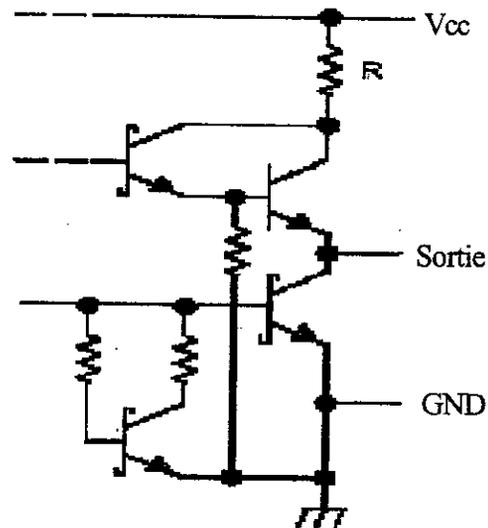


Figure 4. schéma électrique de sortie

Caractéristiques :

V_{cc} : tension d'alimentation entre 4.75 et 5.25 V.

V_{IH} : tension d'entrée à niveau haut : 2V.

V_{IL} : tension de sortie à niveau bas : 0.8V

I_{OH} : courant de sortie à niveau haut : -15mA

I_{OL} : courant de sortie à niveau bas : 24mA

T_A : La température de fonctionnement en air libre entre 0et 70°C

Description:

Ce buffer octal et ligne conductrice sont conçus spécifiquement pour améliorer la performance et la densité des adresses mémoire à trois états des conducteurs. Le concepteur choisie les différents combinaisons, soit les sorties inversées au pas. Ce buffer est actif à l'état bas.

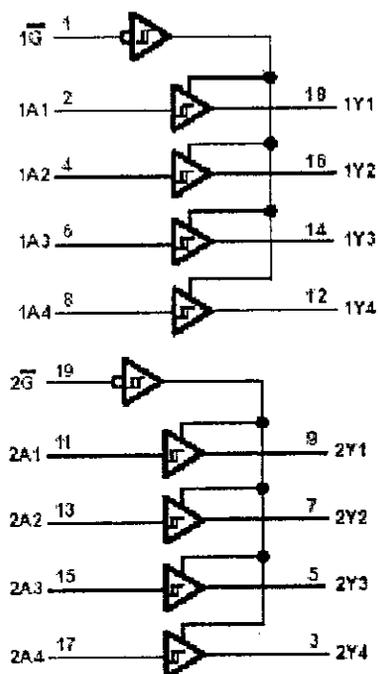


Figure 5 : Schéma logique de SN74LS244.

4. Le BC327 transistor PNP de petits signaux :

Le BC327 est un transistor PNP de petits signaux, il est utilisé comme un commutateur avec un gain élevé et une basse tension de saturation. Ces caractéristiques sont citées dans le tableau suivant

Symbole	Paramètre	Valeur	unité
V_{CB0}	Tension collecteur- base	-50	V
V_{CEO}	Tension collecteur- émetteur	-45	V
V_{EBO}	Tension émetteur- base	-5	V
I_C	Courant de collecteur	-0.5	A
I_{CM}	Courant de crête de collecteur	-1	A
P_{tot}	Dissipation totale	625	mW

T_{st}	Température de stockage	-65 jusqu'à 150	°C
T_j	Température de jonction maximale	150	°C

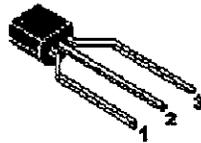
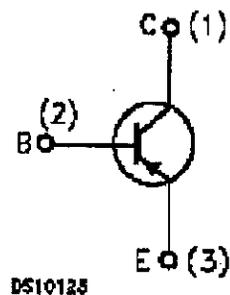
TO-92
BulkTO-92
Ammopack

Figure 6 : Boîtiers du BC327

Figure 7 : schéma interne de BC327

4. MAX 232 : ligne émettrice/ réceptrice :

Caractéristiques :

Tension d'alimentation V_{CC} : entre -0.3 et 6V

Tensions d'entrées :

T_{IN} : -0.3 à $V_{CC}-0.3V$

R_{IN} : $\pm 30V$

T_{OUT} : $\pm 15V$

Tensions de sorties :

