

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :

N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies

Département des Sciences et Technologies

Projet de fin d'étude présenté en vue de l'obtention du diplôme de

**LICENCE**

**Domaine :** Sciences et Technologies

**Filière :** Génie Electrique

**Spécialité :** Maintenance en Instrumentation Industrielle

**Thème**

**Régulation de position d'un système de poursuite  
solaire utilisant un moteur a courant continu**

**Par :**

SEMAOUI Nacereddine

SAID Messaoud

**Jury :**

**M. TOUAFEK Khaled**

Maître de recherche A

URAER. Ghardaïa

**Encadreur**

**M. ....**

Maître Assistant A

Univ. Ghardaïa

**Examineur**

**Année universitaire 2012/2013**

## Dédicaces

*Je remercie avant tout **ALLAH** le tout puissant qui m'a donné les capacités physiques et intellectuelles nécessaires à la réalisation de ce projet de fin d'études.*

*Je dédie ce travail à :*

### **Mes très chers parents :**

*En témoignage de ma reconnaissance infinie pour l'amour dont ils m'ont entouré tout au long de mes études par les nombreux sacrifices qu'ils n'ont cessé de consentir, qu'ils veuillent bien trouver en ce travail l'expression de mon profond attachement.*

### **A mes sœurs et à mon frère**

*Qu'ils puissent trouver dans ce modeste mémoire l'expression de mon attachement et de ma profonde reconnaissance*

### **A mon chère ami Hocine.hm et toute l'équipe efirdaws**

*A toute ma famille et à tous mes amis qui m'ont toujours soutenue.*

*A tous ceux qui m'aiment et que je n'ai pas cités.*

**S.Nacereddine**

## Dédicaces

*Je remercie avant tout **ALLAH** le tout puissant qui m'a donné les capacités physiques et intellectuelles nécessaires à la réalisation de ce projet de fin d'études.*

*Je dédie ce travail à :*

***A ma chère mère et mon cher père***

*En lui exprimant mon amour, mon respect et vive gratitude pour leurs patiences, leurs amours et leurs prières qui sont toujours m'encouragent à la réussite tout le long de mes études que dieu les protèges.*

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

***A toute ma grande famille.***

**S.Messaoud**

## Remerciements

### « Nul ne peut échapper à son destin »

*Nous tenons à exprimer nos remerciements les plus sincères envers Monsieur GAMA Amor et Madame GAMA et Monsieur TOUAFEK Khaled, nos enseignants, pour leur encadrement, leur disponibilité, leur compréhension et leur aide précieuse.*

*Nous adressons aussi notre reconnaissance à tous ceux qui nous ont apporté leur aide précieuse.*

*Nous remercions le président et membres du jury pour bien vouloir évaluer notre travail.*

*Merci infiniment*

Nacereddine et Messaoud

## Résumé

Dans le domaine de l'énergie renouvelable le soleil est considéré comme une source importante d'énergie qu'il nous faut la capter, la transformer, la stocker... et pour l'exploitation de cette énergie on utilise des capteurs solaires afin de transformé cette énergie en énergie utilisable, mais le problème c'est que le soleil est en mouvement durant la journée et le capteur solaire doit être orientée tout le temps vers le soleil donc, c'est quoi la solution ?

Pour ça on va étudier et réaliser dans ce contexte un système qui régule automatiquement la position d'un capteur solaire par un moteur à courant continu dans le but de maximiser la quantité d'éclairage absorbée par ce capteur en suivant le mouvement du soleil pendant la journée.

Mots-clés : Capteur solaire, poursuite solaire, régulation, moteur à courant continu, énergie.

---

### ملخص

في مجال الطاقات المتجددة تعتبر الشمس مصدرا مهما للطاقة التي يمكننا أن نستقبلها، نحولها ونخزنها... ولاستغلال هذه الطاقة نستعمل لاقطات للطاقة الشمسية وهذا من أجل تحويلها إلى طاقة قابل للاستعمال، ولكن الحركة اليومية للشمس تشكل عائقا أمام الاستغلال الأمثل لهذه الطاقة، فما هو الحل؟

لذلك اقترحنا في هذا المشروع دراسة وإنجاز نظام يقوم بتعديل وضعية اللاقط الشمسي تلقائيا باتجاه الشمس وذلك باستعمال محرك ذي تيار مستمر بهدف الحصول على أكبر كمية من الطاقة المنبعثة من الشمس. بمتبعها خلال اليوم.

كلمات مفاتيح: لاقط شمسي، متتبع شمسي، تعديل، محرك ذو تيار مستمر، طاقة.

## Liste des figures

Figure 1.1 le soleil .....	15
Figure 1.2 principe de PV .....	16
Figure 1.3 L'utilisation des panneaux photovoltaïques .....	16
Figure 1.4 Chauffe-eau solaire .....	17
Figure 1.5 le concentrateur .....	17
Figure 1.6 Principales technologies de concentration solaire.....	18
Figure 1.7 l'énergie éolienne .....	18
Figure 1.8 La biomasse .....	19
Figure 1.9 L'énergie hydraulique .....	19
Figure 1.10 L'énergie géothermique.....	20
Figure 1.11 L'énergie des mers (marine) .....	20
Figure 1.12 le potentiel global de l'exploitation des énergies renouvelables.....	22
Figure 2.1 Le soleil .....	25
Figure 2.2 Répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère.....	26
Figure 2.3 Schématisation des mouvements de La terre autour du Soleil.....	27
Figure 2.4 Mouvement apparent du Soleil observé d'un point de latitude L .....	28
Figure 2.5 Repérage de la position du Soleil.....	28
Figure 2.6 Composantes du rayonnement incident sur un capteur .....	32
Figure 2.7 Spectre du rayonnement solaire global, direct et diffus. ....	36
Figure 3.1 schéma bloc de la carte.....	39
Figure 3.2 Schémas électrique sur le programme de simulation ISIS .....	41
Figure 3.3 la réalisation pratique du circuit sur la carte d'essai.....	42
Figure 3.4 Schéma de routage la carte réalisé (par ISIS) .....	43
Figure 3.5 Une vue trois dimension « 3D » de la carte réalise .....	43
Figure 3.6 Schéma bloc du système.....	44
Figure 3.7 Von Neumann .....	46
Figure 3.8 Harvard.....	46
Figure 3.9 Structure d'un PIC .....	49
Figure 3.10 Schéma interne de PIC16f877A.....	50
Figure 3.11 Schéma des pins .....	51
Figure 3.12 Table de description des pins de PIC16f877A.....	54
Figure 3.13 Suite de table de description des pins de PIC16f877A.....	55
Figure 3.14 ULN2003A (vue au dessus).....	56
Figure 3.15 Schéma logique u ULN2003A.....	57
Figure 3.16 Schématisation d'une paire de Darlington pour (ULN2003A) .....	57
Figure 3.17 Schéma d'un relais électromécanique.....	58
Figure 3.18 quelque exemple des relais .....	58
Figure 3.19 Composition d'un relai électromécanique.....	59
Figure 3.20 Brochages d'un relais.....	59
Figure 3.21 Capteur LDR.....	60
Figure 3.22 les dimensions de l'afficheur LCD .....	61
Figure 3.23 Afficheur LCD 4X20.....	61
Figure 3.24 Afficheur LCD 2X16.....	62

Figure 3.25 Moteur à aimant permanent .....	63
Figure 3.26 Le système balais-collecteurs.....	63
Figure 3.27 moteurs à excitation indépendante. ....	64
Figure 3.28 moteurs à excitation parallèle.....	64
Figure 3.29 moteurs à excitation série.....	64
Figure 3.30 moteurs à excitation composée. ....	65
Figure 3.31 L'inducteur d'un moteur .....	65
Figure 3.32 L'induit d'un moteur .....	66
Figure 3.33 Composition de l'induit.....	67
Figure 3.34 L'ensemble balais, porte-balais et collecteur.....	67
Figure 3.35 Montage des deux LDRs.....	68
Figure 3.36 les deux LDRs sont monté en série et séparer par une barrière.....	68
Figure 3.37 l'algorithme de système de poursuite.....	69
Figure 3.38 L'interface de programme de simulation ISIS Proteus .....	73
Figure 3.39 La tension V mesuré .....	73
Figure 3.40 l'affichage pour poursuite arrêté .....	74
Figure 3.41 Le moteur en repos .....	74
Figure 3.42 l'affichage pour poursuite en marche(tourne à gauche).....	74
Figure 3.43 Le moteur tourne à gauche.....	74
Figure 3.44 l'affichage pour poursuite en marche(tourne à droite).....	75
Figure 3.45 Le moteur tourne à droite .....	75

## Liste des tableaux

Tableau 4.1 Avantages et inconvénients.....	46
Tableau 4.2 Caractéristiques des PIC16F87XA.....	52
Tableau 4.3 Les PINs de l'afficheur.....	62

## Liste des abréviations

LDR	Light Dependent Resistor
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
RISC	Reduce Instructions Construction Set
CISC	Complex Instructions Construction Set

# Sommaire

<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>13</b>
<b>1. CHAPITRE 1 : L'ENERGIE RENOUVELABLE</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1. INTRODUCTION</b> .....	<b>15</b>
<b>1.2. L'ENERGIE SOLAIRE</b> .....	<b>15</b>
1.2.1. Cellules photovoltaïques.....	15
1.2.1.1. Principe.....	15
<b>1.3. L'ENERGIE EOLIENNE</b> .....	<b>18</b>
<b>1.4. LA BIOMASSE</b> .....	<b>19</b>
<b>1.5. L'ENERGIE HYDRAULIQUE</b> .....	<b>19</b>
<b>1.6. L'ENERGIE GEOTHERMIQUE</b> .....	<b>20</b>
<b>1.7. L'ENERGIE DES MERS OU ENERGIE MARINE</b> .....	<b>20</b>
<b>1.8. POURQUOI SONT-ELLES INDISPENSABLES ?</b> .....	<b>21</b>
<b>1.9. QU'EST-CE QUI NOUS EMPECHE DE PLUS UTILISER LES SOURCES D'ENERGIE RENOUVELABLES ?</b> .....	<b>21</b>
<b>1.10. UN ŒIL SUR L'AVENIR</b> .....	<b>23</b>
<b>1.11. CONCLUSION</b> .....	<b>23</b>
<b>2. CHAPITRE 2 : LE GISEMENT SOLAIRE</b> .....	<b>25</b>
<b>2.1. INTRODUCTION</b> .....	<b>25</b>
<b>2.2. ASPECTS GEOMETRIQUES</b> .....	<b>26</b>
2.2.1. Mouvement de la terre.....	26
2.2.2. Mouvement apparent du Soleil.....	27
<b>2.3. L'IRRADIATION SOLAIRE HORS ATMOSPHERE</b> .....	<b>29</b>
2.3.1. Irradiation globale journalière hors atmosphère.....	30
2.3.2. Irradiation globale hors atmosphère .....	30

<b>2.4. L'ENSOLEILLEMENT .....</b>	<b>30</b>
<b>2.5. RAYONNEMENT SOLAIRE AU SOL.....</b>	<b>31</b>
2.5.1. Rayonnement direct.....	33
2.5.2. Rayonnement diffus.....	35
<b>2.6. ANGLE D'INCIDENCE SUR UN PLAN QUELCONQUE.....</b>	<b>35</b>
<b>3. CHAPITRE 3 : ETUDE ET REALISATION D'UNE CARTE ELECTRONIQUE DE REGULATION DE POSITION D'UN SYSTEME DE CONVERSION SOLAIRE .....</b>	<b>38</b>
<b>3.1. INTRODUCTION.....</b>	<b>38</b>
<b>3.2. LES SYSTEMES DE POURSUITE SOLAIRE.....</b>	<b>38</b>
3.2.1. Différents types .....	38
<b>3.3. PROBLEMATIQUE ET SOLUTIONS PROPOSEES.....</b>	<b>39</b>
<b>3.4. CONCEPTION DE LA CARTE .....</b>	<b>39</b>
<b>3.5. SCHEMA ELECTRIQUE.....</b>	<b>40</b>
<b>3.6. LISTE DES COMPOSANTS .....</b>	<b>44</b>
<b>3.7. DEFINITION DES COMPOSANTS .....</b>	<b>44</b>
3.7.1. un PIC16f877A .....	44
3.7.1.1. Qu'est ce qu'un PIC ? .....	44
3.7.1.2. Les différentes familles des PICs : .....	45
3.7.1.3. Aspects Architecturaux des PICs : .....	46
3.7.1.4. Structure interne d'un PIC.....	47
3.7.1.5. Schémas interne de microcontrôleurs PIC (ex. PIC16f877A) [] .....	49
3.7.1.6. Le schéma des pins .....	51
3.7.1.7. Caractéristiques de PIC16f877A .....	52
3.7.1.8. Description des pins de PIC16f877A .....	54
3.7.1.9. Le choix d'un PIC.....	55
3.7.2. ULN2003A.....	56
3.7.3. Les relais électromécanique .....	57
3.7.3.1. Définition.....	57
3.7.3.2. Brochages de relais électromécaniques.....	59
3.7.4. Capteur LDR (photorésistance).....	60
3.7.4.1. Principe de fonctionnement.....	60
3.7.5. Afficheur LCD.....	61
3.7.5.1. Les dimensions de l'afficheur LCD .....	61
3.7.5.2. Les Brochages de l'afficheur.....	62
3.7.6. Un moteur à courant continu .....	62
3.7.6.1. Principe de fonctionnement.....	62
3.7.6.2. Machine réversible .....	64

3.7.6.3.	Type de moteur à courant continu .....	64
3.7.6.4.	L'inducteur .....	65
3.7.6.5.	L'induit .....	66
3.7.6.6.	Les balais .....	67
<b>3.8.</b>	<b>L'ALGORITHME.....</b>	<b>67</b>
<b>3.9.</b>	<b>LE PROGRAMME DE MICROCONTROLEUR.....</b>	<b>70</b>
<b>3.10.</b>	<b>SIMULATION NUMERIQUE.....</b>	<b>72</b>
	<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>76</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>77</b>

## 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 équivalent pétrole). Cette valeur est à comparer aux 9,58 milliards de TEP que représente la consommation annuelle mondiale en énergie primaire (1998). L'énergie solaire est composée du solaire thermique et du solaire photovoltaïque, et pour maximiser la quantité d'éclairement absorbé par ces capteurs, on utilise un système de poursuite solaire pour suivre le mouvement du soleil pendant la journée.

Notre rapport est organisé de la manière suivante :

Le premier chapitre concerne l'état de l'art de l'énergie renouvelable et les différentes technologies utilisées (photovoltaïque, Eolien,...etc.)

Le second chapitre porte sur le rayonnement solaire et les différents types de rayonnement solaire.

Le troisième chapitre porte sur la poursuite solaire : leurs objectifs et leurs types et l'étude et réalisation d'une carte électronique de régulation de poursuite d'un système de conversion solaire.

# Chapitre 1:

## L'énergie renouvelable

## Chapitre 1 : L'énergie renouvelable

### 1.1. Introduction

Comme leur nom l'indique, il s'agit de sources qui se renouvellent et ne s'épuiseront donc jamais à l'échelle du temps humain ! Les sources non renouvelables sont les énergies fossiles comme le pétrole, le charbon et le gaz dont les gisements limités peuvent être épuisés. Les sources renouvelables sont l'énergie solaire, éolienne, hydraulique, géothermique, marine et la biomasse.

### 1.2. L'énergie solaire

Ce terme désigne l'énergie fournie par les rayons du soleil. Le soleil est la source d'énergie la plus puissante et cette énergie est gratuite, il n'y a qu'à l'exploiter ! Les technologies sont réparties entre actives et passives. Les technologies actives transforment l'énergie solaire en une forme électrique ou thermique que nous pouvons utiliser directement, c'est le cas des cellules photovoltaïques.



Figure 1.1 le soleil

#### 1.2.1. Cellules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques transforment la lumière du soleil directement en énergie électrique (voir Figure 1.1) elles sont formées de fines lamelles d'un matériau semi-conducteur, qui transforment directement le rayonnement solaire en électricité.

Les panneaux sont constitués de plusieurs modules. Un module regroupe plusieurs cellules photovoltaïques entre elles.

##### 1.2.1.1. Principe

Des photons d'énergie suffisante sont absorbés dans la zone N et provoquent la création d'un pair électron - trou au voisinage de la jonction « métallurgique ».

Sous l'effet du champ électrique interne à la cellule, les porteurs créés sont attirés vers les extrémités opposées de la jonction.

Les électrons sont collectés sur la cathode (zone N éclairée), alors que les trous sont collectés sur l'anode (zone P) (voir Figure 1.2)

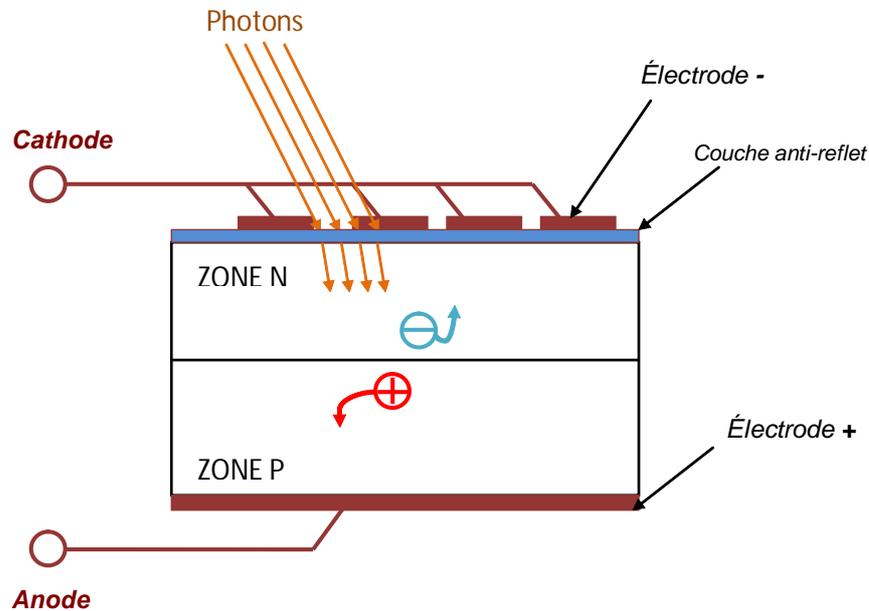


Figure 1.2 principe de PV



Figure 1.3 L'utilisation des panneaux photovoltaïques

Il y a parmi les technologies d'énergie solaire les collecteurs solaires qui permettent de chauffer l'eau des maisons, du chauffage et du refroidissement solaire (voir Figure 1.4), des concentrateurs solaires qui utilisent des miroirs pour concentrer les rayons du soleil et générer une chaleur intense, transformant l'eau en vapeur et produisant de l'électricité grâce à certaines machines, et même des fours solaires (voir Figure 1.5). Les technologies passives consistent à bien orienter les bâtiments

par rapport au soleil ou à utiliser des matériaux spéciaux et des modèles architecturaux qui permettent d'exploiter l'énergie solaire.

