

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique
Université Mohamed Khider Biskra



Faculté des sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electronique
Option:Communication

Réf:í í í í

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de Préparation de diplôme:
Ingénieur d'état en électronique

Thème

***COMMANDE DE PANNEAU
SOLAIRE A L'AIDE D'UNE CARTE
A PIC***

Proposé et dirigé Par:

OUAFI ABD ELKRIM

Présenté par :

GUESSOUMI FARID

SAADI AMEL

Promotion : Juin 2010

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique
Université Mohamed Khider Biskra



Faculté des sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electronique
Option : Communication

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de Préparation de diplôme:
Ingénieur d'état en électronique

Thème :

**COMMANDE DE PANNEAU SOLAIRE
A L'AIDE D'UNE CARTE A PIC**

Présenté par :

GUESSOUMI FARID

SAADI AMEL

Avis favorable du président du Jury

Nom et prénom

í í í í í í í í í í í í í
í í í í í í í í í í í í í
í í í í í í í í í í í í í

Signature

í í í í í í í í í í í í í
í í í í í í í í í í í í í
í í í í í í í í í í í í í

Cachet et signature



Résumé du mémoire de fin d'étude En vue de Préparation de diplôme:

**Ingénieur d'état en électronique
Option : Communication**

Thème :

COMMANDE DE PANNEAU SOLAIRE A L'AIDE D'UNE CARTE A PIC

Proposé par : OUAFI ABD ELKRIM

Dirigé par : OUAFI ABD ELKRIM

RESUME

Dans le cas des panneaux solaires fixes, une part importante de l'énergie récupérable est ainsi perdue. Notre but dans ce travail est d'optimiser l'orientation des panneaux solaires pour recevoir le maximum d'énergie au cours de la journée. Pour cette raison, on a réalisé un suiveur solaire.

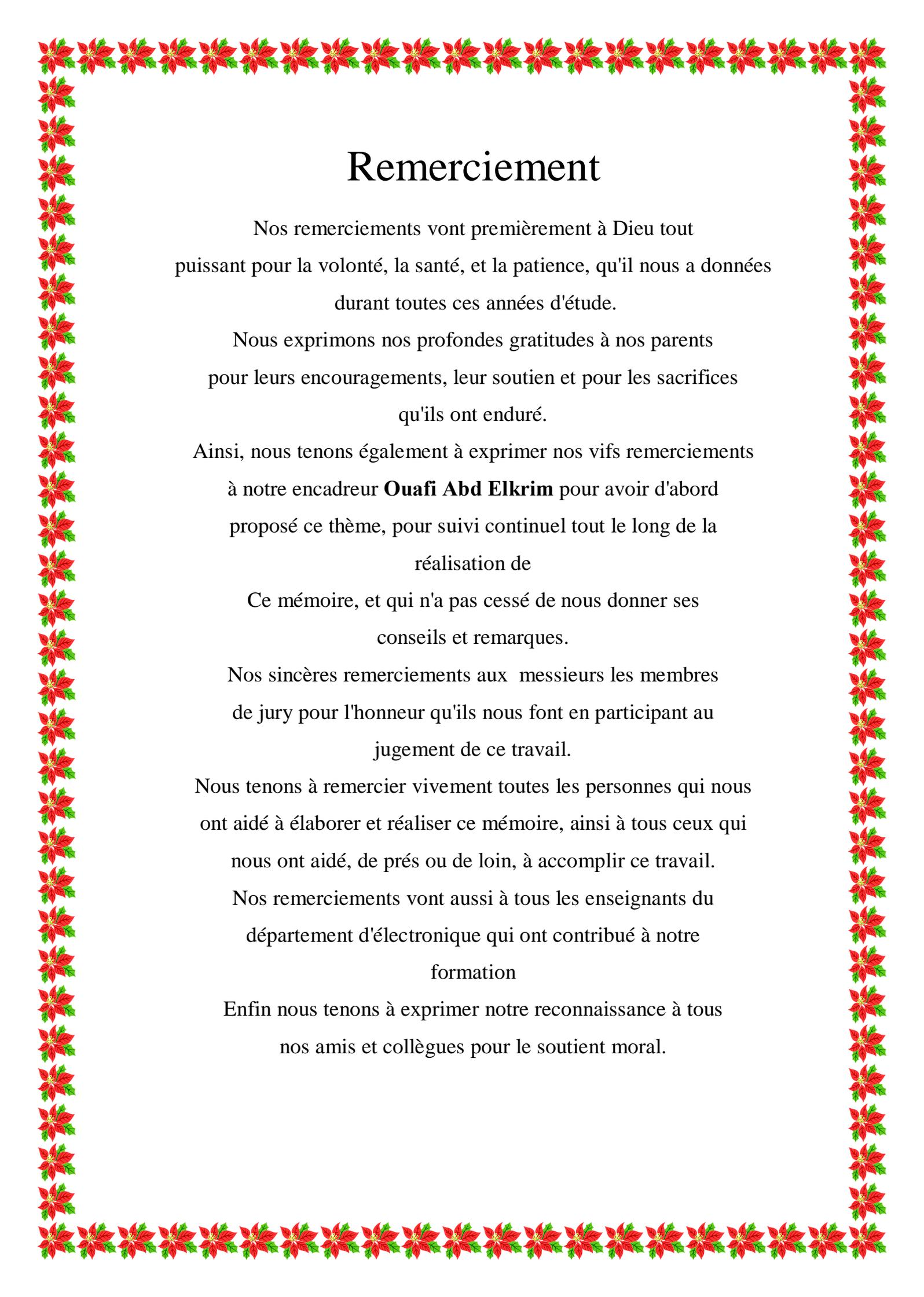
La conception et la réalisation de ce système de commande du suiveur de soleil est basée sur des capteurs de la lumière, un microcontrôleur pour la commande du circuit et un système mécanique de poursuite solaire.

ملخص

في حالة الألواح الشمسية الثابتة، جزء كبير من الطاقة القابلة للاسترداد يتم فقدانها، لذلك كان هدفنا من هذا العمل هو توجيه الألواح الشمسية للحصول على أقصى قدر ممكن من الطاقة الشمسية خلال النهار، ومن أجل ذلك قمنا بانجاز نظام تحكم لتعقب حركة الشمس.

تصميم وتنفيذ هذا النظام يعتمد على مراقبة حركة الشمس باستعمال لواقظ ضوئية، معالج دقيق

(16F84) للتحكم في الدارة و نظام ميكانيكي لتحريك الألواح الشمسية .



Remerciement

Nos remerciements vont premièrement à Dieu tout puissant pour la volonté, la santé, et la patience, qu'il nous a données durant toutes ces années d'étude.

Nous exprimons nos profondes gratitudes à nos parents pour leurs encouragements, leur soutien et pour les sacrifices qu'ils ont enduré.

Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur **Ouafi Abd Elkrim** pour avoir d'abord proposé ce thème, pour suivi continué tout le long de la réalisation de

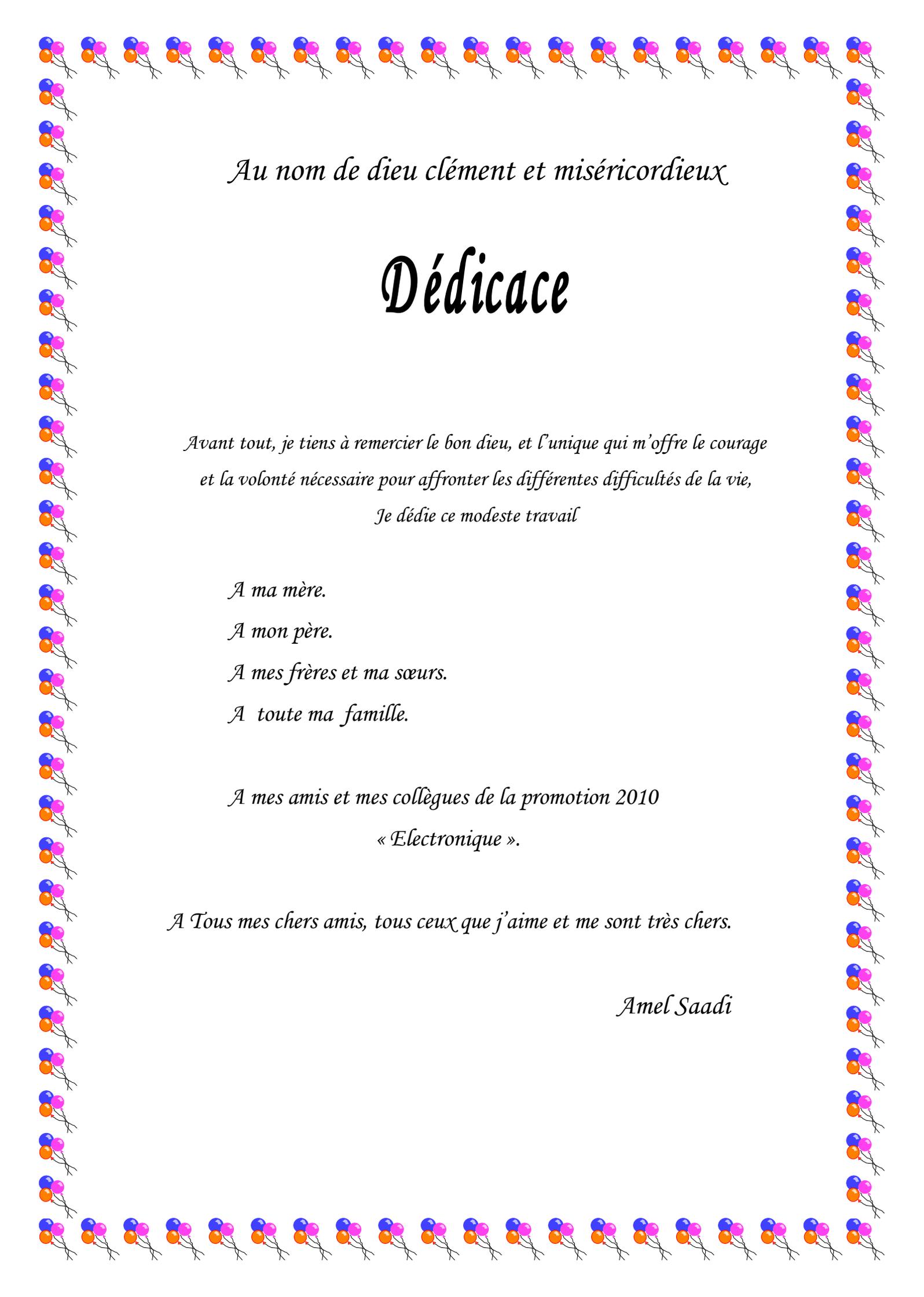
Ce mémoire, et qui n'a pas cessé de nous donner ses conseils et remarques.

Nos sincères remerciements aux messieurs les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous font en participant au jugement de ce travail.

Nous tenons à remercier vivement toutes les personnes qui nous ont aidé à élaborer et réaliser ce mémoire, ainsi à tous ceux qui nous ont aidé, de près ou de loin, à accomplir ce travail.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants du département d'électronique qui ont contribué à notre formation

Enfin nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues pour le soutien moral.



Au nom de dieu clément et miséricordieux

Dédicace

*Avant tout, je tiens à remercier le bon dieu, et l'unique qui m'offre le courage
et la volonté nécessaire pour affronter les différentes difficultés de la vie,*

Je dédie ce modeste travail

A ma mère.

A mon père.

A mes frères et ma sœurs.

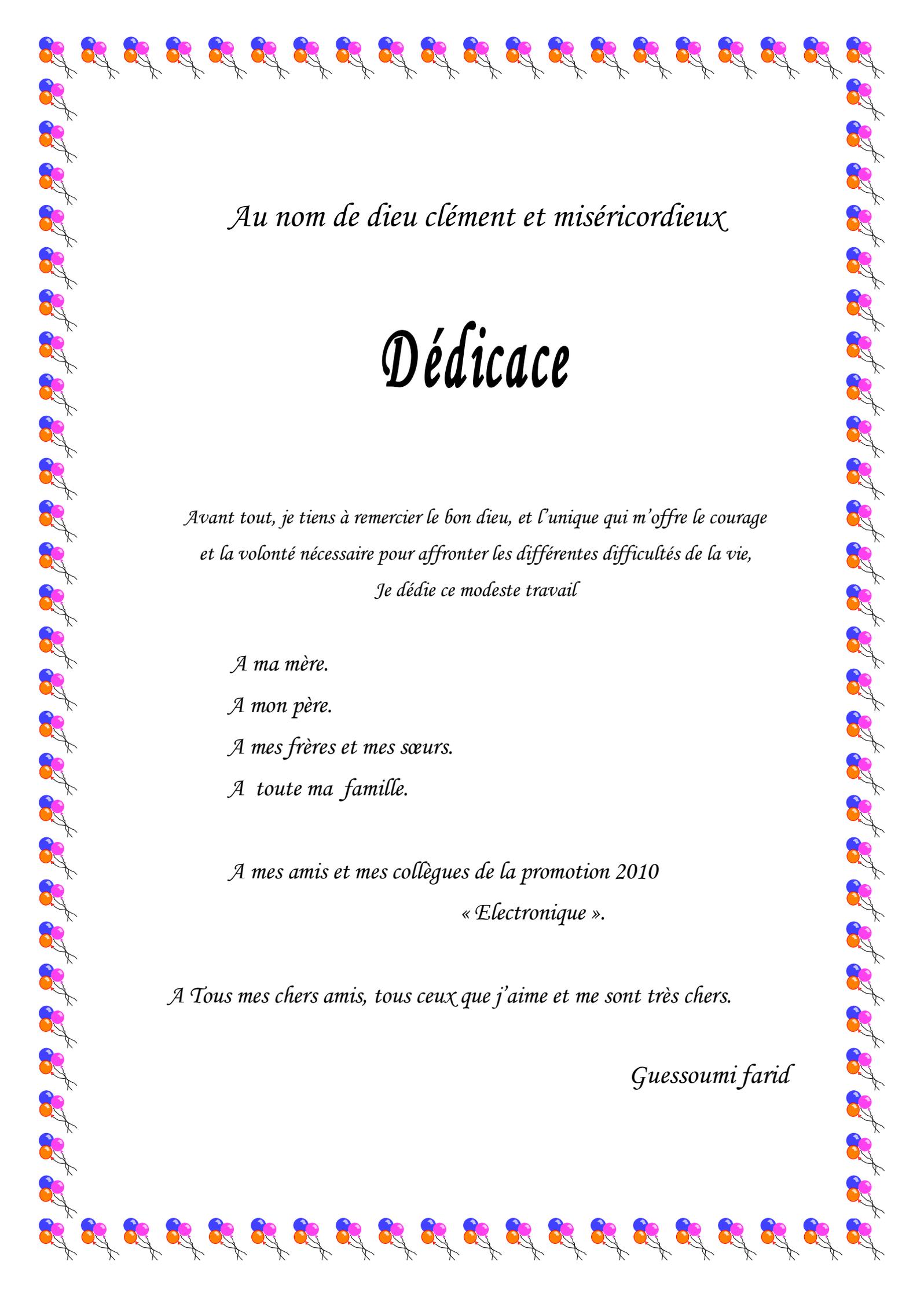
A toute ma famille.

A mes amis et mes collègues de la promotion 2010

« Electronique ».

A Tous mes chers amis, tous ceux que j'aime et me sont très chers.

Amel Saadi



Au nom de dieu clément et miséricordieux

Dédicace

*Avant tout, je tiens à remercier le bon dieu, et l'unique qui m'offre le courage
et la volonté nécessaire pour affronter les différentes difficultés de la vie,
Je dédie ce modeste travail*

A ma mère.

A mon père.

A mes frères et mes sœurs.

A toute ma famille.

A mes amis et mes collègues de la promotion 2010

« Electronique ».

A Tous mes chers amis, tous ceux que j'aime et me sont très chers.

Guessoumi farid

Résumé

Dans le cas des panneaux solaires fixes, une part importante de l'énergie récupérable est ainsi perdue. Notre but dans ce travail est d'optimiser l'orientation des panneaux solaires pour recevoir le maximum d'énergie au cours de la journée. Pour cette raison, on a réalisé un suiveur solaire.

La conception et la réalisation de ce système de commande du suiveur de soleil est basée sur des capteurs de la lumière, un microcontrôleur pour la commande du circuit et un système mécanique de poursuite solaire.

ملخص

في حالة الألواح الشمسية الثابتة، جزء كبير من الطاقة القابلة للاسترداد يتم فقدانها، لذلك كان هدفنا من هذا العمل هو توجيه الألواح الشمسية للحصول على أقصى قدر ممكن من الطاقة الشمسية خلال النهار، ومن أجل ذلك قمنا بانجاز نظام تحكم لتعقب حركة الشمس. تصميم وتنفيذ هذا النظام يعتمد على مراقبة حركة الشمس باستعمال لواقط ضوئية، معالج دقيق (16F84) للتحكم في الدارة و نظام ميكانيكي لتحريك الألواح الشمسية .

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

CHPITRE 1 : GENERALITES SUR LES SYSTEMES PHOTOVOLTAIAUES

1- Introduction	1
2- Composants d'un système photovoltaïque (PV).....	2
2.1- Principe de fonctionnement	2
3- Générateur photovoltaïque	3
3.1 ó Principe.....	3
3.2 - Cellules Photovoltaïques	3
a - Structure d'une cellule Photovoltaïques	4
b - Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	4
c - Différents types de Cellules Photovoltaïques	6
d - Modélisation d'une cellule photovoltaïque	6
3.3- caractéristique électrique d'un générateur Photovoltaïque.....	8
a - Caractéristique courant ó tension	8
b - Rendement de la conversion	10
c ó Puissance délivrée par une cellule PV	10
4 - Influence de la température et du rayonnement	11
4.1- Influence de la température	11
4.2 -Influence du rayonnement	12
5 ó Module photovoltaïque	12
5.1- Composition d'un module solaire photovoltaïque	13
5.2 - Caractéristiques d'un module solaire	14
5.3 - Module et groupement de cellules en série	15
5.4 - Module et groupement de cellules en parallèle	16
6 ó Panneaux solaire	17
7 - Champs photovoltaïque (PV)	18
8- Orientation des panneaux solaires.....	19
8.1 - Choix de l'orientation des modules	19
8.2 - Choix de l'inclinaison des modules.....	19
8.3- trajectoire apparente du soleil	20
9 - Intérêt des panneaux solaire photovoltaïques mobiles par rapport aux panneaux fixes .	21
10- Conclusion.....	22

CHPITRE 2 : LE MICROCONTROLEUR PIC16F84A

1 - Introduction	23
------------------------	----

2 - Circuit de commande par Le microcontrôleur (PIC).....	23
2.1- Définition d'un PIC	23
2.2 - Différentes familles des PICs	23
2.3 - Identification d'un Pic	23
2.4- Le choix d'un PIC	24
2.5 ó Caractéristiques principales du pic 16F84	24
3 - Brochage du 16F84	25
4 - Architecture générale du PIC16F84.....	28
4.1 - Organisation de la mémoire	30
a - Mémoire de programme (flash)	30
b - Mémoire de données.....	30
b.1 - La mémoire RAM	30
b.2 -Mémoire EEPROM	31
4.2 - L'ALU et le registre W	31
4.3 - Le Watchdog Timer WDT (Chien de garde)	31
4.4 - Le Timer TMRO	32
4.5 - Instructions du pic 16F84	32
4.6 - Interruption	32
5 - Le mode SLEEP	33
6 - La pile (stack).....	33
7 -Conclusion	33

CHPITRE 3 : PROGRAMMATION DE PIC 16F84

1- Introduction.....	34
2- Etapes de développement du programme	34
3 - Ecriture du programme	35
4 - Présentation du logiciel flowcode	36
4.1 Barres d'icônes des commandes	37
4.1.1 Propriétés de l'icône entrée	38
4.1.2 Propriétés de l'icône de sortie	39
4.1.3 Propriétés de l'icône pause	40
5 - Barre d'icônes des composants	40
6 - Panneau de simulation	41
7- Etapes de Création d'un programme.....	42
7.1 -Ajouter une icône sur l'organigramme	43
8 - Simulation	44

8.1 Simulation continue	44
8.2 Pas-à-pas détaillé	45
8.3- Pas-à-pas principal	45
9- Compilation et transfert d'un programme vers le PIC.....	45
10- Simulation	46
10.1-Présentation de IØISIS	46
10.2- transfert du programme vers le PIC.....	47
a- Fenêtre option de configuration	48
b- configuration des ports	48
c- choix du PIC cible	49
d- Etapes de programmation du PIC	50
11- Programmeur proposé	53
12- Conclusion	54

CHPITRE 4 : CONCEPTION ET REALISATION PRATIQUE

1- Introduction	55
2- Systems de suiveur solaire	56
2.1- Schéma de principe	56
2.2- Principe de suiveur soleil.....	57
2.3- Carte d'acquisition.....	58
2.3.1- Capteur LDR	59
a -Définition	59
b- Principe de fonctionnement	60
2.3.2 -Diviseur de tension	60
a - Comparateur de tensions	61
2.4 - Carte de commande à bas de PIC	63
2.4.1 - Fonctionnement de la carte de commande.....	63
2 .5 - Carte de puissance.....	64
a - principe.....	64
b - schéma de principe du pont en H	65
c - schémas électrique	66
3 - Fonctionnement du système	67
4- Conclusion	69
CONCLUSION GENERALE	70
Bibliographie	71

Annexe A : Caractéristiques du panneau photovoltaïque.....	73
Annexe B : Caractéristiques du pic 16f84A	76
Annexe C : Programme de simulation	78
Annexe D : Réalisation pratique	80

Liste des Figures

Figure 1.1: types d'énergie solaire.....	1
Figure 1. 2 : Schéma synoptique d'un système photovoltaïque	2
Figure 1.3: Présentation schématique d'une cellule solaire	4
Figure 1.4: Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	5
Figure 1.5 : Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque	6
Figure 1.6 : Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque.....	8
Figure 1.7 : Courbe de puissance maximale et caractéristique courant-tension	10
Figure 1.8 : Effet de la température sur la caractéristique I-V	11
Figure 1.9 : Evolutions de la caractéristique courant- tension avec l'énergie reçue	12
Figure 1. 10 : Module photovoltaïque	13
Figure 1.11: Composition d'un module solaire photovoltaïque	14
Figure 1.12 : Schéma d'un module fermé d'un groupement de N_s cellules en série	15
Figure 1.13 : Caractéristique $I (v)$ d'un groupement de N_s cellules en série	15
Figure 1. 14 : Schéma d'un module fermé d'un groupement des cellules en parallèle	16
Figure 1.15 : Caractéristique $I (v)$ d'un groupement de N_p cellules en parallèle.....	16
Figure 1.16 : exemple d'un panneau solaire.....	17
Figure 1.17 : Champ de panneaux montrés en série-parallèle.....	18
Figure 1.18 : Comment incliner le panneau solaire	20
Figure 1.19 : Représentation de la latitude (hauteur) angulaire et l'azimut	20
Figure 1.20 : Définition de la position du soleil (latitude et azimut)	21
Figure 1.21: diagramme de comparaison entre la production avec suiveur et la production avec système fixe	22
Figure 2.1 : Brochage du circuit	25
Figure 2.2 : Oscillateur à Quartz.....	26
Figure 2.3: Oscillateur RC	27
Figure 2.4: Horloge externe	27
Figure 2.5: Architecture générale du PIC 16F8X.....	29
Figure 3.1 : Etapes de développement du programme	35
Figure 3.2: Représentation de logiciel	36
Figure 3.3: barre d'icône des commandes	37
Figure 3.4 : Propriétés d'icônes d'entrée	38

Liste des Figures

Figure 3.5 : propriétés de sortie	39
Figure 3.6: réglage de temporisation	40
Figure 3.7: Barre d'icônes des composants	40
Figure 3.8 : barre des composants externes.....	41
Figure 3.9 : Panneau de simulation	42
Figure 3.10 : choix du pic	42
Figure 3.11 : Sélection et réglage de fréquence simulation	43
Figure 3.12 : Exemple d'insertion d'une icône pause par flowcode.....	44
Figure 3.13: Modes de simulation	44
Figure 3.14: compilation et le transfert d'un programme	45
Figure 3.15 : Simulation du schéma électrique de la carte par ISIS.	47
Figure 3.16: Configuration du système d'exploitation	48
Figure 3.17: Configuration des ports	49
Figure 3.18 : Choix du pic à programmer	50
Figure 3.19: étapes de programmation du PIC	51
Figure 3.20 Schéma de chargement de fichier *.hex	52
Figure 3.21: Schéma de transfert de fichier *.hex*	53
Figure 3.22 : interface de programmation.....	54
Figure 4.1:schéma de bloc du système	56
Figure 4.2 : Schéma de principe d'utilisation des deux résistances LDR pour capter la position du soleil	57
Figure 4.3: schéma de principe de la carte d'acquisition	58
Figure 4.4: Carte d'acquisition interface entre le capteur et le PIC	59
Figure 4.5 : symbole et Capteur LDR	60
Figure 4.6 : schéma de principe du pont diviseur de tension	61
Figure 4.7: schéma de principe d'un ampli-op	61
Figure 4.8 : schéma de brochage et boîtier du circuits LM324	62
Figure 4.9 : schéma d'un comparateur de tension	62
Figure 4.10 : Schéma de la carte de commande	63
Figure 4.11: Schéma blocs de la carte de puissance	64
Figure 4.12 : Principe du pont en H	65
Figure 4.13: schéma de carte de puissance	66
Figure 4.14: Organigramme de fonctionnement du système	68

Liste des Tableaux

Tableau 4.1 : Etats de fonctionnement de la carte de commande 64

Liste des abréviations

PV : photovoltaïque

GPV : générateur photovoltaïque

STC : (Standard Test Conditions) condition d'essai standard.

EVA : éthylène-acétate de vinyle

Watt-crête (Wc) : la puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards

DC : courant continu

AC : courant alternatif

SC : semiconducteur

Eg : énergie de la bande de gap (eV)

h : constante de Planck

v : fréquence de la lumière

C : vitesse de la lumière

λ : longueur d'onde de la lumière

I : courant fournie par une cellule (Ampère)

V : tension aux borne de la cellule (volt)

I_{ph} : courant photo généré par le générateur photovoltaïque sous éclairement (A).

I_D : courant qui traverse la diode (A).

I_s : courant de saturation de la diode (A).

I_{cc} : courant de court-circuit (A).

V_{oc} : tension de circuit ouvert (v)

P_c : puissance crête (W).

I_{Rsh} : courant qui traverse R_{sh} (A).

R_s : résistance série du générateur (Ω).

R_{sh} : résistance parallèle du générateur (Ω).

q : charge de l'électron ($1.6 \cdot 10^{-19}$ Coulomb).

K : constante de Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K).

T : température (absolue) effective de la cellule en Kelvin ($^{\circ}K$).

A : facteur de non idéalité de la jonction ($1 < A < 3$)

S : la surface de module en (m^2).

E : l'éclairement en W/m^2

Liste des abréviations

η : Le rendement énergétique

FF : le facteur de forme

I_G : courant du générateur

V_G : tension du générateur ;

N_p : nombre de cellules en parallèle

N_s : nombre de cellules en série

P_{max} : puissance maximale (W).

I_{max} : courant maximal (A).

V_{max} : tension maximale (V).

R : est la résistance de la LDR en Ω .

A : est une constante ($\sim 340 \times 10^3$).

L : est l'éclairement. Lumineux en Lux.

S1, S2 : positions du soleil.

d : la distance entre la paroi et la résistance LDR;

h : la hauteur de la paroi opaque;

k : le diamètre de la résistance LDR

1: l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur la résistance LDR 1

2: est l'angle d'ombre pour la même résistance LDR1.

Introduction générale

Les énergies renouvelables sont des énergies qui se renouvèlent assez rapidement pour être considérées comme inépuisables à l'échelle humaine du temps. Face aux prévisions d'épuisement inévitable des ressources mondiales en énergie fossile (pétrole, gaz, charbon...), en énergie d'origine thermonucléaire (uranium, plutonium...), face aux multiples crises pétrolières, économiques, aux changements climatiques dus à l'effet de serre, la science s'est tout naturellement intéressée aux ressources dites " renouvelables " et notamment vers la plus ancienne, le soleil, qui déverse chaque jour l'équivalent de 100 000 milliards de TEP (Tonnes Equivalent Pétrole). Cette valeur est à comparer aux 9,58 milliards de TEP que représente la consommation annuelle mondiale en énergie primaire (1998).

Considéré dans l'Antiquité comme un dieu, le soleil est aujourd'hui réduit au statut d'énergie, une énergie qu'il nous faut la capter, la transformer, la stocker.... Capturer cette énergie et la transformer directement en électricité par effet photovoltaïque, provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium. Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure. L'énergie est apportée par les photons (composants de la lumière) qui heurtent les électrons et les libèrent, induisant un courant électrique. C'est l'effet photovoltaïque [8].

Dans ce contexte, notre motivation dans ce travail est d'optimiser l'énergie fournie par les panneaux photovoltaïques dans le but de maximiser la quantité d'éclairement absorbé par les panneaux photovoltaïques en suivant le mouvement du soleil pendant la journée. Notre suiveur solaire est basé sur l'utilisation d'une carte de commande à base de microcontrôleur de type PIC.

Notre rapport est organisé de la manière suivante :

- Le premier chapitre est consacré aux généralités sur les systèmes photovoltaïques (principes de la conversion photovoltaïque, la cellule solaire au générateur photovoltaïque), nous avons présenté aussi les différentes caractéristiques électriques et les paramètres qui peuvent les influencer.
- Le second chapitre porte sur la carte de commande à base de microcontrôleur PIC 16F84A
- Le troisième chapitre présente les logiciels utilisés pour la programmation de notre microcontrôleur.
- Le quatrième chapitre porte sur la conception et la réalisation Pratique de la carte.
- On termine ce travail par une conclusion et des perspectives.

Généralités sur les systèmes photovoltaïques

CHPITRE 1 : GENERALITES SUR LES SYSTEMES PHOTOVOLTAIAUES

1- Introduction	1
2- Composants d'un système photovoltaïque (PV)	2
2.1- Principe de fonctionnement	2
3- Générateur photovoltaïque	3
3.1 ó Principe	3
3.2 - Cellules Photovoltaïques	3
3.3- caractéristique électrique d'un générateur Photovoltaïque.....	8
4 - Influence de la température et du rayonnement	11
4.1- Influence de la température	11
4.2 -Influence du rayonnement	12
5 ó Module photovoltaïque	12
5.1- Composition d'un module solaire photovoltaïque	13
5.2 - Caractéristiques d'un module solaire	14
5.3 - Module et groupement de cellules en série	15
5.4 - Module et groupement de cellules en parallèle	16
6 ó Panneaux solaire	17
7 - Champs photovoltaïque (PV)	18
8- Orientation des panneaux solaires.....	19
8.1 - Choix de l'orientation des modules	19
8.2 - Choix de l'inclinaison des modules	19
8.3- trajectoire apparente du soleil	20
9 - Intérêt des panneaux solaire photovoltaïques mobiles par rapport aux panneaux fixes .	21
10- Conclusion	22

1- INTRODUCTION

L'exploitation directe de l'énergie solaire au moyen de capteurs relève de deux technologies bien distinctes: l'une produit des calories, c'est l'énergie solaire thermique et l'autre produit de l'électricité, cette dernière est appelée énergie solaire photovoltaïque (figure 1) [1].