T_{OUT} : $\pm 15V$

R_{OUT} : ± 0.3 à $(V_{CC}+0.3)$

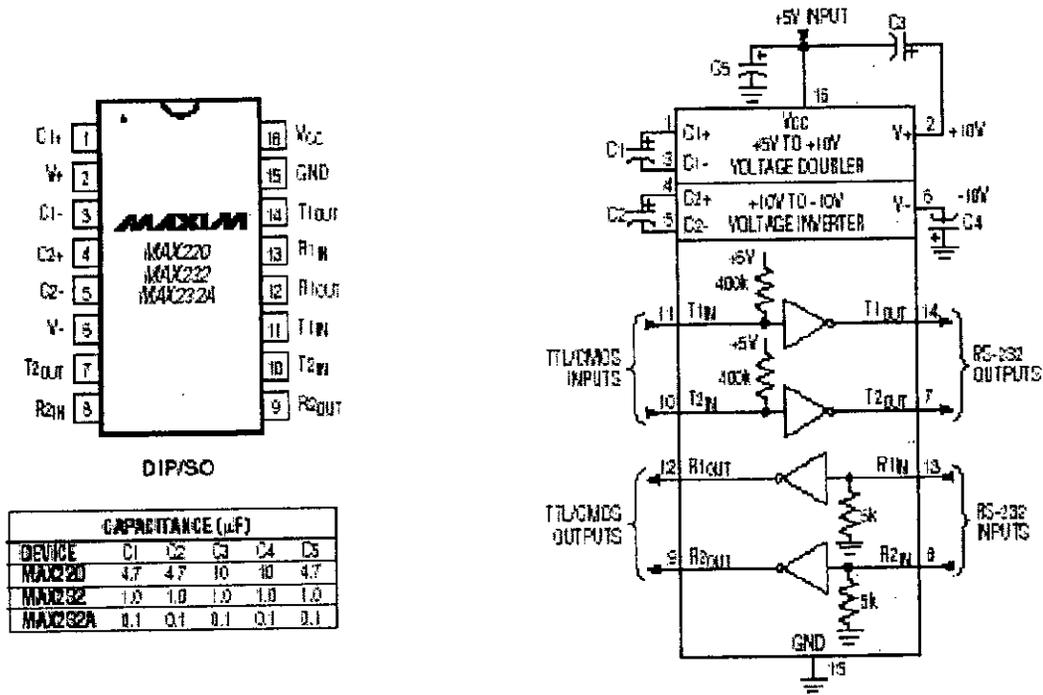


Figure 8 : Configuration des pins du MAX232.

```
LIST    p=16F84          ; Définition de processeur
        #include <p16F84.inc>      ; Définitions des constantes

        __CONFIG_CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _HS_OSC

        CBLOCK 0x00C          ; début de la zone variables
            w_temp:1
            status_temp:1
            jours:1
            mois :1
            heures :1
            minutes:1
            compt:1
            compt0:1
            compt1:1
            haut:1
            bas:1
            val1:1
            val2:1
            reste:1
            count:1
            result:1
            compts:1
            val5 :2; Zone de 1 byte
                mille:1
                un:1
                cent:1
                dix:1
                dixmil:1
                mem1:1
                vstock:2
                bool:1
                VAR1:1
                VAR2:1
                i2cadrhigh:1
                i2cadrlow:1
                RS_tmp:1
                rsadrhigh:1
                rsadrlow:1
            ENDC                ; Fin de la
;*****
*****
```

Annexe B

```
.*****define*****
,
*****
.*****
,
*****
#DEFINE k1 PORTA,1 ; swich k1
#DEFINE k2 PORTA,2 ; swich k2
#DEFINE wr PORTA,0 ; debut de conversion
#DEFINE intr PORTA,3 ; fin de conversion
#DEFINE rd PORTA,4 ; read
#DEFINE scl PORTB,6
#DEFINE sda PORTB,7
.*****
,
*****
.*****constantes*****
,
*****
RS_qtz equ.4000000 ; Vitesse du quartz ( ici 4 MHz )
RS_delay equ (((RS_qtz/4)/.4800)/3-2) ; 4800 est la vitesse désirée ( ou
9600 )
.*****
,
*****
;*****les
macros*****
.*****
,
*****
bank0 macro
    bcf STATUS, RP0
    endm
bank1 macro
    bsf STATUS, RP0
    endm
debut macro
    bcf wr
    call Tempo5us
    bsf wr
    endm
read macro
    bcf rd
    call Tempo5us
    bsf rd
    endm
.*****
,
*****
; DEMARRAGE SUR RESET *
```