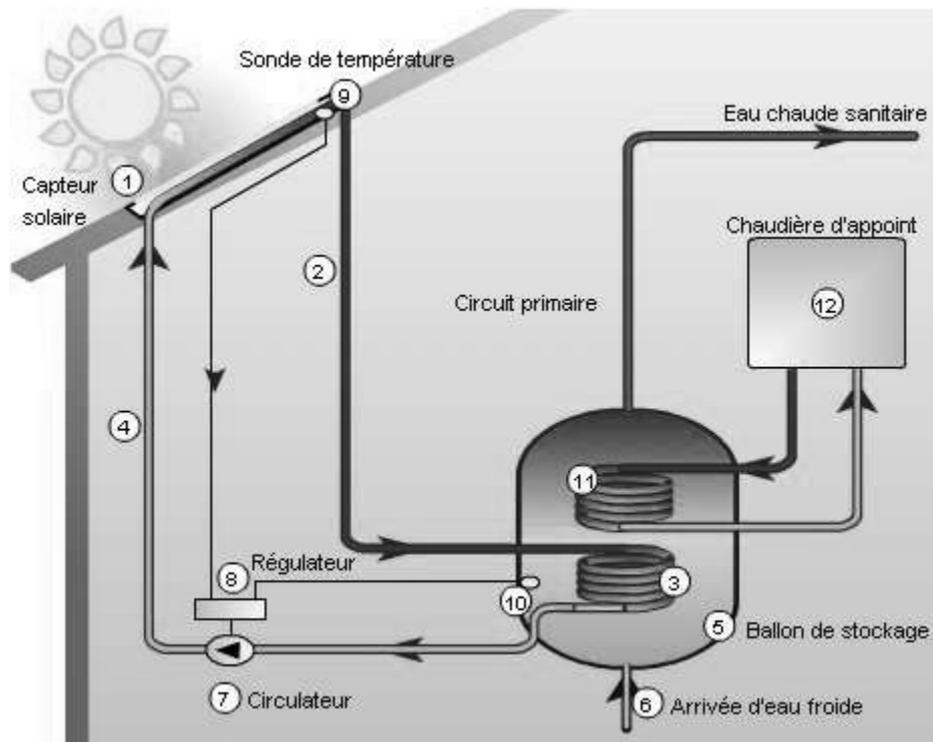


Figure 1.4 Chauffe-eau solaire

Le capteur solaire (1) permet de réchauffer un fluide caloporteur (4) et (2), qui est envoyé à un échangeur (3) placé dans le ballon de stockage (5). Selon la disposition, la circulation est forcée par une électrovane (7), ou bien peut fonctionner en thermosiphon. La gestion de la circulation de fluide est assurée par un régulateur (8), servi par diverses sondes de température (9) et (10). Afin de pallier à un déficit d'ensoleillement durable, on peut incorporer une chaudière d'appoint (12), associée à un second échangeur (11).



Figure 1.5 le concentrateur

La production d'électricité à partir du rayonnement solaire est un processus direct. L'énergie solaire étant peu dense, il est nécessaire de la concentrer pour obtenir des températures exploitables pour la

production d'électricité. Le rayonnement est concentré en un point ou en une ligne, où l'énergie thermique est transmise au fluide caloporteur. L'intensité de la concentration est définie par le facteur de concentration. Plus celui-ci est élevé, plus la température atteinte sera importante.

La (Figure 1.6) montre les 4 principaux systèmes de concentration. Les systèmes à concentration en ligne on généralement un facteur de concentration inférieur à ceux des concentrateurs ponctuels [1].

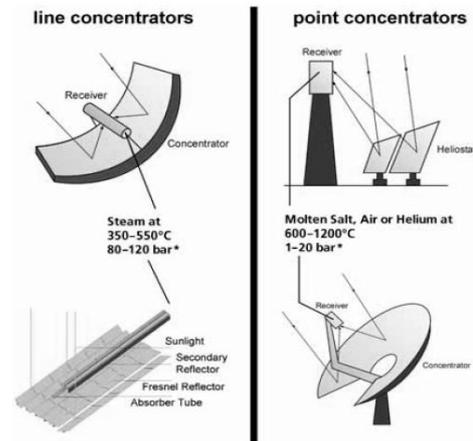


Figure 1.6 Principales technologies de concentration solaire

### 1.3. L'énergie éolienne

La force éolienne est connue et exploitée depuis des milliers d'années au travers des moulins à vent et de la navigation, par exemple. Aujourd'hui, nous pouvons exploiter cette énergie à l'aide d'hélices spéciales qui emmagasinent le vent et de machines qui le transforment en énergie électrique. Les éoliennes sont installées sur terre et en mer dans des endroits où le vent atteint une vitesse élevée et constante.



Figure 1.7 l'énergie éolienne

### 1.4. La biomasse

L'utilisation de la biomasse remonte au temps où l'homme découvrait le feu et se servait encore du bois pour se chauffer et cuire ses aliments ! Il s'agit de l'énergie contenue dans les plantes et les matières organiques. La biomasse des plantes provient du soleil, quand la plante, grâce à la photosynthèse, absorbe l'énergie solaire. Ensuite, les animaux absorbent à leur tour ces plantes !

La biomasse provient de divers secteurs et matières comme le bois, les récoltes (cultivées spécialement pour la production d'énergie [2]), les résidus agricoles et forestiers, les déchets alimentaires et les matières organiques issues des déchets municipaux et industriels. Il existe toute une variété de technologies pour convertir l'énergie de la biomasse en une forme réutilisable. Ces technologies changent l'énergie en formes utilisables directement (chaleur ou électricité) ou en d'autres formes telles que le biocarburant ou le biogaz.



Figure 1.8 La biomasse

### 1.5. L'énergie hydraulique

L'eau est également une source renouvelable puisqu'elle se régénère grâce au cycle d'évaporation et des précipitations. Sa force est connue et exploitée depuis des milliers d'années au travers des barrages, des moulins à eau et des systèmes d'irrigation. Plusieurs technologies permettent d'exploiter l'énergie produite par la chute ou le mouvement de l'eau. Les roues à aubes peuvent la transformer directement en énergie mécanique (moulin à eau), tandis que les turbines et les générateurs électriques la transforment en électricité.



Figure 1.9 L'énergie hydraulique

### 1.6. L'énergie géothermique

L'énergie géothermique désigne l'énergie créée et emmagasinée dans La terre sous forme thermique.

Elle est parfois libérée à la surface par des volcans ou des geysers, mais elle peut aussi être accessible à tout moment, comme dans les sources d'eau chaude. La géothermie peut servir à produire de l'électricité ou à chauffer et refroidir. L'énergie est extraite de réservoirs souterrains enfouis très profondément et accessibles grâce au forage, ou de réservoirs plus proches de la surface. L'énergie géothermique peut également être employée dans un but domestique, grâce aux petites pompes à chaleur, par exemple.

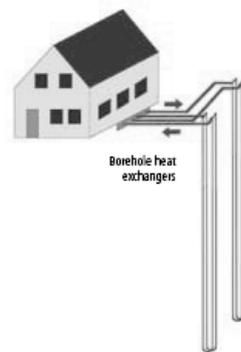


Figure 1.10 L'énergie géothermique

### 1.7. L'énergie des mers ou énergie marine

C'est une énergie renouvelable très peu exploitée jusqu'ici. Elle désigne l'énergie produite par les vagues et les marées, ainsi que l'énergie thermique de l'océan chauffé par les rayons du soleil. Les océans, qui couvrent presque 70 % de la surface du globe, pourraient constituer la source d'énergie renouvelable du futur, même si, pour l'instant, leur exploitation pour produire de l'électricité n'est pas rentable.

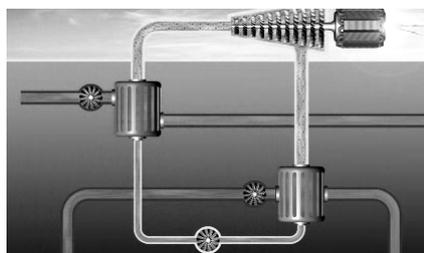


Figure 1.11 L'énergie des mers (marine)

### **1.8. Pourquoi sont-elles indispensables ?**

Pour de nombreuses raisons. Tout d'abord, si nous ne développons pas leur utilisation, les réserves en énergies fossiles s'épuiseront, puisqu'elles ne sont pas renouvelables ! L'énergie non renouvelable est responsable de l'effet de serre à l'origine du réchauffement climatique qui menace notre planète et les générations futures. N'oublions pas non plus que le pétrole et le gaz sont, la plupart du temps, des produits importés par l'Union européenne. En augmentant l'utilisation des sources d'énergie renouvelables, nous renforçons aussi la sécurité de l'approvisionnement en énergie de l'UE ! Enfin, on prévoit la création de centaines de milliers de postes dans le secteur des énergies renouvelables dans les années à venir, ce qui devrait faire baisser le chômage, notamment chez les jeunes.

### **1.9. Qu'est-ce qui nous empêche de plus utiliser les sources d'énergie renouvelables ?**

La principale raison est que, jusqu'à récemment, les coûts de production de ces énergies étaient beaucoup plus élevés que ceux des énergies fossiles. De plus, les sources d'énergie renouvelables ne sont pas constantes : imaginez par exemple que le vent tombe soudainement ou que des nuages couvrent le soleil. Une exploitation optimale de ces sources nécessiterait également la construction d'installations dans des zones reculées, dont le raccordement au réseau principal serait à la fois coûteux et difficile.

Toutefois, la situation évolue rapidement. Des politiques mises en place ont contribué à faire grimper la demande en sources d'énergie renouvelables dans le monde, entraînant une diminution rapide de leurs coûts de production. Vu l'augmentation du prix du gaz et du pétrole ces dernières années et les initiatives prises par les gouvernements, il ne fait aucun doute que les sources d'énergie renouvelables ont un bel avenir devant elles.

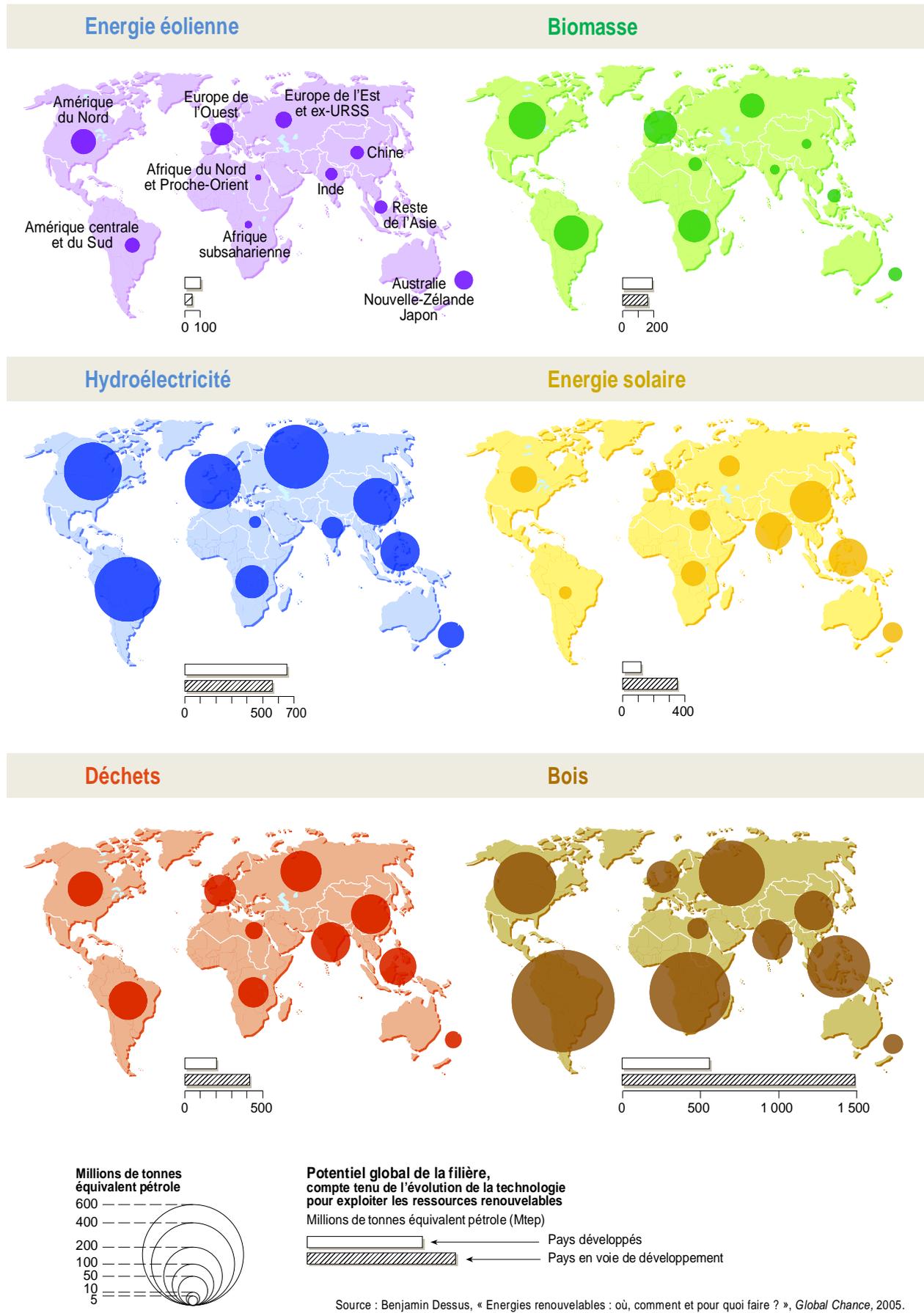


Figure 1.12 le potentiel global de l'exploitation des énergies renouvelables

### 1.10. Un œil sur l'avenir

Ne serait-il pas fascinant de répondre à tous nos besoins énergétiques grâce aux sources d'énergie renouvelables ? Une chose est sûre : nous avons la technologie et la volonté pour le faire. En fait, cet objectif n'est peut-être pas si éloigné qu'il y paraît ! La Feuille de route pour l'énergie à l'horizon 2050 [3] indique que « La part des sources d'énergie renouvelables (SER) augmente considérablement dans tous les scénarios, pour atteindre 55 % de la consommation énergétique finale brute en 2050. La part des SER dans la consommation d'électricité atteint 64 % dans le scénario "haute efficacité énergétique" et 97 % dans le scénario "part élevée de SER", qui prévoit un important stockage d'électricité pour absorber les variations dans l'approvisionnement en provenance des SER même lorsque la demande est faible. »

Plusieurs autres associations et gouvernements soutiennent que l'objectif d'une énergie provenant entièrement des sources d'énergie renouvelables peut être atteint dans les prochaines décennies [4] [5].

### 1.11. Conclusion

Le principal problème reste le stockage de l'électricité généré par les différentes technologies, un point délicat. Étant donné que l'énergie des sources renouvelables n'est pas constante et qu'on ne peut pas la contrôler, nous devons pouvoir stocker l'énergie électrique produite quand les SER sont disponibles pour l'utiliser quand elles ne le sont pas. Cela est rendu possible grâce à des technologies de pointe comme les systèmes de stockage d'énergie avec supraconducteurs [6], les supercondensateurs [7], le stockage d'hydrogène [8], le stockage par air comprimé [9], les centrales hybrides faisant appel aux énergies renouvelables et le stockage par pompe hydraulique [10], pour n'en citer que quelques-unes. Est-ce la solution pour atteindre 100 % d'utilisation de SER ? Cela reste à voir.

## Chapitre 2

### Le gisement solaire

## Chapitre 2 : Le gisement solaire

### 2.1. Introduction

Le soleil est une sphère gazeuse composée presque totalement d'hydrogène. Son diamètre est de 1391000 km (100 fois celui de la terre), sa masse est de l'ordre de  $2.E+27$  tonnes.

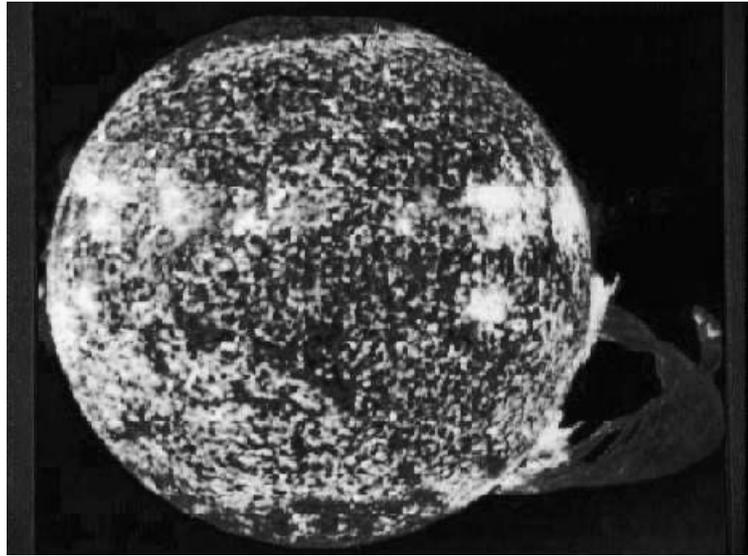


Figure 2.1 Le soleil

Toute l'énergie du Soleil provient de réactions thermonucléaires qui s'y produisent. Elles transforment à chaque seconde 564.106 tonnes d'hydrogène en 560.106 tonnes d'Hélium, la différence de 4 millions de tonnes est dissipée sous forme d'énergie ( $E = mc^2$ ), ce qui représente une énergie totale de  $36.E+22$  kW.

La terre étant à une distance de  $150.106$  km du Soleil, elle reçoit une énergie de  $1,8.E+17$  W. La valeur du flux de rayonnement solaire  $E$  reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (soit à environ 80 km d'altitude) varie au cours de l'année avec la distance Terre/Soleil. Sa valeur moyenne  $E_0$  est appelée la constante solaire, elle vaut  $E_0 = 1353$  W.m<sup>-2</sup>.

En première approximation, on peut calculer la valeur de  $E$  en fonction du numéro du jour de l'année  $j$  par :

$$E = E_0[1 + 0.033\cos(0.984j)] \quad \text{Équation 1}$$

On trouvera sur la (Figure 2.2) la répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère.