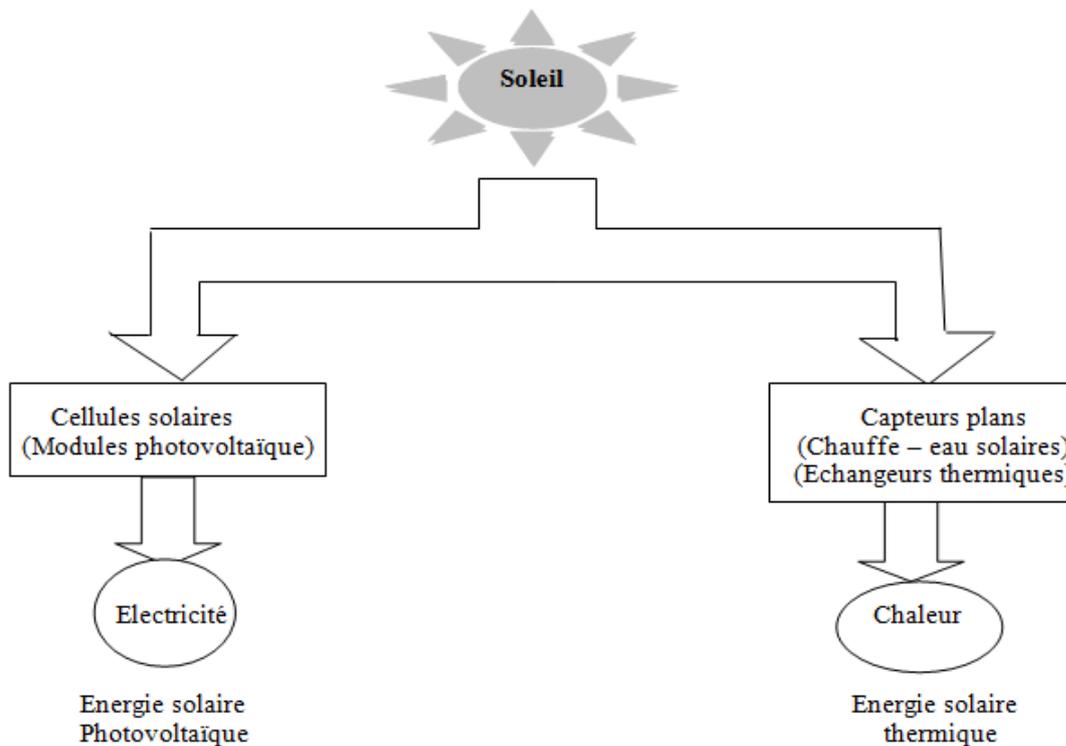


Figure 1.1: types d'énergie solaire

- **Energie solaire thermique**

Permet de produire de la chaleur à partir du rayonnement solaire infrarouge afin de chauffer de l'eau ou de l'air. On utilise dans ce cas des capteurs thermiques. Dans le langage courant, ce sont des (chauffe-eau solaire) ou des (capteurs à air chaud) (figure 1) [1].

- **Energie solaire photovoltaïque**

Permet de produire de l'électricité par transformation d'une partie du rayonnement solaire grâce à des cellules solaires (figure 1), reliées entre-elles pour former un module solaire photovoltaïque. Actuellement, les cellules solaires commercialisées sont composées de matériaux inorganiques, comme le silicium [2].

2- Composants d'un système photovoltaïque (PV)

Un module photovoltaïque seul ne suffit généralement pas pour alimenter régulièrement une application. Tout comme l'éclairage, l'énergie qu'il fournit est très variable, et toujours en courant continu: il faut souvent la stocker et parfois la transformer. On appelle "système photovoltaïque" l'ensemble du composant nécessaire à l'alimentation d'une application en toute fiabilité. Généralement, un system photovoltaïque comprend les différents éléments indiqués par la figure 2 [3].

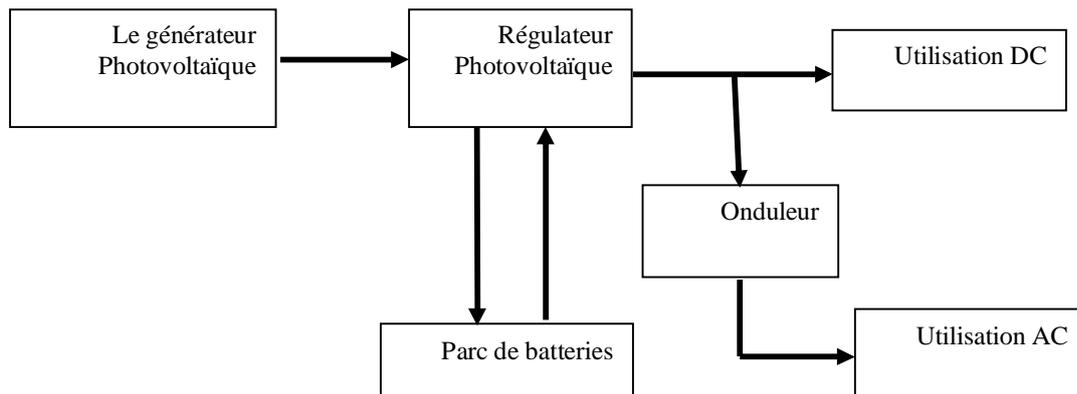


Figure 1.2 : Schéma synoptique d'un système photovoltaïque

- Générateur photovoltaïque (GPV)

Le générateur photovoltaïque GPV (section 3.1) représente la partie de production d'énergie électrique.

- Contrôle et stockage d'énergie

L'intensité électrique que fournissent ces modules dépend, entre autre, de l'ensoleillement et de leur position par rapport au soleil, d'où une irrégularité dans la fourniture d'énergie qui peut ne pas être compatible avec les besoins en énergie, généralement plus constants. Il est donc souvent nécessaire de contrôler l'approvisionnement en électricité à l'aide d'un système de contrôle d'énergie. Pour les charges alternatives, il est nécessaire d'utiliser un onduleur (convertisseur DC/AC) qui assure leur fonctionnement [4].

- Utilisation de l'énergie

Cette partie se compose essentiellement d'un ou plusieurs récepteurs: ceux sont les différents équipements qui utilisent l'énergie électrique solaire produite et contrôlée (éclairage, pompage) [4].

2.1- Principe de fonctionnement

Un système photovoltaïque avec batterie peut être comparé à une charge alimentée par une batterie qui est chargée par un générateur photovoltaïque. Il comprend généralement les composants de base suivants :

- le champ de modules PV charge la batterie en période d'ensoleillement;
- la batterie alimente la charge et assure un stockage de l'énergie électrique ;
- le régulateur de charge protège la batterie contre la surcharge de l'énergie produite par le champ de modules PV et inclut habituellement une protection contre les décharges profondes de la batterie;
- le conditionneur de charge permet l'utilisation d'appareil à courant continu (DC) à tension variable ou à courant alternatif (AC) (onduleur).

3- Générateur photovoltaïque

3.1 – Principe

Le générateur photovoltaïque GPV est composé d'un ou plusieurs modules photovoltaïques. Ces modules sont formés d'un assemblage série /parallèle de cellules photovoltaïques, qui réalise la conversion d'énergie solaire en électricité [5].

3.2 - Cellules Photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité par un processus appelé "effet photovoltaïque" qui a été découvert par E. Becquerel en 1839.

Elles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs, c'est à dire ayant des propriétés intermédiaires entre les conducteurs et les isolants [5].

a - Structure d'une cellule Photovoltaïques

Le but de la structure photovoltaïque, c'est de créer un champ électrique interne. Dans la figure (1.3), un échantillon schématisé d'une configuration de la cellule solaire. Elle se compose d'un abri du verre (g), un encapsulant (e) pour éviter la corrosion, un métal en arrière contact (m) afin de réduire les pertes par réflexion du rayonnement incident et deux couches de silicium, une dopée P (dopée au Bore) et l'autre dopée N (dopée au Phosphore) créant ainsi une jonction p-n avec une barrière de potentiel. [1].

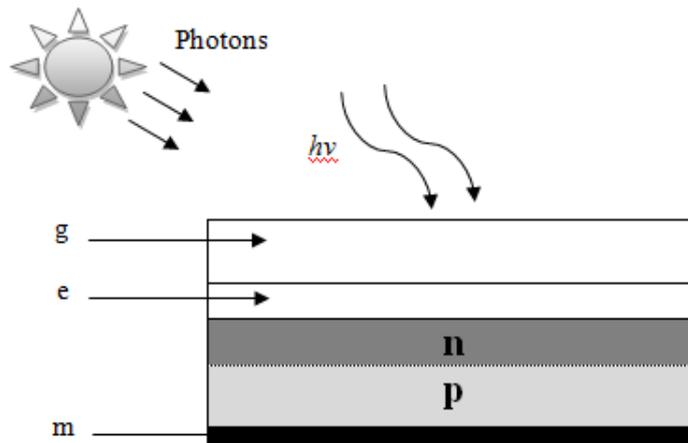


Figure 1.3 : Présentation schématisée d'une cellule solaire

b - Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

La jonction p-n de ces deux matériaux semi-conducteurs fonctionne comme une diode. Lorsque cette diode est exposée à des photons dont l'énergie ($h\nu$) est supérieure à celle de l'énergie de bande gap (E_g), le nombre d'électrons libres du semi-conducteur de type p et celui de trous du semi-conducteur de type n augmente considérablement. Si les photons incidents ont une énergie inférieure à E_g , ils ne seront pas absorbés c'est-à-dire leurs énergies ne contribuent pas à la conversion photovoltaïque. La figure (1.4) illustre le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque. L'énergie des photons est donnée par :

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (1.1)$$

Avec :

E : énergie de photon (eV)

h : constante de Planck

ν : fréquence de la lumière

C : vitesse de la lumière

λ : longueur d'onde de la lumière

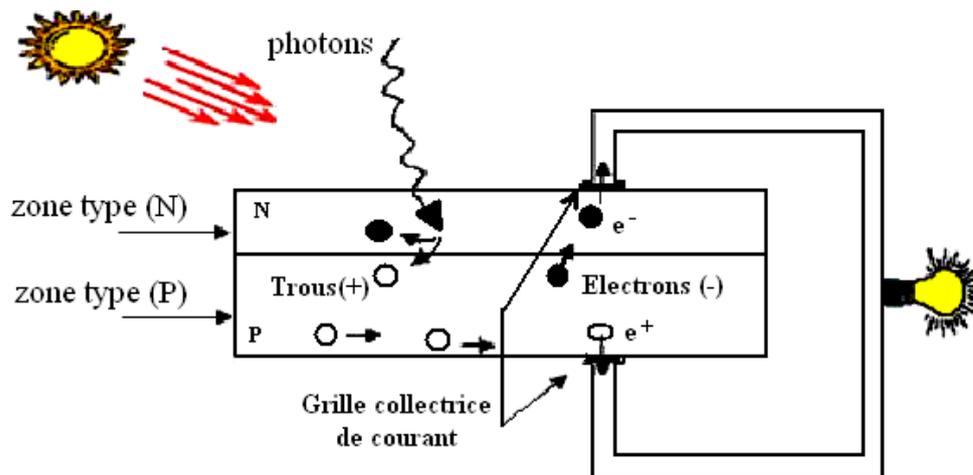


Figure 1.4: Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

D'une autre manière, quand un semi-conducteur est éclairé par la lumière du soleil, les photons qui la constituent sont capables de transmettre leurs énergies aux électrons de valence du semi-conducteur pour rompre la liaison qui les maintient liés aux atomes respectifs. Pour chaque liaison rompue, on obtient un électron et un trou libres circulant dans le matériau. Sous l'effet du champ électrique, l'électron va du côté N et le trou du côté P. Les trous se comportent, sous différents aspects, comme des particules avec une charge positive égale à celle de l'électron.

La différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule [1].

La tension maximale de la cellule est d'environ 0.6 V pour un courant nul. Cette tension est nommée tension de circuit ouvert (V_{OC}). Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées, il est appelé courant de court-circuit (I_{CC}) et dépend fortement du niveau d'éclairement [6].

c - Différents types de Cellules Photovoltaïques

Il existe trois principaux types de cellules à l'heure actuelle [1] :

- **Cellules en Silicium Monocristallin :**

Ce sont celles qui ont le meilleur rendement de conversion (14 à 16%), mais aussi celle qui ont le coût le plus élevé, du fait d'une fabrication compliquée.

- **Cellules en Silicium Polycristallin**

Leur conception étant plus facile, leur coût de fabrication est moins important, cependant leur rendement de conversion est plus faible (12 à 14%).

- **Cellules en Silicium Amorphe :**

Elles ont un faible rendement de conversion (7% - 9%), mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans les produits de petite consommation tel que les calculatrices solaires, les montres, etc [7].

d - Modélisation d'une cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque reste l'élément de base de tout générateur photovoltaïque quelle que soit la puissance considérable demandée. Le schéma équivalent de la cellule solaire est présenté dans la figure (1.5), qui consiste en une source de courant idéale, branchée avec une diode en parallèle, deux résistances pour tenir compte des pertes interne [6].

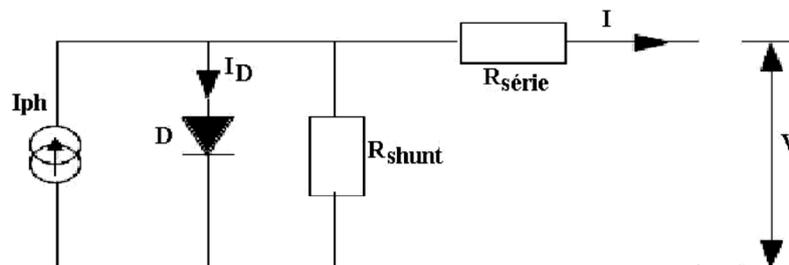


Figure 1.5 : Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque

R_s série (R_s) représente la résistance série qui tient compte des pertes ohmiques du matériau des métallisations et du contact métal/semi-conducteur, R_{sh} shunt (R_{sh}) représente une résistance parallèle (ou résistance de fuite) provenant de courants parasites entre le dessus et le dessous de la cellule par le bord en particulier et à l'intérieur du matériau par des irrégularités ou impuretés.

Pour prévoir ses performances, il est très important de connaître son modèle mathématique. Selon la figure (1.5), le courant généré par la cellule photovoltaïque I est donné par [1] :

$$I = I_{ph} - I_D - I_{R_{sh}} \quad (1.2)$$

Où :

$I_{R_{sh}}$ le courant qui traverse R_{sh} :

$$I_{R_{sh}} = \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (1.3)$$

I_D : Le courant traversant la diode est donné par :

$$I_D = I_s \left[\exp \left[q \times \frac{V + R_s I}{A \times K \times T} \right] - 1 \right] \quad (1.4)$$

Avec :

I : courant fournie par une cellule (Ampère)

I_{ph} : photo courant (Ampère)

I_D : courant diode (Ampère)

I_s : courant de saturation de la diode (Ampère)

V : tension aux bornes de la cellule (Volt)

q : la charge de l'électron ($q=1.602 \times 10^{-19}$ C)

k : la constante de Boltzmann, $k= 1,38 \times 10^{-23}$ j/°k

T : la température effective de la cellule en Kelvin (°K)

A : le facteur de non idéalité de la jonction ($1 < A < 3$)

R_{sh} : la résistance shunt caractérisant les courants de fuite de la jonction

R_s : la résistance série représentant les diverses résistances des contacts et de connexions

3.3- Caractéristique électrique d'un générateur Photovoltaïque

a- Caractéristique courant – tension

La caractéristique courant-tension, illustrée dans la figure (1.6), décrit le comportement de la cellule photovoltaïque sous l'influence des conditions standard (niveau d'éclairement 1000W/m^2 et température ambiante 25°C) [7].

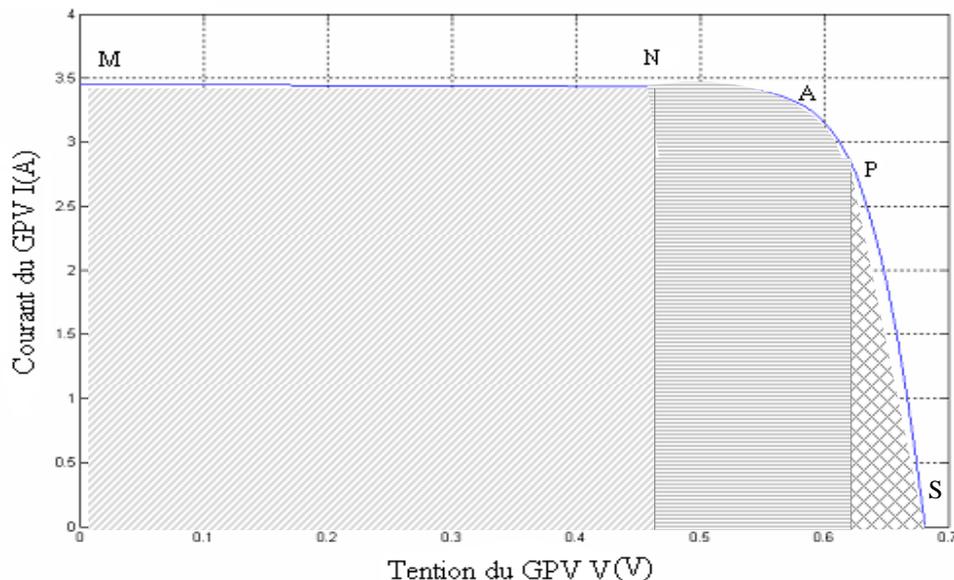


Figure 1.6 : Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque.

Avec :

GPV : le générateur photovoltaïque

M : le courant de court-circuit I_{cc}

A : la puissance maximal

S : la tension de circuit ouvert V_{oc}

La courbe caractéristique d'une cellule PV (figure 1.6) représente la variation du courant qu'elle produit en fonction de la tension à ses bornes, depuis le court-circuit, point M (tension nulle correspondant au courant maximum produit) jusqu'au circuit ouvert, point S, (courant nul pour une tension maximale aux bornes de la cellule).

La courbe de la cellule solaire $I=f(V)$ passe par trois points essentiels qui sont (figure 1.6) :

- Le courant de court-circuit I_{cc} en M ;
- La tension de circuit ouvert V_{oc} en S ;
- La puissance maximale en A ;

En effet, la caractéristique de la cellule solaire $I(V)$, se divise en trois parties [4] :

- La zone (MN) se distingue par le courant qui reste constant, quelle que soit la tension. Dans cette zone, le générateur photovoltaïque fonctionne comme un générateur de courant.
- La zone (PS) se distingue par une variation du courant correspondant à une tension presque constante, et c'est dans cette région, que le générateur est assimilable à un générateur de tension.
- La zone (NP) correspond au coude de la caractéristique. C'est la région intermédiaire entre les deux zones précédentes, et elle représente la région préférée pour le fonctionnement (le point optimal peut être déterminé).

Cette caractéristique $I = f(V)$ se met sous la forme mathématique à partir des équations (1.2), (1.3) et (1.4) précédentes comme suit [1] :

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp \left[q \times \frac{V + R_s I}{A \times K \times T} \right] - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (1.5)$$

Le courant de court-circuit I_{cc} de la cellule photovoltaïque est exprimé par l'expression suivante, lorsque la tension est nulle ($V=0$) [1] :

$$I_{cc} = I_{ph} - I_s \left[\exp \left[q \times \frac{R_s I}{A \times K \times T} \right] - 1 \right] - \frac{R_s I}{R_{sh}} \quad (1.6)$$

A un niveau d'éclairement standard (1 kW/m^2), l'effet de la résistance série est négligeable (point M de la figure (1.6)). Dans ce cas, le courant de court-circuit peut être considéré comme étant équivalent au photo-courant I_{ph} , c'est-à-dire proportionnel à l'éclairement [1].

$$I_{cc} = I_{ph} \quad (1.7)$$

▪ Tension de circuit ouvert

Dans le cas du circuit ouvert (point S de la figure (1.6)), la tension du circuit ouvert peut être exprimée analytiquement selon la formule suivante: [1]

$$V_{oc} = \frac{A \times K \times T}{q} \times \ln \left(\frac{I_{ph} + I_s}{I_s} \right) \quad (1.8)$$

b -Rendement de la conversion

Le rendement de la conversion est défini comme le rapport entre la puissance maximale produite et la puissance du rayonnement solaire qui arrive sur le module photovoltaïque. Si S est la surface de ce module, et E l'éclairement en W/m^2 , le rendement énergétique s'écrit [1] :

$$\eta = \frac{P_m}{E \times S} \quad (1.9)$$

Avec :

$P_m = I_m \cdot V_m$, est la puissance maximale.

Ce rendement est souvent mesuré dans les conditions standard, « STC » (Standard Test Conditions) condition d'essai standard, c'est-à-dire sous l'ensoleillement de $1000W/m^2$, à la température de $25^{\circ}C$ et sous un spectre AM1,5 (air mass: masse d'air en anglais). Ce dernier décrit l'angle d'incidence et le trajet parcouru par le rayonnement incident du soleil [7].

C - Puissance délivrée par une cellule PV

La partie intéressante de la caractéristique courant-tension, pour l'utilisateur, c'est celle qui génère de l'énergie. Donc ce ne sera ni au point de tension de circuit ouvert (point S), ni au point de court circuit (point M), qui ne génèrent aucune énergie puisque la puissance est le produit du courant par la tension. La figure (1.7), représente la caractéristique sous lumière d'une photopile ainsi que des courbes théoriques de puissance.

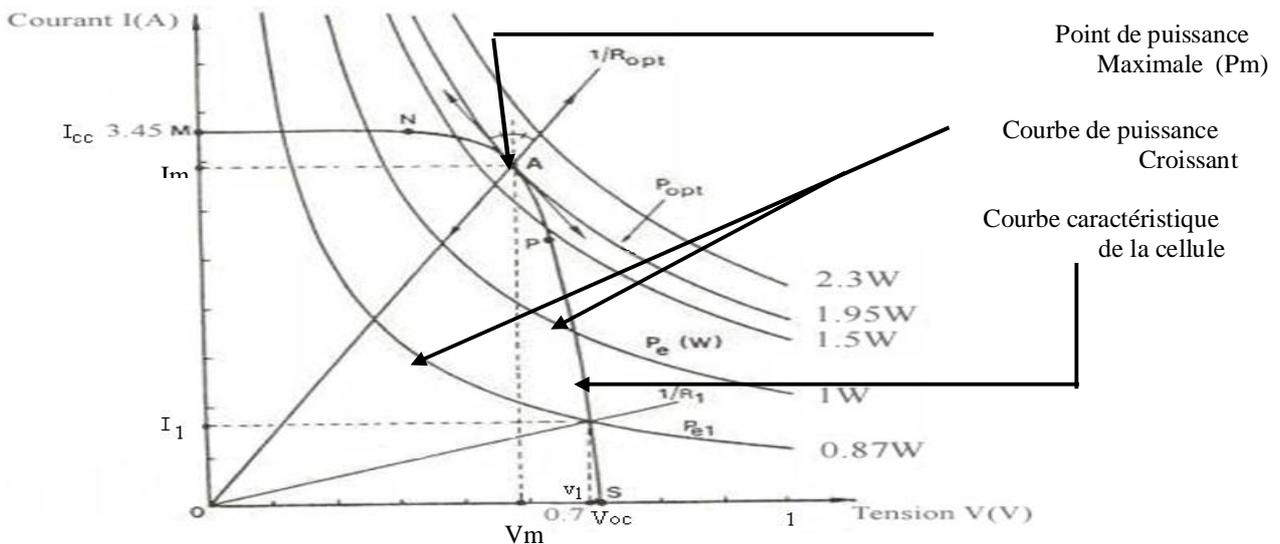


Figure 1.7 : Courbe de puissance maximale et caractéristique courant-tension

Au point A (P_m) situé au «coude» de la courbe caractéristique, la puissance de la photopile est maximale pour l'éclairement considéré. Ce point dit de "puissance maximale", est associé à une tension maximale U_m et de courant maximal I_m .

On peut distinguer que plus la courbe est «carrée», plus la puissance maximale est élevée. On mesure cette propriété par "le facteur de forme" défini comme suit [1]:

$$FF = \frac{P_m}{V_{CO} \times I_{CC}} \quad (1.10)$$

4 - Influence de la température et du rayonnement

4.1- Influence de la température

La température est un paramètre très important dans le fonctionnement des cellules solaires vu que les propriétés électriques d'un semi-conducteur sont très sensibles à ce paramètre. Sur la figure (1.8), nous reportons les caractéristiques courant-tension pour différentes températures, sous un ensoleillement 1000W/m^2 et à des températures entre 0 et 75°C .

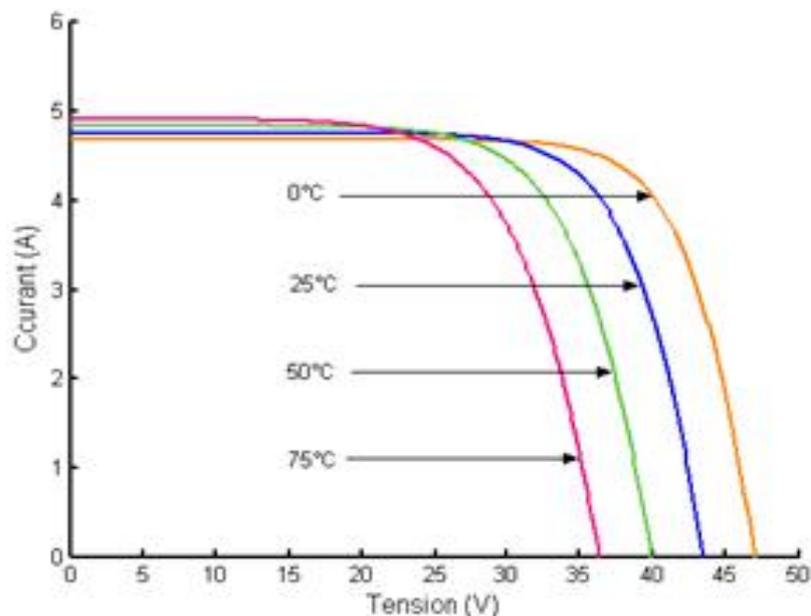


Figure 1.8 : Effet de la température sur la caractéristique I-V

On remarque une importante variation de la tension, et une petite variation de l'intensité lorsque la température augmente; ceci peut être expliqué par une meilleure absorption de la lumière.

4.2-Influence du rayonnement

De la même manière que la température, on remarque que la tension V_{co} ne varie que très peu en fonction de l'éclairement, contrairement au courant de court-circuit I_{cc} qui augmente fortement avec l'éclairement. La variation de la caractéristique $I(V)$ est représentée dans la figure suivante :

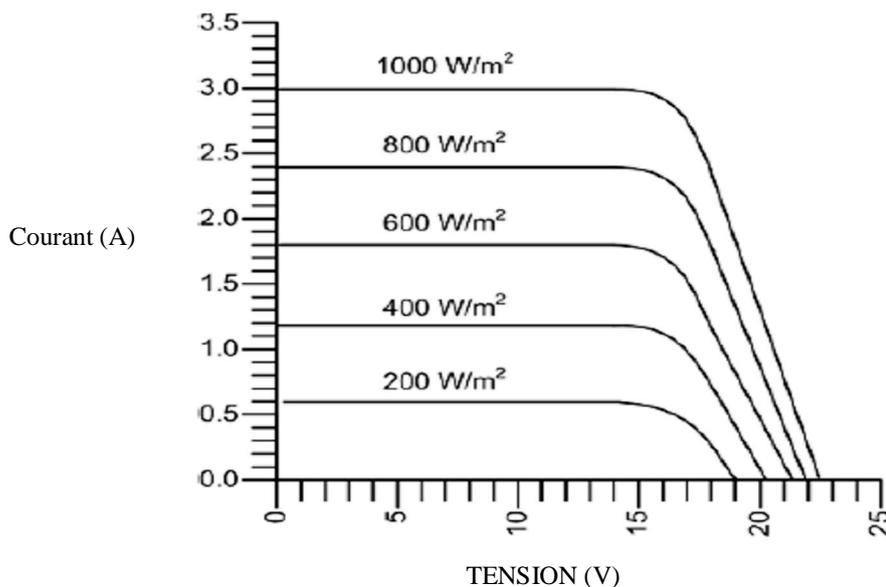


Figure 1.9 : Evolutions de la caractéristique courant- tension avec l'énergie reçue

Pour différents niveaux d'éclairement figure (1.9), on remarque que le courant est directement proportionnel à l'irradiation à ces niveaux d'éclairement. La tension par contre n'est pas très dégradée lorsque l'irradiation baisse ; donc à température constante :

- I_{cc} est proportionnel à l'ensoleillement,
- V_{co} diminue légèrement avec l'ensoleillement ;
- P_{max} est en première approximation proportionnelle à l'ensoleillement

5 – Module photovoltaïque

Pour produire plus de puissance et pour satisfaire les besoins des charges couramment utilisées, il faut envisager un assemblage de plusieurs cellules photovoltaïques, soit en série, soit en parallèle. Cet assemblage forme ce qu'on appelle «module photovoltaïque»

Un module photovoltaïque est composé donc de plusieurs cellules solaires reliées les unes aux autres (figure 1.10).

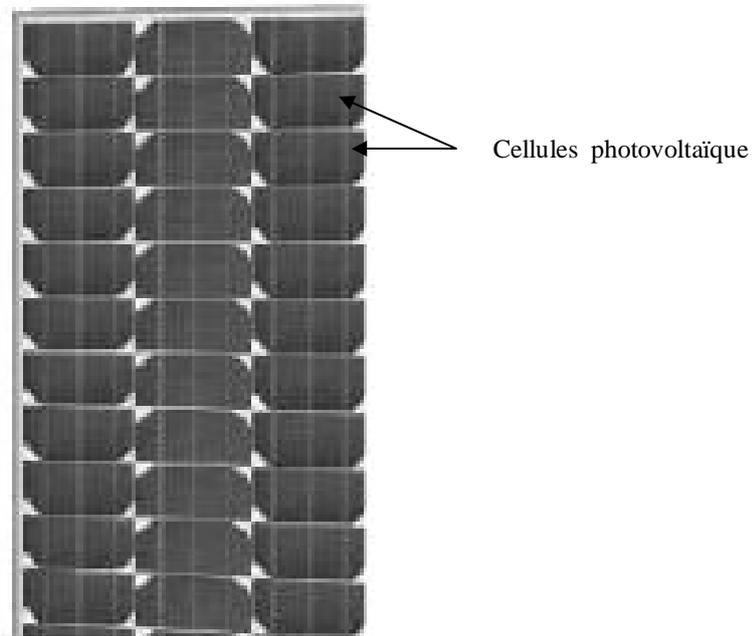


Figure 1.10 : Module photovoltaïque

5.1- Composition d'un module solaire photovoltaïque

Un module solaire photovoltaïque est composé généralement de six éléments (figure 1.11) [7]:

- Cadre en aluminium
- Joint pour fixer le module.
- Verre : pour la protection du module.
- Couche de l'EVA (EVA: éthylène-acétate de vinyle) : pour résister aux intempéries et à l'humidité
- Cellules photovoltaïque
- Feuille de Tedlar blanc : pour plus de résistance mécanique des grands modules.