Annexe B

```
*****  
,  
*****
```

```
org 0x000          ; Adresse de départ après reset  
goto  init        ; Adresse 0: initialiser
```

```
*****  
,  
*****
```

```
;  
;          ROUTINE INTERRUPTION          *  
;*****  
,  
*****
```

```
;sauvegarder registres  
;-----
```

```
org 0x004 ; adresse d'interruption  
movwf w_temp ; sauver registre W  
swapf STATUS, w ; swap status avec résultat dans w  
movwf status_temp ; sauver status swappé
```

```
; switch vers différentes interruptions  
;-----
```

```
    btfsc INTCON,T0IE    ; tester si interrupt timer autorisée  
    btfss INTCON,T0IF    ; oui, tester si interrupt timer en cours  
    goto  intsw1        ; non test suivant  
    movlw 0xF4  
    movwf compt  
    movlw 0x3C  
    movwf compts  
    call  inttimer      ; oui, traiter interrupt timer  
    bcf  INTCON,T0IF    ; effacer flag interrupt timer  
    goto  restorereg    ; fin int  
intsw1  
    btfsc INTCON,INTE    ; tester si interrupt RB0 autorisée  
    btfss INTCON,INTF    ; oui, tester si interrupt RB0 en cours  
    goto  intsw2  
    call  intrb0
```

```

    bcf  INTCON,INTF
    goto restorereg
intsw2
    btfsc INTCON,RBIE ;test interrupt RB5 autorisée
    btfss INTCON,RBIF ; oui, tester si interrupt RB5 encours
    goto restorereg
    call rs232

                                ;restaurer registres
                                ;-----

restorereg
    swapf status_temp , w ; swap ancien status, résultat dans w
    movwf STATUS ; restaurer status
    swapf w_temp , f ; Inversion L et H de l'ancien W
                                ; sans modifier Z
    swapf w_temp , w ; Ré-inversion de L et H dans W
                                ; W restauré sans modifier status
    retfie ; return from interrupt

.***.*****
;
*
.*****initialisation*****
;
.*****
;
*
init
    bcf STATUS,Z
    bank1
    bsf TRISB,0 ;Rb0 en entrée
    bsf TRISB,5 ;RB5 en entrée

    bcf OPTION_REG,7 ; resistances de rappel PORTB en service
    bcf OPTION_REG,6 ; sens de déclenchement de l'interruption de là
0
    movlw 0x90
    movwf INTCON ; interruption rb0 autorisée
    bank0

.*****
;
.***** effacement de la RAM*****
;
.*****
;

    movlw 0x0c ; initialisation pointeur
    movwf FSR ; pointeur d'adressage indirect

```

```
    movwf compt
    read          ;puis lecture de la valeur convertie
    incfsz PORTB,w ; test si valeur convertie =0xff
    call stock   ;non afficher et stocker la valeur convertie
    bcf  k1      ; oui changer le gain à
    bsf  k2      ; 1000
    debut      ;debut de conversion
bouc01
    btfsc intr
    goto bouc01
    movlw 0x02
    movwf compt
    read
    incfsz PORTB,w
    call stock
    bcf  k1      ; gain de
    bcf  k2      ; 250
    debut
bouc001
    btfsc intr
    goto bouc001
    movlw 0x03
    movwf compt
    read
    incf  PORTB,w
    call stock
    movlw 0x3C
    subwf compts,w
    btfss STATUS,Z ; test si une minute est passée
    goto etiquette ;non, une nouvelle conversion
    call Write24C16 ;oui stocker la valeur convertie dans 24c16 avec date
(6octet)
    bcf STATUS,C
    movlw 0x07
    addwf i2cadrlow,f ; puis decaler l'adresse d'écriture 24c16 par 7adresses
    btfsc STATUS,C
    incf i2cadrhigh,f
    bank1
    bcf OPTION_REG,7 ;résistances de rappel en service
    bsf TRISB,5      ; RB5 en entrée
    bsf TRISB,0      ; RB0 en entrée
    movlw 0xBF      ; interruptions RB0,RB5 autorisées
    bank0
```

```

movlw 0x07      ;puis tester si la memoire 24c16 est remplie
subwf i2cadrhigh
btfss STATUS,Z
goto etiquette0
movlw 0xFC
subwf i2cadrlow
btfss STATUS,Z
goto etiquette0 ;non, une nouvelle conversion
call rs232      ;oui envoyer sa contenu vers PC
goto etiquette ; vers une nouvelle conversion

;*****
;*****
;*****routine de stockage et
d'affichage*****
;-----
stock
movf PORTB,w
decf compt,f
    btfsc STATUS,Z
    goto ble1
    decf compt,f
    btfsc STATUS,Z
    goto ble2
    call multi8
    goto ble02
ble1
;affichage des deux chiffres à gauche
    call multi8
    call bcd5
    movf dixmil,mem1
    call multi10
    movf mille,w
    addwf val1,f
    movlw 0x70
    movwf haut
    movlw 0xB0
    movwf bas
    call aff
    movf val1,vstock
;affichage des deux chiffres à droite
    movf cent,mem1

```