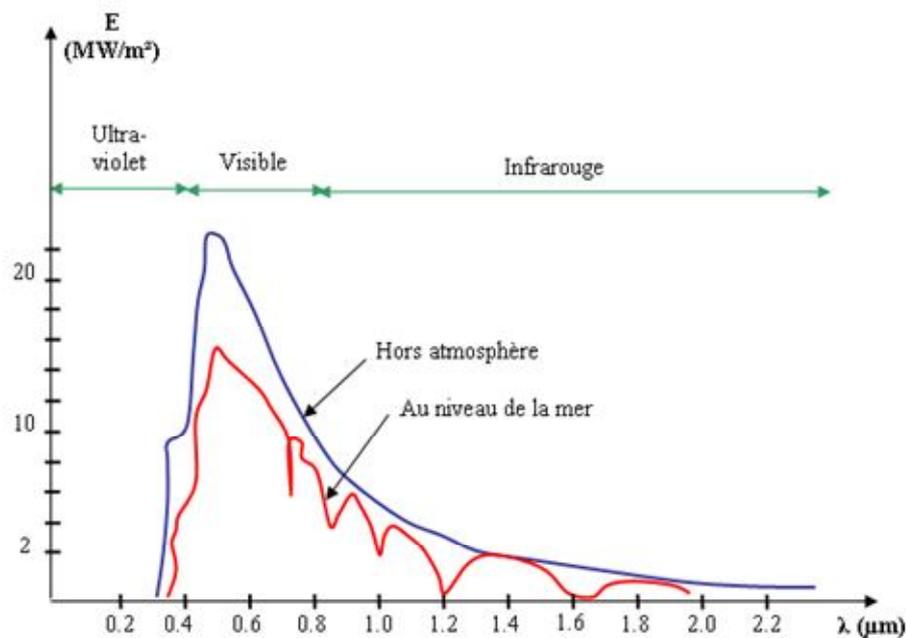


Figure 2.2 Répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère.

On notera que 98% du rayonnement solaire est émis dans des longueurs d'onde inférieures à  $4\mu\text{m}$ . En première approximation, le rayonnement solaire peut être assimilé au rayonnement d'un corps noir à une température de  $5777\text{ K}$ .

## 2.2. Aspects géométriques

Nous allons nous intéresser ici aux aspects géométriques du rayonnement solaire intercepté par La terre dans le but ultérieur de calculer le flux reçu par un plan incliné placé à la surface de La terre et orienté dans une direction fixée. La connaissance de ce flux est la base du dimensionnement de tout système solaire.

### 2.2.1. Mouvement de la terre

La trajectoire de La terre autour du Soleil est une ellipse dont le Soleil est l'un des foyers. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique.

L'excentricité de cette ellipse est faible ce qui fait que la distance Terre/Soleil ne varie que de  $\pm 1,7\%$  par rapport à la distance moyenne qui est de  $149\,675\,106\text{ km}$ .

La terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Le plan perpendiculaire à l'axe des pôles et passant par le centre de La terre est appelé l'équateur. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique : l'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé inclinaison et qui vaut  $23^{\circ}27'$ .

Les mouvements de La terre autour de son axe et autour du Soleil sont schématisés sur la (Figure 2.3 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

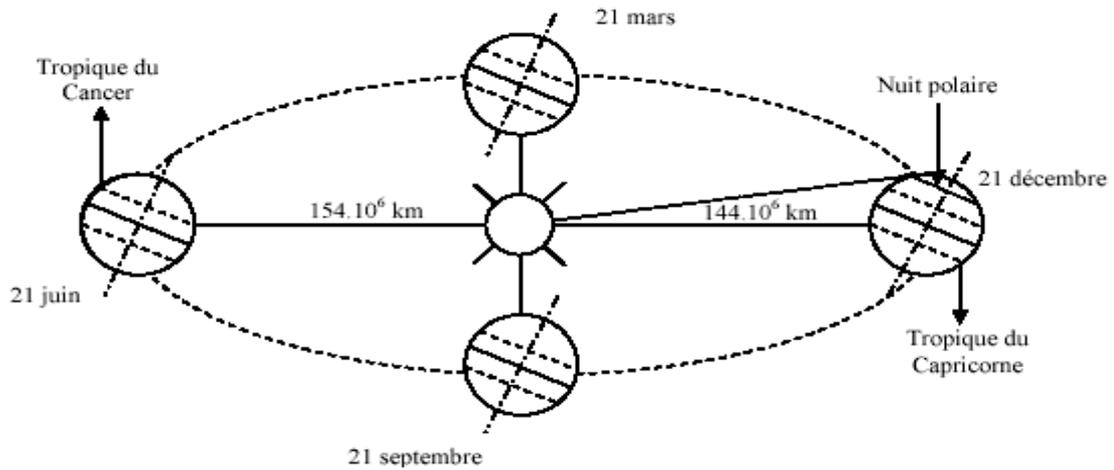


Figure 2.3 Schématisation des mouvements de La terre autour du Soleil

On appelle déclinaison  $\delta$  l'angle formé par la direction du Soleil avec le plan équatorial. Elle varie au cours de l'année entre  $-23,45^\circ$  et  $+23,45^\circ$ . Elle est nulle aux équinoxes (21 mars et 21 septembre), maximale au solstice d'été (21 juin) et minimale au solstice d'hiver (21 décembre). La valeur de la déclinaison peut être calculée par la relation :

$$\delta = 23.45^\circ \sin[0.980^\circ(j + 284)] \quad \text{Équation 2}$$

Où  $j$  est le numéro du jour de l'année.

### 2.2.2. Mouvement apparent du Soleil

Le mouvement apparent du Soleil vu par un observateur fixe en un point de latitude  $L$  au nord de l'équateur est représenté sur la (Figure 2.3).

Au midi solaire, l'angle que fait la direction du Soleil avec la verticale du lieu est égal à  $(L - d)$ . La durée du jour est de 12h aux équinoxes, elle est inférieure à 12h entre le 21 septembre et le 21 mars, supérieure à 12h entre le 21 mars et le 21 septembre.

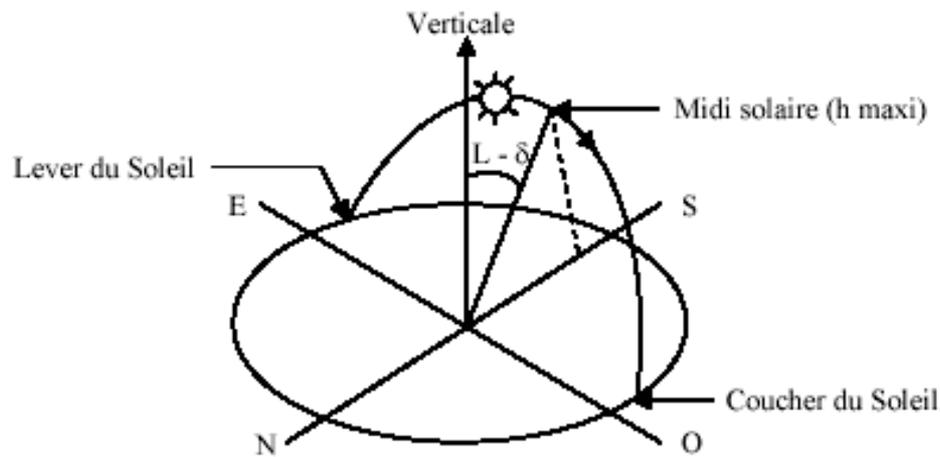


Figure 2.4 Mouvement apparent du Soleil observé d'un point de latitude  $L$

Le repérage du Soleil s'effectue par l'intermédiaire de deux angles :

- L'azimut  $a$  : c'est l'angle que fait la direction de la projection du Soleil sur le plan horizontal avec la direction Sud, cet angle étant orienté positivement vers l'Ouest.
- La hauteur  $h$  du Soleil : c'est l'angle que fait la direction du Soleil avec sa projection sur un plan horizontal.

Ces deux angles sont représentés sur la (Figure 2.5).

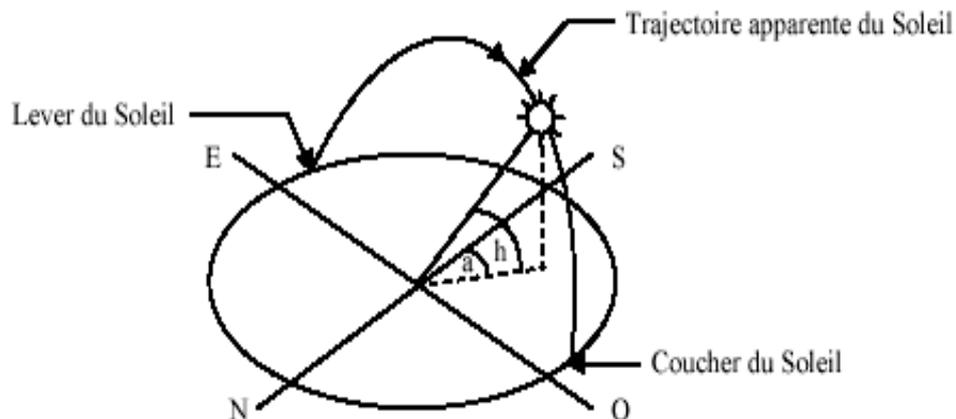


Figure 2.5 Repérage de la position du Soleil.

Ces deux angles sont en fonction de :

- La latitude  $L$  du lieu
- La date  $j$  (numéro du jour de l'année)
- L'heure solaire  $TS$  dans la journée.

La latitude  $L$  et la date  $j$  servent à déterminer la trajectoire du Soleil dans le ciel et l'heure  $TS$  donne ma position instantanée sur cette trajectoire.

On définit le jour comme le temps mis par La terre pour effectuer un tour sur elle-même. Un jour a été divisé en 24h et on a défini l'heure solaire TS en fixant  $TS = 12h$  lorsque la hauteur du Soleil est maximale (le Soleil est à son « zénith »).

On définit également l'angle horaire  $\omega$  par :

$$\omega = 15^\circ(TS - 12) \quad \text{Équation 3}$$

$\omega$  est compté positivement l'après-midi.

La hauteur  $h$  du Soleil peut alors se déduire de la relation :

$$\sin(h) = \sin(L)\sin(\delta) + \cos(L)\cos(\omega) \quad \text{Équation 4}$$

Et l'azimut  $a$  par la relation :

$$\sin(a) = \frac{\cos(\delta)\sin(\omega)}{\cos(h)} \quad \text{Équation 5}$$

### 2.3. L'irradiation solaire hors atmosphère

L'énergie solaire reçue par unité de temps à la limite supérieure de l'atmosphère, sur une surface unité perpendiculaire aux rayons solaires et pour une distance Terre-Soleil égale à sa valeur moyenne, est appelée la constante solaire. La constante solaire a été estimée à  $1367 \text{ W.m}^{-2}$  par Claus Fröhlich et Christoph Wehrli du Centre radiométrique mondial de Davos (Suisse), essentiellement d'après des résultats de mesures faites entre 1969 et 1980 (Fröhlich, 1978) : sept séries de mesures effectuées par des radiomètres installés sur des fusées ou des ballons stratosphériques (dont des ballons français) et une série de mesures effectuées par un radiomètre embarqué sur un satellite. Cette valeur de la constante solaire a été adoptée par la Commission des instruments et des méthodes d'observation (CIMO) de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) en octobre 1981.

Le flux solaire d'un plan horizontal en dehors de l'atmosphère pour un site de hauteur  $h$  du soleil est défini comme étant la projection du flux normal sur ce plan horizontal :

$$I_{0,h} = I_{0,c} \cdot \sin(h) \quad \text{Équation 6}$$

Le flux solaire incident sur un plan d'inclinaison  $\beta$  (avec  $\beta = 90^\circ$  pour un plan horizontal) et d'orientation  $\alpha$  (avec  $\alpha = 0$  pour un plan orienté vers le sud). Est donné par :

$$I_\beta = I_{o,c} \cdot \cos i \quad \text{Équation 7}$$

$$\cos i = A \cdot \sin h + B \cdot \cos h + C \quad \text{Équation 8}$$

Avec :

$$A=A'. \cos d$$

$$A'=\sin \alpha \cos \beta$$

$$B=B'. \cos d$$

$$B'=\cos \alpha \cos \beta \sin \varphi + \sin \beta \cos \varphi$$

$$C=C'. \sin d$$

$$C'=-\cos \alpha \cos \beta \cos \varphi + \sin \beta \sin \varphi$$

### 2.3.1. Irradiation globale journalière hors atmosphère

L'irradiation globale journalière  $G_0(j)$  sur une surface horizontale s'obtient en intégrant la relation

(..... Équation 6)

$$G_0(j) = \int_{\text{lever}}^{\text{coucher}} I_{o,c} \cdot \sin(h) \cdot dt \quad \text{Équation 9}$$

$$G_0 = \frac{24 \cdot 365}{\pi} \cdot I_{o,c} \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(d) \cdot \left[ \sin(AH_l(j)) - \frac{\pi \cdot AH_l(j)}{180} \cdot \cos(AH_l(j)) \right] \quad \text{Équation 10}$$

Avec :

$$1 \leq j \leq 365 \text{ jours}$$

$AH_l(j)$  qui est exprimé en degré désigne l'angle horaire au lever du soleil, il vaut :

$$AH_l(j) = a \cdot \cos[-\tan(\phi) \cdot \tan(d(j))] \quad \text{Équation 11}$$

$G_0(j)$  est une énergie exprimée en (joules/m<sup>2</sup>)

### 2.3.2. Irradiation globale hors atmosphère

L'irradiation  $dI_{o,h}$  reçue sur une surface horizontale durant le temps  $dt$  est :

$$dI_{o,h} = I_{o,c} \cdot \sin(h) \cdot dt \quad \text{Équation 12}$$

L'irradiation globale horaire hors atmosphère relative à l'heure  $h$  et au jour  $j$  est donnée par :

$$G_0(h, j) = I_{oc} \left[ A + B \frac{24}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{24}\right) \cos(AH_h) \right] \quad \text{Équation 13}$$

$AH_h$  : angle horaire centré autour de l'heure  $h$ .

## 2.4. L'ensoleillement

Selon les conditions atmosphériques, le ciel peut être plus ou moins couvert de nuages au cours d'une journée.

Ceux-ci occultent le Soleil, totalement ou partiellement, empêchant ainsi le rayonnement d'atteindre directement le sol. On dit que la nébulosité est plus ou moins importante selon qu'il y a beaucoup ou peu de nuages.

On appelle durée effective d'ensoleillement ou insolation  $SS$  le temps pendant lequel, au cours d'une journée, le rayonnement solaire direct a atteint le sol du lieu considéré. On appelle rayonnement direct le rayonnement qui atteint la surface terrestre sans avoir subi de déviation depuis son émission par le Soleil.

Par ciel clair sans nuages, le sol reçoit le rayonnement solaire direct pendant toute la durée du jour, ou plus précisément pendant la durée maximale d'ensoleillement  $SS_0$ . On appelle taux d'ensoleillement ou taux d'insolation le rapport entre la durée effective et la durée maximale d'ensoleillement. :

$$\sigma = \frac{SS}{SS_0} \quad \text{Équation 14}$$

La durée maximale d'ensoleillement  $SS_0$  pour un site dégagé peut être prise égale à la durée du jour.

### 2.5. Rayonnement solaire au sol

Comme nous l'avons évoqué précédemment, l'atmosphère ne transmet pas au sol la totalité du rayonnement solaire qu'elle reçoit :

- Le rayonnement direct est celui qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications.
- Le rayonnement diffus est la part du rayonnement solaire diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère. Il n'a pas de direction privilégiée.
- Le rayonnement global est la somme du rayonnement direct et diffus.

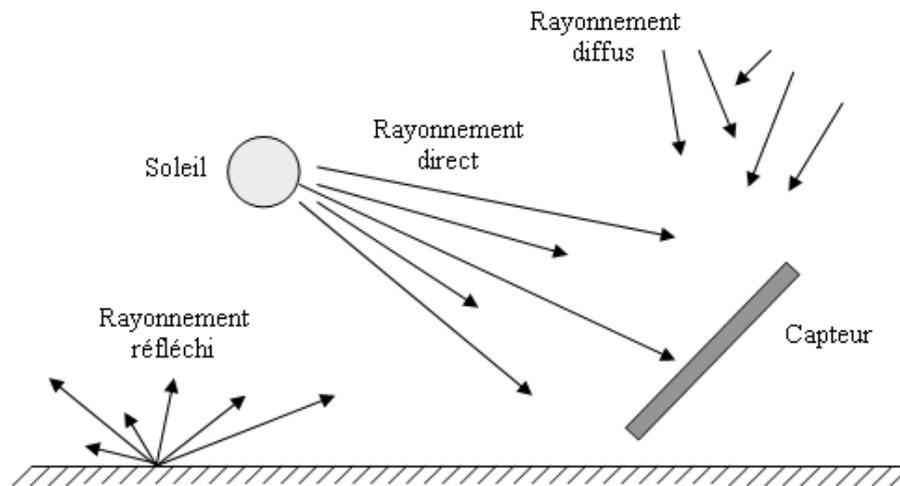


Figure 2.6 Composantes du rayonnement incident sur un capteur

Les notations utilisées pour les composantes du rayonnement solaire sur une surface horizontale sont données dans le tableau suivant :

Irradiation solaire Energie reçue pendant une certaine durée $W.m^{-2}.durée^{-1}$ ou $kWh.m^{-2}.durée^{-1}$	Directe	S	G=S+D
	Diffuse	D	
	Globale	G	
Eclairement solaire Flux instantané $W.m^{-2}$	Directe	S*	G*=S*+D*
	Diffuse	D*	
	Globale	G*	

Le rayonnement direct reçu par une surface orientée en permanence vers le Soleil et qui reçoit donc le rayonnement solaire sous une incidence normale est désigné par I. Nous désignerons par :

- I : l'énergie reçue (irradiation) en  $W.m^{-2}.durée^{-1}$  ou  $kWh.m^{-2}.durée^{-1}$
- I\* : le flux reçu (éclairement) en  $W.m^{-2}$

Nous avons la relation :

$$S^* = I^* \sin(h) \quad \text{Équation 15}$$

### 2.5.1. Rayonnement direct

L'éclairement solaire direct  $S^*$  sur un plan horizontal peut être déterminé de plusieurs manières en fonction des données disponibles :

1. Par mesure de  $G^*$  et  $D^*$ , on en déduit  $S^* = G^* - D^*$ .
2. A partir de la mesure des irradiances journalières globales  $G$  et diffuse  $D$  sur un plan horizontal, on en déduit  $S = G - D$  et  $S^*$  par la fonction de répartition suivante :

$$S^* = \frac{\pi}{24} [a + b \cos(\omega)] \frac{\cos(\omega) - \cos(\omega_1)}{\sin(\omega_1) - \frac{\pi\omega_1}{180} \cos(\omega_1)} S \quad \text{Équation 16}$$

Où :

$$a = 0,409 + 0,502 \sin(\omega_1 - 60^\circ)$$

$$b = 0,661 - 0,477 \sin(\omega_1 - 60^\circ)$$

3. A partir de la mesure de l'irradiation journalière globale  $G$ , on évalue l'irradiation journalière diffuse  $D$  par la corrélation de Collares-Pereira et Rabl:

$$\begin{aligned} D &= 0.99G & K_T &\leq 0.17 \\ D &= (1.188 - 2.272K_T + 9.473K_T^2 - 21.865K_T^3 + 14.648K_T^4)G & 0.17 &< K_T \leq 0.75 \\ D &= (-0.54K_T + 0.632)G & 0.75 &< K_T \leq 0.80 \\ D &= 0.2G & K_T &\geq 0.80 \end{aligned}$$

Où :

$$K_T = \frac{G}{G_0} \quad \text{Équation 17}$$

$G_0$  : étant l'irradiation journalière sur un plan horizontal placé au-dessus de l'atmosphère calculable par :

$$G_0 = 3.795 \cdot 10^4 \cos(L) \cos(\delta) \left[ \sin(\omega_1) - \frac{\pi\omega_1}{180} \cos(\omega_1) \right] \quad \text{Équation 18}$$

Où  $\omega_1$  est en degré et  $G_0$  en  $\text{kJ.m}^{-2}$

On calcule ensuite  $S = G - D$  et on est ramené au cas précédent.