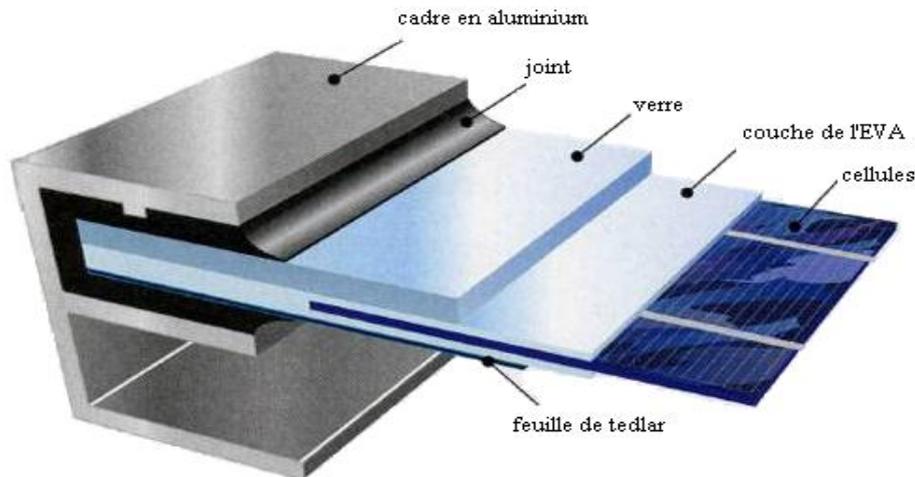


Figure 1.11: Composition d'un module solaire photovoltaïque

5.2 - Caractéristiques d'un module solaire PV

- Puissance de crête, P_c :

Exprimée en watt-crête (W_c), c'est la puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards (25°C et un éclairement de 1000 W/m^2).

- La caractéristique I/V :

Courbe représentant le courant (I) débité par le module en fonction de la tension (V) aux bornes de celui-ci.

- Tension à vide, V_{co} :

Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairement " plein soleil ".

- Courant de court-circuit, I_{cc} :

Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairement " plein soleil ".

- Point de fonctionnement optimum, (V_m , I_m) :

Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil, $P_m = V_m \cdot I_m$

- Rendement :

Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente (équation 1.9).

- Facteur de forme :

Rapport entre la puissance optimale P_m et la puissance maximale que peut avoir la cellule (équation 1.10).

5.3 - Module et groupement de cellules en série

La tension générée par une cellule étant très faible (de l'ordre de 0.6 - 0.7v), il faudra dans la majorité des cas, associer en série un certain nombre de cellules pour obtenir des tensions compatibles avec les charges à alimenter. C'est ce qui est réalisé dans un module photovoltaïque, où les cellules sont positionnées sous forme d'une guirlande dont les deux extrémités sont ramenées vers une boîte de connexion. Les électrodes supérieures d'une cellule sont connectées à la face arrière de la cellule suivante. La figure (1.12) donne le schéma d'un module de cellules en série fermé sur sa résistance R' [1].

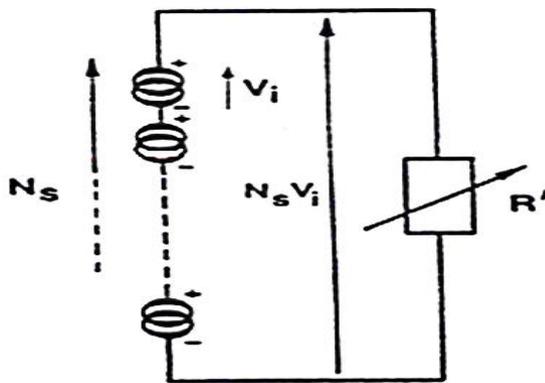


Figure 1.12: Schéma d'un module fermé d'un groupement de N_s cellules en série

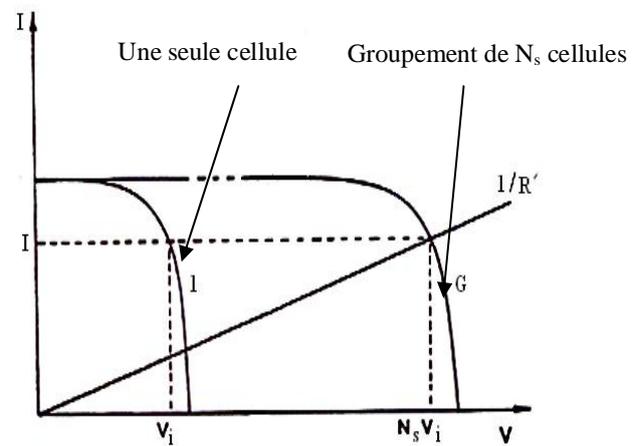


Figure 1.13 : Caractéristique I (v) d'un groupement de N_s cellules en série

Avec :

N_s : nombre de cellule en serie

G : groupement de N_s cellules

R' la charge

On constate immédiatement que la figure (1.12), correspondant à la mise en série de N_s générateurs de courant, que le courant généré par les cellules est le même dans toute la branche ainsi que dans la charge. Alors que la tension résultante est la somme des tensions de chaque cellule. Donc il ne faudra connecter en série que des cellules identiques [1].

La figure (1.13), présente la caractéristique courant-tension d'une seule cellule et de groupement de N_s cellules en série. La caractéristique du groupement (G) est obtenue en multipliant point par point et pour un même courant, la tension V_i par N_s . Fermé sur l'impédance

R' , le groupement série délivrera le courant I sous la tension $N_s \cdot V_i$. Chacune des N_s cellules générant ce courant I et la tension V_i . La construction graphique de la figure (1.13) suppose que la connexion en série des cellules n'introduit pas de résistances parasites (série ou shunt) supplémentaires. L'impédance optimale pour le groupement série est N_s fois plus grande que l'impédance optimale pour une cellule de base [8].

5.4 - Module et groupement de cellules en parallèle

Il est possible d'augmenter le courant fourni à une charge en plaçant en parallèle plusieurs cellules ou modules photovoltaïques comme indiqué sur la figure (1.14). Sur cette figure, les générateurs de courant représentent soit des cellules individuelles, soit des cellules en série (modules), soit des modules en série (branches). On constate dans ce cas que la tension générée est la même pour toutes les cellules (ou tous les modules ou toutes les branches) [1].

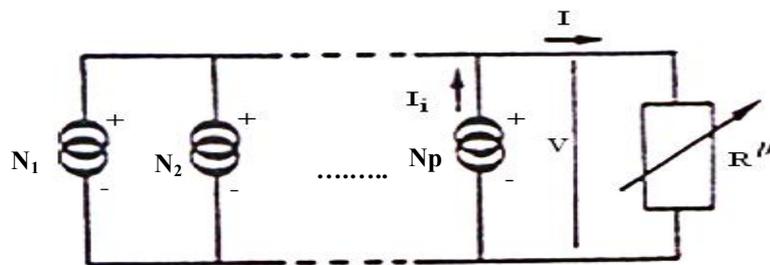


Figure 1.14 : Schéma d'un module fermé d'un groupement de N_p cellules en parallèle

Donc il ne faudra connecter en parallèle que des cellules, des modules, ou des branches identiques. La figure (1.15), présente la courbe de puissance résultante (G) pour le groupement parallèle considéré.

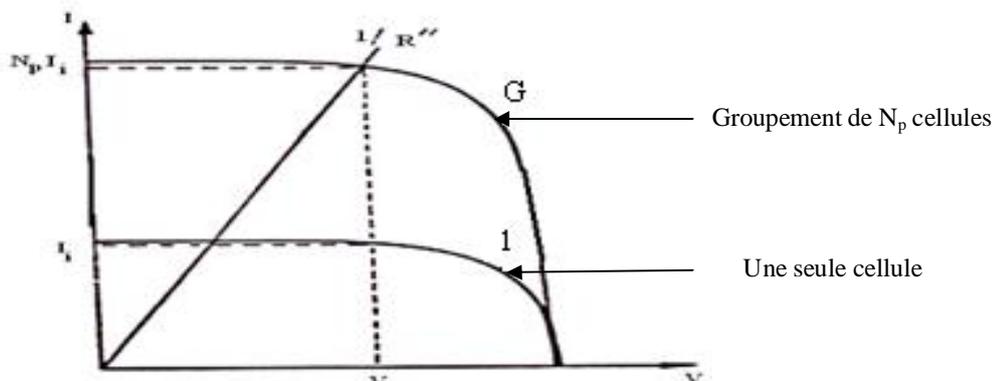


Figure 1.15 : Caractéristique $I(v)$ d'un groupement de N_p cellules en parallèle

Avec :

N_p : nombre de cellule en parallèle

G : groupement de N_p cellules

R_{ch} la charge

Cette courbe (figure 1.15) est obtenue en multipliant point par point par N_p (nombre d'éléments en parallèle) et pour chaque valeur de la tension, le courant de la courbe correspondant à une cellule élémentaire fermé sur une résistance R'' . Le groupement parallèle délivrera le courant $N_p \cdot I_i$ sous la tension V . Chacune des N_p branché en parallèle génère le courant I_i .

La construction graphique de la figure (1.15) suppose que la connexion en parallèle n'introduit pas des résistances parasites (série ou shunt) supplémentaires. L'impédance optimale pour le groupement parallèle est N_p fois plus faible que l'impédance optimale pour une branche [8].

6 – Panneaux solaire

Le panneau solaire est un groupement de plusieurs modules, ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique.

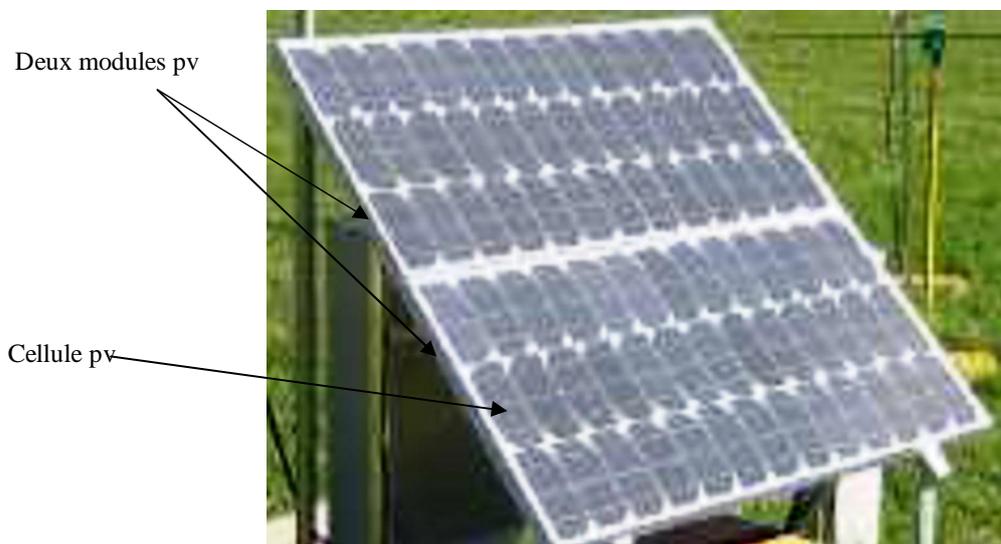


Figure 1.16: Exemple d'un panneau solaire

La quantité d'électricité dans l'ensemble des composants des panneaux PV dépend de :

- La taille du panneau.
- L'ensoleillement du lieu d'utilisation.
- La saison d'utilisation.
- Besoins en électricité.

La puissance délivrée par un panneau est importante dans les heures d'ensoleillement maximal, ce qui nécessite un élément de stockage.

7 - Champs photovoltaïque (PV)

Actuellement, la valeur de la puissance d'un module photovoltaïque va de quelques Watt crêtes à quelques dizaines de Watt crêtes. Pour obtenir des puissances supérieures (Kw, à Mw), il est nécessaire d'associer en série et/ou en parallèle des modules formant ainsi le champ photovoltaïque. Un champ photovoltaïque est donc constitué de modules associés électriquement entre elles (Figure 1.17).

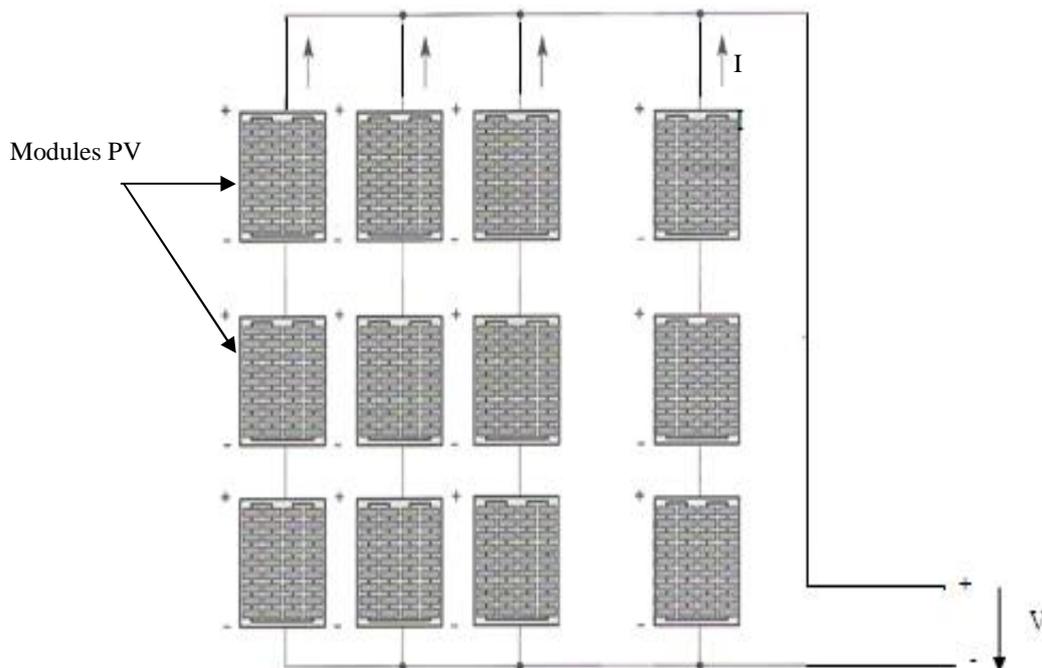


Figure 1.17 : Champ de panneaux montrés en série-parallèle

En général, les cellules d'un panneau PV ne sont pas identiques (connaître la caractéristique de chaque cellule individuellement peut s'avérer être un problème de calcul très complexe), mais pour la détermination de la caractéristique (I-V) de l'ensemble, on considère que toutes les cellules, d'un même module, sont identiques et travaillent dans les mêmes conditions de température et d'éclairement. Les chutes de tension dans les conducteurs qui assurent l'interconnexion des cellules sont négligeables. En se basant sur ces suppositions, la caractéristique I-V d'un générateur PV est obtenue directement de celle des cellules en considérant que :

$$I_G = N_p \cdot I \quad (1.11)$$

$$V_G = N_s \cdot V \quad (1.12)$$

Où :

- I_G et V_G : sont le courant et la tension du générateur ;
- N_p et N_s : sont le nombre de cellules associées en parallèle et en série dans un module photovoltaïque et pour un champ photovoltaïque.

8 - Orientation des panneaux solaires

8.1 - Choix de l'orientation des modules

L'orientation des modules doit être plein sud pour les sites de l'hémisphère Nord et plein nord pour les sites de l'hémisphère sud (figure 1.18). L'utilisation d'une boussole est fortement recommandée pour éviter toute approximation qui risquerait d'introduire une perte de puissance consécutive à une mauvaise orientation [4].

8.2- Choix de l'inclinaison des modules

Pour que les modules produisent un maximum d'énergie, il faut que leur surface soit perpendiculaire aux rayons solaires. On doit donc incliner les modules pour qu'ils soient face au soleil. La valeur d'inclinaison correspond à l'angle que font les modules avec l'horizontale. Comme il est difficile de modifier plusieurs fois aux cours de l'année l'inclinaison des modules, on choisit généralement une valeur moyenne pour toute l'année [4].

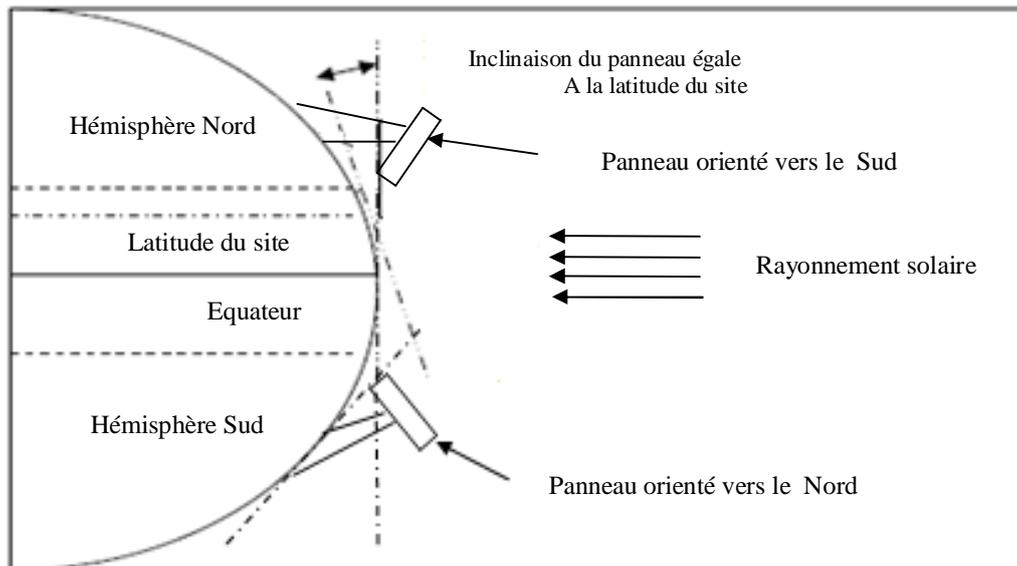


Figure 1.18 : Comment incliner le panneau solaire

8.3- Trajectoire apparente du soleil

Pour un observateur situé sur la surface de la terre, le soleil décrit une trajectoire apparente qui dépend de la latitude (hauteur) et la longitude (azimut) du lieu où il se trouve. Rappelons que la latitude est la distance angulaire d'un point quelconque du globe par rapport à l'équateur (de 0° à 90° dans l'hémisphère nord). Quand à la longitude, c'est également un angle, donné par rapport au méridien de Greenwich en se déplace vers l'Est (figure 1.19) [1].

Le déplacement apparent du soleil est d'environ 240° en azimut et de 70° en élévation de latitudes [13].

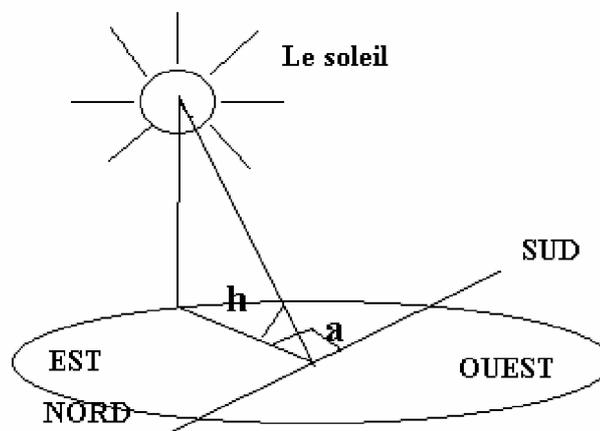


Figure 1.19 : Représentation de la latitude (hauteur) angulaire et l'azimut

Le soleil se déplace au cours de la journée et suivant les saisons (figure 1.20). Le panneau solaire, en revanche, se trouve généralement en position fixe, ce qui entraîne des pertes énergétiques précieuses. Une installation fixe, orientée, dans le cas idéal, vers le sud délivre une puissance qui croît très lentement tôt le matin et diminue fortement l'après-midi. Une part importante de l'énergie récupérable est ainsi perdue.

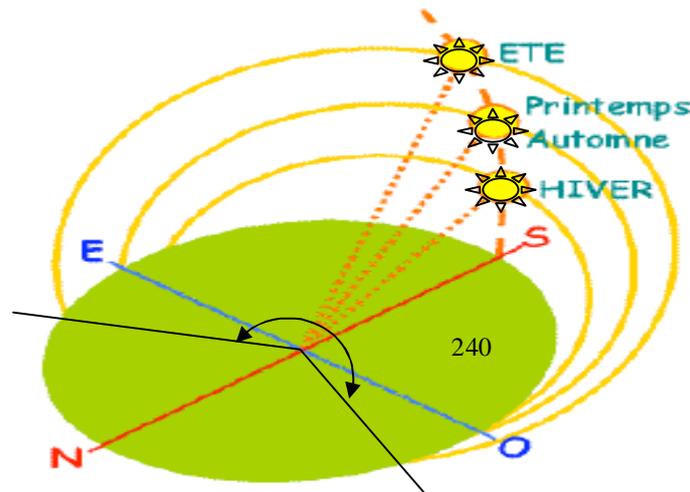


Figure 1.20 : Définition de la position du soleil (latitude et azimut)

Si l'installation s'oriente constamment en direction du soleil, elle génère un maximum d'électricité. Une installation fixe de 1 kW et orientée de façon optimale, produit par jour d'ensoleillement, environ 5 kWh d'électricité solaire. La même installation de 1kW avec «suiveur» fournit en revanche jusqu'à 10 kWh par jour. C'est à dire 50% de gains d'énergie en plus.

Ainsi, seule une rotation automatique peut permettre au panneau solaire de délivrer une puissance maximale.

9 - Intérêt des panneaux solaire photovoltaïques mobiles

Dans une installation fixe, qui pour en optimiser le rendement est exposé au sud, l'énergie rendue par les modules PV est maximale seulement l'après midi comme indiqué sur la figure (1.18). Pour cela si les modules PV sont toujours orientés vers le soleil, c'est comme s'il y avait constamment la condition correspondante à l'après midi, la puissance générée est donc toujours celle maximale.

Donc, les modules photovoltaïques placés sur des suiveurs soleil ont un rendement énergétique qui augmente de manière appréciable par rapport aux installations fixes.

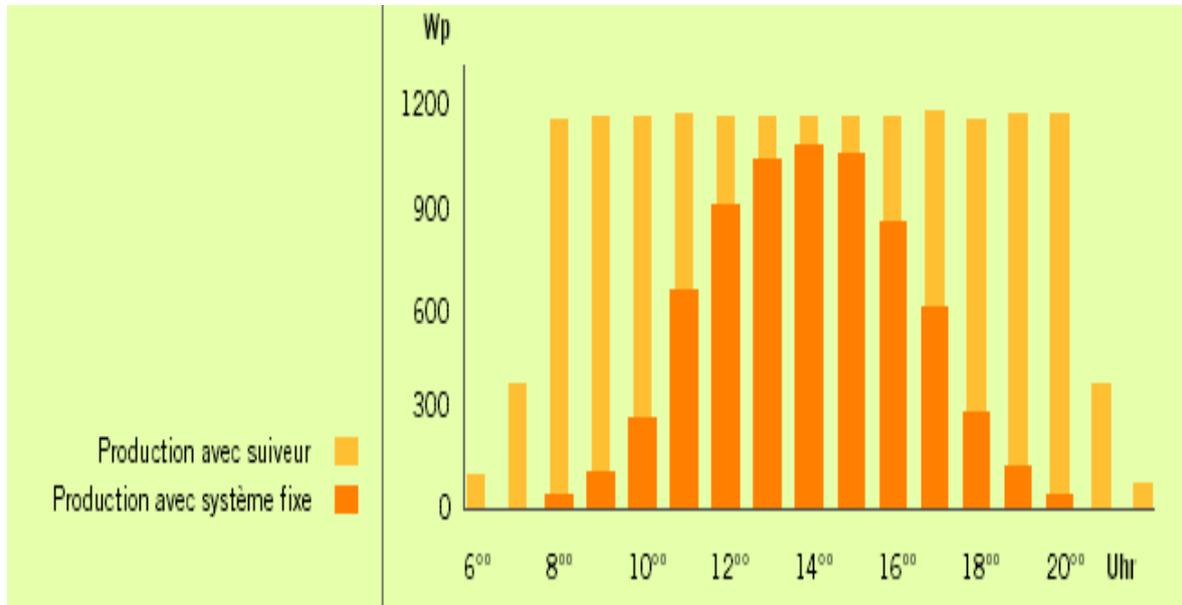


Figure 1.21: diagramme de comparaison entre la production avec suiveur et la production avec système fixe [13]

10- Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu général sur le domaine photovoltaïque. On a commencé par donner l'essentiel sur les cellules solaires. La liaison de ces cellules (série et/ou parallèle) a été également traitée. Cette liaison constitue le module photovoltaïque; alors que la liaison de ces modules aboutit au panneau ou générateur photovoltaïque.

Nous avons vu aussi les caractéristiques courant-tension. De même, nous avons donné un bref aperçu sur l'intérêt de panneau photovoltaïque mobile par rapport au panneau photovoltaïque fixe, et la différence du rendement de l'énergie entre les deux panneaux.

Le microcontrôleur (pic 16F84)

CHPITRE 2 : LE MICROCONTROLEUR PIC16F84

1 - Introduction	23
2 - Circuit de commande par Le microcontrôleur (PIC)	23
2.1- Définition d'un PIC	23
2.2 - Différentes familles des PICs	23
2.3 - Identification d'un Pic	23
2.4- Le choix d'un PIC	24
2.5 ó Caractéristiques principales du pic 16F84	24
3 - Brochage du 16F84	25
4 - Architecture générale du PIC	28
4.1 - Organisation de la mémoire	30
4.2 - L'ALU et le registre W	31
4.3 - Le Watchdog Timer WDT (Chien de garde)	31
4.4 - Le Timer TMR0	32
4.5 - Instructions du pic 16F84	32
4.6 - Interruption	32
5 - Le mode SLEEP	33
6 - La pile (stack).....	33
7 -Conclusion	33

1 - Introduction

Après qu'on a décrit le principe et la systématique de la localisation de panneau solaire PV (chapitre 1), nous allons maintenant entamer la partie électronique qui va commander tout le système. Commençons tout d'abord par une description du pic et son environnement.

2 - Circuit de commande par le microcontrôleur (PIC)

2.1- Définition d'un PIC

Un PIC (Programmable Interface Contrôler) est une unité de traitement de l'information de type microprocesseur à laquelle on a ajouté des périphériques internes permettant de faciliter l'interfaçage avec le monde extérieur sans nécessiter l'ajout de composants externes. Les PICs sont des composants dits **RISC** (Reduced Instructions Set Computer), ou encore composants à jeu d'instruction réduit. Le microcontrôleur se trouve, dans plusieurs appareils tels que : les téléphones portables, machines à laver, télévisions vidéos, etc [14].

2.2 - Différentes familles des PICs

Les PICs sont subdivisées en 3 grandes familles [14]:

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

2.3 - Identification d'un Pic

Un PIC est identifié par un numéro de la forme suivante : xx(L)XXyy ózz [9] :

É xx : indiquent la famille du composant (12, 14, 16, 17, 18),

exemple : 16 indique un PIC Mid- Range.

É L : Tolérance, indique que le PIC peut fonctionner avec une plage de tension.

É XX : indiquer le type de mémoire de programme :

- **C** : indique que la mémoire de programme est une EPROM ou plus rarement une EEPROM
- **CR** pour indiquer une mémoire de type ROM
- **F** pour indiquer une mémoire de type FLASH.

É yy : constitue la référence du PIC.

É zz : indiquant la fréquence d'horloge maximale que le PIC peut recevoir (Vitesse maximum du quartz).

Donc, un pic 16F84-04 est un PIC Mid-Range donc la mémoire programme est de type FLASH de référence 84 et capable d'accepter une fréquence d'horloge de 4MHz.

Notez que les PICs sont des composants statiques, c'est à dire que la fréquence d'horloge peut être abaissée jusque l'arrêt complet sans perte de données et sans dysfonctionnement [10].

2.4- Le choix d'un PIC

Le choix d'un PIC est directement lié à l'application envisagée :

- Il faut dans un premier temps déterminer le nombre d'entrées/sorties nécessaires pour l'application. Ce nombre d'entrées/sorties nous donne une idée sur la famille du PIC.
- Il faut ensuite déterminer si l'application nécessite un convertisseur Analogique/Numérique ce qui va centrer un peu plus vers le choix du PIC.
- La rapidité d'exécution est un élément important, il faut consulter les DATA-BOOK pour vérifier la compatibilité entre la vitesse maximale du PIC choisi et la vitesse max nécessaire au montage.
- La taille de la RAM interne et la présence ou non d'une EEPROM pour mémoriser des données est également important pour l'application souhaitée.
- La longueur de programme de l'application détermine la taille de la mémoire programme du PIC recherché.

Pour notre projet, on a choisis d'utiliser le PIC 16F84 à cause de son pris raisonnable et la facilité de programmation, aussi, le nombre d'entrées/sorties est suffisant pour notre application et on n'a pas besoins de convertisseur Analogique/Numérique en plus de la présence du mémoire pour mémoriser les données.

2.5 – Caractéristiques principales du pic 16F84

Les caractéristiques principales du 16F84 sont résumées comme suit [10]:

- 13 lignes d'entrées/sorties, réparties en un port de 5 lignes (Port A) et un port de 8 lignes (Port B)
- Alimentation sous 5 Volts
- Architecture interne révolutionnaire lui conférant une extraordinaire rapidité
- Une mémoire de programme de type flash (1K (1024) mots de 14 bits) pouvant contenir 1.019 instructions de 14 bits chacune (allant de l'adresse 005 à l'adresse 3FF)
- Une mémoire RAM utilisateur appelés aussi GPR (General Propose Resisters) de 68

- emplacements à 8 bits (de l'adresse 0C à l'adresse 4F)
- une mémoire RAM de 2x12 emplacements réservée aux registres spéciaux (SFR :Special Function Registers)
- 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
- bus d'adresses de 13 lignes
- présence d'un code de protection permettant d'en empêcher la duplication
- fonctionnement en mode sleep pour réduction de la consommation
- facilité de programmation
- simplicité
- faible prix.

3 - Brochage du 16F84

Le 16F84 est commercialisé dans un boîtier 18 broches classiques (Figure 2.1) [12]

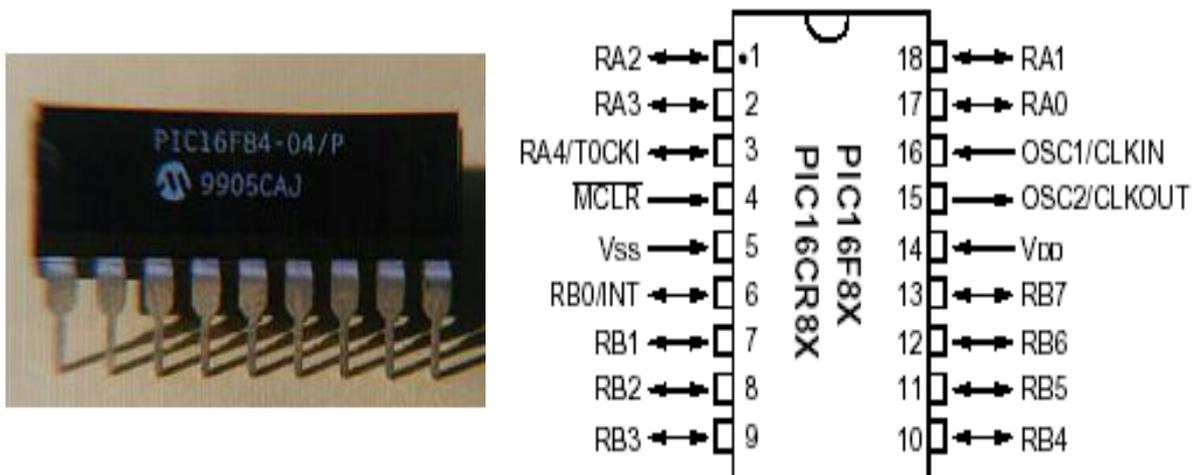


Figure 2.1 : Brochage du circuit

Ces broches sont définies comme suit :

- Le port **A** possède 5 broches (nommées **RA1** à **RA4**), mais la quatrième, également appelée **TOCKI** (broche 3) peut servir pour une éventuelle temporisation externe.
- Le port **B**, qui, possède 8 broches (de **RB0** à **RB7**) ; mais la broche **RB0** peut également servir comme interruption éventuelle (un peu comme un garde sur un évènement)
- La broche 4, le **MCLR**, sert à indiquer au PIC s'il est en fonctionnement normal (un $\bar{1}$ logique) ou alors s'il est en cours de programmation (un $\bar{0}$ logique). Cette broche sert également à un éventuel Reset du PIC.
- les broches 5 et 14: l'alimentation (la broche 5 (0 volts) et la broche 14(+5 volts)), sachant que :
 - La tension de programmation du pic : 12 à 14v continu.
 - La tension d'alimentation : 2 à 6v continu.
- **OSC1/CLOCKIN** et **OSC2/CLOCKOUT** (pattes 16 et 15) sont les pattes d'horloges. Plusieurs types d'horloges peuvent être utilisés: externe, à quartz ou à circuit RC.