4. A partir de la connaissance de la moyenne mensuelle de l'irradiation globale journalière  $G$ , on calcule l'irradiation diffuse journalière moyenne  $D$  par la corrélation de Collares-Pereira et Rabl :

$$D = [0.775 + 0.00606(\omega_1 - 90^\circ) - (0.505 + 0.00455(\omega_1 - 90^\circ))\cos(115K_T - 103)]G \quad \text{Équation}$$

19

Et on est ramené au cas précédent.

A partir de la mesure du taux d'ensoleillement  $\sigma$ , on évalue  $G$  par :

$$G = G_0[0.29 \cos(L) + 0.52\sigma] \quad \text{Zone tropicale}$$

$$G = G_0[\sqrt{2\sigma + 1} - 0.72] \quad \text{France}$$

Et on est ramené au cas précédent.

5. On ne dispose d'aucune mesure : on peut évaluer le rayonnement direct sur un plan perpendiculaire au rayonnement solaire par la relation :

$$I^* = 1370 \exp\left[-\frac{TL}{0.9 + 9.4 \sin(h)}\right] \quad \text{Équation 20}$$

Où  $TL$  est le facteur de trouble de Linke calculable par :

$$TL = 2.4 + 14.6\beta + 0.4(1 + 2\beta) \ln(p_v) \quad \text{Équation 21}$$

$\beta$  est le coefficient de trouble atmosphérique que l'on peut prendre égal à :

$\beta = 0,05$  en zone rurale

$\beta = 01$  en zone urbaine

$\beta = 0,2$  en zone industrielle ou polluée

$p_v$  est la pression partielle de vapeur d'eau exprimée en mmHg.

On en déduit :

$$S^* = I^* \sin(h) \quad \text{Équation 22}$$

L'irradiation directe journalière  $S$  sur un plan horizontal peut être déterminé de plusieurs manières en fonction des données disponibles :

1. Par mesure directe de  $G$  et  $D$  on en déduit  $S = G - D$ .
2. A partir de  $G$ , on calcule  $D$  par la formule et on est ramené au cas précédent.
3. A partir de la mesure du taux d'ensoleillement  $s$  on évalue  $G$  par la formule et on est ramené au cas
4. Par intégration sur la journée des valeurs de  $S^* = I^* \sin(h)$ ,

### 2.5.2. Rayonnement diffus

L'éclairement solaire diffus  $D^*$  sur un plan horizontal peut être déterminé de plusieurs manières en fonction des données disponibles

1. Par mesure directe.
2. A partir de la mesure de l'irradiation journalière diffuse  $D$  sur un plan horizontal, on déduit :

$$D^* = \frac{\pi}{24} [a + b \cos(\omega)] \frac{\cos(\omega) - \cos(\omega_1)}{\sin(\omega_1) - \frac{\pi\omega_1}{180} \cos(\omega_1)} D \quad \text{Équation 23}$$

3. A partir de la mesure de l'irradiation globale  $G$  sur un plan horizontal
4. A partir de la mesure du taux d'ensoleillement  $\sigma$
5. Par utilisation de la corrélation suivante en l'absence de toute mesure :

$$D^* = 54.8 \sqrt{\sin(h)} [TL - 0.5 - \sqrt{\sin(h)}] \quad \text{Équation 24}$$

Où  $TL$  est le facteur de trouble de Linke.

L'irradiation diffuse journalière  $D$  sur un plan horizontal peut être déterminée de plusieurs manières en fonction des données disponibles :

1. Par mesure directe.
2. A partir de la mesure de l'irradiation globale  $G$  sur un plan horizontal
3. A partir de la mesure du taux d'ensoleillement  $\sigma$ .
4. Par intégration des valeurs de  $D^*$

### 2.6. Angle d'incidence sur un plan quelconque

L'angle d'incidence  $i$  est l'angle de la direction du soleil avec la normale au plan:

$i = (\vec{U}, \vec{n})$ . L'angle ( $i$ ) est déterminé par le produit scalaire:

$$\cos(i) = \vec{U} \cdot \vec{n} \quad \text{Équation 25}$$

Angle d'incidence en coordonnées horaires:

Un plan quelconque est défini par les deux angles ( $\alpha, \gamma$ ):

$$\begin{aligned} \cos(i) &= A \cdot \sin(H) + B \cdot \cos(H) + C \\ A &= A' \cdot \cos(\delta) \quad \text{et} \quad A' = \sin(\alpha) \cdot \cos(\gamma) \\ B &= B' \cdot \cos(\delta) \quad \text{et} \quad B' = \cos(\alpha) \cdot \cos(\gamma) \cdot \sin(\varphi) + \sin(\gamma) \cdot \cos(\varphi) \\ C &= C' \cdot \sin(\delta) \quad \text{et} \quad C' = -\cos(\alpha) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(\varphi) + \sin(\gamma) \cdot \sin(\varphi) \end{aligned} \quad \text{Équation 26}$$

$\delta$  : Déclinaison;

H: Angle horaire;

$\varphi$  : Latitude de lieu.

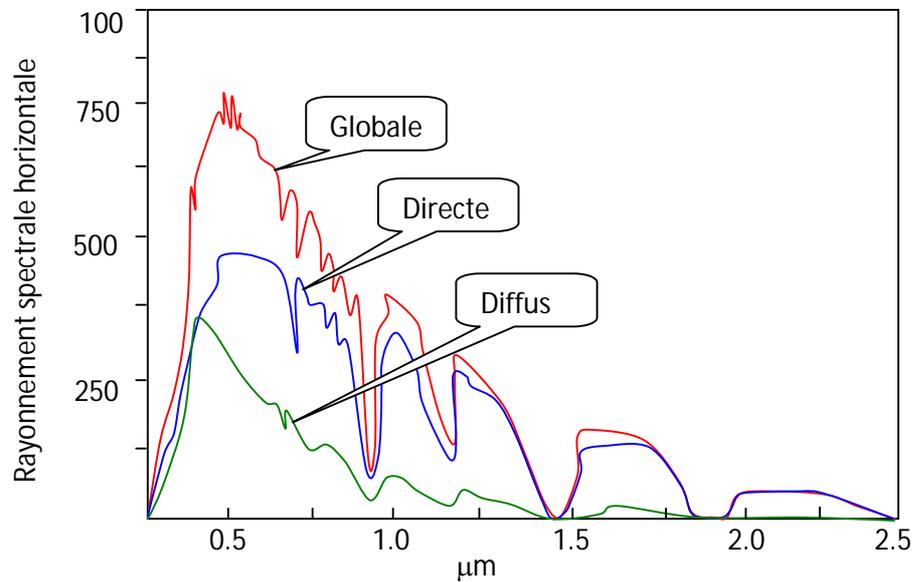


Figure 2.7 Spectre du rayonnement solaire global, direct et diffus.

La distribution inégale du rayonnement solaire sur le globe terrestre et l'inclinaison de son axe de rotation sont à l'origine d'une répartition des climats et de l'alternance des saisons. Le rayonnement solaire est un apport énergétique dispensé quotidiennement, dont l'intensité varie selon le lieu, l'heure du jour, la saison et les conditions climatiques. Même dans des zones à faible ensoleillement le gisement solaire est considérable [11].

## Chapitre 3

Etude et réalisation d'une carte électronique de régulation de position d'un système de conversion solaire

## Chapitre 3 : Etude et réalisation d'une carte électronique de régulation de position d'un système de conversion solaire

### 3.1. Introduction

L'optimisation par poursuite de la trajectoire du soleil est une technique qui permet de mieux exploiter par exemple les cellules photovoltaïques. En effet, beaucoup de travaux centrent leur intérêt sur la poursuite du soleil afin de maximiser l'ensoleillement en gardant la surface active du capteur solaire perpendiculaire aux radiations solaires.

Différents systèmes d'orientation commerciaux sont disponibles et proposent conformément à leurs fiches de présentation des gains de l'ordre de 20-30 % selon les techniques et les technologies employées [12] [13] [14] [15].

### 3.2. Les systèmes de poursuite solaire

#### 3.2.1. Différents types

Les techniques sont diverses mais peuvent être principalement subdivisées en deux catégories, les unes basées sur l'asservissement (elle est aussi appelé poursuite sensible), les autres sur la pré-programmation de la trajectoire (elle est aussi appelé poursuite aveugle).

- La première catégorie compte sur des capteurs qui détectent en permanence la position « surface active perpendiculaire aux radiations solaires ».

Dans ce type de techniques, la poursuite s'effectue indépendamment de la zone dans laquelle le système sera situé. La poursuite est plus précise, mais il peut y avoir des pertes supplémentaires d'énergie dues à la consommation du système de commande qui est actif en permanence.

Dans cette catégorie, on peut citer un certain nombre de travaux [16] [17] [18]

- La seconde catégorie est basée sur le fait que le soleil suit un trajet relativement périodique pour un observateur situé à un endroit donné sur la terre. La poursuite du soleil peut, dès lors s'effectuer par des techniques de pré-programmation de la trajectoire du soleil qui est gouvernée par des équations appelées « équations du temps » [19] [20].

Le programme fournit des commandes aux moteurs à des intervalles de temps réguliers afin d'assurer la poursuite du soleil. Les pertes d'énergie sont minimisées du fait que les commandes du panneau peuvent être impulsionnelles.

Parmi les travaux utilisant cette technique, on peut citer les travaux suivants [21] [22].

### 3.3. Problématique et solutions proposés

Un capteur solaire (ex. Panneau photovoltaïque ou un cuiseur solaire) est destiné à satisfaire un besoin d'énergie durant le jour et de stocké cette énergie, mais le problème qui se pose ici c'est que le mouvement du soleil empêcher l'orientation directe vers le soleil ce qui implique un rendement énergétique faible.

La solution proposée est de construire un système qui règle automatiquement la position de notre capteur solaire suivant la position du soleil, c'est ce qu'on appel un suiveur solaire (ou système de poursuite solaire)

### 3.4. Conception de la carte

Pour la mise en pratique de la solution proposée précédemment on va réaliser une carte électronique qui constitue de plusieurs composants et plus on va écrire et implémenter un programme dans un microcontrôleur (PIC16f877A), ce dernier va commander un moteur à courant continu par des relais. la figure suivant (Figure 3.1) donne une idée sur la structure de la carte.

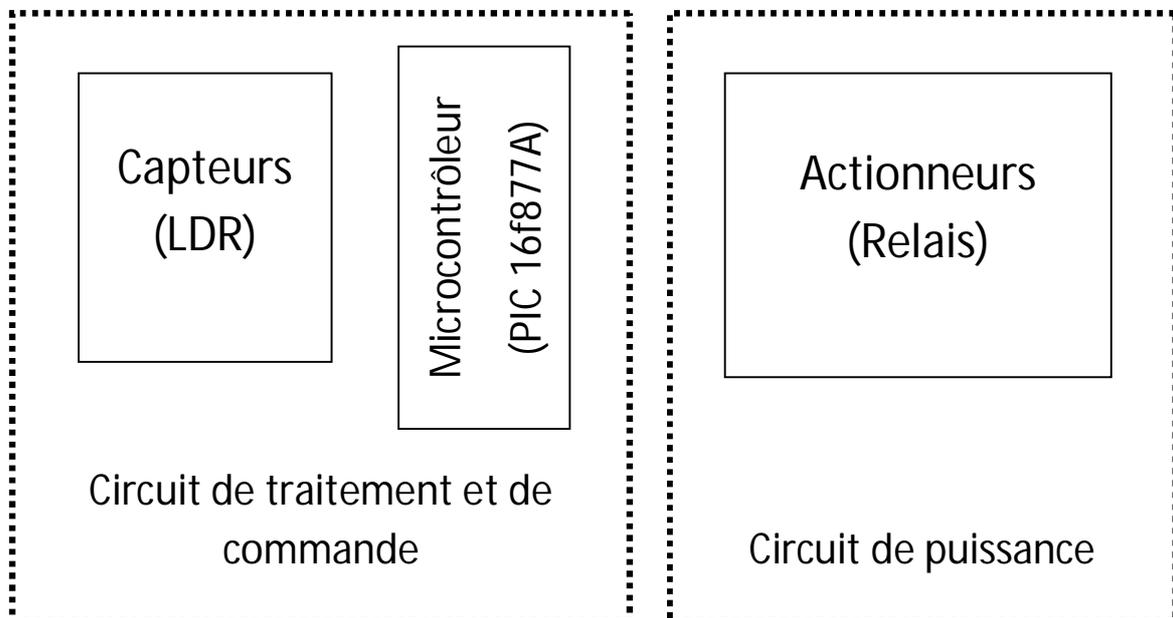
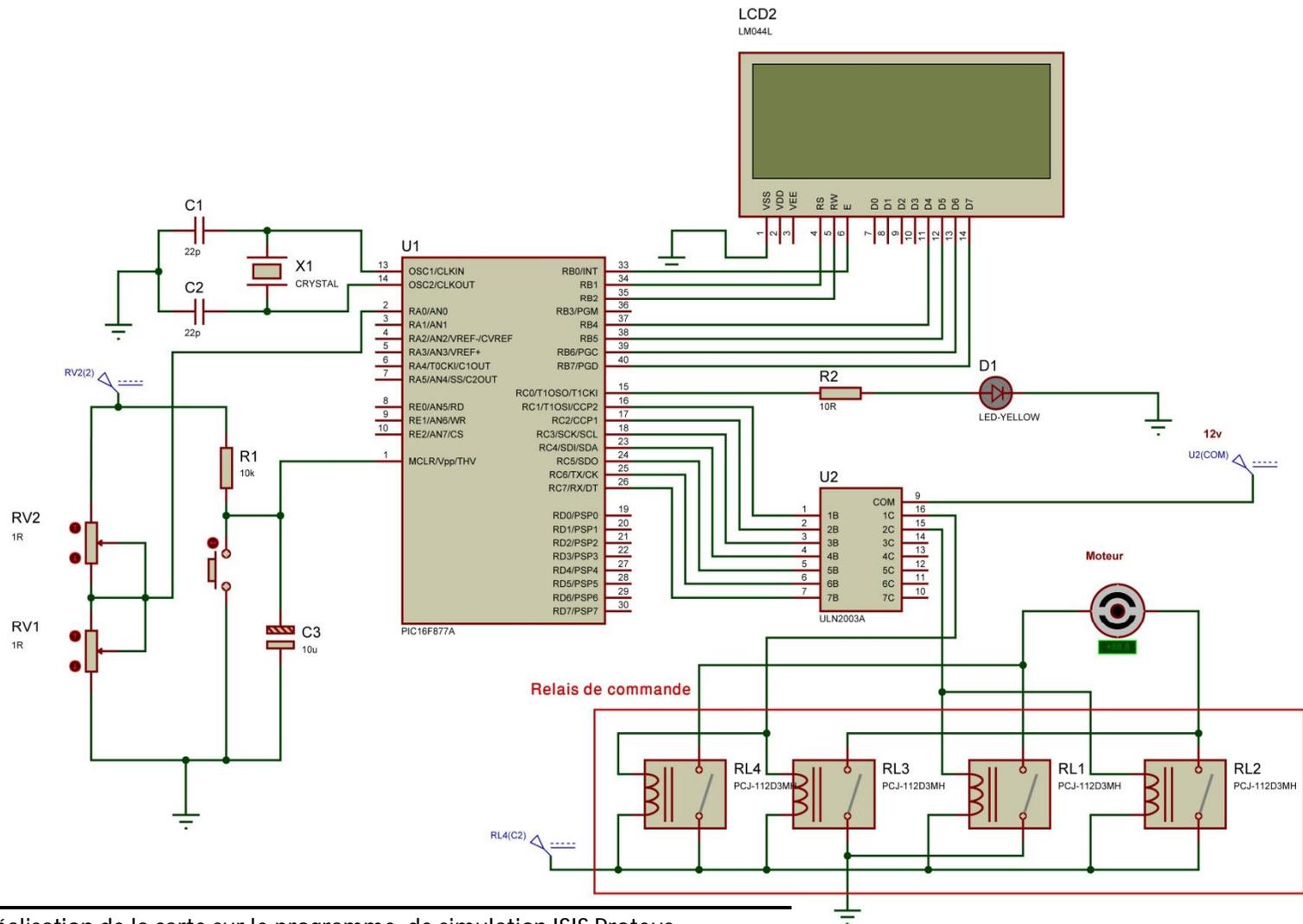


Figure 3.1 schéma bloc de la carte

### **3.5. Schéma électrique**

Nous avons réalisé sur le programme de simulation ISIS proteus le montage électrique de la carte (Figure 3.2) dont on peut voir toutes les connexions entre les éléments et détecter les défauts au niveau matériel ou logiciel avons la réalisation réelle



Réalisation de la carte sur le programme de simulation ISIS Proteus

Figure 3.2 Schémas électrique sur le programme de simulation ISIS

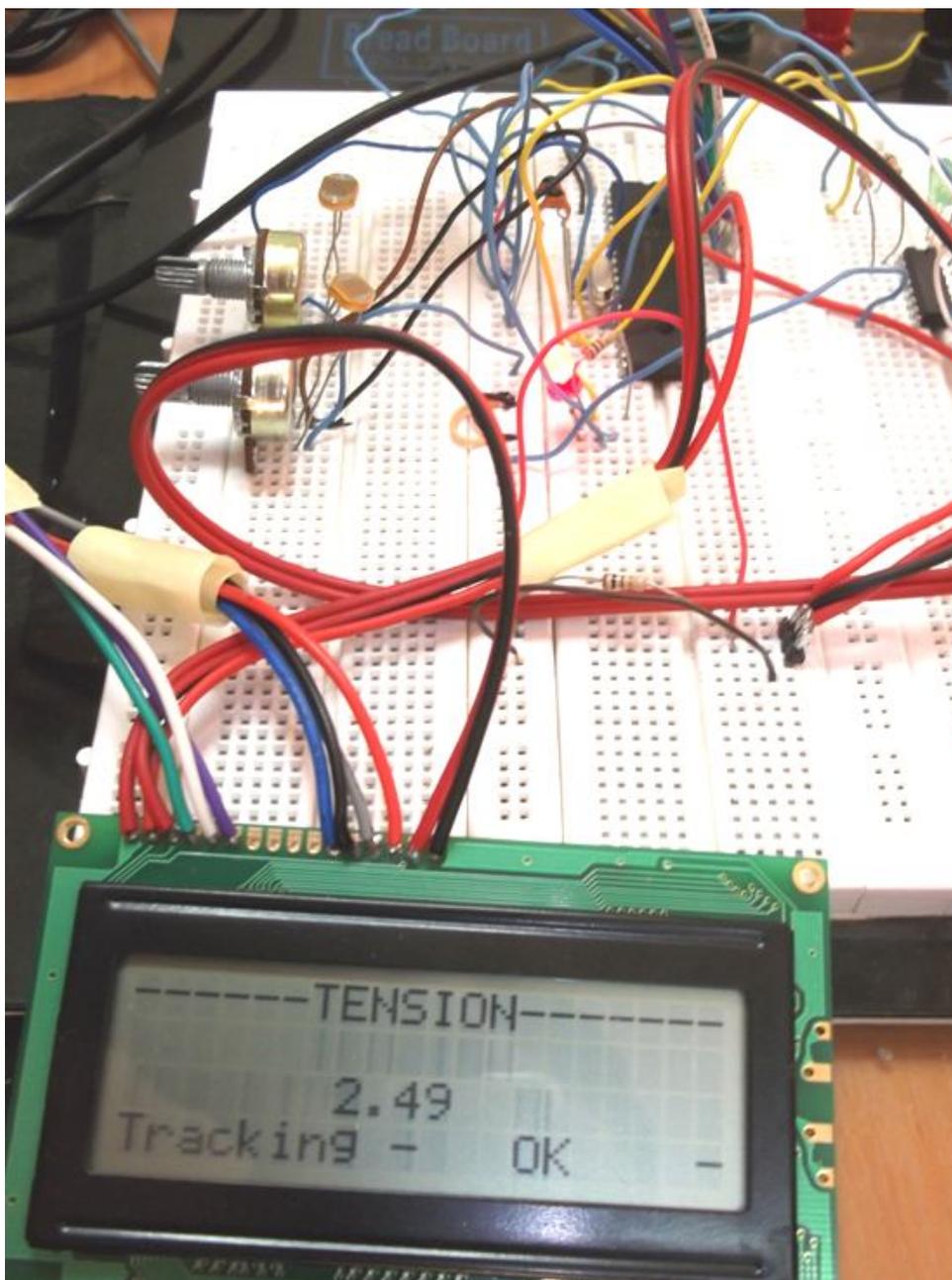


Figure 3.3 la réalisation pratique du circuit sur la carte d'essai



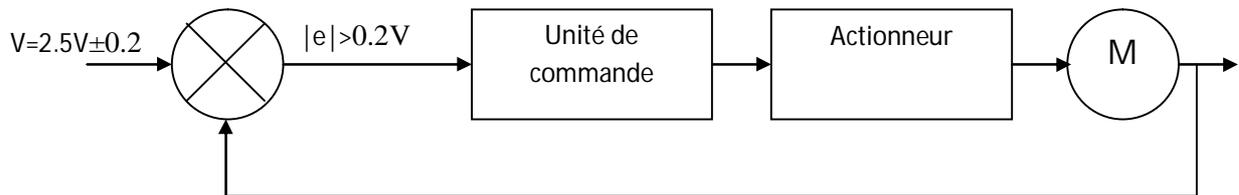


Figure 3.6 Schéma bloc du système

### 3.6. Liste des composants

- PIC microcontrôleur (PIC16f877A)
- ULN2003A
- LDRs (Photorésistances)
- Afficheur LCD 4x16
- Moteur à courant continu
- Relais
- Resistances
- Condensateurs
- Quartz 20 MHZ
- Led
- Potentiomètre

### 3.7. Définition des composants

#### 3.7.1. un PIC16f877A

##### 3.7.1.1. Qu'est ce qu'un PIC ?

La société Américaine Microchip Technologie a mis au point dans les années 90 un microcontrôleur CMOS : le PIC, ce composant encore très utilisé à l'heure actuelle, est un compromis entre simplicité d'emploi, rapidité et prix de revient.

Les PIC font partie de la famille des microcontrôleurs, ils possèdent un jeu d'instructions réduit qui caractérise les circuits RISC (Reduced Instruction Set Computer). Les circuits RISC sont caractérisés par leur rapidité d'exécution.

Les PIC existent dans plusieurs versions:

- les UVPROM qui sont effaçable par une source de rayonnements ultraviolets
- les OTPROM programmable une seule fois
- les EEPROM et flash EPROM qui est effaçables électriquement.

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

La dénomination **PIC** est sous copyright de **Microchip**, donc les autres fabricants ont été dans l'impossibilité d'utiliser ce terme pour leur propre microcontrôleur. Les **PICs** sont des composants dits **RISC (Reduce Instructions Construction Set)**, ou encore composant à jeu d'instructions réduit. Pourquoi ? Et bien, sachez que plus on réduit le nombre d'instructions, plus facile et plus rapide en est le décodage, et plus vite le composant fonctionne.

On trouve sur le marché **2** familles opposées, les **RISC** et les **CISC (Complex Instructions Construction Set)**. Chez les CISC, on diminue la vitesse de traitement, mais les instructions sont plus complexes, plus puissantes, et donc plus nombreuses. Il s'agit donc d'un choix de stratégie.

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

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

### 3.7.1.2. Les différentes familles des PICs :

La famille des PICs est subdivisée à l'heure actuelle en **3** grandes familles :

- **La famille Base Line**, qui utilise des mots d'instructions (nous verrons ce que c'est) 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.

**3.7.1.3. Aspects Architecturaux des PICs :**

Ces microcontrôleurs méritent bien une introduction. En effet, ils ont été conçus sur une architecture dite HARVARD (RISC) et non sur un modèle VON NEUMANN (COMPLEX).

- L'architecture VON NEUMANN employée par la plupart des microcontrôleurs actuels (INTEL80XX, Motorola HC05, HC08 et HC11, ou ZILOG Z80) est basée sur un bus de données unique. Celui-ci véhicule les instructions et les données.

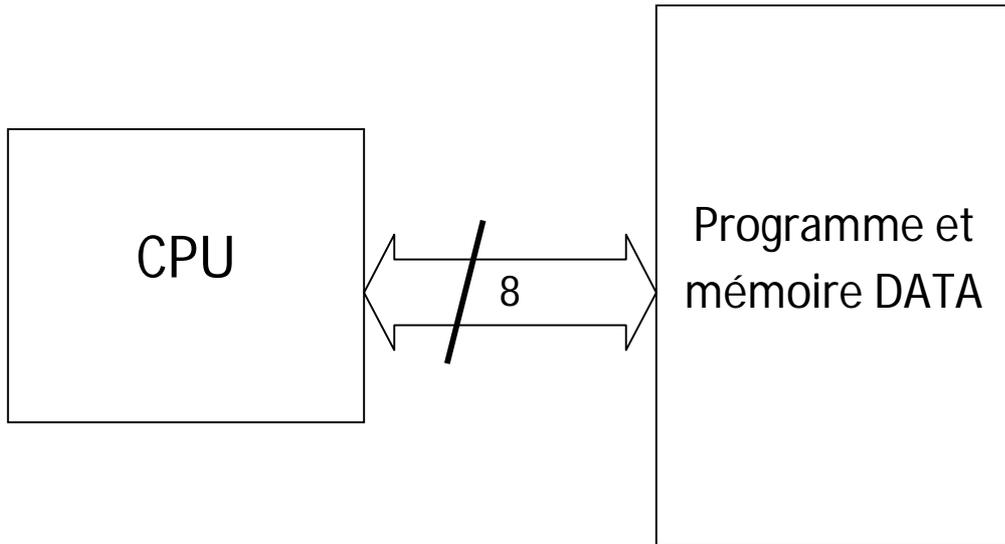


Figure 3.7 Von Neumann

- L'architecture HARVARD utilisée par les microcontrôleurs PICS est basée sur deux bus de données. Un bus est utilisé pour les données et un autre pour les instructions.

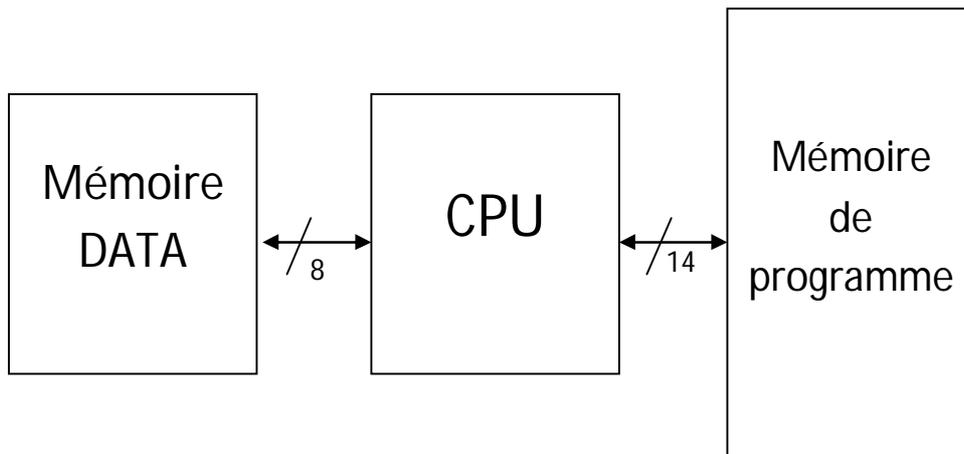


Figure 3.8 Harvard

**Tableau 3.1 Avantages et inconvénients.**

	Architecture Von Neumann	Architecture HARVARD

	(Motorola, INTEL ZILOG...)	(MICROCHIP PICs)
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jeu d'instruction riche.</li> <li>- Accès à la mémoire facile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jeu d'instruction pauvre, mais facile à mémoriser.</li> <li>- Le codage des instructions est facile, chaque instruction est codée sur un mot et dure un cycle machine.</li> <li>- Le code est plus compact.</li> </ul>
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le temps pour exécuter une instruction est variable.</li> <li>- Le codage des instructions se fait sur plusieurs octets.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le jeu d'instruction est très pauvre, par exemple pour effectuer une comparaison il faut faire une soustraction.</li> <li>- Les accès aux registres internes et la mémoire sont très délicats</li> </ul>

**Remarque :** La taille mémoire spécifiée pour un PICs s'exprime en Kilo Mots (14 bits pour la famille 16F87X) et non en kilo octets. Comme chaque instruction est codée par un mot de 14 bits, comparées aux microcontrôleurs classiques (1,2 ou 3 octets par instruction), les PICs ont un code plus compact et ils utilisent moins de mémoire.

#### 3.7.1.4. Structure interne d'un PIC

En règle générale un PIC de base est constitué :

- D'une mémoire de programme laquelle contient le code binaire des instructions que doit réaliser le microcontrôleur. La capacité de cette mémoire est variable selon les PIC.
- D'une mémoire RAM pour sauvegarder temporairement des données. La capacité de cette RAM est variable selon les PIC.

- D'une Unité Arithmétique et Logique (ALU), chargée d'effectuer toutes les opérations arithmétique de base (addition, soustraction...etc.) ainsi que les opérations logiques de base (ET, OU logique...etc.).
- De ports d'entrées - sorties pour pouvoir dialoguer avec l'extérieur du microcontrôleur (ex : pris en compte de l'état d'un interrupteur (entrée logique), commande d'un relais (sortie logique))
- D'un registre compteur de programme (CP) qui pointe l'adresse mémoire contenant l'instruction courante à réaliser par le microcontrôleur.
- D'un registre pointeur de pile (PP) qui est essentiellement utilisé lorsque l'on réalise des sous programmes à l'intérieur d'un programme. Le pointeur de pile est chargé de mémoriser l'adresse courante avant le saut aux sous programme
- D'un registre d'instruction qui contient tous les codes binaires correspondant aux instructions à réaliser par le microcontrôleur.
- D'un registre d'état qui est en relation avec l'UAL et qui permet de tester le résultat de la dernière opération effectuée par le microcontrôleur. Selon la dernière opération effectuée des bits seront positionnés dans le registre d'état ceux-ci pourront être testés pour effectuer des sauts conditionnels.
- D'une horloge système qui permettra de cadencer tous les échanges internes ou externes au microcontrôleur.

Certains microcontrôleurs possèdent des convertisseurs analogiques - numériques et numériques - analogiques, ainsi que de la mémoire E<sup>2</sup>PROM, également des TIMERS (etc..). Il est nécessaire de consulter un DATA BOOK avant la réalisation d'un projet, ceci pour optimiser et faciliter l'application.