Les figures (2.2), (2.3), (2.4) montrent les schémas de câblage en version RC, quartz et externe. L'oscillateur à quartz présente une meilleure précision que l'oscillateur RC [10].

- Avec l'oscillateur à Quartz (figure 2.2), on peut avoir des fréquences allant jusqu'à 4, 10 ou 20 MHz selon le type de C. Le filtre passe bas (RS, C2) limite les harmoniques dus à l'écrouissage et réduit l'amplitude de l'oscillation, (il n'est pas obligatoire).

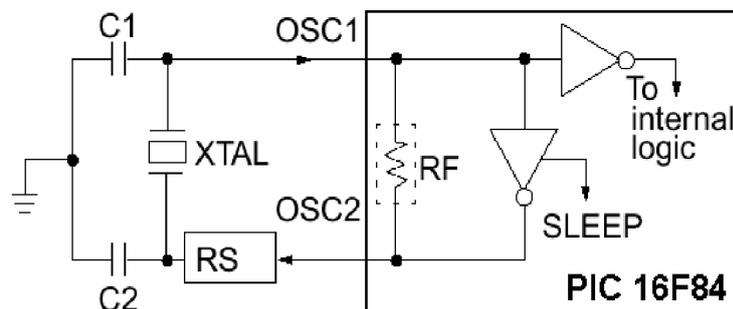


Figure 2.2 : Oscillateur à Quartz

Ce système d'oscillateur à Quartz peut être divisé en trois sous-systèmes HS, XT et LP [10]:

- Oscillateur HS (High speed) : quartz haute fréquence jusqu'à 10 MHz
 - Oscillateur XT, c'est le mode le plus utilisé, quartz jusqu'à 4 MHz
 - Oscillateur LP (Low power), c'est le mode de fonctionnement en basse fréquence, consommation réduite, jusqu'à 200 kHz
- Avec un oscillateur RC (figure 2.3), la fréquence de l'oscillation est fixée par V_{dd} , R_{ext} et C_{ext} . Elle peut varier légèrement d'un circuit à l'autre.

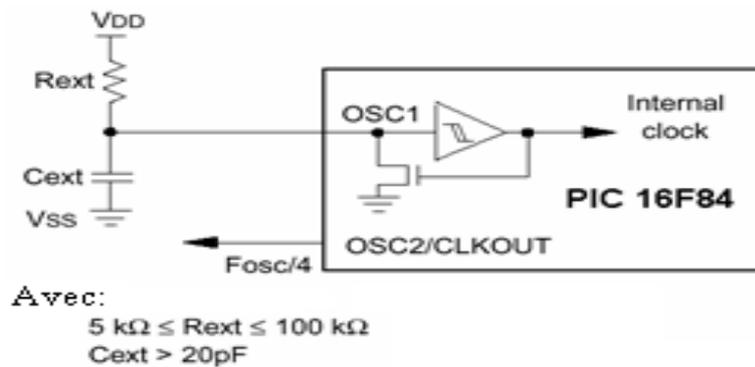


Figure 2.3: Oscillateur RC

- Dans certains cas, une horloge externe (figure 2.4), au microcontrôleur peut être utilisée pour synchroniser le PIC sur un processus particulier.

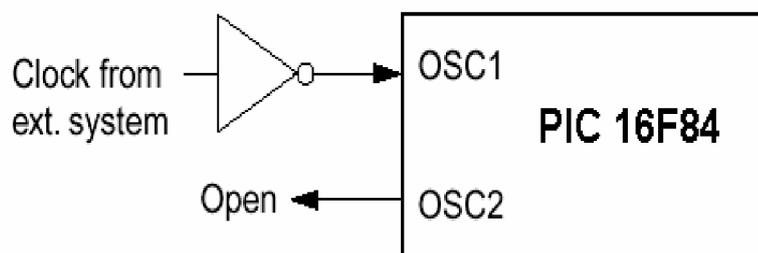


Figure 2.4: Horloge externe

Quelque soit l'oscillateur utilisé, l'horloge système dite aussi horloge instruction est obtenue en divisant la fréquence par 4. C'est à dire, la fréquence de l'horloge interne du PIC est obtenue en divisant par 4 la fréquence de l'horloge externe. Pour un quartz à 4 MHz, la fréquence interne est donc de 1 MHz c'est la durée pour exécuter une instruction de 1 μ s.

4 -Architecture interne du PIC 16F84

La figure (2.5), présente l'architecture interne du circuit. Il est constitué des éléments suivants :

- Un système d'initialisation à la mise sous tension (power-up timer t_{PU})
- Un système de génération d'horloge à partir du quartz externe (timing génération)
- Une unité arithmétique et logique (ALU) (section 4.2)
- Une mémoire flash de programme de 1k "mots" de 14 bits (section a)
- Un compteur de programme (program counter) et une pile (stack) (section 4.8)
- Un bus spécifique pour le programme (program bus)
- Un registre contenant le code de l'instruction à exécuter (section 4.5)
- Un bus spécifique pour les données (data bus)
- Une mémoire RAM (section b.1) contenant :
 - * Les registres SFR (Special Function Register)
 - * 68 octets de données
- Une mémoire EEPROM de 64 octets de données (section b.2)
- Deux ports d'entrées/sorties
- Un compteur (timer) TMR0 (section 4.4)
- Un chien de garde WDT (watchdog) (section 4.3)

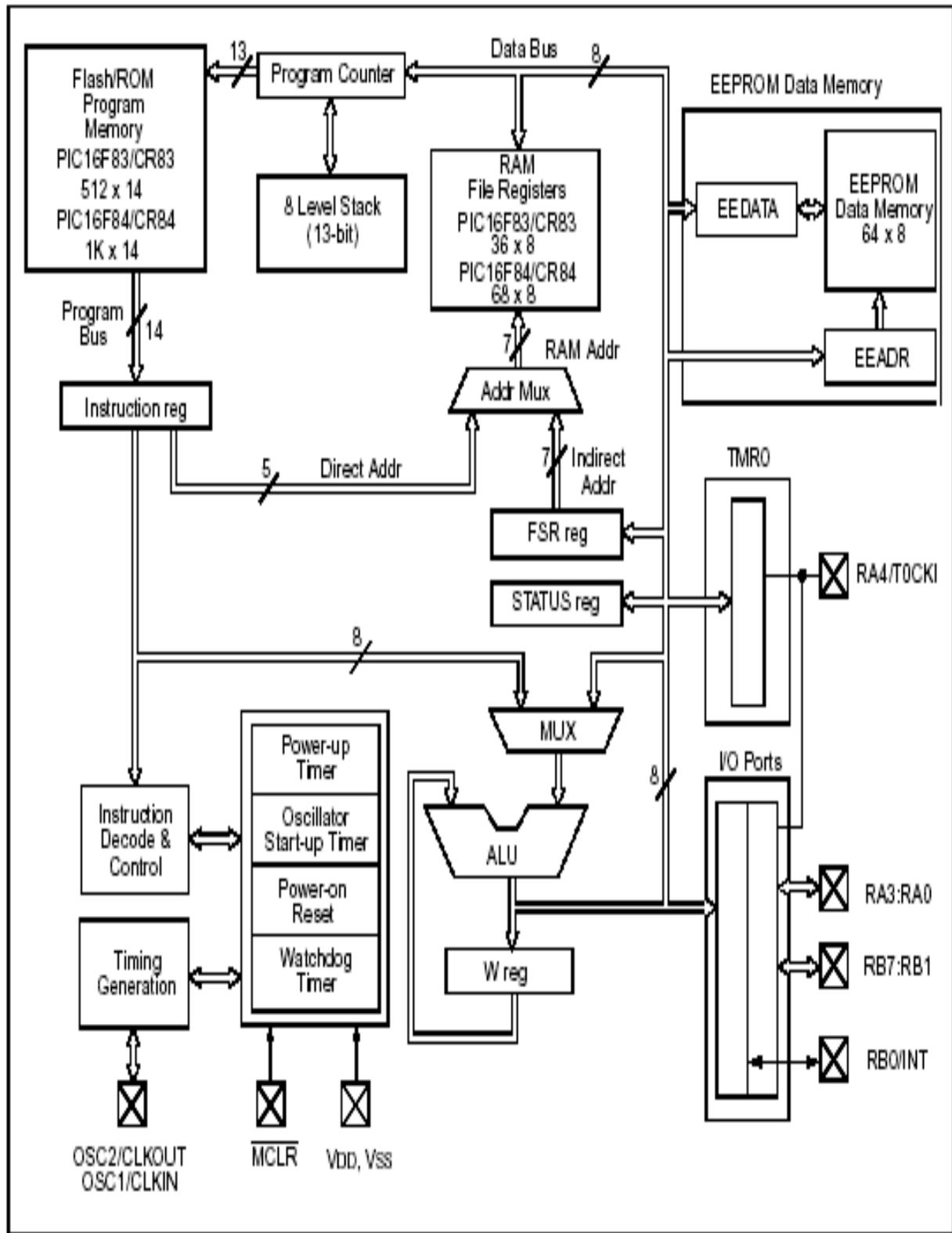


Figure 2.5: Architecture générale du PIC 16F8X [10]

4.1 - Organisation de la mémoire

Le PIC contient une mémoire de programme et une mémoire de données. La structure Hardware des PICs fournit un accès séparé à chacune. Ainsi, un accès aux deux est possible pendant le même cycle machine [9].

a- Mémoire de programme (flash)

Cette mémoire de 1024 (1k) mots de 14 bits stocke le programme. Elle est non volatile et reprogrammable à souhait. Chaque position de 14 bits contient une instruction. L'emplacement du programme peut se situer à n'importe quel endroit de la mémoire. Cependant il faut savoir que suite à un RESET ou lors de la mise sous tension, le PIC commence l'exécution à l'adresse 0000h. De plus, lorsqu'il y a une interruption, le PIC va à l'adresse 0004h. Il est donc conseillé de placer le début du programme après l'adresse 0004h et de mettre un branchement au début du programme à l'adresse 0000h et un branchement au début de la routine d'interruption s'il y en a une à l'adresse 0004h. Le programme est implanté dans la mémoire flash à l'aide d'un programmeur (hard+soft) [10].

b- Mémoire de données

Elle se décompose en deux parties une RAM et une zone EEPROM [9].

b.1- La mémoire RAM

La mémoire RAM (Random Access Memory) appelée mémoire vive, ce type de mémoire perd toutes ses informations stockées, lorsqu'elle cesse d'être alimentée, elle est constituée de deux parties [10]:

ÉLes registres SFR (Special Function Register)

ce sont les registres de fonctionnement du PIC. L'ensemble de ces registres est souvent appelé fichier des registres.

ÉLes registres GPR (General Propose Register)

Sont des positions mémoire que l'utilisateur peut utiliser pour stocker ses variables et ces données. On remarque donc que, indépendamment de leur nature, les position de la RAM sont toujours appelé registres.

b.2 -Mémoire EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory)

Le PIC possède une zone EEPROM de 64 octets accessibles en lecture et en écriture par le programme. On peut y sauvegarder des valeurs, qui seront conservées même si l'alimentation est éteinte, et les récupérer lors de la mise sous tension. Leur accès est spécifique et requiert l'utilisation de registres dédiés. La lecture et l'écriture ne peut s'exécuter que selon des séquences particulières [9].

4.2 - L'ALU et le registre W

C'est une ALU (unité arithmétique et logique) à 8 Bits qui réalise les opérations arithmétique et logique entre l'accumulateur W et n'importe quel autre registre 'F' ou constante K. L'accumulateur W est un registre de travail 8 bits, il n'a pas d'adresse comme les autres SFR. Pour les instructions à deux opérandes, c'est toujours lui qui contient un des deux opérandes. Pour les instructions à un opérande, celui-ci peut être soit W soit n'importe quel registre F. Le résultat de l'opération peut être placé soit dans le registre de travail W soit dans le registre F [10].

4.3 -Le Watchdog Timer WDT (Chien de garde)

C'est un compteur 8 bits incrémenté en permanence (même si le microcontrôleur est en mode sleep) par une horloge RC intégrée indépendante de l'horloge système. Lorsqu'il déborde, (WDT Time-Out), deux situations sont possibles :

- É Si le microcontrôleur est en fonctionnement normal, le WDT time-out provoque un RESET. Ceci permet d'éviter de rester planté en cas de blocage du microcontrôleur par un processus indésirable non contrôlé
- É Si le microcontrôleur est en mode SLEEP, le WDT time-out provoque un WAKE-UP : l'exécution du programme continue normalement là où elle s'est arrêtée avant de rentrer en mode SLEEP. Cette situation est souvent exploitée pour réaliser des temporisations [10].

4.4 - Le Timer TMR0

C'est un compteur 8 bits ayant les caractéristiques suivantes [10] :

Il est incrémenté en permanence soit par l'horloge interne $F_{osc}/4$ (mode timer) soit par une horloge externe appliquée à la broche RA4 du port A (mode compteur). Le choix de l'horloge se fait à l'aide du bit TOCS du registre OPTION_REG (Annexe B)

- TOCS = 0 → horloge interne
- TOCS = 1 → horloge externe appliquée à RA4

É Dans le cas de l'horloge externe, on peut choisir le front sur lequel le TIMER s'incrémente.

- TOSE = 0 → incrémentation sur fronts montants
- TOSE = 1 → incrémentation sur fronts descendants

4.5 -Instructions du pic 16F84

Tous les PICs Mid-Range ont un jeu de 35 instructions (voir annexes). Chaque instruction est codée sur un mot de 14 bits qui contient le code opération (OC) ainsi que l'opérande. A part les instructions de saut, toutes les instructions sont exécutées en un cycle d'horloge. Sachant que l'horloge fournie au PIC est prédivisée par 4, si on utilise par exemple un quartz de 4MHz, on obtient donc 1000000 cycles/seconde, cela nous donne une puissance de l'ordre de 1 MIPS (1 Million d'Instructions Par Seconde). Avec une horloge de 20MHz, on obtient une vitesse de traitement très satisfaisante.

4.6 –Interruption

Une interruption est un événement, qui se produit à un instant aléatoire, sans préavis, qui demande au microcontrôleur d'abandonner ce qu'il est en train de faire, et de diriger toute son attention ailleurs. Pour le PIC 16F84, il existe 4 sources d'interruption [10]:

- INT : Interruption externe, broche RB0/INT
- TMR0 : Fin de comptage
- PORTB : Changement d'état du port B (RB7-RB4)
- EEPROM : Fin d'écriture en EEPROM

5 - Le mode SLEEP

Le PIC peut être placé en mode faible consommation à l'aide de l'instruction SLEEP. Dans ce mode, l'horloge système est arrêtée ce qui arrête l'exécution du programme.

6- La pile

La pile (Stack) est une zone de la mémoire RAM dans laquelle sont mémorisées les adresses de retour chaque fois qu'on fait appel à une instruction CALL, c'est à dire chaque fois que le programme arrête l'exécution séquentielle des instructions et se débranche pour aller exécuter les instructions contenues dans un sous-programme. La pile du μ C 16F84 peut mémoriser jusqu'à 8 adresses adressées par un compteur spécial appelé Pointeur de Pile.

7 -Conclusion

Le microcontrôleur est le cœur des circuits électroniques, il contrôle et gère les circuits d'une manière efficace.

Dans ce chapitre on a fait une étude approfondie sur le microcontrôleur de type « 16F84 » qui est tout simplement similaire à un petit ordinateur conçu spécialement pour effectuer des opérations précises. Parmi ces caractéristiques qu'on a étudié, il n'est pas besoin d'une mémoire externe, car il a sa propre mémoire et aussi il ne consomme pas beaucoup d'énergie. Il contient aussi une mémoire EPROM que l'on peut programmer plusieurs fois et enfin il contient des entrées/sorties pour transférer des données avec des circuits extérieurs.

Programmation de PIC16F84

CHPITRE 3 : PROGRAMMATION DE PIC 16F84

1- Introduction.....	34
2- Etapes de développement du programme	34
3 - Ecriture du programme	35
4 - Présentation du logiciel flowcode	36
4.1 Barres d'icônes des commandes	37
4.1.1 Propriétés de l'icône entrée	38
4.1.2 Propriétés de l'icône de sortie	39
4.1.3 Propriétés de l'icône pause	40
5 - Barre d'icônes des composants	40
6 - Panneau de simulation	41
7- Etapes de Création d'un programme.....	42
7.1 -Ajouter une icône sur l'organigramme.....	43
8 - Simulation	44
8.1 Simulation continue	44
8.2 Pas-à-pas détaillé	45
8.3- Pas-à-pas principal.....	45
9- Compilation et transfert d'un programme vers le PIC	45
10-Simulation	46
10.1-Présentation de l'ISIS	46
10.2- transfert du programme vers le PIC.....	47
11-Programmeur proposé	48
12-Conclusion	54

1-Introduction

Le PIC utilisé dans notre application est programmé avec le logiciel flowcode. L'utilisation du logiciel flowcode permet d'alléger considérablement le développement d'une application. Dans ce chapitre on va s'intéresser à la programmation du PIC, nous allons aussi étudier la simulation du programme par le logiciel ISIS.

2-Etapes de développement du programme

Pour le développement de nos programmes, nous avons procédé à subdiviser notre travail en trois étapes (figure 3.1) :

➤ **Etape 1** : Ecriture du programme

C'est un jeu de constructions dans laquelle, il suffit d'enchaîner des instructions élémentaires pour parvenir à résoudre le problème. Dans notre cas nous avons utilisé le logiciel « **flowcode** ».

➤ **Etape 2** : Après l'obtention d'un programme compilé, le besoin de simuler son bon déroulement devient une nécessité puisqu'il nous permet d'avoir une idée claire sur le côté matériel, de plus nous pouvons visualiser le comportement du PIC avec ses périphériques. Dans notre cas nous avons opté pour le logiciel « **ISIS** » qui nous permettra aussi de charger facilement le programme compilé dans le PIC.

➤ **Etape 3** : La phase terminal, une fois le fichier source compilé et simulé, il va falloir le transférer dans la mémoire du PIC. Pour cela il faut un programmeur et un logiciel de transfert, dans notre situation nous avons utilisé logiciel « **IC_PROG** ».

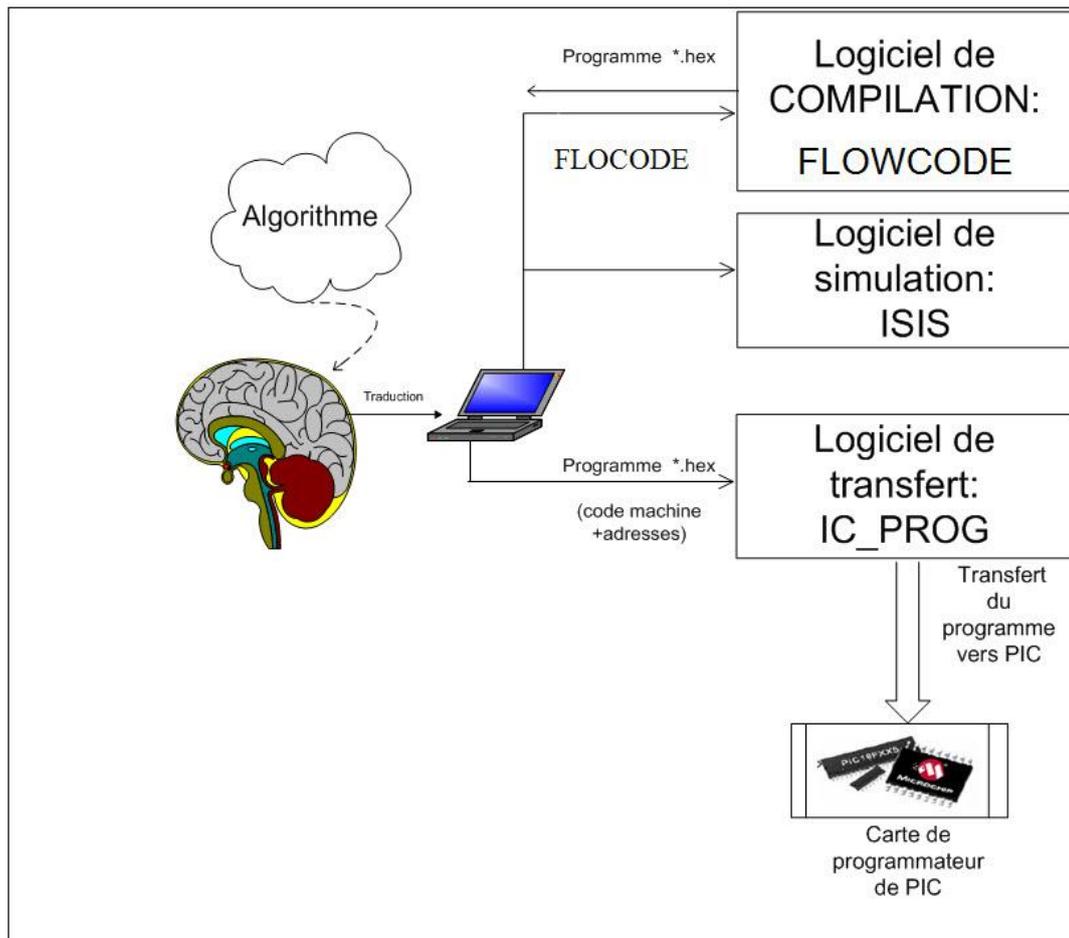


Figure 3.1 : Etapes de développement du programme

3-Ecriture du programme

La programmation des PIC avec des langages de hauts niveaux tels que BASIC, C, langage PASCAL et langages graphiques tels que flowcode permet de s'affranchir de la gestion des pages mémoires et la gestion des périphériques etc.

Flowcode est un logiciel de programmation graphique permettant à partir de la saisie de l'organigramme, de créer des programmes exécutables d'un (format .fcf).

Une fois l'organigramme élaboré, Flowcode permet de compiler et visualiser le comportement du programme en exécution. Il traduit premièrement l'organigramme en langage C, ensuite, il le compile en hexadécimal avant de le transférer vers le microcontrôleur cible.

4-Présentation du logiciel flowcode

Dans cette section nous allons commencer par présentation de la fenêtre et des différents menus du logiciel flowcode [16].

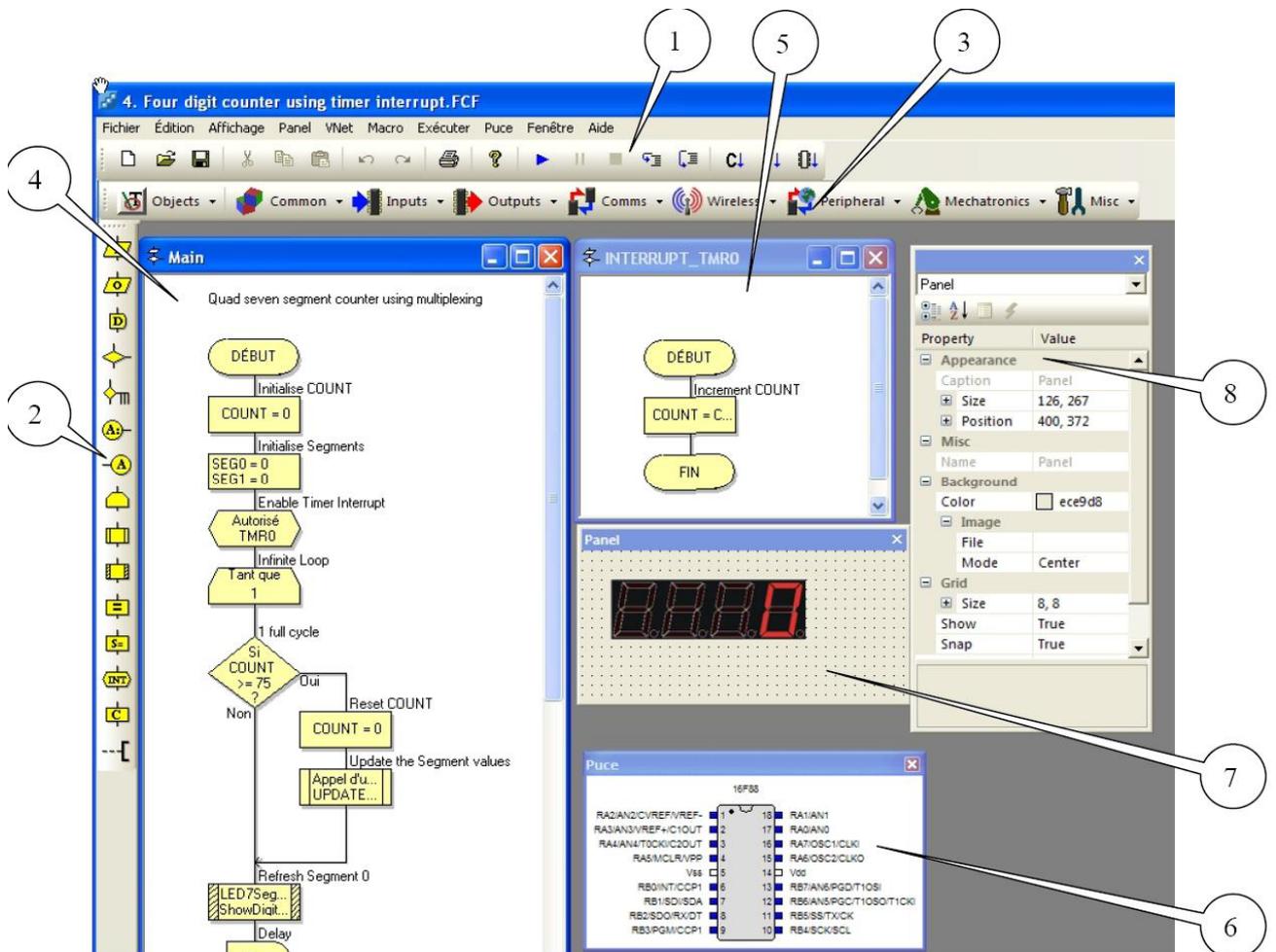


Figure 3.2: Représentation de logiciel

- 1- La barre d'outils de menus.
- 2- La barre d'icônes des commandes
- 3- La barre d'icônes des composants.
- 4- La fenêtre où on construit l'organigramme.
- 5- Fenêtres des sous-programmes.
- 6- Fenêtres spécifiques pour montrer l'état du microcontrôleur.
- 7- Les composants attachés (regroupés dans le panneau de simulation) et leurs propriétés.
- 8- Les états des variables en mode simulation.

En va maintenant étudier quelques composants essentielles et leurs propriétés, ensuite nous allons voir en détail les étapes de création du programme et son compilation.

4.1 Barres d'icônes des commandes

Pour éditer les propriétés d'une icône, il faut effectuer un double-clic sur l'icône dans l'organigramme ou un clic droit sur l'icône dans ce cas un menu contextuel s'affiche, il faut donc sélectionner l'option propriétés présente dans ce menu (figure ci-dessous).



Figure 3.3: barre d'icône des commandes

4.1.1- Propriétés de l'icône entrée

L'icône Entrée lit le port spécifié (ou certains bits seulement du port) et place le résultat dans la variable spécifiée suivant la figure (3.4) :

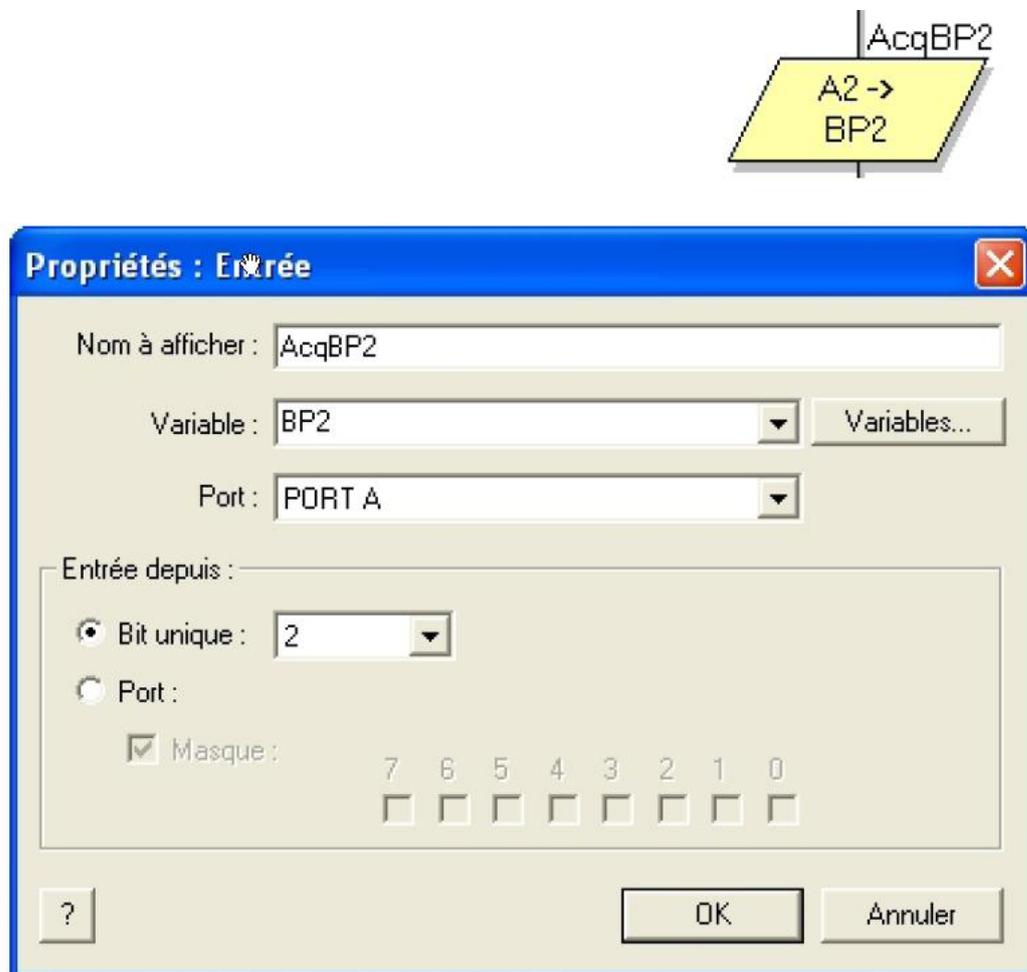


Figure 3.4 : Propriétés d'icônes d'entrée

Avec :

- **Nom à afficher :** Nom de l'icône dans l'organigramme.
- **Variable :** La variable dans laquelle vous souhaitez placer le résultat de la lecture des bits du port.
- **Bouton Variables :** Ce bouton ouvre une boîte de dialogue permettant de choisir une variable existante ou d'en créer une nouvelle.
- **Port :** Choisir le Port concerné parmi la liste des ports disponibles du microcontrôleur.

* Entrée depuis Bit unique

Utiliser cette option pour lire l'état d'un seul bit d'un port.

4.1.2 Propriétés de l'icône de sortie

Pour programmer les sorties du pic, on utilise la sortie vers port complet.

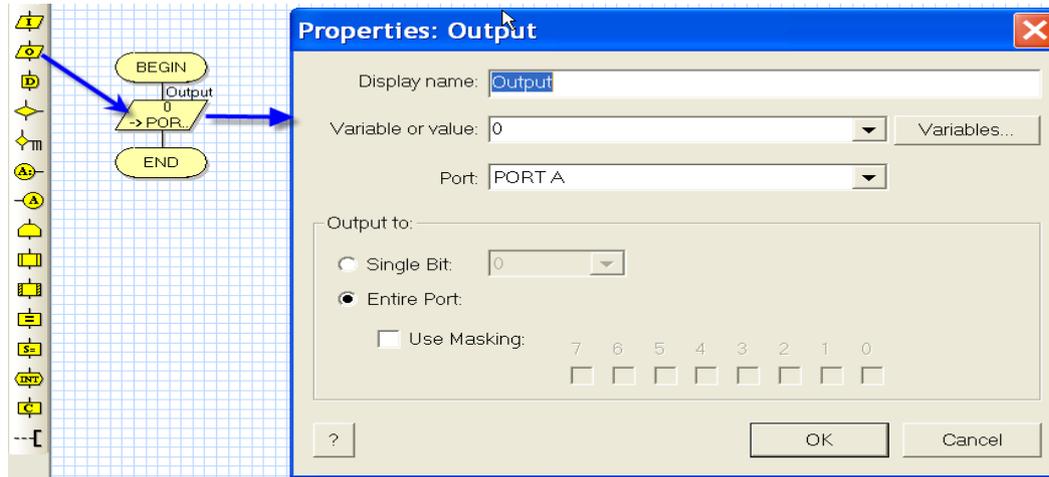


Figure 3.5 : propriétés de sortie

* Masque

Grâce au masquage, il est possible d'écrire seulement certains bits d'une variable dans un port. Quand un masque est utilisé, seuls les bits sélectionnés sont affectés par l'opération d'écriture.

4.1.3 Propriétés de l'icône pause

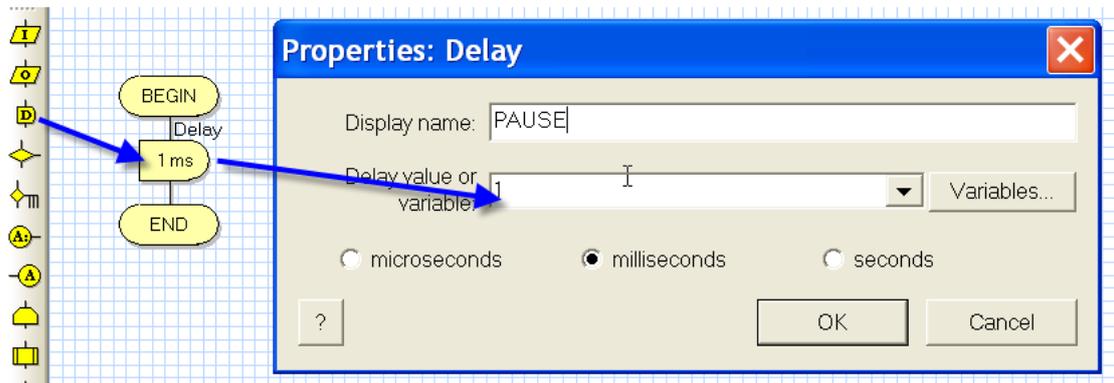


Figure 3.6: réglage de temporisation

L'icône Pause permet d'insérer des temporisations dans le programme pour ralentir l'exécution. Pendant l'exécution de ces pauses le processeur est entièrement occupé et il ne peut donc effectuer d'autres opérations en mode normal, seul le mode "Interruption" peut lui faire exécuter des opérations.

- **Nom à afficher** : Le nom de l'icône sur l'organigramme.
- **Valeur ou variable Pause** : Ceci correspond à la longueur de la pause, soit en donnant directement la valeur, soit en liant la valeur à une variable.
- **Bouton Variables** : Ouvre la boîte de dialogue ÷Variablesø permettant de sélectionner une variable existante ou de créer une nouvelle.

5- Barre d'icônes des composants

Flowcode dispose de nombreux "composants" que l'on peut placés sur le panneau de simulation (figure 3.7).



Figure 3.7: Barre d'icônes des composants

Ils correspondent soit à des composants physiques externes utiles pour la simulation, tels que des boutons poussoirs ou commutateurs, des afficheurs divers (LEDs, 7 segments, LCD), soit à des fonctionnalités internes particulières du microcontrôleur en liaison avec des circuits externes (convertisseur(s) A/N, commande(s) PWM, bus : CAN, I²C, USB). Ces composants sont configurables par boîte de dialogue et peuvent nécessiter une ou plusieurs routines (sous-programmes) pour fonctionner. Toutes les routines sont fournies et ne demandent qu'un paramétrage limité (figure 3.8).

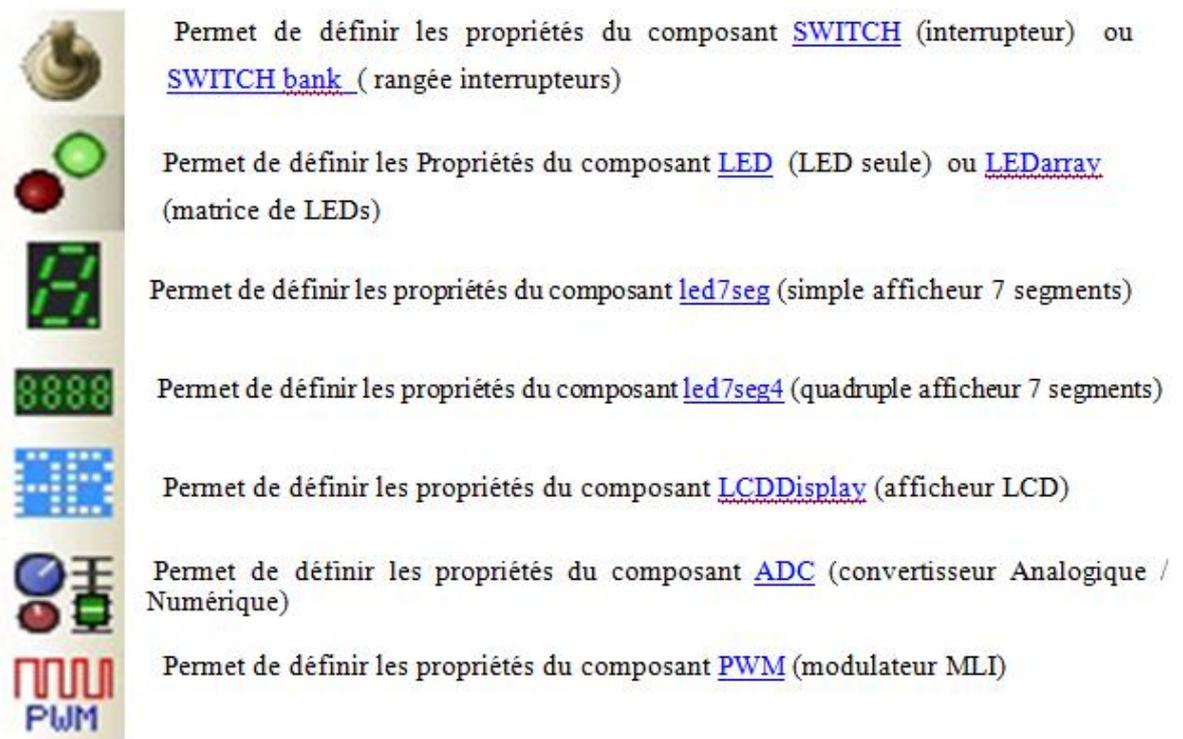


Figure 3.8 : barre des composants externes

6- Panneau de simulation

Lors d'un clic sur l'icône d'un composant dans la barre d'outils, ce composant est posé directement sur le panneau de simulation. Si ce panneau n'est pas visible, il faut ouvrir la fenêtre «Affichage» dans la barre de menu et cocher sur "Panel". Dans la fenêtre «Propriétés» liée au panneau de simulation on peut paramétrer chaque composant en particulier (figure 3.9):

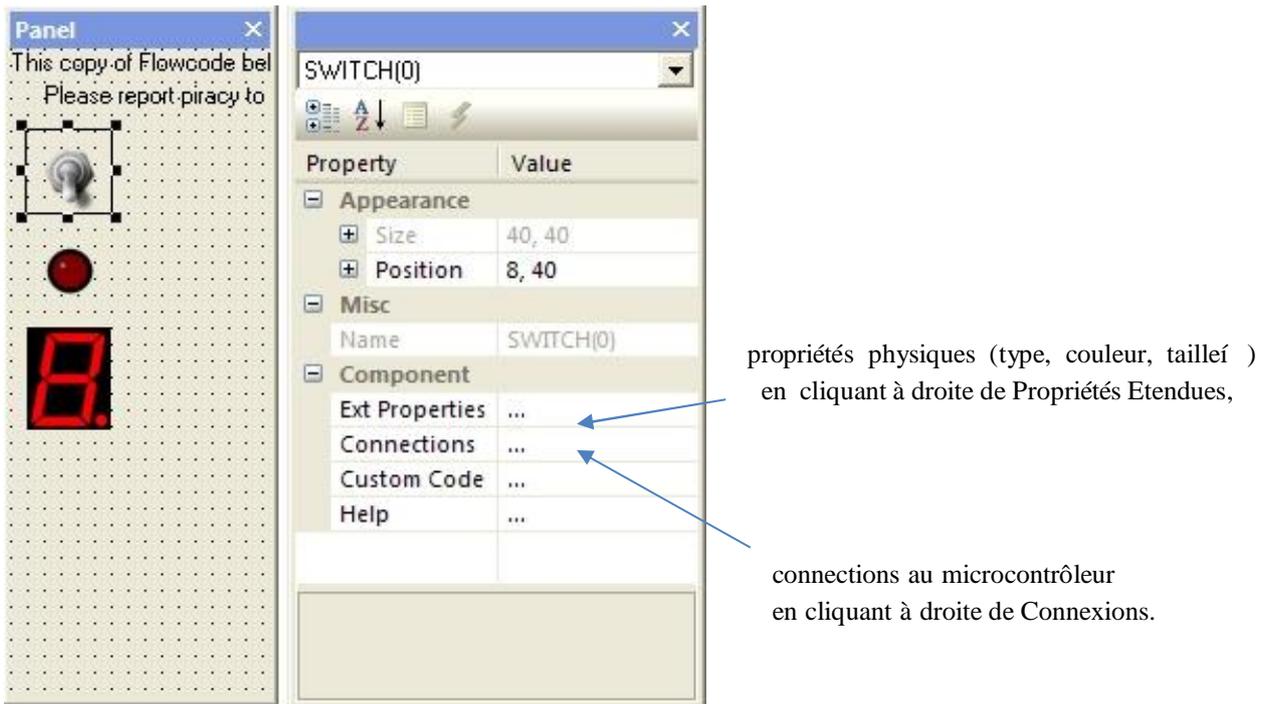


Figure 3.9 : Panneau de simulation

7- Etapes de Création d'un programme

Pour créer un programme avec Flowcode il suffit de réaliser les étapes suivantes :

- a) - Lancer la création d'un nouvel organigramme en spécifiant le microcontrôleur cible. Une nouvelle fenêtre s'affiche, il faut sélectionner le pic de votre choix (figure 3.10).

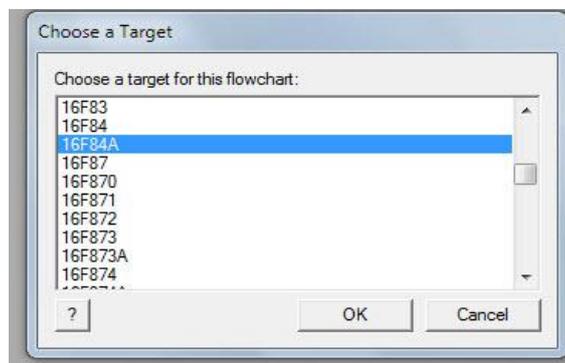


Figure 3.10 : choix du pic

b) - Préciser la vitesse de l'horloge (fréquence) du microcontrôleur dans la boîte de dialogue "Options Projet" du menu "Edition" afin que les réglages de temporisation et d'interruption par Timer soient précis.

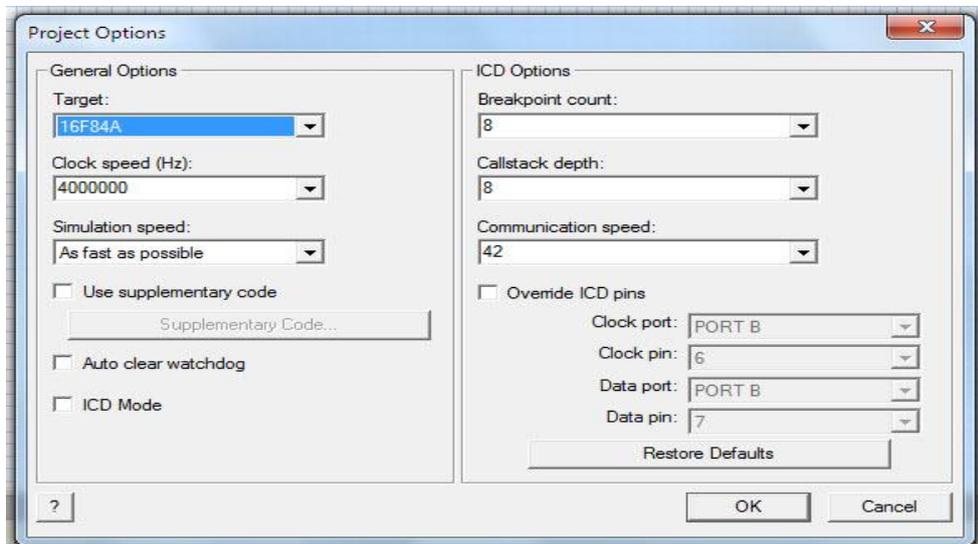


Figure 3.11 : Sélection et réglage de fréquence simulation

7.1 -Ajouter une icône sur l'organigramme

Pour cela, un clic gauche maintenu sur l'icône à insérer. Ensuite, faire glisser l'icône dans la fenêtre active de l'organigramme et relâcher la souris là où l'icône doit être insérée. Dès que vous relâchez le bouton de la souris, l'icône s'inscrit dans l'organigramme. Les fonctions classiques de Windows (comme : copier, couper, coller, déplacer) sont aussi supportées.

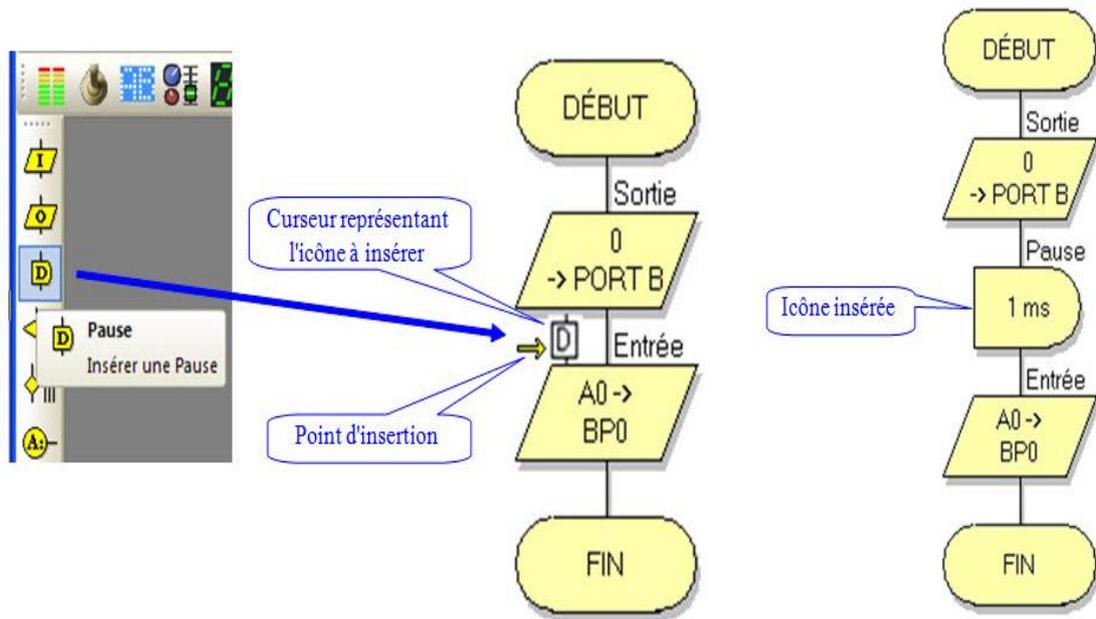


Figure 3.12 : Exemple d'insertion d'une icône pause par flowcode.

8- Simulation

Le logiciel flowcode dispose de 3 modes de simulation comme suit :

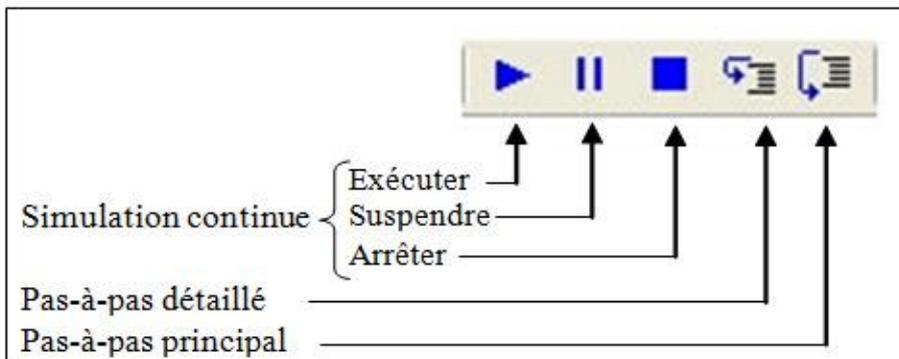


Figure 3.13: Modes de simulation

8.1 Simulation continue

Correspond sensiblement au fonctionnement attendu du microcontrôleur

8.2 Pas-à-pas détaillé

L'organigramme est exécuté icône par icône à chaque clic de souris sur le bouton spécifique selon les trois étapes suivantes:

- Un rectangle rouge signale l'icône en cours d'exécution.
- Toutes les macros traitées en organigramme sont simulées.
- Les fenêtres : des variables, de la pile, des appels de macros et de l'état du PIC sont mises à jour à chaque étape de la simulation.

8.3- Pas-à-pas principal

Fonctionne comme le Pas à Pas détaillé, à la différence suivante : quand le mode Pas à Pas principal rencontre une macro contenant un organigramme séparé, Pas à Pas principal traite la macro en entier au lieu de l'ouvrir et de l'exécuter pas à pas comme le ferait Pas à Pas détaillé.

9- Compilation et transfert d'un programme vers le PIC

Les microcontrôleurs PIC peuvent seulement exécuter des codes en hexadécimal (format ;hex). Flowcode doit donc traduire l'organigramme (format .fcf) en un format compréhensible par le PIC. Flowcode procède de la façon suivante :

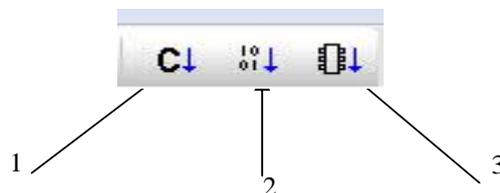


Figure 3.14: compilation et le transfert d'un programme

- a- Traduire l'organigramme en code C (format .c)
- b- Compiler le code C en Assembleur (format .asm)
- c- Convertir le programme assembleur en code Hexa (format .hex)

Avant de compiler l'organigramme en un programme qui sera envoyé au PIC, il faut vérifier que le choix de PIC cible est correct (boite de dialogue "Options Projet" du menu "Edition")

10-Simulation

Arrivons à ce stade, le besoin de simuler notre programme paraît indispensable d'où l'utilisation du logiciel « **ISIS** »; permettant de mieux visualiser le bon déroulement du système ainsi que d'avoir une idée claire sur la partie matérielle que ce soit références et même conception des circuits imprimés.

10.1-Présentation de l'ISIS

L'intérêt de simuler un programme est bien sûr pédagogique car comme nous le verrons ensuite, nous pouvons visualiser le fonctionnement du PIC avec tous les périphériques de la carte de commande. De plus, nous pouvons vérifier le fonctionnement du programme avant de le transférer vers la mémoire de microcontrôleur. Cela nous permettra d'économiser du temps et également d'augmenter la durée de vie de notre PIC.

Pour le dessin du schéma électrique de notre projet (suiveur solaire : expliqué en chapitre 04) on a utilisé le logiciel ISIS pour le simuler comme indique la figure (3.15).

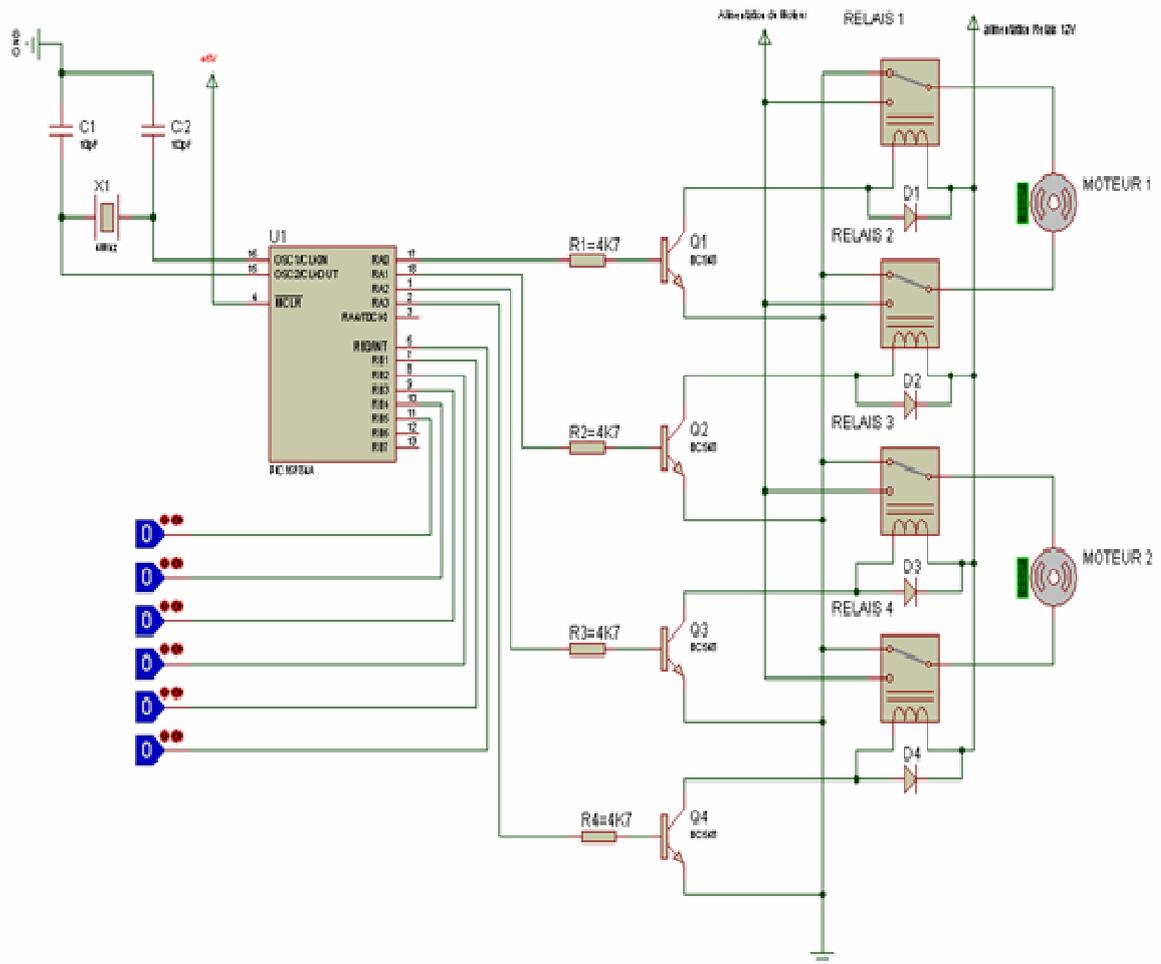


Figure 3.15 : Simulation du schéma électrique de la carte par ISIS.

10.2 - Transfert du programme vers le PIC

Après la compilation du programme par Flowcode et bien évidemment après sa simulation, on passe à une phase très importante c'est le transfert du code source vers le PIC. En effet il suffit d'insérer le PIC 16F84A sur le support du programmeur (section 11), puis lancer le programme IC-PROG.

a- Fenêtre option de configuration

Dans la fenêtre options en clic sur l'angle Misc puis cocher (active driver NT/2000/XP)
Puis clic OK et relancer IC-PROG.

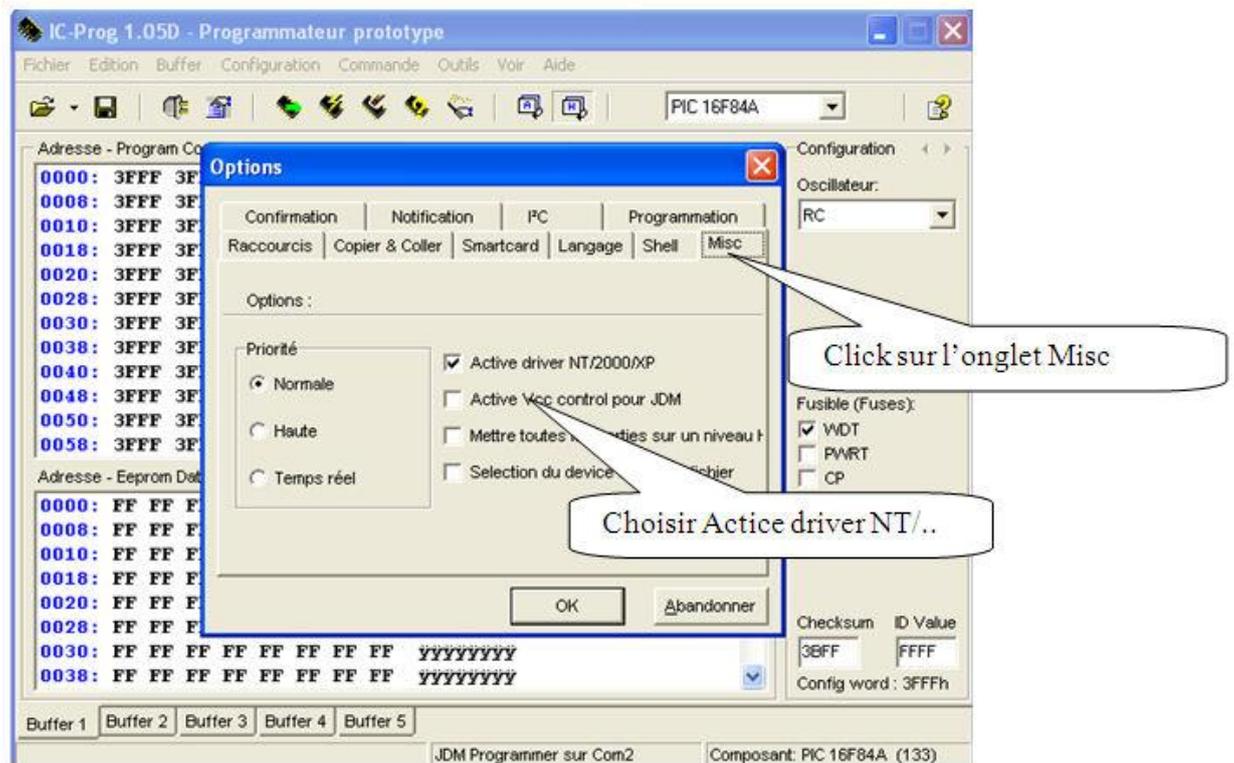


Figure 3.16: Configuration du système d'exploitation

b - configuration des ports :

On lance IC-PROG puis on ouvre le menu Hardware sur le menu «Configuration», on choisit l'option «Direct I/O». Ensuite, nous sélectionnons le port de communication «COM1» par exemple (figure 3.17).

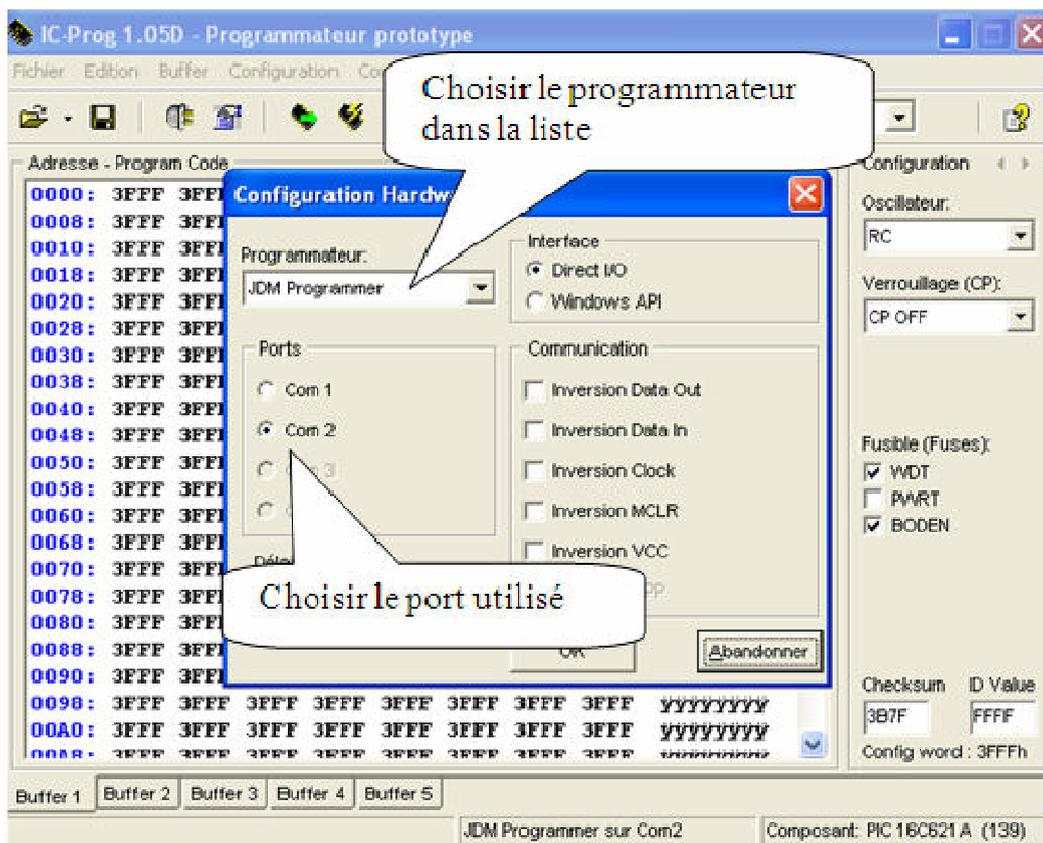


Figure 3.17: Configuration des ports

c- choix du PIC cible

La puissance de ce logiciel est qu'il est capable de programmer plusieurs familles de composants et chaque famille a encore ses références. Pour cela, nous sélectionnons le type de composant à programmer figure (3.18) : pour se faire nous ouvrons le menu « setting » puis « devices » puis « Microchip PIC » et enfin le type de PIC à programmer. La section suivante montre l'étape à suivre pour la programmation du PIC.