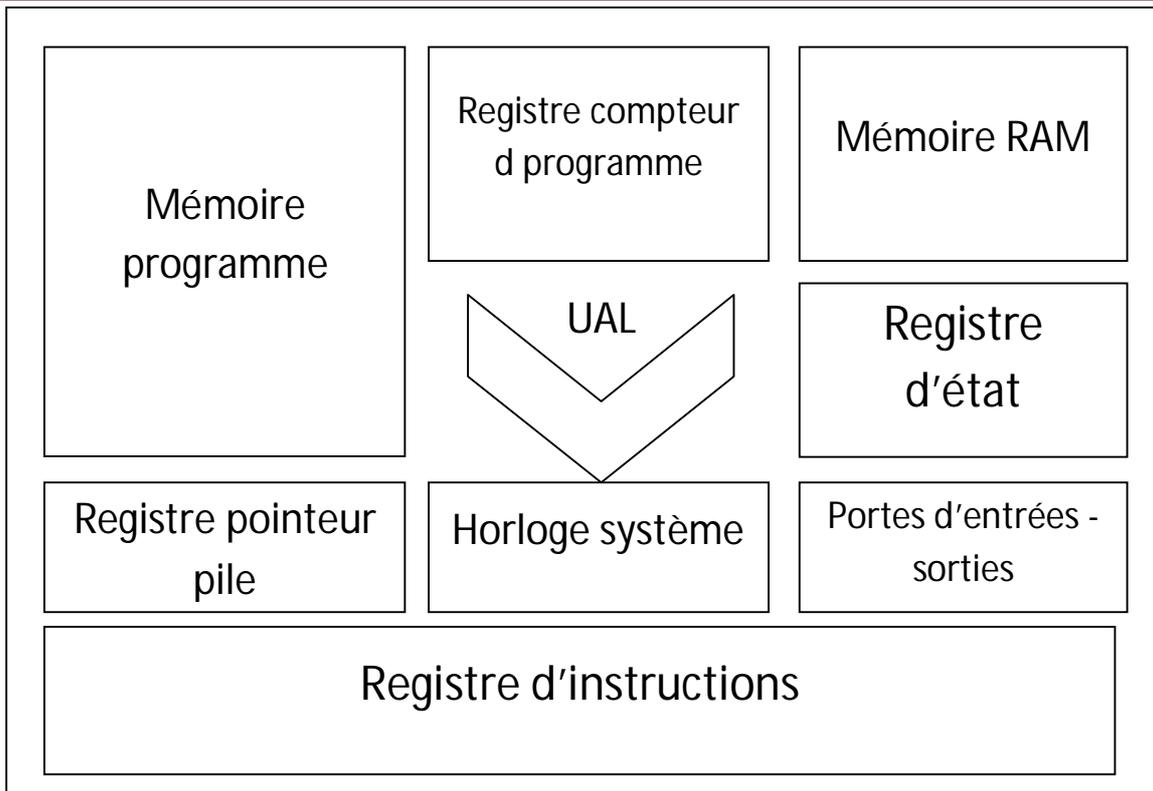


Figure 3.9 Structure d'un PIC

**3.7.1.5. Schémas interne de microcontrôleurs PIC (ex. PIC16f877A) [23]**

# PIC16F87XA (ex. PIC16F87XA)

PIC16F874A/877A SCHEMA BLOCK

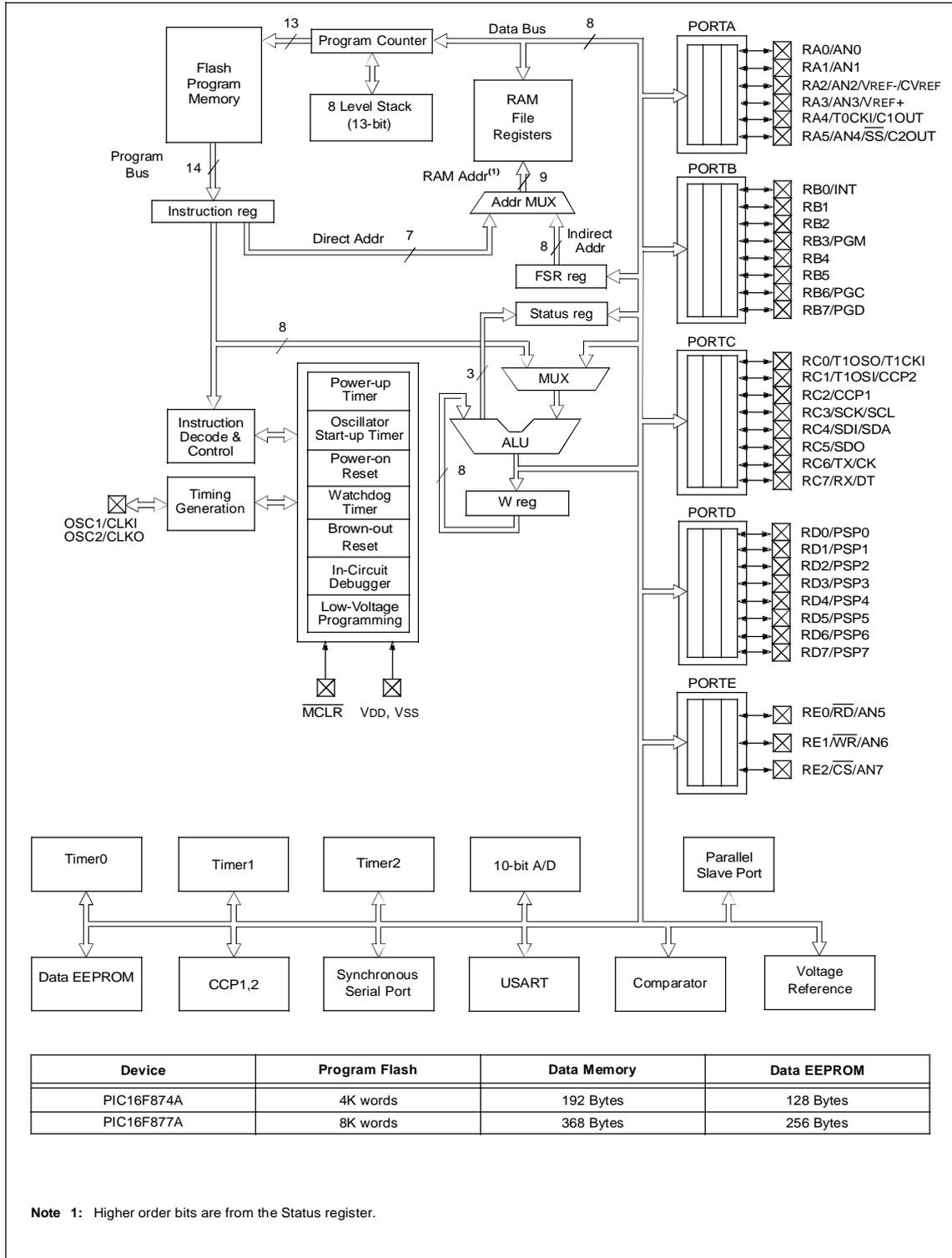


Figure 3.10 Schéma interne de PIC16f877A

3.7.1.6. Le schéma des pins

# PIC16F87XA

## Pin Diagrams (Continued)

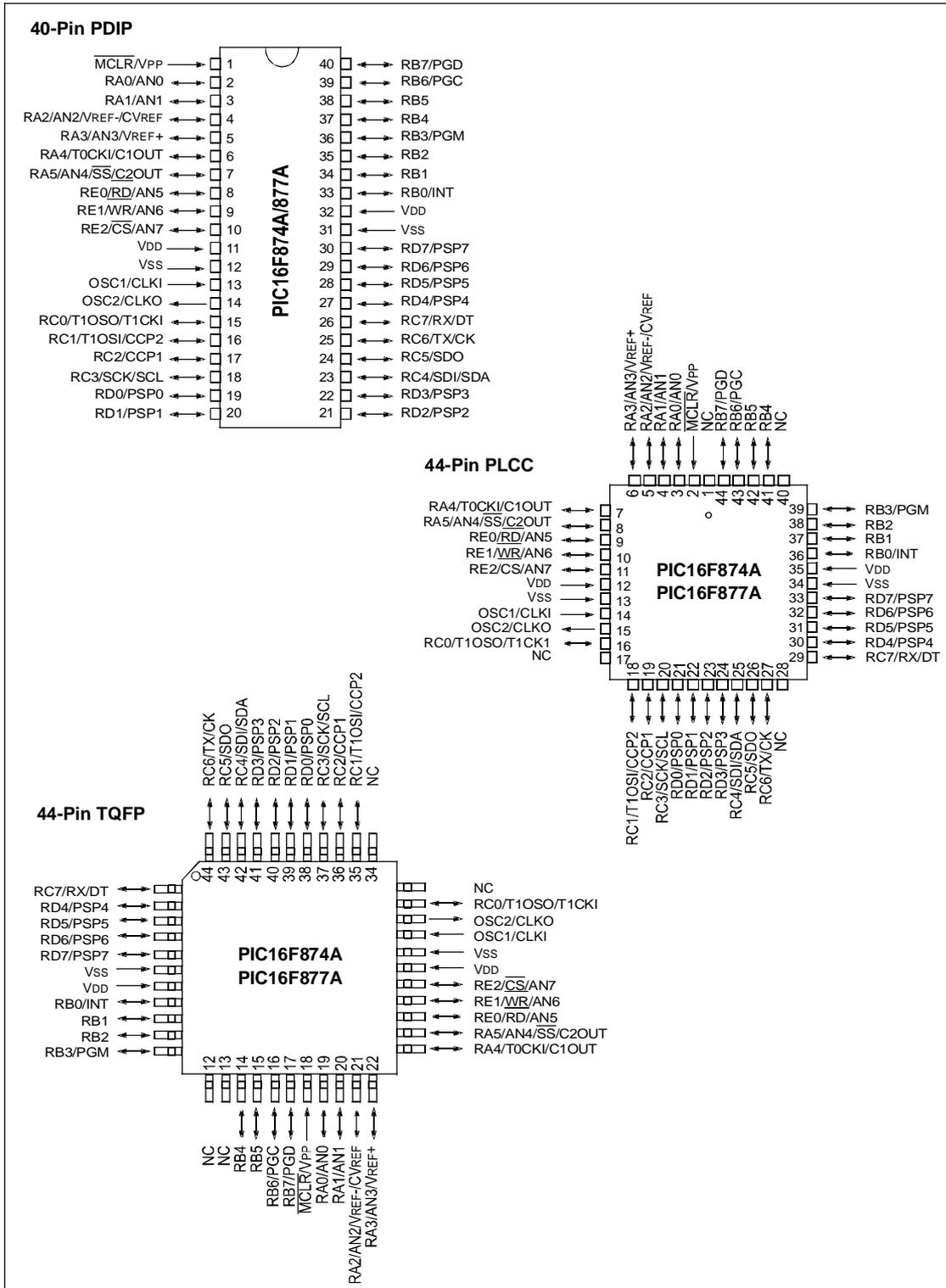


Figure 3.11 Schéma des pins

**3.7.1.7. Caractéristiques de PIC16f877A**

**Tableau 3.2 Caractéristiques des PIC16F87XA**

<b>Key Features</b>	<b>PIC16F873A</b>	<b>PIC16F874A</b>	<b>PIC16F876A</b>	<b>PIC16F877A</b>
<b>Operating Frequency</b>	DC – 20 MHz			
<b>Resets (and Delays)</b>	POR, BOR (PWRT, OST)			
<b>Flash Program Memory (14-bit words)</b>	4K	4K	8K	8K
<b>Data Memory (bytes)</b>	192	192	368	368
<b>EEPROM Data Memory (bytes)</b>	128	128	256	256
<b>Interrupts</b>	14	15	14	15
<b>I/O Ports</b>	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E
<b>Timers</b>	3	3	3	3
<b>Capture/Compare/PWM modules</b>	2	2	2	2
<b>Serial Communications</b>	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
<b>Parallel Communication</b>	-	PSP	-	PSP

<b>s</b>				
<b>10-bit Analog-to-Digital Module</b>	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
<b>Analog Comparators</b>	2	2	2	2
<b>Instruction Set</b>	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions
<b>Packages</b>	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN

### 3.7.1.8. Description des pins de PIC16877A

## PIC16F87XA

TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKI OSC1  CLKI	13	14	30	32	I  I	ST/CMOS <sup>d</sup>	Oscillator crystal or external clock input. Oscillator crystal input or external clock source input. ST buffer when configured in RC mode; otherwise CMOS. External clock source input. Always associated with pin function OSC1 (see OSC1/CLKI, OSC2/CLKO pins).
OSC2/CLKO OSC2  CLKO	14	15	31	33	O  O	—	Oscillator crystal or clock output. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKO, which has 1/4 the frequency of OSC1 and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP MCLR  VPP	1	2	18	18	I  P	ST	Master Clear (input) or programming voltage (output). Master Clear (Reset) input. This pin is an active low Reset to the device. Programming voltage input.
RA0/AN0 RA0 AN0 RA1/AN1 RA1 AN1 RA2/AN2/VREF-/CVREF RA2 AN2 VREF- CVREF RA3/AN3/VREF+ RA3 AN3 VREF+ RA4/T0CKI/C1OUT RA4  T0CKI C1OUT RA5/AN4/SS/C2OUT RA5 AN4 SS C2OUT	2  3 4 5 6 7	3 4 5 6 7 8	19 20 21 22 23 24	19 20 21 22 23 24	I/O I I/O I I/O I I O I/O I I O I/O I I O	TTL  TTL  TTL  TTL  ST  TTL	PORTA is a bidirectional I/O port.  Digital I/O. Analog input 0.  Digital I/O. Analog input 1.  Digital I/O. Analog input 2. A/D reference voltage (Low) input. Comparator VREF output.  Digital I/O. Analog input 3. A/D reference voltage (High) input.  Digital I/O – Open-drain when configured as output. Timer0 external clock input. Comparator 1 output.  Digital I/O. Analog input 4. SPI slave select input. Comparator 2 output.

**Legend:** I = input      O = output      I/O = input/output      P = power  
— = Not used      TTL = TTL input      ST = Schmitt Trigger input

- Note** 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

Figure 3.12 Table de description des pins de PIC16f877A

## PIC16F87XA

TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RB0/INT RB0 INT	33	36	8	9	I/O I	TTL/ST <sup>(1)</sup>	PORTB is a bidirectional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs. Digital I/O. External interrupt.
RB1	34	37	9	10	I/O	TTL	Digital I/O.
RB2	35	38	10	11	I/O	TTL	Digital I/O.
RB3/PGM RB3 PGM	36	39	11	12	I/O I	TTL	Digital I/O. Low-voltage ICSP programming enable pin.
RB4	37	41	14	14	I/O	TTL	Digital I/O.
RB5	38	42	15	15	I/O	TTL	Digital I/O.
RB6/PGC RB6 PGC	39	43	16	16	I/O I	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming clock.
RB7/PGD RB7 PGD	40	44	17		I/O I/O	TTL/ST <sup>(2)</sup>	17 Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming data.

**Legend** I = input      O = output      I/O = input/output      P = power  
— = Not used      TTL = TTL input      ST = Schmitt Trigger input

**Note** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

Figure 3.13 Suite de table de description des pins de PIC16f877A

### 3.7.1.9. Le choix d'un PIC

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

- Il faut dans d'un première temps déterminer le nombre d'entrées/sorties nécessaires pour l'application. Ce nombre d'entrées/sorties nous donne une première famille de PIC.
- Il faut ensuite déterminer si l'application nécessite un convertisseur Analogique/Numérique ce qui va centrer un peu plus vers le choix d'une famille de 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 nom d'une EEPROM pour mémoriser des données est également important pou l'application souhaitée.
- La longueur de programme de l'application détermine la taille de la mémoire programme du PIC recherché.

Il est parfois judicieux de réaliser l'application en ajoutant un circuit externe au PIC, cette solution peut faciliter la programmation et diminuer le coût du revient. Dans tout les cas il est indispensable de disposer soit d'un DATA-BOOK ou bien d'un tableau comparatif pour choisir le PIC le plus adapté à l'application envisagée. Dans notre cas, notre choix a été le PIC16f877A car il contient des convertisseurs analogiques numériques CAN.

### 3.7.2. ULN2003A

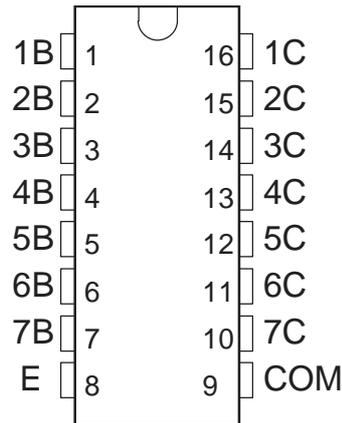


Figure 3.14 ULN2003A (vue au dessus)

ULN2003A est un vecteur des transistors monté en un montage Darlington, il à pour rôle de commander les relais thermiques. Il comporte deux transistors, deux diodes et deux résistances. Le fait qu'il renferme tous les composants lui permet d'avoir une longue durée de vie et de minimiser les pertes de courant.

L'ULN est capable d'écouler un courant max de 500mA par transistor et supporte une tension max de 50V. Ainsi vous pouvez connecter directement la majorité des relais sans problème.

Pour notre projet on utilise ce composant pour commander les relais thermique.

#### Note :

Le Darlington à été inventé en 1953 par un ingénieur des laboratoires Bell : Sidney Darlington. Le brevet déposé porte son idée de mettre deux ou trois transistors sur la même puce mais pas sur le fait d'imposer un nombre quelconque sous quoi il aurait couvert l'intégralité des circuits intégré

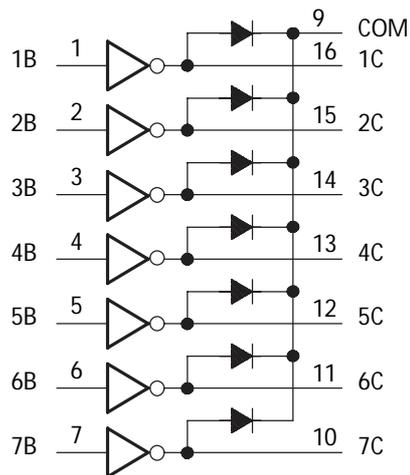


Figure 3.15 Schéma logique u ULN2003A

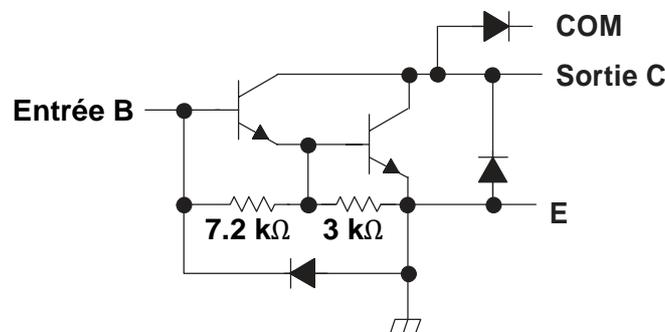


Figure 3.16 Schématisation d'une paire de Darlington pour (ULN2003A)

### 3.7.3. Les relais électromécanique

#### 3.7.3.1. Définition

Lorsqu'on veut commander un moteur (à courant continu ou pas à pas) –comme dans notre projet– on utilise souvent les relais.

Un relais est un appareil dans lequel un phénomène électrique (courant ou tension) contrôle la commutation On / Off d'un élément mécanique (on se trouve alors en présence d'un relais électromécanique) ou d'un élément électronique (on a alors affaire à un relais statique). C'est en quelque sorte un interrupteur que l'on peut actionner à distance, et où la fonction de coupure est dissociée de la fonction de commande. La tension et le courant de commande (partie "Commande"), ainsi que le pouvoir de commutation (partie "Puissance") dépendent du relais, il faut choisir ces paramètres en fonction de l'application désirée. Ainsi, il faut choisir des relais différents selon qu'il faut commuter des signaux audio ou des tensions ou courants importants. Comme la Commande peut être réalisée sous faible puissance (faible tension, faible courant), et que la partie Coupure peut commuter des puissances importantes, on peut dire que ce composant est un amplificateur de

courant.

Le premier relais réellement "pratique" a vu le jour en 1837, grâce à l'inventeur américain Samuel F.B. Morse (oui, celui qui a inventé le fameux alphabet de même nom), qui lui-même s'est appuyé sur les travaux du physicien britannique Charles Wheatstone (oui, celui à qui l'on doit le fameux pont de mesure qui porte son nom).

Un relais électromécanique est doté d'un bobinage en guise d'organe de commande. La tension appliquée à ce bobinage va créer un courant, ce courant produisant un champ électromagnétique à l'extrémité de la bobine (il ne s'agit ni plus ni moins que d'un électro-aimant). Ce champ magnétique va être capable de faire déplacer un élément mécanique métallique monté sur un axe mobile, qui déplacera alors des contacts mécaniques.

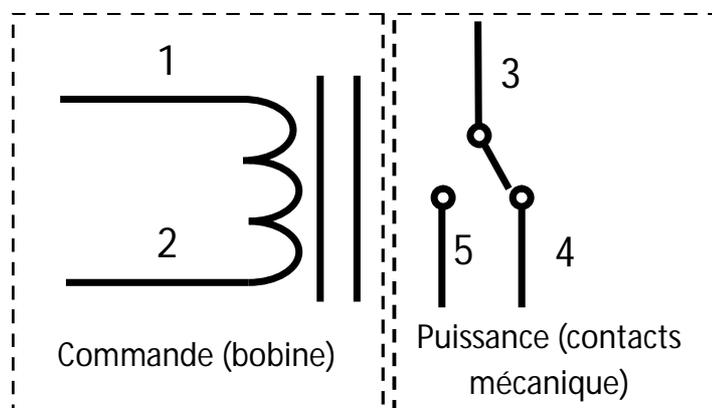


Figure 3.17 Schéma d'un relais électromécanique

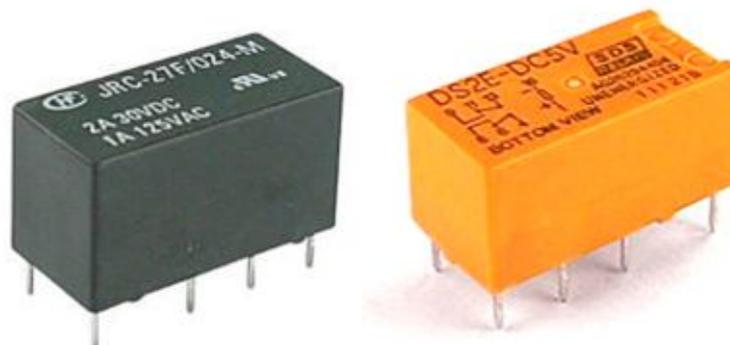


Figure 3.18 quelque exemple des relais

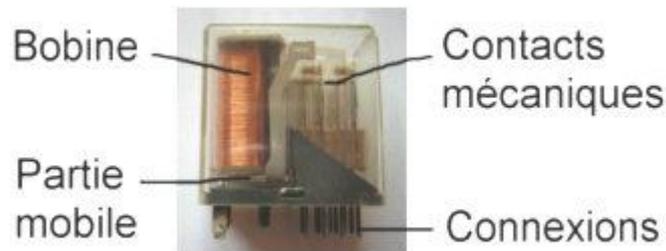


Figure 3.19 Composition d'un relai électromécanique

### 3.7.3.2. Brochages de relais électromécaniques

Il existe au moins deux normes où des lettres sont employées pour désigner les contacts :

- lettres **C** (Commun), **R** (Repos) et **T** (Travail).
- lettres **COM** (Common - Commun), **NO** (Normally Opened - Normalement Ouvert), et **NC** ou **NF** (Normally Closed, Normalement Fermé).