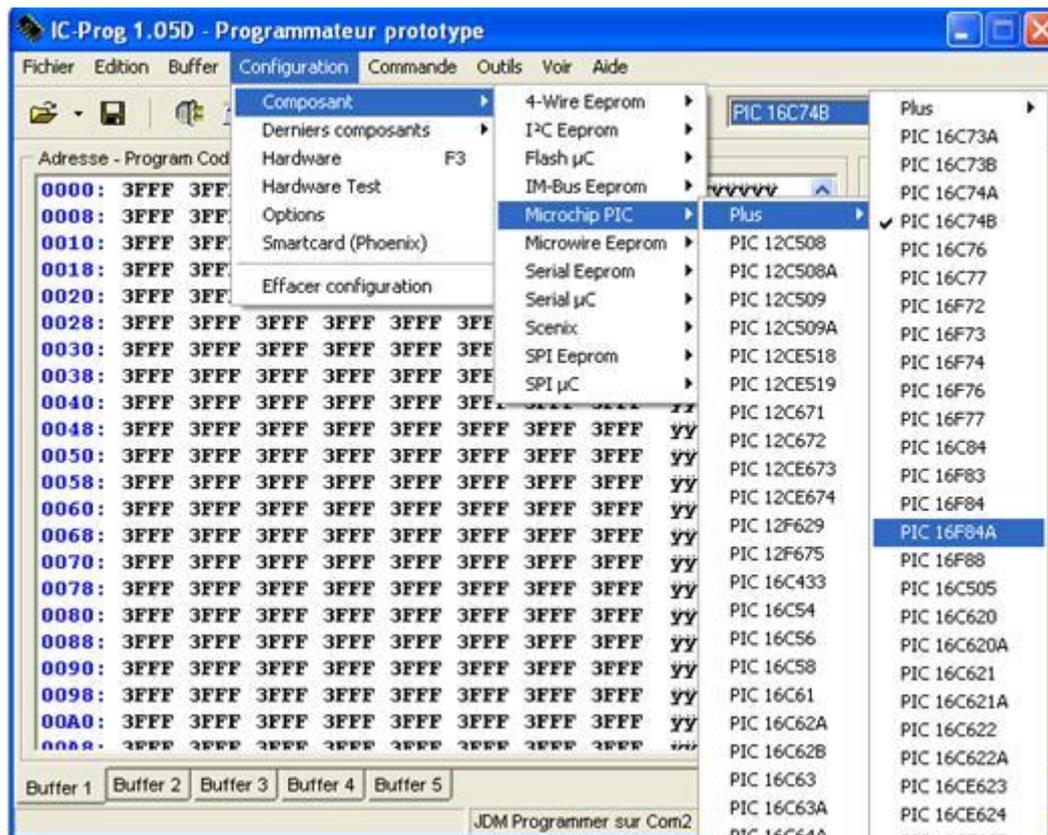


Figure 3.18 : Choix du pic à programmer

d- Etapes de programmation du PIC

Pour programmer le pic il faut assurer qu'il est vierge. Pour cela on efface le pic en utilisant l'icône 1 (figure 3.19) puis on vérifie en lisant le contenu du pic (icône 2), s'il est effacé on charge le fichier .hex (ouvert par l'icône 3) puis on lance la programmation (icône 4).

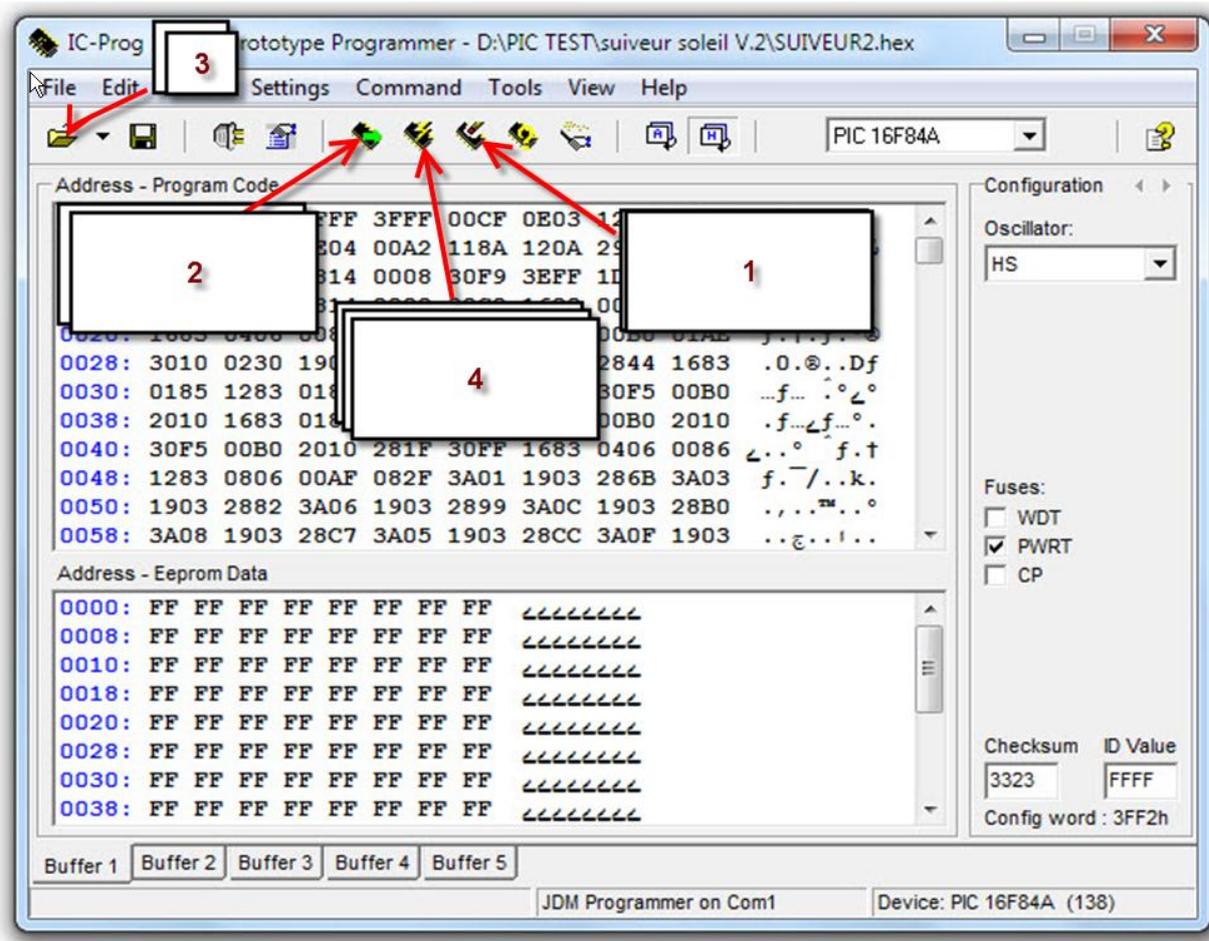


Figure 3.19: étapes de programmation du PIC

Avec :

Icône 1 : recommander pour effacer le PIC avant toute nouvelle programmation.

Icône 2 : Lire le contenu de la mémoire du PIC.

Icône 3 : ouvrir le fichier *.hex du programme, depuis le Menu « File » puis « Open file ». Une fenêtre s'ouvre qui montre le contenu du fichier (figure 3.19).

Icône 4 : programmation du PIC. Une fenêtre montre le déroulement de la programmation apparaisse (figure 3.19).

Certaines options de fonctionnement doivent être signalées par le programmeur pour configurer le PIC lors de la programmation. Pour cela, il faut :

- Choisir un oscillateur de type HS (quartz égal à 4 MHz).
- Décocher l'option WDT (remise à 0 en cas de problème).

- Cocher l'option PWRT (retard à la mise sous tension pour attendre que l'alimentation se stabilise).
- Décocher l'option CP (code de protection pour éviter la lecture de programme).

Pour lancer la programmation en clic sur icône (2) (figure 3.19).

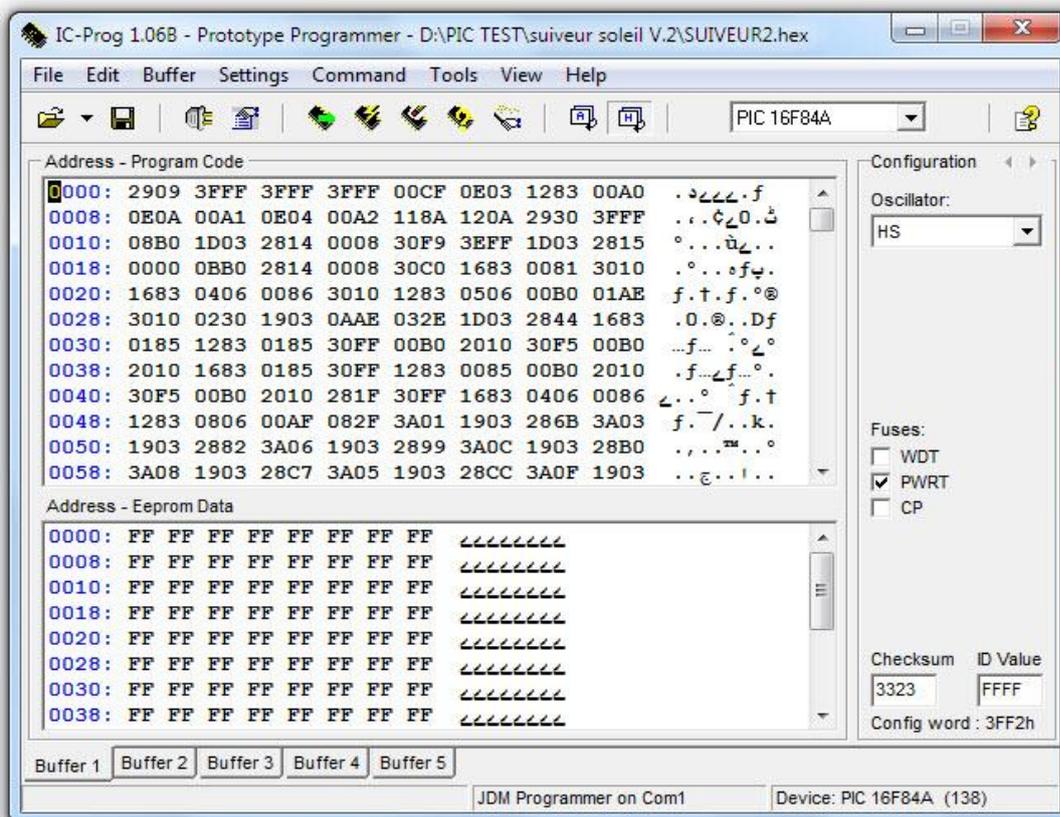


Figure 3.20 Schéma de chargement de fichier *.hex

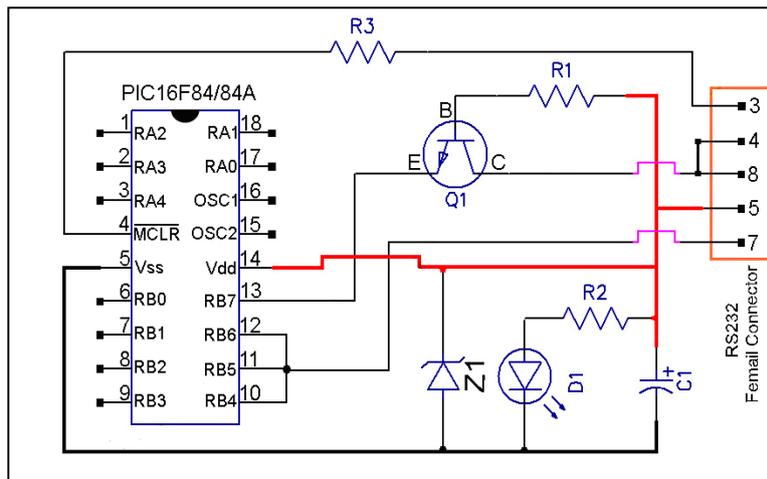


Figure 3.22 : interface de programmation

Notre programmeur se connecte au port Com du PC. Le programme qui pilote ce programmeur pour le transfert de données et IC-PROG.

12-Conclusion

Dans ce chapitre, on a étudié et développé les outils de programmation, de simulation, et de compilation du microcontrôleur PIC 16F84.

Dans notre projet, le système de commande à été en premier lieu élaboré par le logiciel Flowcode. Le programme généré par Flowcode est simulé ensuite par le logiciel ISIS avant d'être transmis vers la mémoire du PIC par le logiciel IC_PROG.

CHAPITRE

4

La conception et la réalisation Pratique

CHPITRE 4 : LA CONCEPTION ET LA REALISATION PRATIQUE

1- Introduction	55
2- Systems de suiveur solaire	56
2.1- Schéma de principe	56
2.2- Principe de suiveur soleil.....	57
2.3- Carte d'acquisition.....	58
2.4 - Carte de commande à bas de PIC	63
2.5 - Carte de puissance	64
3 - Fonctionnement du système.....	67
4 - Conclusion	69

1- Introduction

Parmi l'ensemble des technologies du suiveur soleil en trouve, deux familles :

✓ Les suiveurs programmés :

Nécessitant des calculs de prévision de la trajectoire solaire.

- Le calcul de la trajectoire solaire est complexe car il varie au cours de l'année.
- Nécessite des moteurs pas à pas qui compliquent la commande et la programmation.

✓ Les suiveurs à capteurs :

Nécessitent la détection en temps réel de la position solaire. Le fonctionnement de cette famille de suiveurs ne requiert :

- aucun programme, aucun calcul de trajectoire et aucune donnée informatique.
- aucune liaison avec un ordinateur gourmand en énergie, ni mise en réseau.
- aucun potentiomètre de mesure d'angle du panneau et aucun moteur pas à pas ce qui simplifie leur conception et réduit leur consommation énergétique.

Notre travail est basé sur l'utilisation d'un système à base de microcontrôleur qui fait la commande des panneaux solaires en temps réel. Dans ce chapitre, nous allons présenter notre carte de commande qui peut être subdivisée en trois blocs (figure 4.1).

2- Système de suiveur solaire

2.1- Schéma de principe

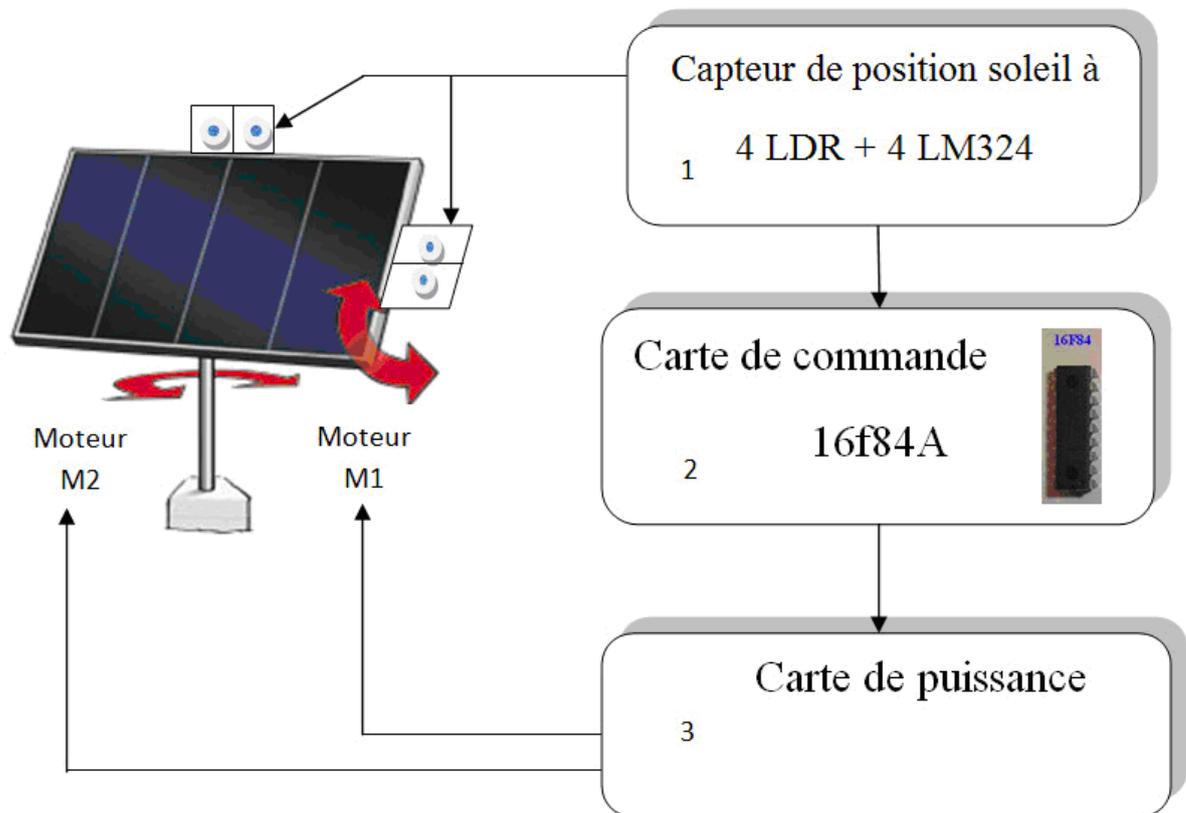


Figure 4.1 :schéma de bloc du système

Notre suiveur solaire est basé sur le PIC 16F84 est peut être divisé en trois blocs comme suit :

1. Le premier bloc est la carte d'acquisition qui contient :
 - Capteur de type LDR (Light Dépendent Résistor ou résistance dépendant de la lumière).
 - Amplificateur opérationnel de type LM 324 utiliser comme comparateur de tension et aussi comme interface entre LDR et le PIC.
2. Le deuxième bloc est le la carte de traitement et de commande à l'aide d'un microcontrôleur PIC16F84 de Microchip.
3. Le troisième bloc est la carte de puissance.

Avons de détaillé chaque bloc, nous allons expliquer premièrement le principe du suiveur solaire.

2.2- Principe de suiveur soleil

Le principe utilisé pour la poursuite du soleil à deux axes repose sur l'exploitation du déséquilibre créé entre deux résistances LDR séparées par une paroi opaque (4.1) rayonnement solaire figure (4.2). En fonction de la valeur du déséquilibre et de son sens, le moteur du vérin est actionné. La relation liant la résistance au flux lumineux est de la forme suivante [17]:

$$R = A \times L^{0.85}$$

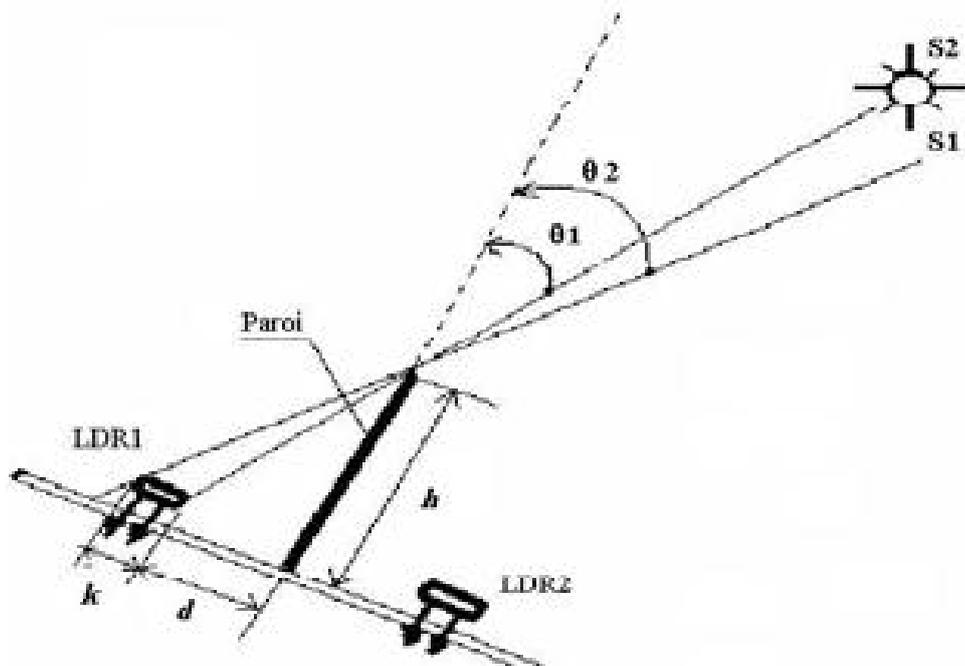


Figure 4.2 : Schéma de principe d'utilisation des deux résistances LDR pour capter la position du soleil

Où:

R : est la résistance de la LDR en Ω .

A : est une constante ($\sim 340 \times 10^3$).

L : est l'éclairement. Lumineux en Lux.

$S1, S2$: positions du soleil.

D'après le schéma de la figure (4.2), on remarque que l'éclairement de la résistance LDR1 va dépendre des paramètres suivants; d , h et k :

d : la distance entre la paroi et la résistance LDR;

h : la hauteur de la paroi opaque;

k : le diamètre de la résistance LDR (= 5 mm pour celle que nous avons utilisé dans notre application).

θ_1 : l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur la résistance LDR 1; tandis que θ_2 est l'angle d'ombre pour la même résistance LDR1.

Le diamètre k de la résistance LDR étant connu, on calcule la relation entre d et h comme suit:

$$h = \sqrt{\frac{d^2 \times (1 - \sin^2(\theta_1))}{\sin(\theta_2)}} \quad (4.2)$$

$$\theta_2 = \arcsin \left[\frac{(d+k)}{\sqrt{(d+k)^2 + h^2}} \right] \quad (4.3)$$

Les LDR sont connectés avec un diviseur de tension a fin de convertir la variation de l'angle du soleil en une tension (section 2.3.2).

2.3- Carte d'acquisition

On utilise une carte d'acquisition pour convertir le signal analogique produis par les résistances LDR en un signal de commande afin de connaître la position réelle du soleil (section 2.2). Pour cela on utilise 4 LDR connectés aux comparateurs de tension qui jouent le rôle d'interface entre le capteur et le PIC (figure 4.3). Le schéma électrique détaillé de la carte d'acquisition est représenté en figure 4.4.

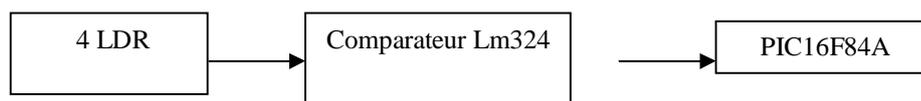


Figure 4.3: schéma de principe de la carte d'acquisition

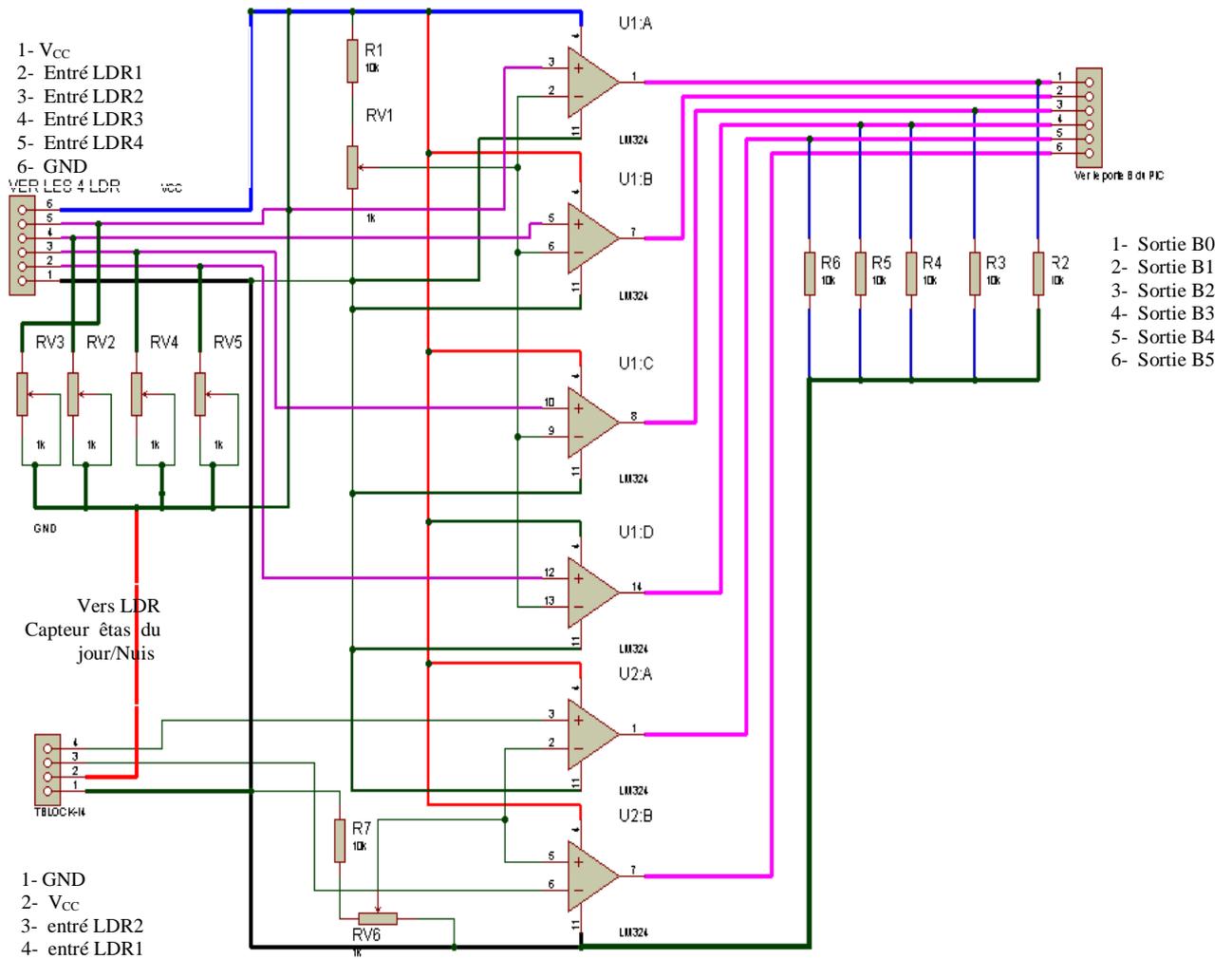


Figure 4.4: Carte d'acquisition interface entre le capteur et le PIC

2.3.1- Capteur LDR

a -Définition

Une photo résistance **LDR** (**L**ight **D**épendant **R**ésistor ou résistance dépendant de la lumière) (figure 4.5) est un composant dont la valeur en Ohms dépend de la lumière à laquelle il est exposé. Les matériaux utilisés pour la construction sont généralement du Sulfure ou du Séléniure de Cadmium qui se comporte comme des semi-conducteurs.

La principale utilisation de la photo résistance est la mesure de l'intensité lumineuse (appareil photo, de comptage, système d'alarme ... etc). Elle est fortement concurrencée par la photodiode. Dans notre projet on a choisi d'utiliser la LDR grâce à son temps de réponse qui est beaucoup très court.

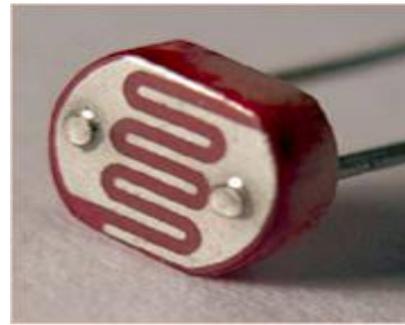
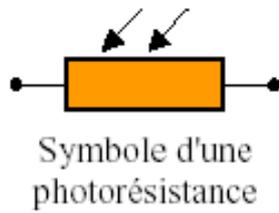


Figure 4.5 : symbole et Capteur LDR

b- Principe de fonctionnement

Un cristal à semi-conducteur à basse température contient peu d'électrons libres. La conductivité du cristal est très faible, proche de celle d'un isolant. Lorsque la température du cristal augmente. De plus en plus d'électrons qui étaient immobiles dans les liaisons covalentes s'échappent et peuvent participer à la conduction. A température ambiante si le même cristal semi-conducteur est soumis à une radiation lumineuse, l'énergie apportée par les photons peut suffire à libérer certains électrons utilisés dans les liaisons covalentes entre atomes du cristal. Plus le flux lumineux sera intense, plus le nombre d'électrons libres pour assurer la conduction sera grand, ainsi la résistance de la LDR est inversement proportionnelle à la lumière reçue. La sensibilité dépend de la fréquence de la radiation lumineuse. Pour convertir cette variation de la lumière en une tension on utilise le circuits diviseur de tension (section suivante).

2.3.2 -Diviseur de tension

Le diviseur de tension est un montage électronique simple qui permet de diviser une tension d'entrée. Un circuit constitué de deux résistances en série. Il est couramment utilisé pour créer une tension de référence ou comme un atténuateur de signal à basse fréquence.

Les tensions du diviseur sont reliées à la masse et les deux résistances R_1 et R_2 sont connectées en série (figure 4.6).

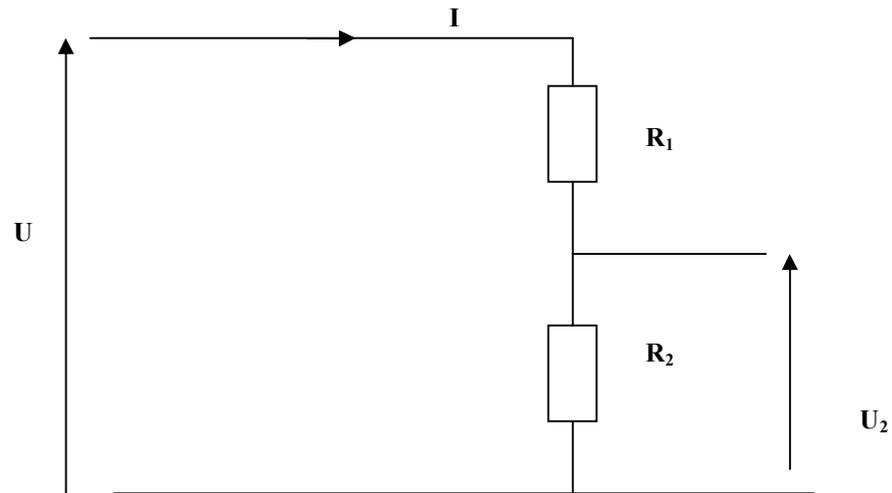


Figure 4.6 : schéma de principe du pont diviseur de tension

Une tension U est appliquée en entrée sur ces deux résistances et la tension de sortie est mesurée aux bornes de R_2 . En utilisant la Loi d'Ohm avec les tensions U et U_2 , il est possible de déduire la relation entre la tension de sortie U_2 et la tension d'entrée U .

$$U = I \times (R_1 + R_2) \quad (4.4)$$

$$U_2 = U \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (4.5)$$

a- Comparateur de tensions

L'ampli Op est un dispositif amplificateur de gain élevé, très facile à contrôler à l'aide de composants externes.