Les dessins suivants montrent la correspondance entre schéma électrique et boîtier pour un relais. Il en existe beaucoup d'autres, et vous devez vous documenter avec les documents constructeurs pour connaître le brochage de ceux relais que vous aurez choisis.

Le type de relais représenté au (Figure 3.20) est de type 1RT, c'est à dire qui ne dispose que d'un seul contact Repos / Travail. Il s'agit d'un inverseur simple (SPDT), dont la borne commune COM est en contact avec la borne NC quand la bobine du relais n'est pas alimentée, et dont la borne commune COM est en contact avec la borne NO quand la bobine du relais est alimentée [24].

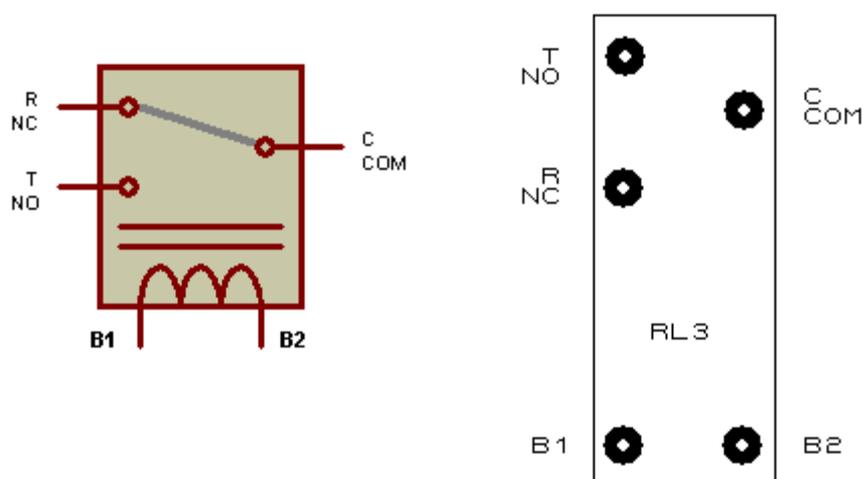


Figure 3.20 Brochages d'un relais

### 3.7.4. Capteur LDR (photorésistance)

Une photo résistance est un composant dont la valeur en Ohms dépend de la lumière à laquelle il est exposé. On la désigne aussi par **LDR** (**L**ight **D**ependant **R**esistor ou résistance dépendant de la lumière).

La principale utilisation de la photo résistance est la mesure de l'intensité lumineuse (appareil photo, systèmes de détection, de comptage et d'alarme...). Elle est fortement concurrencée par la photodiode, on l'a choisi dans notre projet grâce à son temps de réponse qui est beaucoup plus court. Les matériaux utilisés sont généralement du sulfure ou du séléniure de cadmium qui se comporte comme des semi-conducteurs.

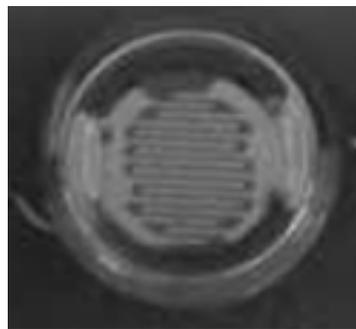


Figure 3.21 Capteur LDR

#### 3.7.4.1. Principe de fonctionnement

Un cristal de semi-conducteur à température basse 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 immobilisés dans les liaisons covalentes s'échappent et peuvent participer à la conduction.

A température constante 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 disponibles 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.

3.7.5. Afficheur LCD

3.7.5.1. Les dimensions de l'afficheur LCD

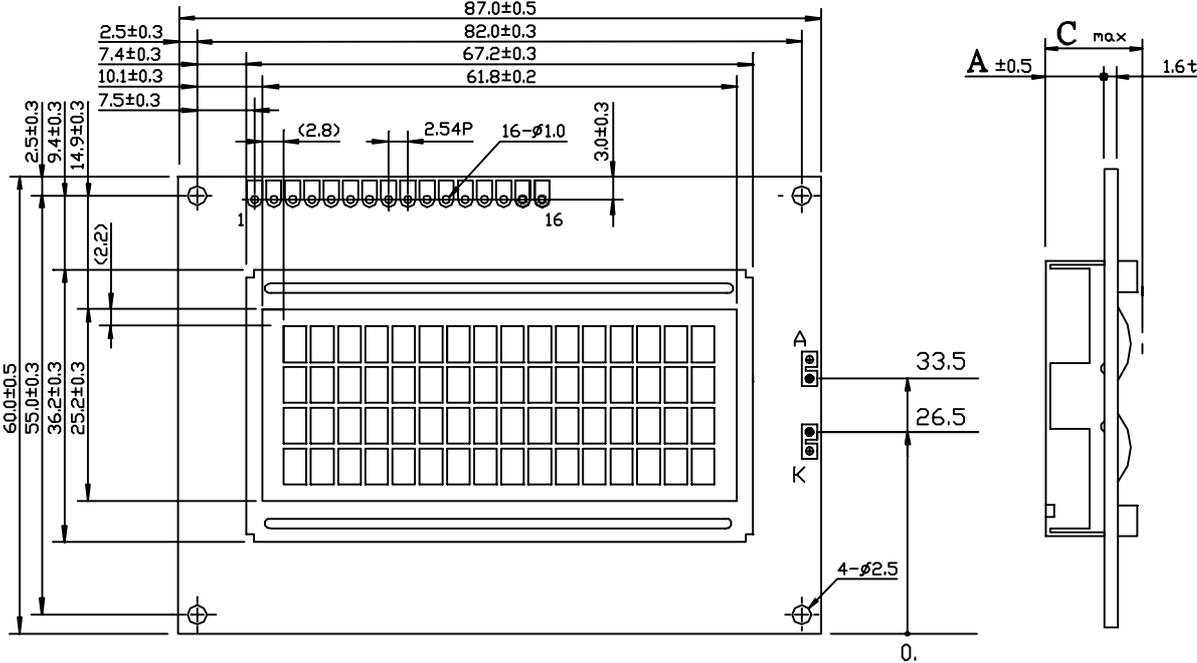


Figure 3.22 les dimensions de l'afficheur LCD



Figure 3.23 Afficheur LCD 4X20



Figure 3.24 Afficheur LCD 2X16

### 3.7.5.2. Les Brochages de l'afficheur

Tableau 3.3 Les PINs de l'afficheur

N° broche	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Symbole	V <sub>SS</sub>	V <sub>DD</sub>	V <sub>0</sub>	RS	RW	E	DB0	DB1	DB2
N° broche	10	11	12	13	14	15	16	A	K
Symbole	DB3	DB4	DB5	DB6	DB7	LED(+)	LED(-)	VEL	VEL

### 3.7.6. Un moteur à courant continu

#### 3.7.6.1. Principe de fonctionnement

Le moteur à courant continu se compose :

- de l'inducteur ou du stator.
- de l'induit ou du rotor.
- du collecteur et des balais.

Lorsque le bobinage d'un inducteur de moteur est alimenté par un courant continu, sur le même principe qu'un moteur à aimant permanent (voir Figure 3.25), il crée un champ magnétique (flux d'excitation) de direction Nord-Sud.

Une spire capable de tourner sur un axe de rotation est placée dans le champ magnétique. De plus, les deux conducteurs formant la spire sont chacun raccordés électriquement à un demi collecteur et alimentés en courant continu via deux balais frotteurs.

D'après la loi de Laplace (tout conducteur parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique est soumis à une force), les conducteurs de l'induit placés de part et d'autre de l'axe des balais (ligne neutre) sont soumis à des forces  $F$  égales mais de sens opposé en créant un couple moteur : l'induit se met à tourner !

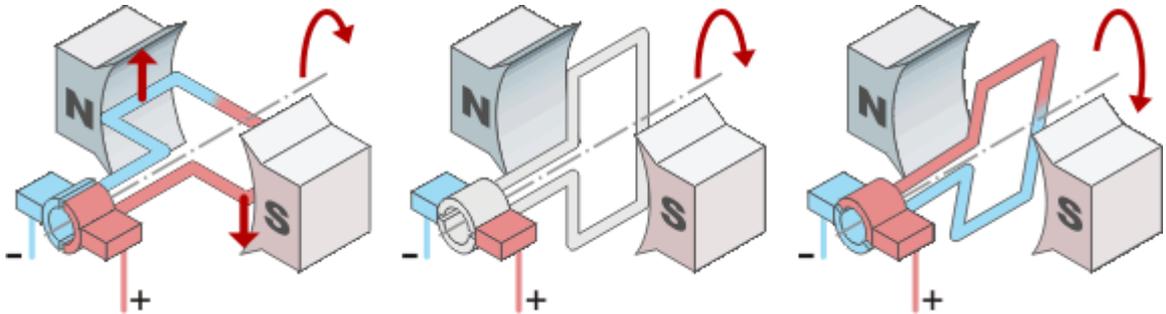


Figure 3.25 Moteur à aimant permanent

Si le système balais-collecteurs n'était pas présent (simple spire alimentée en courant continu), la spire s'arrêterait de tourner en position verticale sur un axe appelé communément "ligne neutre". Le système balais-collecteurs a pour rôle de faire commuter le sens du courant dans les deux conducteurs au passage de la ligne neutre. Le courant étant inversé, les forces motrices sur les conducteurs le sont aussi permettant ainsi de poursuivre la rotation de la spire.

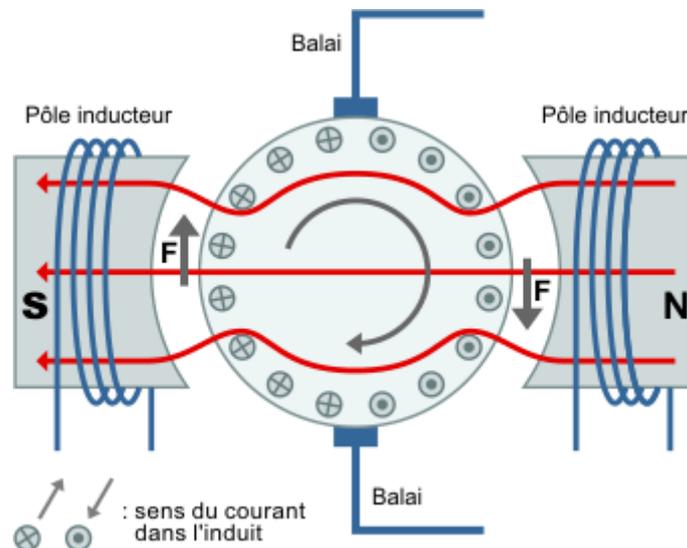


Figure 3.26 Le système balais-collecteurs

Dans la pratique, la spire est remplacée par un induit (rotor) de conception très complexe sur lequel sont montés des enroulements (composés d'un grand nombre de spires) raccordés à un collecteur "calé" en bout d'arbre. Dans cette configuration, l'induit peut être considéré comme un seul et même enroulement semblable à une spire unique.

### 3.7.6.2. Machine réversible

Dans le régime de fonctionnement des ascenseurs à traction, le treuil à courant continu peut :

- Tantôt fonctionner en moteur lorsque le système cabine et contre-poids s'oppose au mouvement de rotation (charge dite "résistante"); le moteur prend de l'énergie au réseau.
- Tantôt travailler en générateur lorsque le même système tend à favoriser la rotation (charge dite "entraînante"); le générateur renvoie de l'énergie au réseau.

### 3.7.6.3. Type de moteur à courant continu

Suivant l'application, les bobinages du l'inducteur et de l'induit peuvent être connectés de manière différente. On retrouve en général :

- Des moteurs à excitation indépendante.

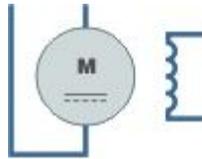


Figure 3.27 moteurs à excitation indépendante.

- Des moteurs à excitation parallèle.

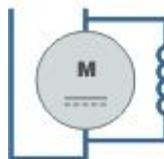


Figure 3.28 moteurs à excitation parallèle.

- Des moteurs à excitation série.



Figure 3.29 moteurs à excitation série.

- Des moteurs à excitation composée.

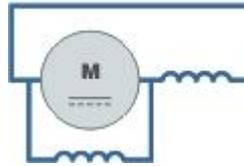


Figure 3.30 moteurs à excitation composée.

La plupart des machines d'ascenseur sont configurées en excitation parallèle ou indépendante. L'inversion du sens de rotation du moteur s'obtient en inversant soit les connexions de l'inducteur soit de l'induit.

#### 3.7.6.4. L'inducteur

L'inducteur d'un moteur à courant continu est la partie statique du moteur. Il se compose principalement :

- de la carcasse,
- des paliers,
- des flasques de palier,
- des portes balais.



Figure 3.31 L'inducteur d'un moteur

Le cœur même du moteur comprend essentiellement :

- Un ensemble de paires de pôles constitué d'un empilement de tôles ferromagnétiques.
- Les enroulements (ou bobinage en cuivre) destinés à créer le champ ou les champs magnétiques suivant le nombre de paires de pôles.

Pour des moteurs d'une certaine puissance, le nombre de paires de pôles est multiplié afin de mieux utiliser la matière, de diminuer les dimensions d'encombrement et d'optimiser la pénétration du flux magnétique dans l'induit.

### 3.7.6.5. L'induit

L'induit du moteur à courant continu est composé d'un arbre sur lequel est empilé un ensemble de disques ferromagnétiques. Des encoches sont axialement pratiquées à la périphérie du cylindre formé par les disques empilés. Dans ces encoches les enroulements (bobines de l'induit) sont "bobinés" selon un schéma très précis et complexe qui nécessite une main d'œuvre particulière (coûts importants). Pour cette raison, on préfère, en général, s'orienter vers des moteurs à courant alternatif plus robuste et simple dans leur conception.



Figure 3.32 L'induit d'un moteur

Chaque enroulement est composé d'une série de sections, elles même composées de spires; une spire étant une boucle ouverte dont l'aller est placé dans une encoche de l'induit et le retour dans l'encoche diamétralement opposée. Pour que l'enroulement soit parcouru par un courant, ses conducteurs de départ et de retour sont connectés aux lames du collecteur (cylindre calé sur l'arbre et composé en périphérie d'une succession de lames de cuivre espacée par un isolant).

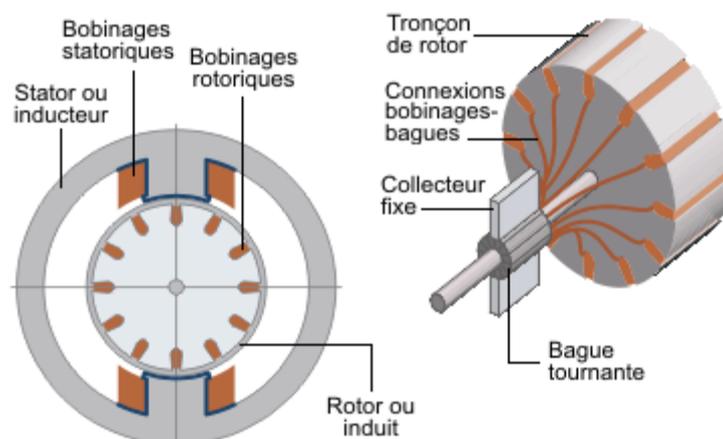


Figure 3.33 Composition de l'induit.

L'interface entre l'alimentation à courant continu et le collecteur de l'induit est assuré par les balais et les porte-balais.

#### 3.7.6.6. Les balais

Les balais assurent le passage du courant électrique entre l'alimentation et les bobinages de l'induit sous forme d'un contact par frottement. les balais sont en graphite et constituent, en quelques sortes, la pièce d'usure. Le graphite en s'usant libère une poussière qui rend le moteur à courant continu sensible à un entretien correct et donc coûteux.



Figure 3.34 L'ensemble balais, porte-balais et collecteur.

Le point de contact entre les balais et le collecteur constitue le point faible du moteur à courant continu. En effet, c'est à cet endroit, qu'outre le problème d'usure du graphite, la commutation (inversion du sens du courant dans l'enroulement) s'opère en créant des micros-arcs (étincelles) entre les lamelles du collecteur; un des grands risques de dégradation des collecteurs étant leur mise en court-circuit par usure [25].

### 3.8. L'Algorithme

Notant ici que les deux LDRs sont monté en série formant un diviseur de tension alimenté par 5v et elles sont séparées par une paroi opaque au rayonnement solaire.

Les deux LDRs de Sont exposés au rayonnement soleil et séparer par une barrière de manière a avoir une tension au borne de LDR<sub>2</sub> autour de 2.5V  $\pm 0.2V$  c.à.d. les deux LDRs sont uniformément éclairé et donc le système est bien orienté vers le soleil.