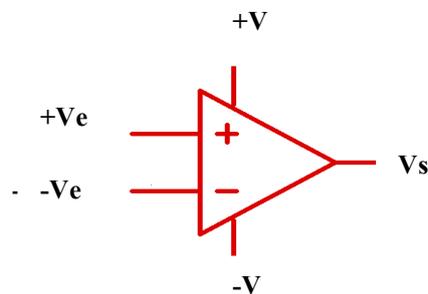


Figure 4.7: schéma de principe d'un ampli-op

Dans notre projet on a le LM324 comme interface entre LDR et le PIC16F84A. Le circuit contient 4 Ampli op. La figure suivant montre le schéma et le boîtier des circuits (voire annexe D) [15].

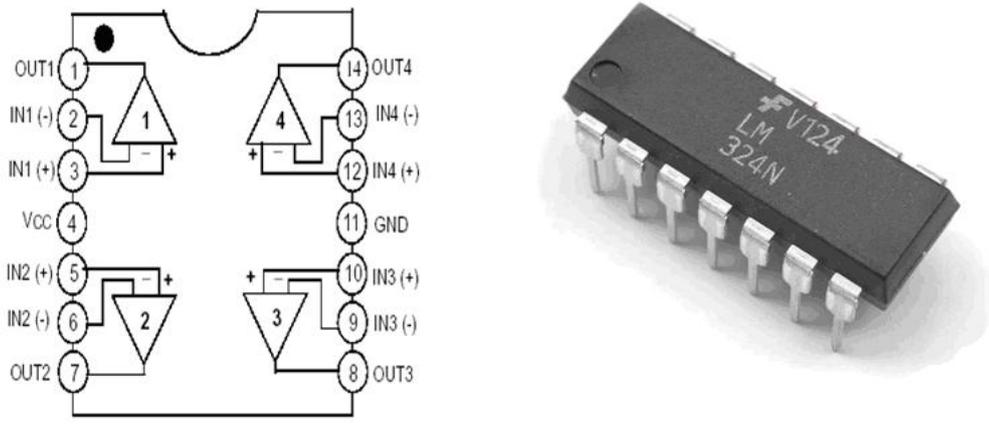


Figure 4.8 : schéma de brochage et boîtier du circuits LM324

Les Ampli-ops peuvent également être utilisés pour concevoir des comparateurs analogiques qui permettent, de comparer deux signaux, ce qui donne, à la sortie, un des deux signal d'entrée, selon le résultat de la comparaison. Dans notre cas on a utilisé un comparateur nom inverseur (figure 4.9) pour la commande de l'entrée de pic à travers le port B.

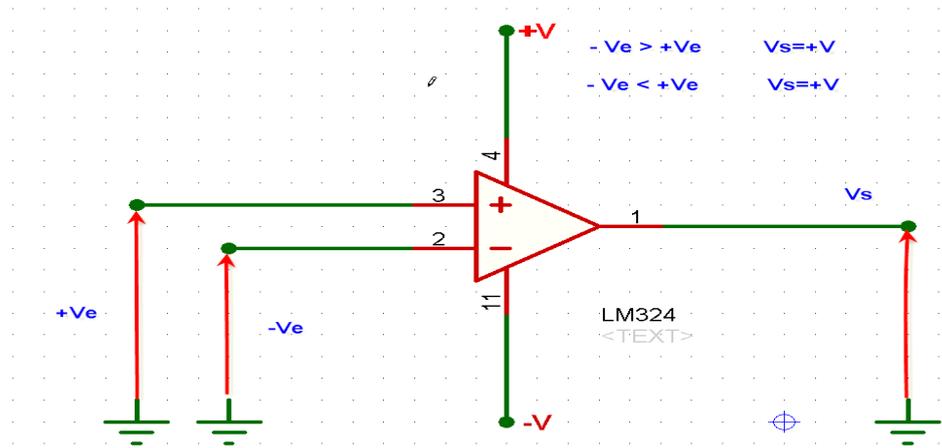


Figure 4.9 : schéma d'un comparateur de tension

2.4 - Carte de commande à base de PIC

Le schéma de la carte à PIC est représenté en figure (4.10). Les ports du PIC seront configurés comme suit:

- ❖ Le port B est configuré comme entrée depuis la carte d'acquisition.
- ❖ Le port A est configuré comme sortie de commande vers la carte de puissance.

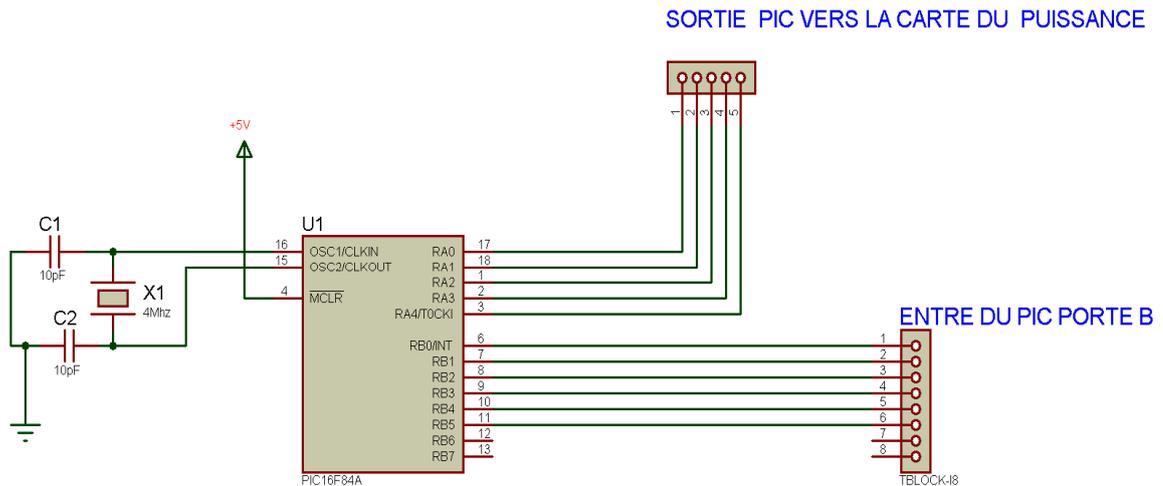


Figure 4.10 : Schéma de la carte de commande

Le signal reçu depuis la carte d'acquisition figure (4.4) vers le port B du microcontrôleur qui commande selon l'état de déséquilibre des LDR (position du soleil).

2.4.1 - Fonctionnement de la carte de commande

Le cœur de la carte de commande est bien le PIC16f84A. On utilise le port B comme entrée et le port A comme sortie. L'entrée reçoit le signal de la carte d'acquisition et la sortie est envoyée vers les relais à travers le port A.

On a utilisé 4 entrées (B0-B3) pour capter la position du soleil qui représentent les signaux des 4 LDR, et deux autres entrées (B4 et B5) qui détectent l'état du jour ou nuit. Dans l'état de la nuit, le panneau revient à la position initiale. Pour réaliser tous ces fonction il faut programmer le pic suivant le tableau (4.1).

Etats d'entrée (port B)						Etats de sortie (port A)						Etat du moteur
B5	B4	B3	B2	B1	B0	A4	A3	A2	A1	A0	Hexa	
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	01h	M1 /sens 1
0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	02h	M1 /sens 2
0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	04h	M2 /sens 1
0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	08h	M2/ sens 2
0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	05h	M1/M2 sens2
0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	06h	M1/M2 sens2
0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	04h	M1/M2 arrêts

Tableau 4.1 : Etats de fonctionnement de la carte de commande

2.5 - Carte de puissance

a- principe

Pour alimenter un moteur, on a besoin d'une haute tension, pour cette raison on a utilisé un relais électromécanique. Pour commander le moteur dans les deux sens, on utilise un pont en H (section b). Notre pont en H est réalisé à base de relais comme le montre le schéma de principe ci-dessous.

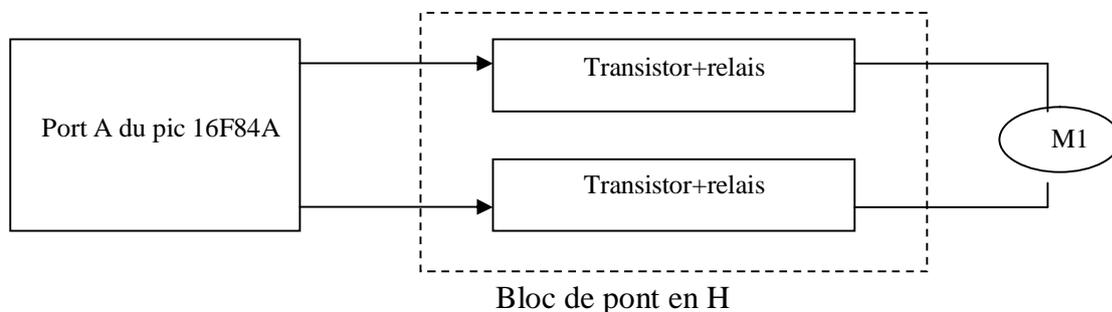


Figure 4.11: Schéma blocs de la carte de puissance

b- schéma de principe du pont en H

Lorsqu'on veut commander le sens de rotation d'un moteur (à courant continu ou pas à pas) on est souvent obligé d'inverser la polarité. De plus il est généralement préférable de pouvoir faire varier la vitesse du moteur. La solution est d'utiliser le pont en H.

Le principe du pont en H est représenté en figure 4.12 .

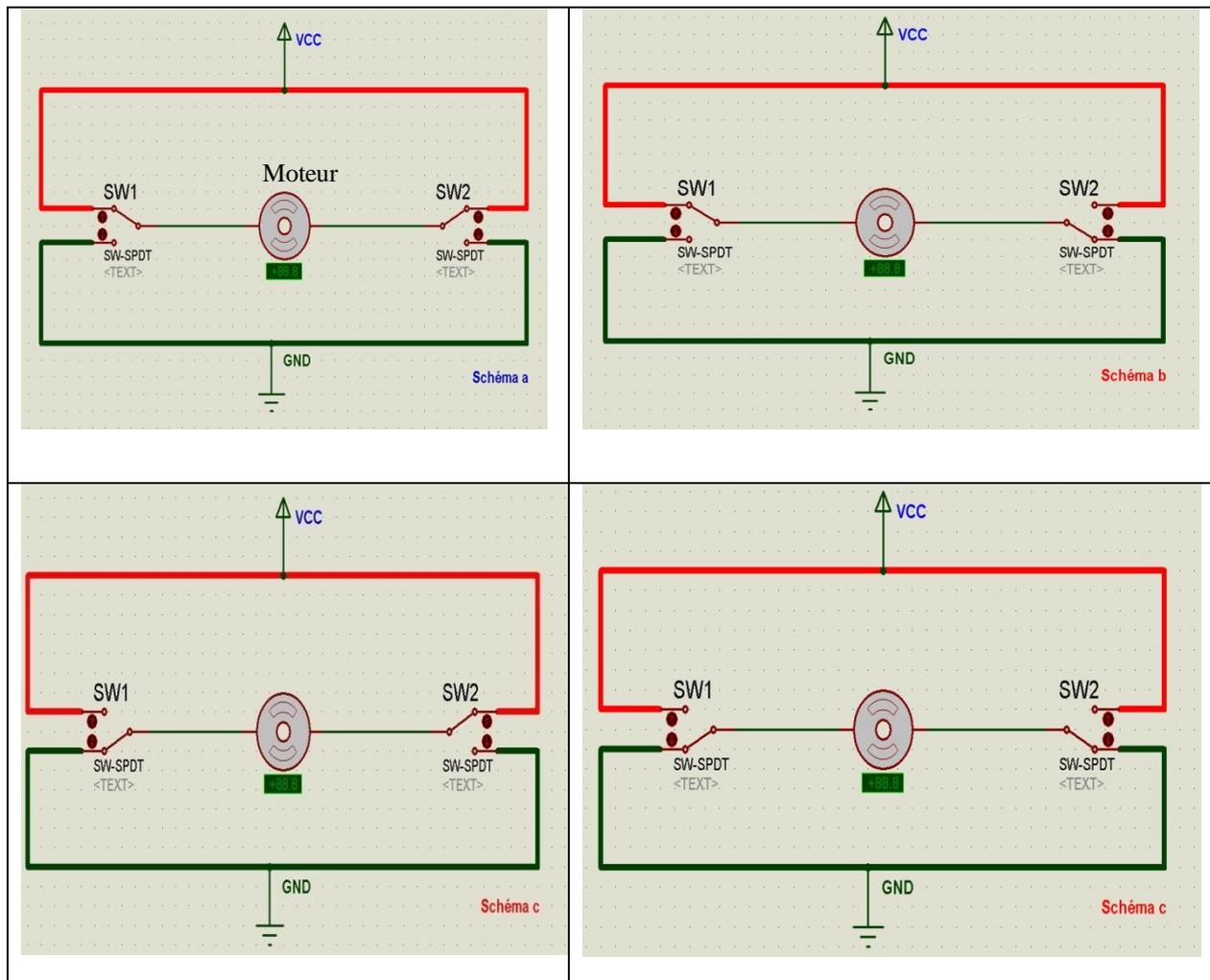


Figure 4.12 : Principe du pont en H

A partir de la figure (4.12) on peut conclure les états suivants :

- **Schéma a** : le moteur est à l'arrêt (on devrait même dire qu'il est freiné : en effet court-circuiter les deux pôles d'un moteur revient à le freiner).
- **Schéma b** : le moteur tourne à gauche
- **Schéma c** : le moteur tourne à droite
- Et enfin sur le **schéma d** ; il est freiné.

Il va nous falloir remplacer les interrupteurs par deux relais commander par transistor (figure 4.13). qui contient du contacte auxiliaire. A fin étudier les différent bloque il faut réaliser le circuit imprimé de chaque bloque.

c. Schémas électrique

Le schéma électrique de la carte de puissance est représenté dans la figure suivante :

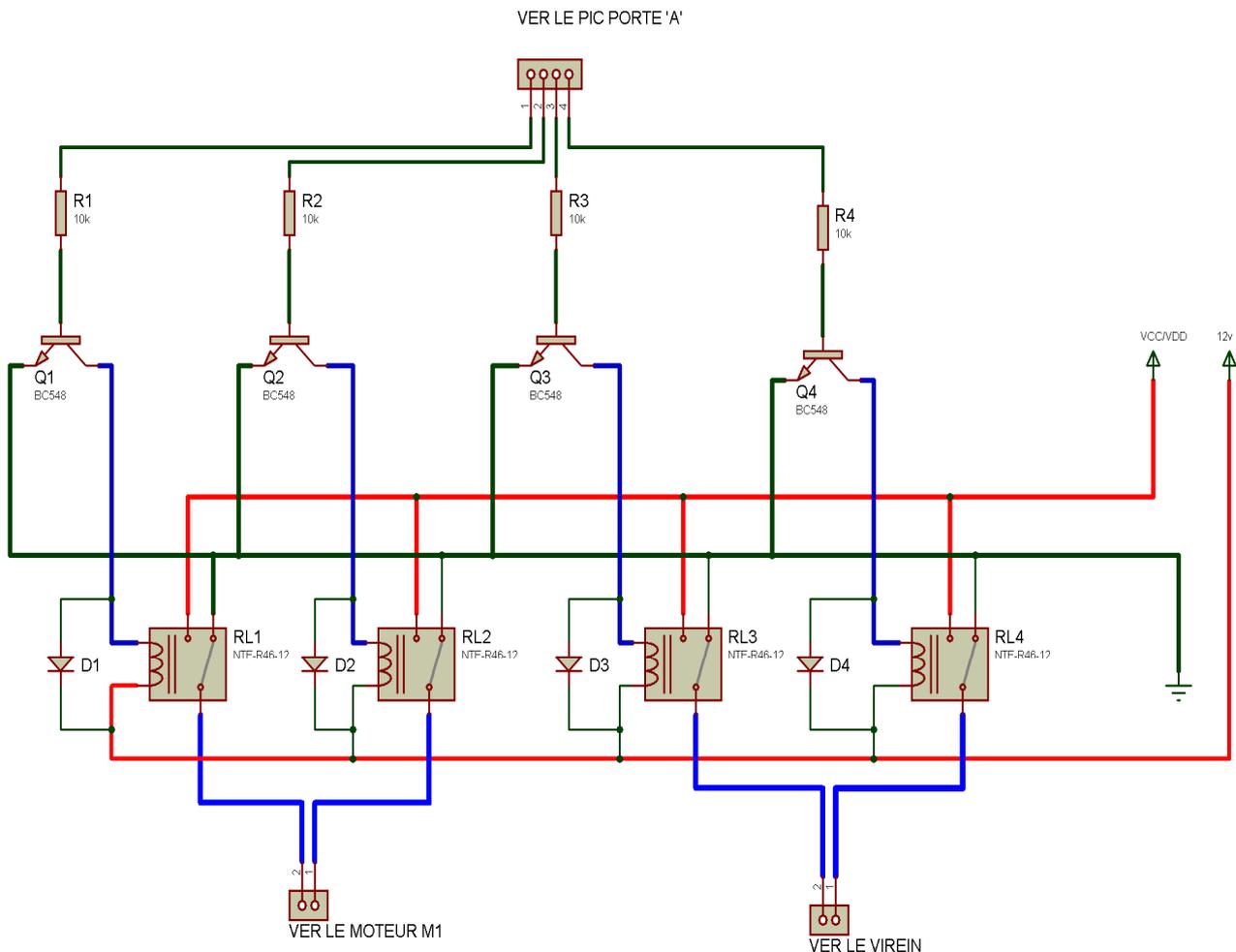


Figure 4.13: schéma de carte de puissance

La carte de puissance contient 4 transistors qui fonctionnent en saturation pour piloter les relais.

3 - Fonctionnement du système

La photo résistance LDR envoie un signal électrique à la carte d'acquisition qui fait l'interfaçage entre photo résistance et le PIC. Celui-ci lit le signal numérique de la carte d'acquisition et fixe le fonctionnement selon le cas, jour ou nuit.

Si il s'agit du jour, le PIC envoie un signal au transistor à travers le port A qui donne l'ordre au système de suivre le déplacement du soleil pendant la journée. Le signal envoyé vers le transistor, qui envoie à son tour un courant à la bobine du premier relais RL1 pour tourner verticalement (latitude) le panneau PV par le moteur M1. Pour suivre le déplacement horizontale (azimut) du soleil, on envoie une commande vers le relais RL3, ce qui provoque la rotation du moteur M2 dans le sens de déplacement du soleil.

Pendant la nuit, le PIC envoie un signal au transistor à travers le port A. le transistor envoie un courant à la bobine du relais RL2, RL4, ce qui provoque la rotation du moteur M1 et M2 dans le sens pour la position initial (Figure 4.14).

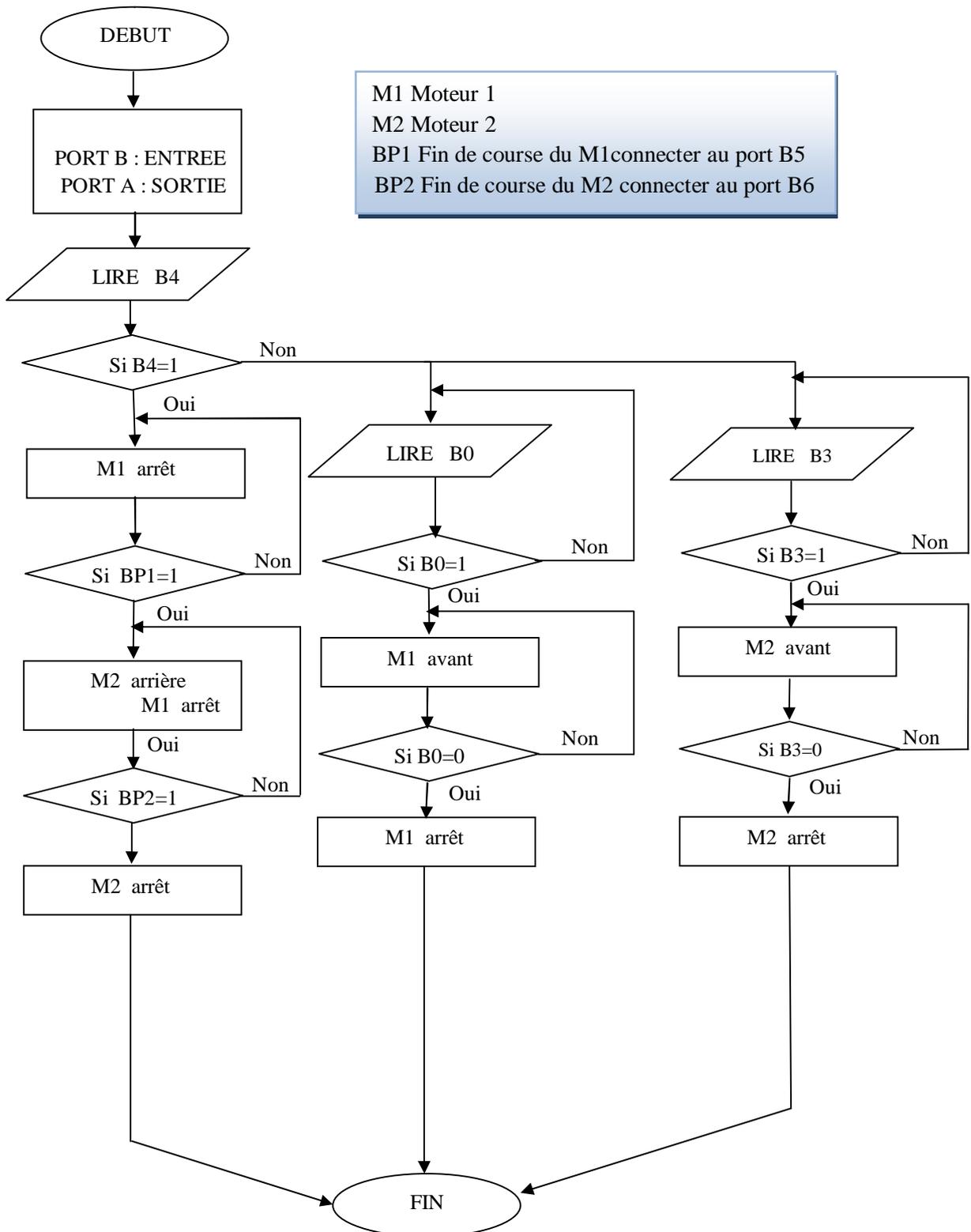


Figure 4.14: Organigramme de fonctionnement du système

4- Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait une étude détaillée sur la carte d'acquisition qui permet de capter la position du soleil à l'aide des capteurs LDR, en suite la carte de commande qui est basée sur le PIC 16F84. Cette dernière commande la position du panneau à travers la carte de puissance qui alimente à son tour deux moteurs qui permettent d'orienter le panneau vers la position optimale indiquée par la carte de commande.

Conclusion générale

A travers ce projet de fin d'études, on peut conclure que notre but de réaliser un suiveur solaire a été atteint.

Notre réalisation est composée de trois blocs. Une carte d'acquisition pour capter la position optimale du soleil en utilisant des capteurs de lumière (LDR). Une deuxième carte (carte de commande) à base de microcontrôleur PIC 16F84A pour commander le panneau solaire à travers la carte de puissance. Cette dernière est un circuit électronique basé sur des transistors et des relais pour commander n'importe quel type de moteur.

La carte d'acquisition est basée sur des comparateurs de tension qui détectent le déséquilibre entre deux LDRs pour chaque position (Azimut, Latitude) du panneau solaire.

Le système de commande à base de PIC reçoit les signaux qui indiquent la position du panneau et gère la carte de puissance pour orienter le panneau solaire selon les deux axes.

En perspectives, nous proposons de réaliser un système intelligent pour rechercher la position initiale de manière automatique différent de notre cas où on fixe cette position manuellement. D'un autre côté, nous proposons d'utiliser notre suiveur comme un pilote pour commander toute un champs photovoltaïque.

Bibliographies

- [1]: A. Labouret, M. Viloz « Energie Solaire Photovoltaïque ». 2^{ème} édition, Dunod, Paris 2003/2005.
- [2]: « Energies renouvelables : les promesses des cellules solaires organiques », Communiqué De Presse National/Paris/ 1er Avril 2009.
- [3]: S. Zaamta et A. Dib « Réalisation d'un régulateur solaire à base de microcontrôleur pour le contrôle de l'état de charge et la protection des accumulateurs », Revue des Energies Renouvelables, Vol. 12 N°1 (2009) 137 ó 147, Institut des Sciences Technologiques, Université Larbi Ben MøHidi, Oum El Bouaghi, Algérie.
- [4]: A. Tsamda, K. Mahmoud « Développement d'un logiciel de dimensionnement des installations photovoltaïques », Mémoire d'Ingénieur d'Etat En Electrotechnique , Département de Génie Electrique, Promotion Juin 2007, Ecole Nationale Polytechnique Alger.
- [5]: B. Mohammed, « Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome », Mémoire de Magister, Option : Microélectronique ó Photovoltaïque, Centre Universitaire De Bechar 2007/2008.
- [6]: M. Angel, C. Pastor, « Conception Et Réalisation De Modules Photovoltaïques Electroniques » Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse Spécialité : Conception des Circuits Microélectroniques et Microsystèmes. septembre 2006.
- [7]: <http://www.egcf-rousseau.com/F. Antony, C. DürschneróKarl, H. Remmers> « Le photovoltaïque pour tous » 2006.
- [8]: H. Ben Jaffel, A. Riahi « Etude de conception et de réalisation d'un suiveur de soleil » Projet de fin d'études, Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Siliana, Département de Maintenance Industrielle. Tunis, 2008-2009
- [9]: Philippe Hoppenot (juin 2004) (hoppenot@lsc.univ-evry.fr) , PIC 16F84 / <http://lsc.univ-evry.fr/~hoppenot/presentationfrançaise.html>
- [10]: www.microchip.com : Les microcontrôleurs PIC de Microchip Le 16F84.
- [11]: <http://pagesperso-orange.fr/diablotron/c/G: A. « Le PIC 16F84 : L'Essentiel »>, 11/11/2004
- [12]: www.microchip.com/ Pierre LOGLISCI « Le microcontrôleur PIC 16F84 » Edition de l'Auteur
- [13]: www.lyc-emperi.ac-aix-marseille.fr/ L'énergie solaire / Dossier Ressource

[14]: Sakli MOUADH Régulation Industrielle de Processus
Système de Régulation de Niveau d'eau
Interface à base de microprocesseur PIC 16F877
Commande et Régulation avec LabVIEW

Projets de fin d'études, Génie électrique & Automatique, Ingénieur diplômé de l'école Nationale d'Ingénieurs de GABES TUNISIE. 2006 et 2007

[15]: www.datasheet.com : Data sheet LM324.

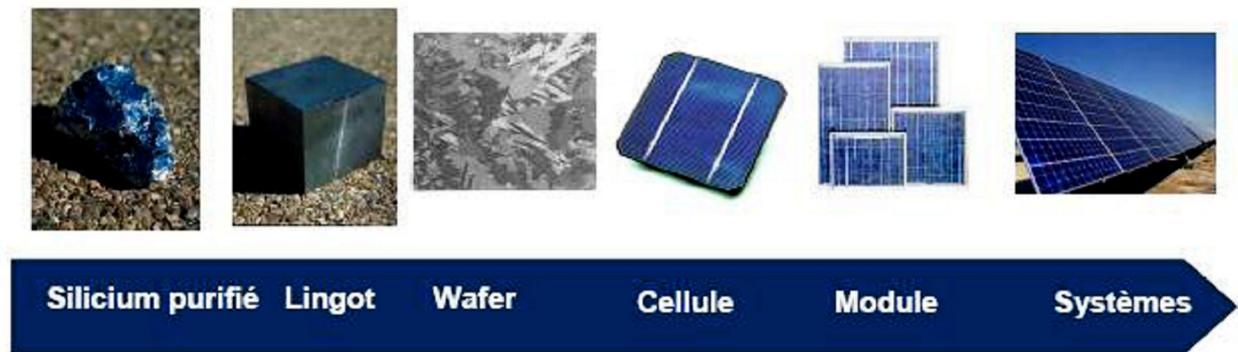
[16]: www.matrixmultimedia.com : Flowcode V4.2 Notice d'utilisation

[17] : M.D. Draoui1 et B. Draoui2 «Etude, conception et expérimentation d'un système de contrôle pour système suiveur de soleil», Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°2 (2007) 229 ó 238 229. Centre Universitaire de Béchar.

ANNEXE

A

Caractéristiques du panneau photovoltaïque



Les étapes pour fabriquer un système photovoltaïque

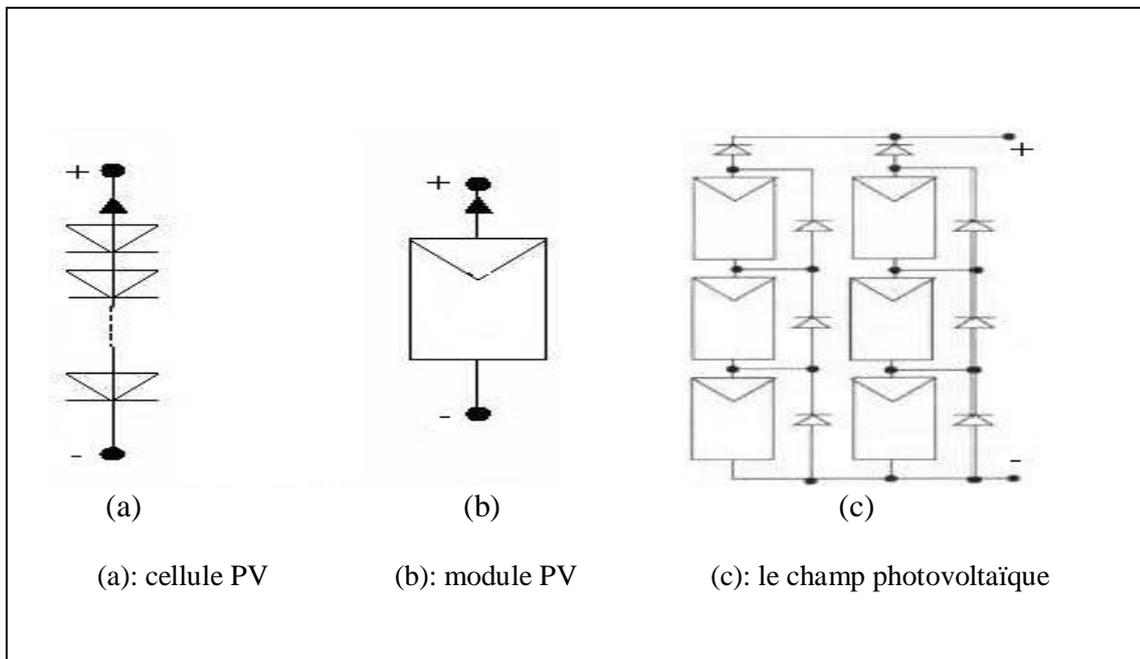
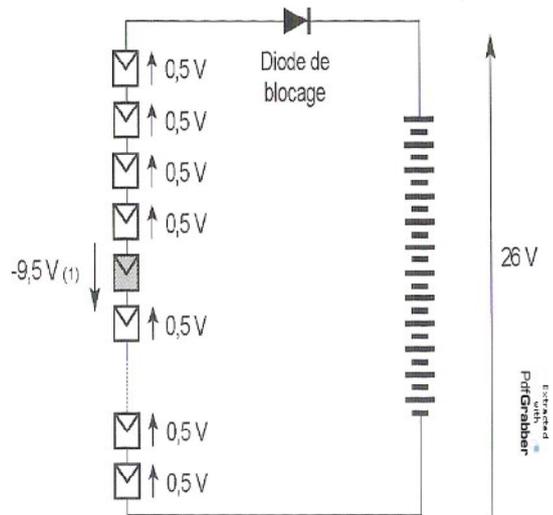
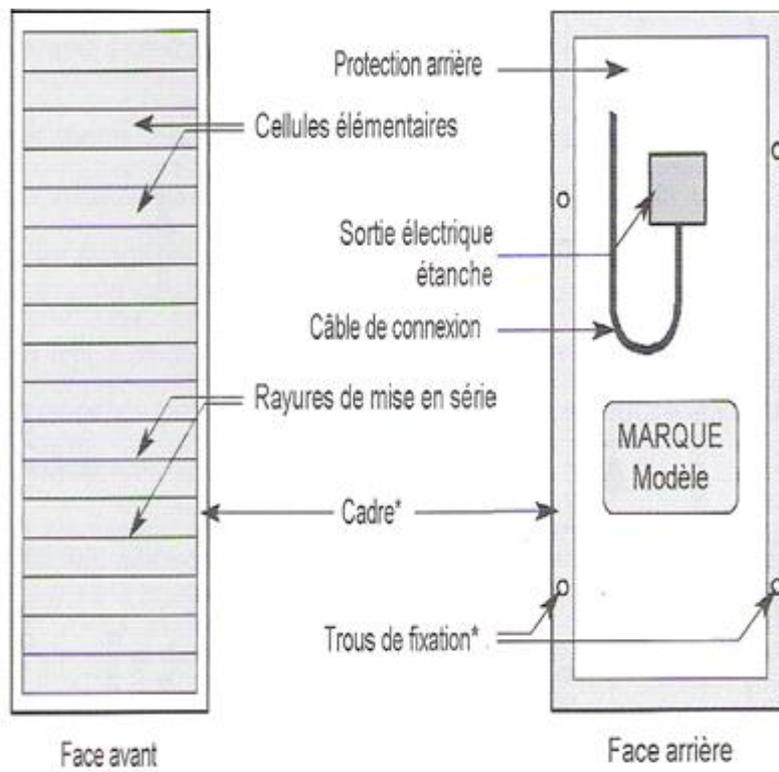
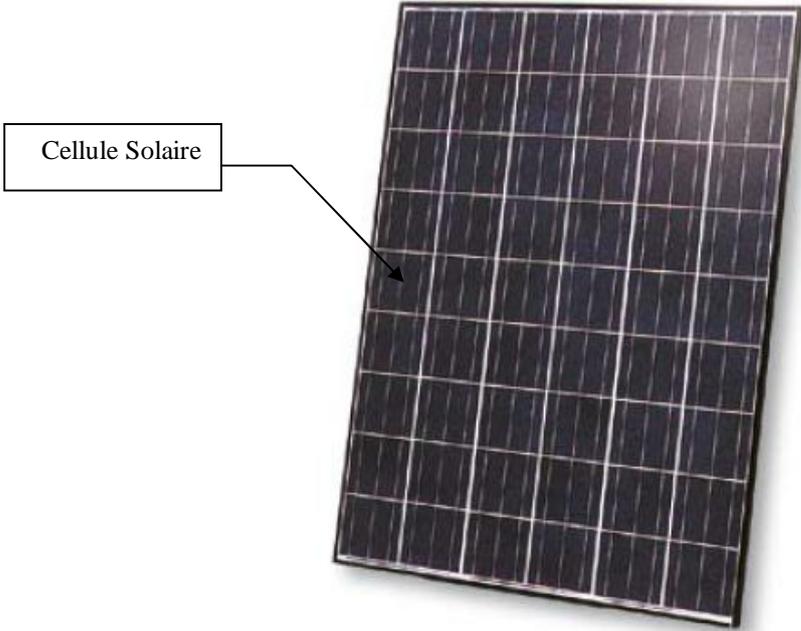


Schéma d'une:cellule pv, module pv,et un champ photovoltaïque



Exemple de panneau solaire 24V(72 cellules en serie)





Panneau solaire photovoltaïque



Champs photovoltaïque

ANNEXE

B

**Caractéristiques du pic
16F84A**

1 - Jeu d'instructions du PIC 16F84

INSTRUCTIONS OPERANT SUR REGISTRE (direct)			indicateurs	Cycles
ADDWF	F,d	$W+F \rightarrow \{W,F ? d\}$	C,DC,Z	1
ANDWF	F,d	$W \text{ and } F \rightarrow \{W,F ? d\}$	Z	1
CLRF	F	Clear F	Z	1
CLRWF		Clear W	Z	1
CLRWD		Clear Watchdog timer	TO', PD'	1
COMF	F,d	Complément F $\rightarrow \{W,F ? d\}$	Z	1
DECWF	F,d	décrémente F $\rightarrow \{W,F ? d\}$	Z	1
DECFSZ	F,d	décrémente F $\rightarrow \{W,F ? d\}$ skip if 0		1(2)
INCF	F,d	incrémente F $\rightarrow \{W,F ? d\}$	Z	1
INCFSZ	F,d	incrémente F $\rightarrow \{W,F ? d\}$ skip if 0		1(2)
IORWF	F,d	$W \text{ or } F \rightarrow \{W,F ? d\}$	Z	1
MOVWF	F,d	$F \rightarrow \{W,F ? d\}$	Z	1
MOVWF	F	$W \rightarrow F$		1
RLF	F,d	rotation à gauche de F a travers C $\rightarrow \{W,F ? d\}$	C	1
RRWF	F,d	rotation à droite de F a travers C $\rightarrow \{W,F ? d\}$		1
SUBWF	F,d	$F - W \rightarrow \{W,F ? d\}$	C,DC,Z	1
SWAPF	F,d	permuté les 2 quartets de F $\rightarrow \{W,F ? d\}$		1
XORWF	F,d	$W \text{ xor } F \rightarrow \{W,F ? d\}$	Z	1

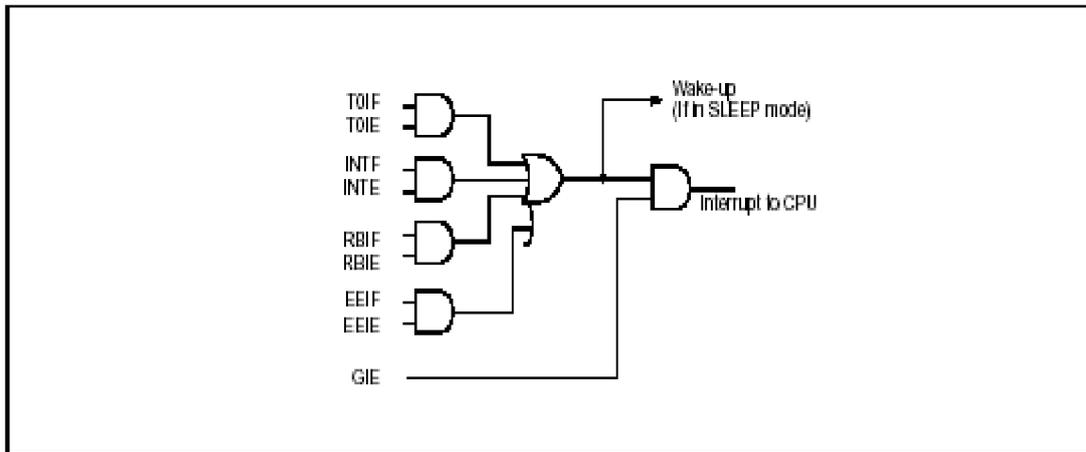
INSTRUCTIONS OPERANT SUR BIT				
BCF	F,b	RAZ du bit b du registre F		1
BSF	F,b	RAU du bit b du registre F		1
BTFSC	F,b	teste le bit b de F, si 0 saute une instruction		1(2)
BTFSS	F,b	teste le bit b de F, si 1 saute une instruction		1(2)

INSTRUCTIONS OPERANT SUR DONNEE (Immediat)				
ADDLW	K	$W + K \rightarrow W$	C,DC,Z	1
ANDLW	K	$W \text{ and } K \rightarrow W$	Z	1
IORLW	K	$W \text{ or } K \rightarrow W$	Z	1
MOVLW	K	$K \rightarrow W$		1
SUBLW	K	$K - W \rightarrow W$	C,DC,Z	1
XORLW	K	$W \text{ xor } K \rightarrow W$	Z	1

INSTRUCTIONS GENERALES				
CALL	L	Branchement à un sous programme de label L		2
GOTO	L	branchement à la ligne de label L		2
NOP		No operation		1
RETURN		retourne d'un sous programme		2
RETFIE		Retour d'interruption		2
RETLW	K	retourne d'un sous programme avec K dans W		2
SLEEP		se met en mode standby	TO', PD'	1

{W,F ? d} signifie que le résultat va soit dans W si d=0 ou w, soit dans F si d= 1 ou f

2- Les interruptions du PIC 16F84



Logique des événements associés aux interruptions

Validation des interruptions

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-x
GIE	EEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF
							bit0
bit7							
<p>bit 7: GIE: Global Interrupt Enable bit 1 = Enables all un-masked interrupts 0 = Disables all interrupts Note: For the operation of the interrupt structure, please refer to Section 8.5.</p> <p>bit 6: EEIE: EE Write Complete Interrupt Enable bit 1 = Enables the EE write complete interrupt 0 = Disables the EE write complete interrupt</p> <p>bit 5: TOIE: TMR0 Overflow Interrupt Enable bit 1 = Enables the TMR0 interrupt 0 = Disables the TMR0 interrupt</p> <p>bit 4: INTE: RBO/INT Interrupt Enable bit 1 = Enables the RBO/INT interrupt 0 = Disables the RBO/INT interrupt</p> <p>bit 3: RBIE: RB Port Change Interrupt Enable bit 1 = Enables the RB port change interrupt 0 = Disables the RB port change interrupt</p> <p>bit 2: TOIF: TMR0 overflow interrupt flag bit 1 = TMR0 has overflowed (must be cleared in software) 0 = TMR0 did not overflow</p> <p>bit 1: INTF: RBO/INT Interrupt Flag bit 1 = The RBO/INT interrupt occurred 0 = The RBO/INT interrupt did not occur</p> <p>bit 0: RBIF: RB Port Change Interrupt Flag bit 1 = When at least one of the RB7:RB4 pins changed state (must be cleared in software) 0 = None of the RB7:RB4 pins have changed state</p>							

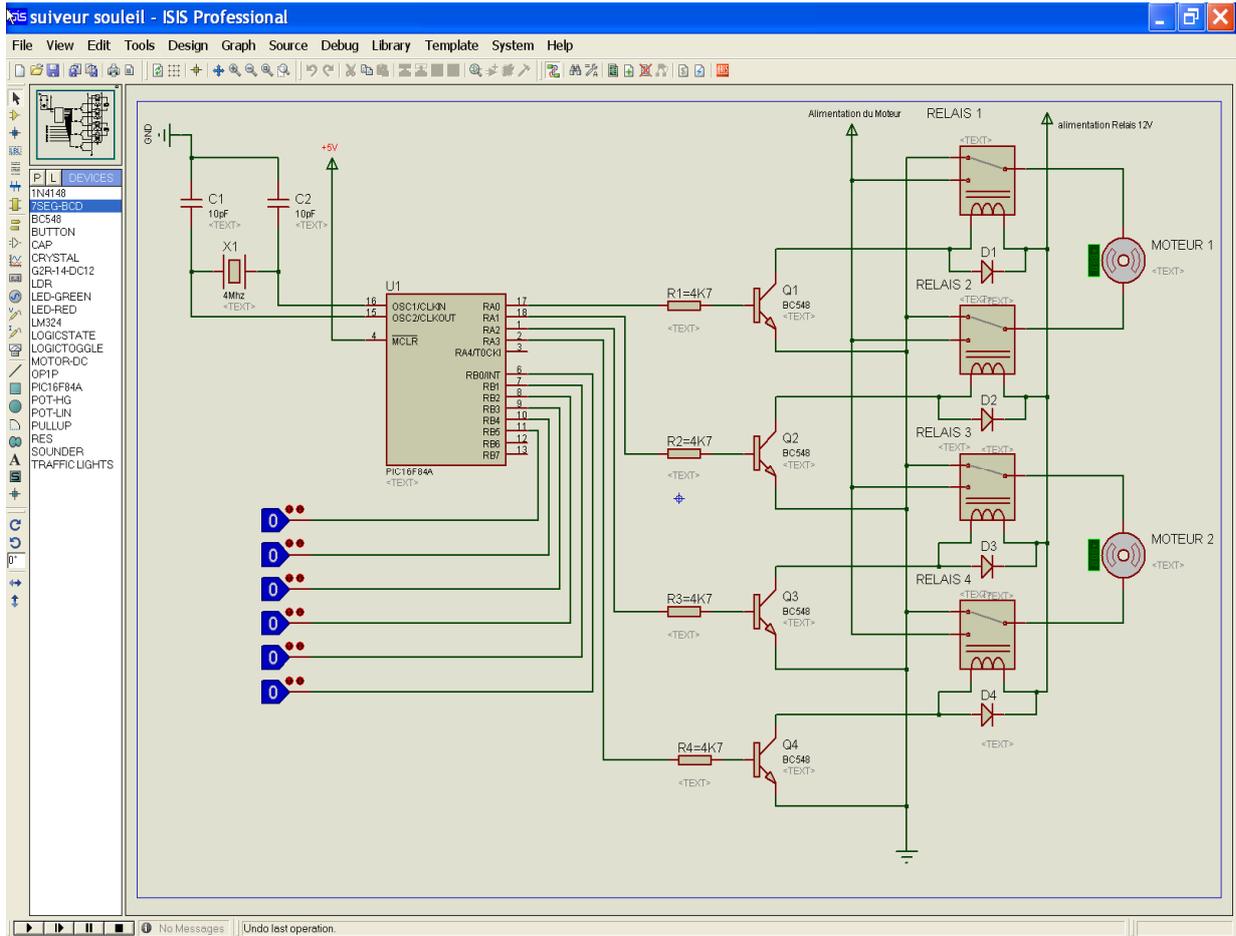
R = Readable bit
 W = Writable bit
 U = Unimplemented bit, read as '0'
 -n = Value at POR reset

Registre de contrôle d'interruption du PIC 6 INTCON

ANNEXE

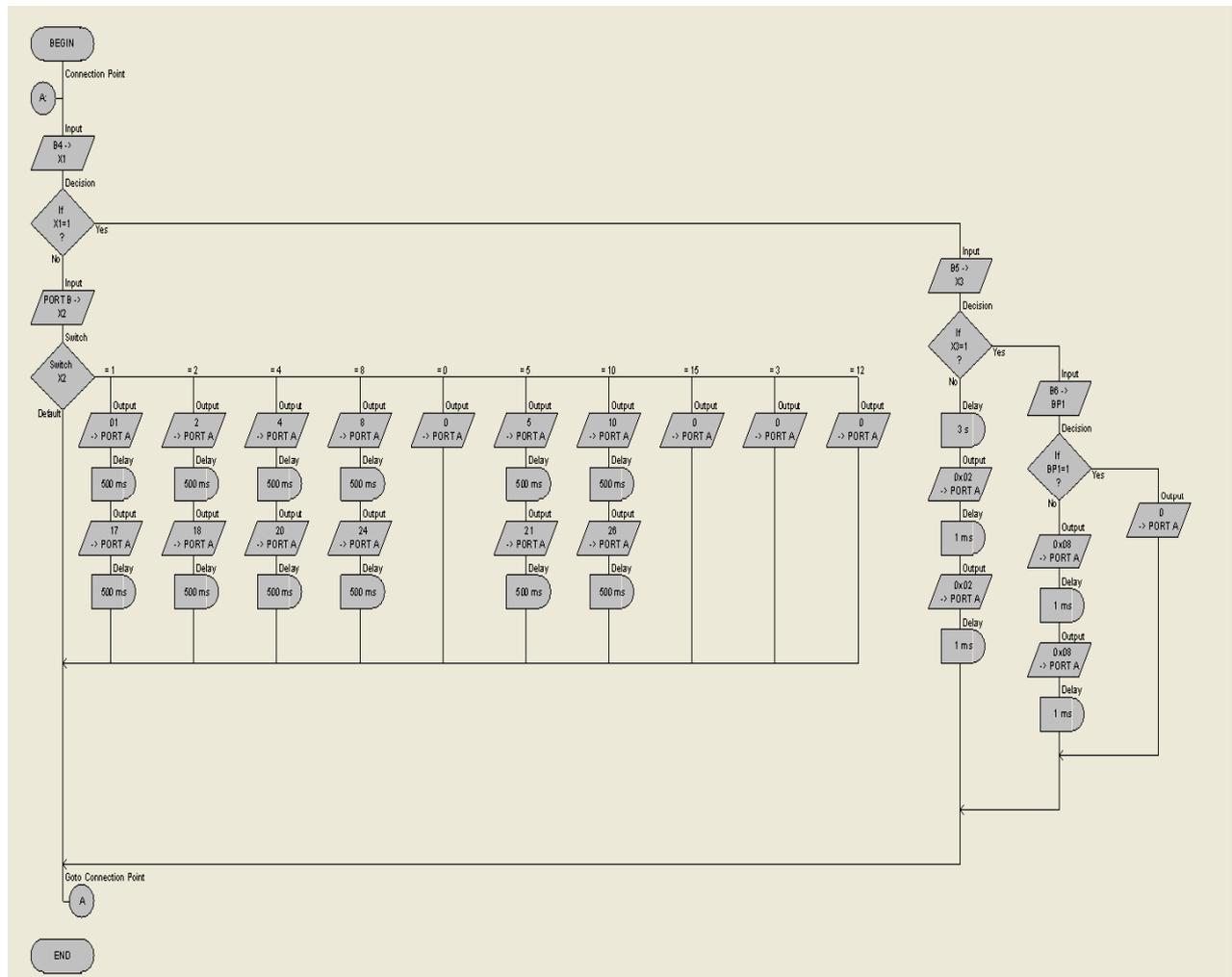
C

Programme de simulation



Configuration de Notre circuit par le logiciel ISIS

Programme de notre system



Copie de l'écran du logiciel Flowcode pour le programme de notre système

X1 : variable d'entrée port B4

X2 : variable d'entrée port B comble

X3 : variable d'entrée port B5

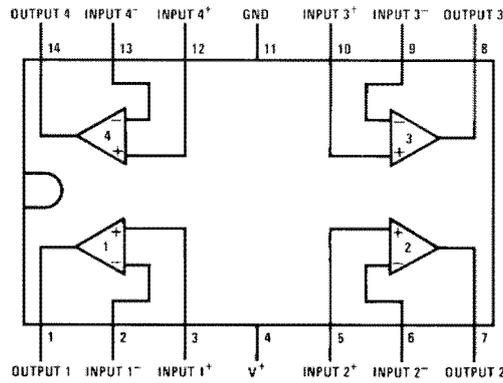
BP1 : fin de course pour des terminé la position initial

ANNEXE

D

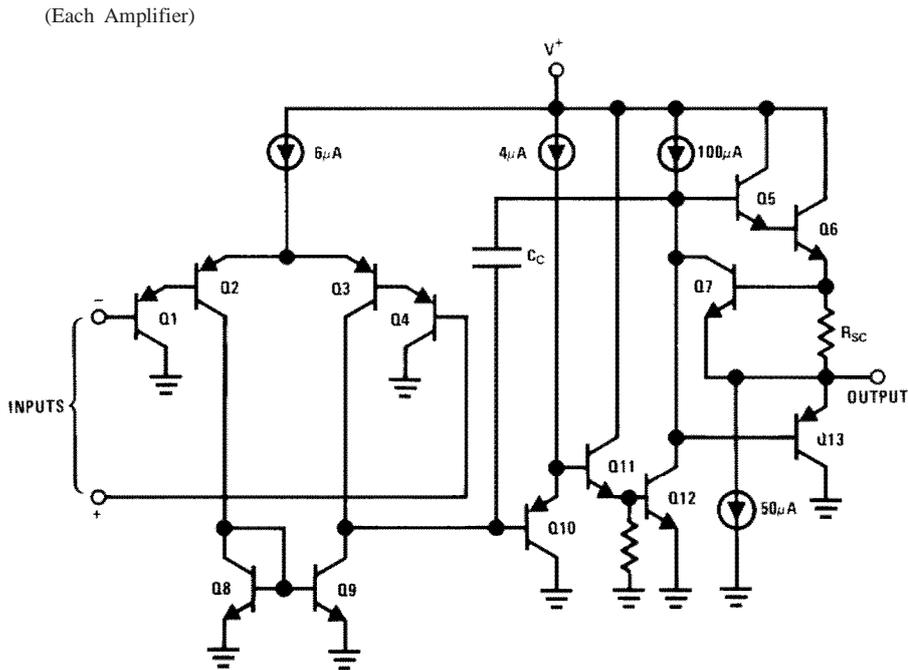
Réalisation pratique

Diagramme de connexion du circuit LM 324:



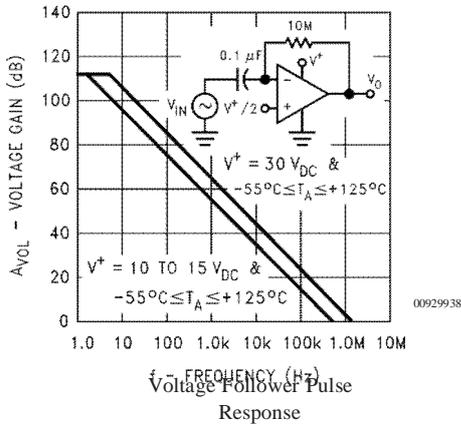
Order Number LM124AW/883, LM124AWG/883, LM124W/883 or LM124WG/883
 LM124AWRQML and LM124AWRQMLV
 See NS Package Number W14B
 LM124AWGRQML and LM124AWGRQMLV
 See NS Package Number WG14A

Schéma interne du circuit LM 324:

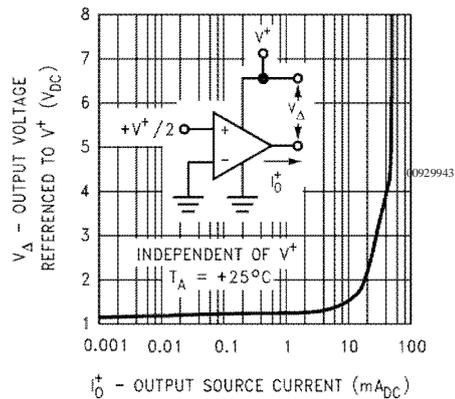
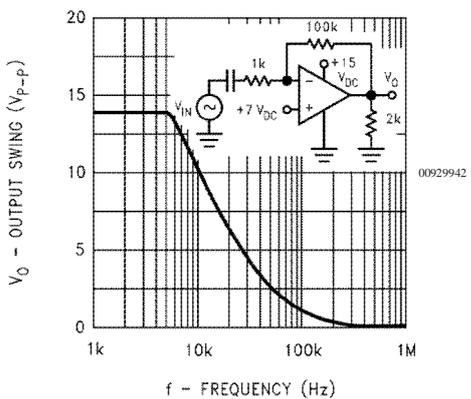
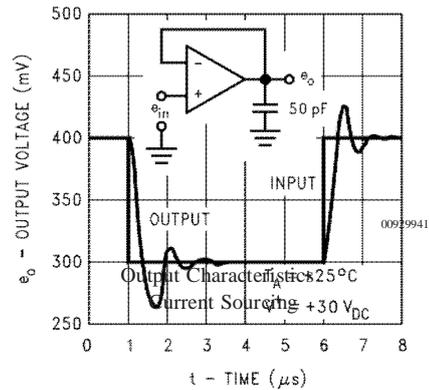
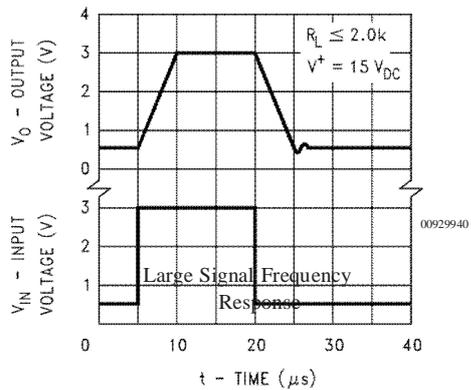
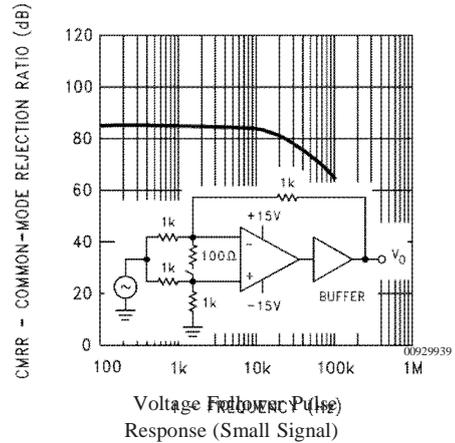


Caractéristiques typiques du circuit LM 324

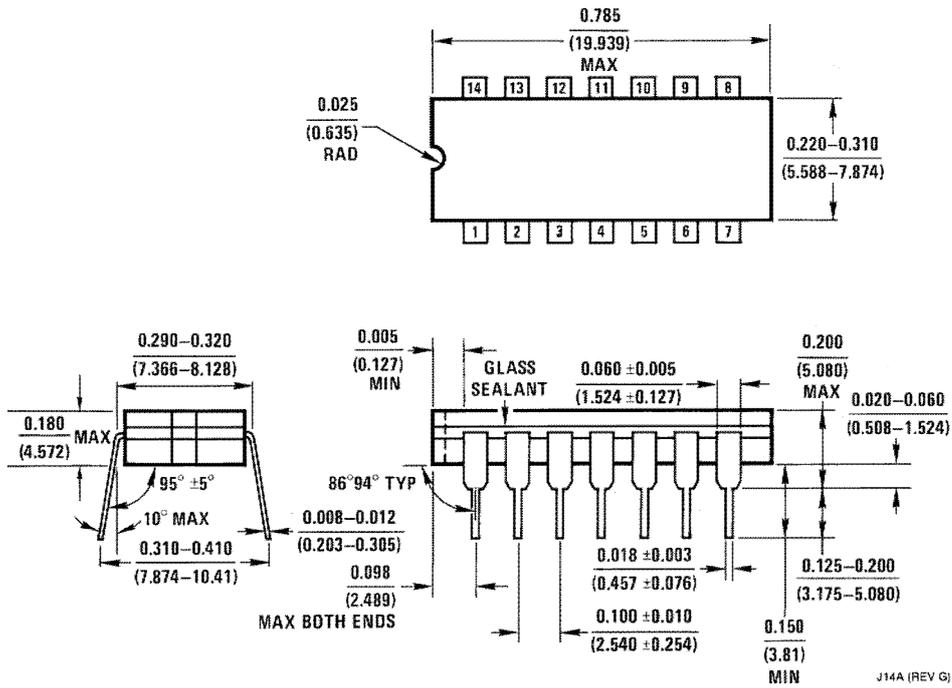
Open Loop Frequency Response



Common Mode Rejection Ratio

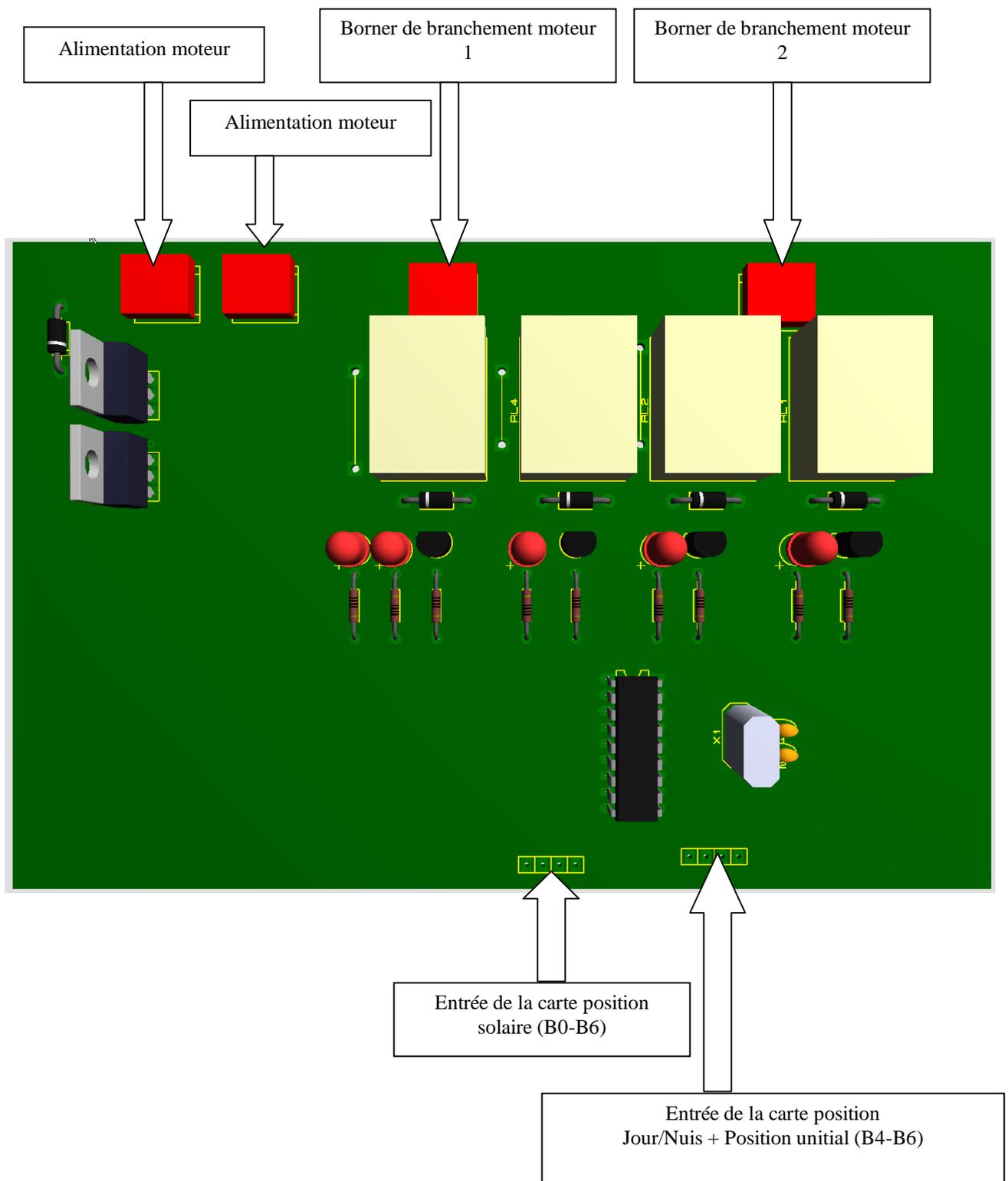


Dimensions physiques



Ceramic Dual-In-Line Package (J)
 Order Number JL124ABCA, JL124BCA, JL124ASCA, JL124SCA, LM124J,
 LM124AJ, LM124AJ/883, LM124J/883, LM224J, LM224AJ or LM324J
 NS Package Number J14A

CARTE DE COMMANDE ET DE PUISSANCE DE SYSTEME (implantation des composants)



Circuit imprimé pour la carte de commande

Coté composant