Dans le cas d'où l'éclairement des LDRs n'est pas uniformément c.à.d. notre système n'est pas bien orienté vers le soleil la tension au borne de LDR<sub>2</sub> est en dehors de l'intervalle acceptable, en général on a trois cas :

Le premier cas c'est la tension est inférieur à 2.3V

Le deuxième cas c'est la tension est supérieur à 2.7V

Le troisième cas c'est la tension est égale à  $2.5 \pm 0.2V$

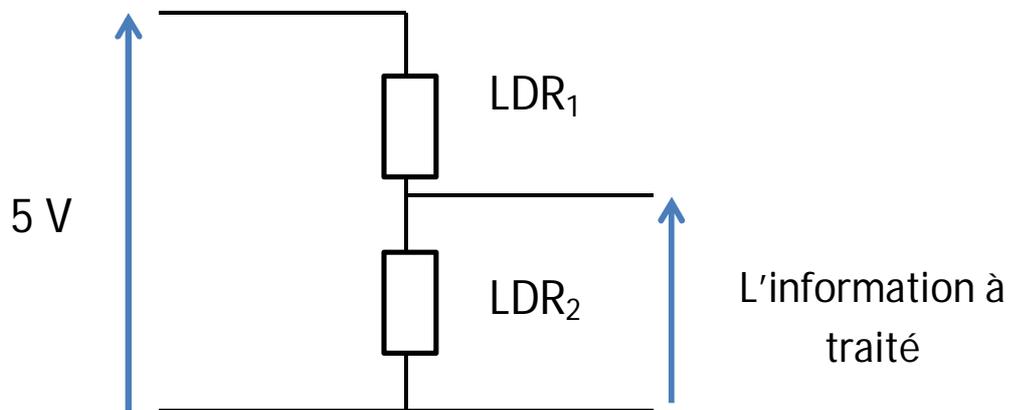


Figure 3.35 Montage des deux LDRs

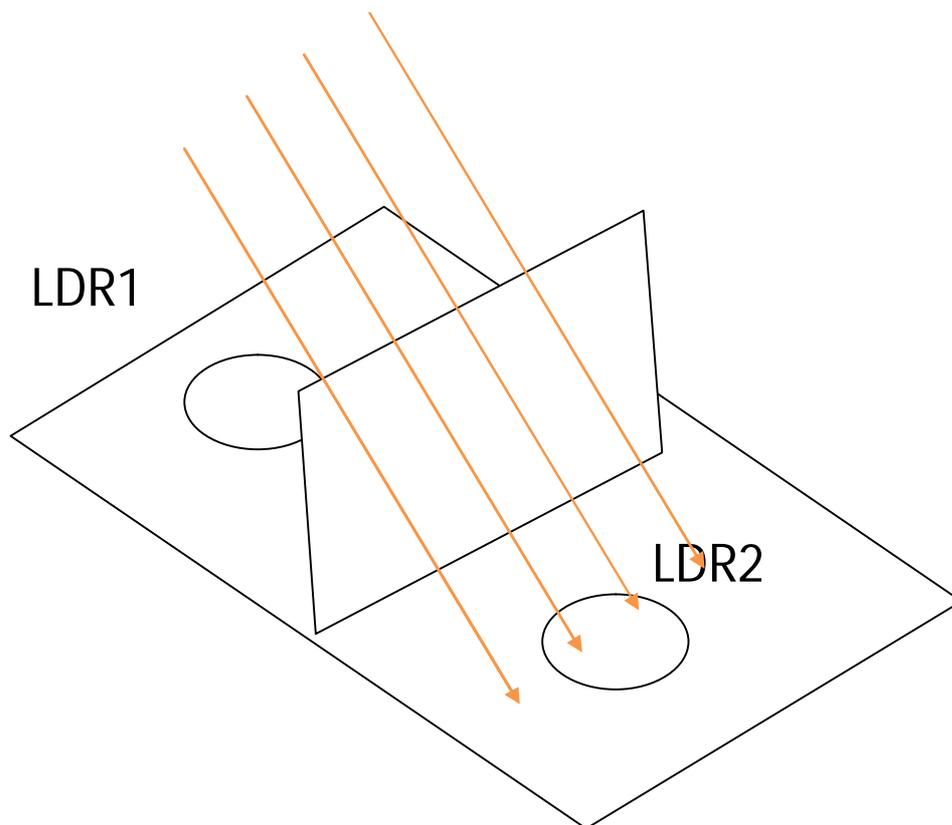


Figure 3.36 les deux LDRs sont monté en série et séparer par une barrière

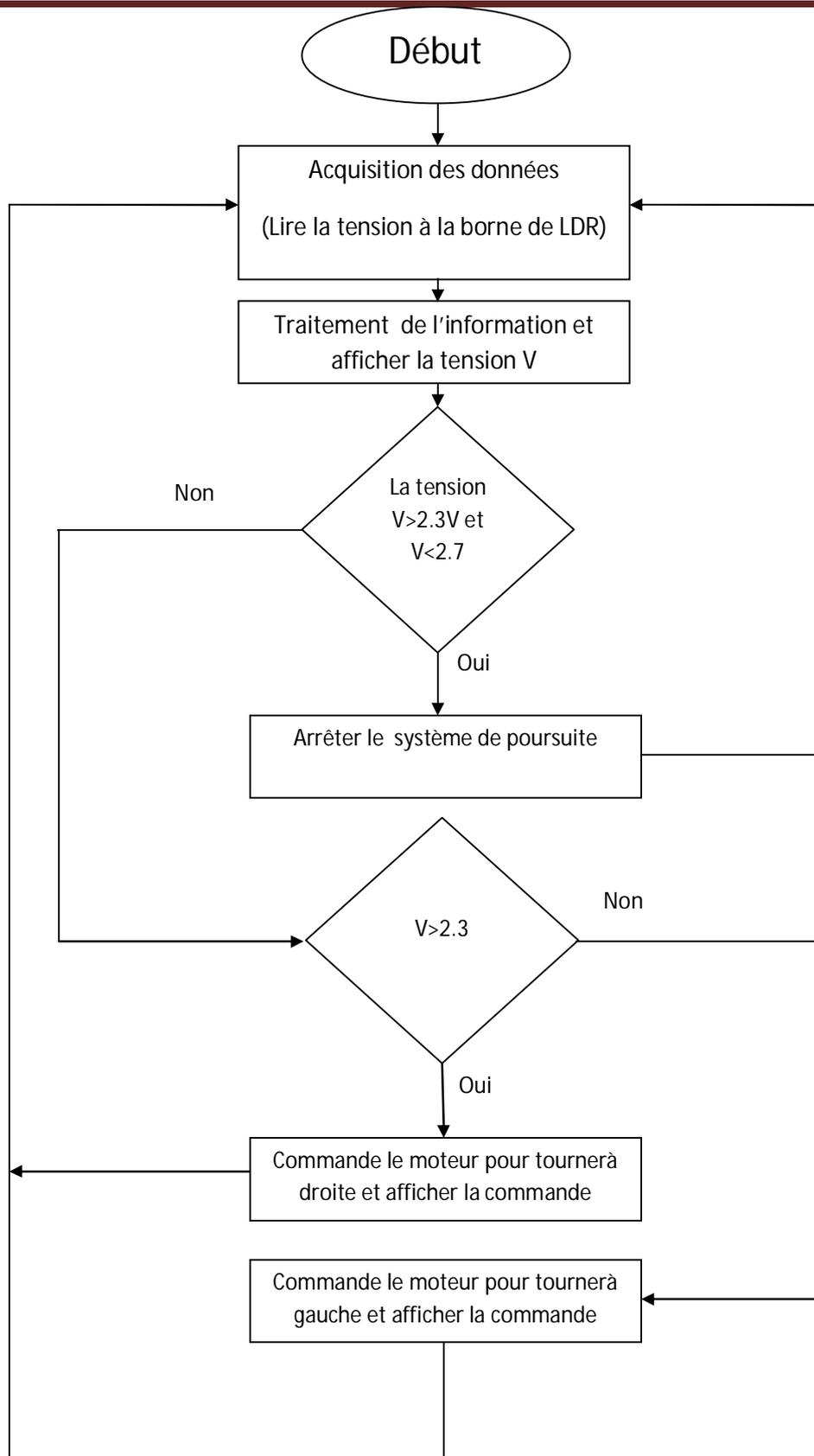


Figure 3.37 l'algorithme de système de poursuite

### 3.9. Le programme de microcontrôleur

Nous avons réalisé un programme en langage C utilisant le logiciel «PIC C Compiler PCW », leur principe est de mesurer la tension à la borne de LDR2. est généré un ordre pour commander le moteur

```
#include <16F877A.h>

#device adc=8

#FUSES NOWDT           //No Watch Dog Timer
#FUSES HS              //High speed Osc (<= 4mhz)
#FUSES NOPUT          //No Power Up Timer
#FUSES NOPROTECT      //Code not protected from reading
#FUSES NODEBUG        //No Debug mode for ICD
#FUSES BROWNOUT       //No brownout reset
#FUSES NOLVP          //No low voltage prgming, B3(PIC16) or B5(PIC18) used for I/O
#FUSES NOCPD          //No EE protection
#FUSES NOWRT          //Program memory not write protected

#use delay(clock=20000000)

#include <LCD420.C>

float y,z;

void tension(v){

setup_adc( ADC_CLOCK_INTERNAL );

setup_adc_ports(AN0);

set_adc_channel(v);

delay_us(20);

y=read_ADC();//

delay_us(20);

z=y*5.0;

z=z/255;
```

```
delay_us(20);

}

void main()

{

    setup_psp(PSP_DISABLED);

    setup_spi(FALSE);

    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);

    setup_timer_1(T1_DISABLED);

    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);

    setup_comparator(NC_NC_NC_NC);

    setup_vref(FALSE);

    lcd_init();

    // TODO: USER CODE!!

    lcd_gotoxy(1,1);

    printf(lcd_putc,"UNIVERSITE GHARDAIA ");

    delay_ms(2000);

    lcd_init();

    printf(lcd_putc,"-----TENSION-----");

    while(true){

        tension(0);

        lcd_gotoxy(1,3);

        printf(LCD_PUTC,"    %2.2f"z);

        delay_ms(10);

        if((z<2.7)&&(z>2.3)){

            lcd_gotoxy(1,4);

            printf(LCD_PUTC,"Tracking - OK  -");
```

```
}  
  
if(z>2.7){  
  
lcd_gotoxy(1,4);  
  
printf(LCD_PUTC,"Tracking - GO WEST -");  
  
output_high(pin_c1);  
  
delay_ms(2000);  
  
output_low(pin_c1);  
  
}  
  
if(z<2.3){  
  
lcd_gotoxy(1,4);  
  
printf(LCD_PUTC,"Tracking - GO EST -");  
  
output_high(pin_c2);  
  
delay_ms(2000);  
  
output_low(pin_c2);  
  
}  
  
output_high(pin_c0);  
  
delay_ms(500);  
  
output_low(pin_c0);  
  
delay_ms(500);  
  
}  
  
}
```

### **3.10. Simulation numérique**

Pour la simulation nous avons utilisé le programme ISIS Proteus

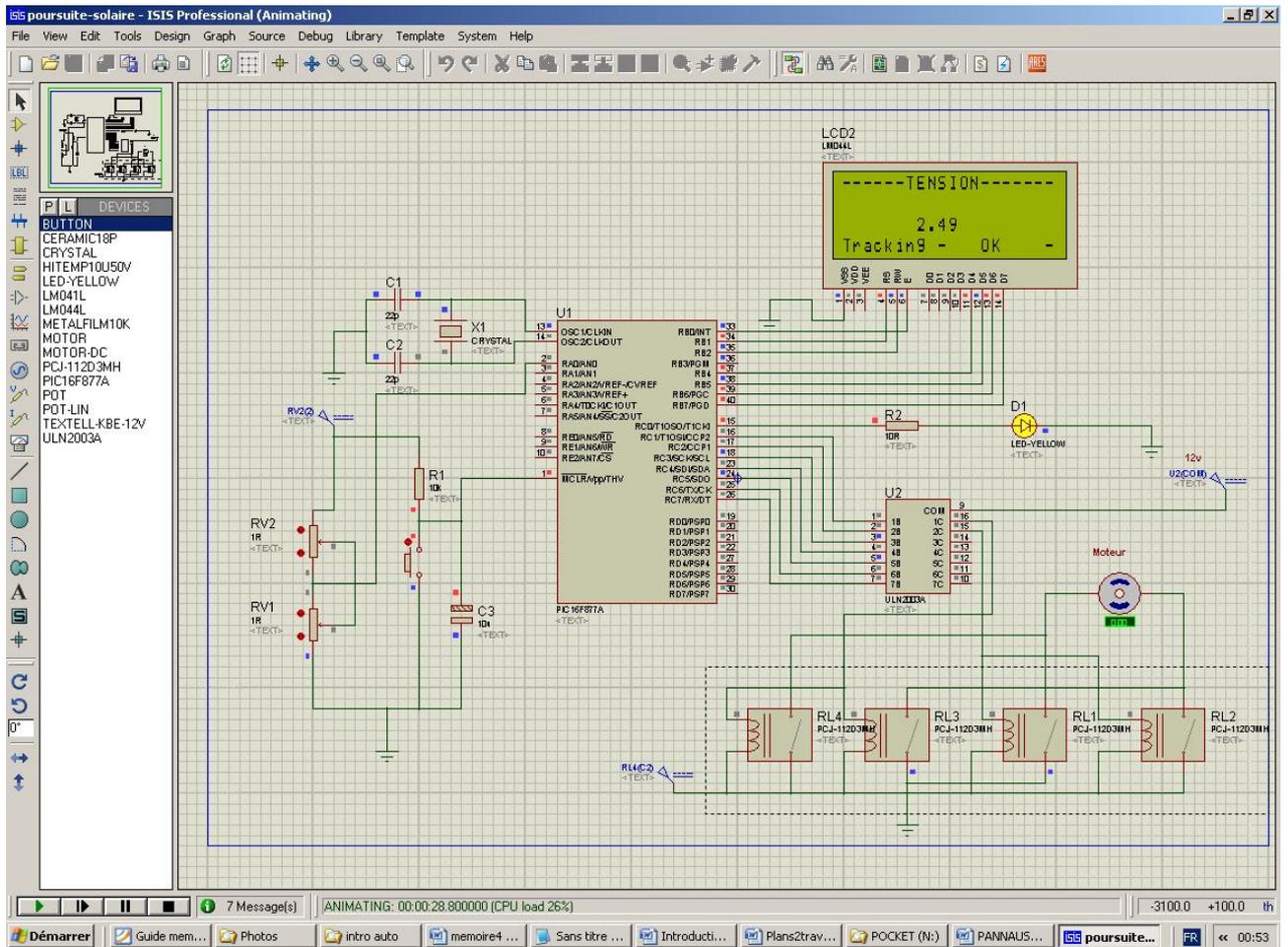


Figure 3.38 L'interface de programme de simulation ISIS Proteus

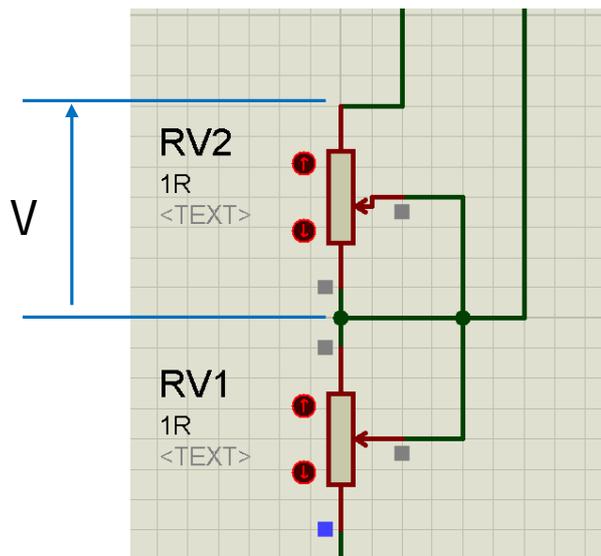


Figure 3.39 La tension V mesuré

Pour le cas d'éclairement uniformément on a la tension  $V=2.5\pm 0.2V$

Voilà ce qu'on voit pour l'affichage LCD et le moteur



Figure 3.40 l'affichage pour poursuite arrêté

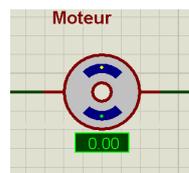


Figure 3.41 Le moteur en repos

Pour le cas d'éclairement uniformément on a la tension  $V < 2.3V$

Voilà ce qu'on voit pour l'affichage LCD et le moteur



Figure 3.42 l'affichage pour poursuite en marche (tourne à gauche)

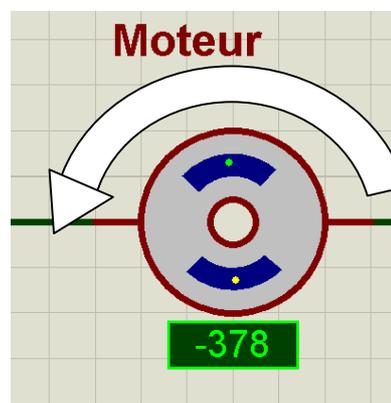


Figure 3.43 Le moteur tourne à gauche

Pour le cas d'éclairement uniformément on a la tension  $V > 2.7V$

Voilà ce qu'on voit pour l'affichage LCD et le moteur



Figure 3.44 l'affichage pour poursuite en marche(tourne à droite)

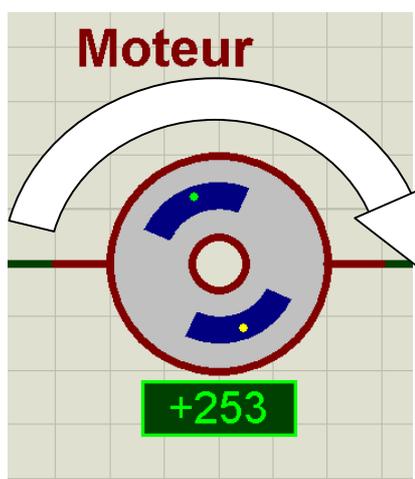


Figure 3.45 Le moteur tourne à droite

## Conclusion générale

Les travaux présentés dans ce rapport ont porté sur la conception et la réalisation d'un système de commande d'un suiveur de soleil à l'aide des composants électroniques programmable, on utilisant un processeur très répandu dans l'industrie : un microcontrôleur de la famille PIC c'est le 16F877A, et un moteur à courant continu, afin de maximiser l'ensoleillement en gardant la surface active du capteur solaire perpendiculaire aux radiations solaires.

Le tracking est assuré par un programme implémenté dans un microcontrôleur (PIC16F877A) qui transmet des impulsions à un actionneur (moteur à courant continu) qui orientent le capteur solaire de façon à ce que l'angle d'incidence reste constant.

## Bibliographie

---

- [1] Les Centrales Solaires à Concentration, Quoilin Sylvain, Université de Liège, Mai 2007
- [2] Les cultures énergétiques peuvent occuper des sols impropres à la production alimentaire, évitant ainsi la surexploitation de terres fertiles afin de produire de l'énergie.
- [3] [http://ec.europa.eu/energy/energy2020/roadmap/doc/com\\_2011\\_8852\\_fr.pdf](http://ec.europa.eu/energy/energy2020/roadmap/doc/com_2011_8852_fr.pdf)
- [4] <http://www.100percentrenewables.eu/> (site en anglais)
- [5] [http://wwf.panda.org/what\\_we\\_do/footprint/climate\\_carbon\\_energy/energy\\_solutions/renewable\\_energy/sustainable\\_energy\\_report/](http://wwf.panda.org/what_we_do/footprint/climate_carbon_energy/energy_solutions/renewable_energy/sustainable_energy_report/) (site en anglais)
- [6] <http://fr.wikipedia.org/wiki/SMES>
- [7] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Supercondensateur>
- [8] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Stockage\\_d%27hydrog%C3%A8ne](http://fr.wikipedia.org/wiki/Stockage_d%27hydrog%C3%A8ne)
- [9] [http://en.wikipedia.org/wiki/Compressed\\_air\\_energy\\_storage](http://en.wikipedia.org/wiki/Compressed_air_energy_storage) (site en anglais)
- [10] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Centrale\\_hydro-%C3%A9olienne](http://fr.wikipedia.org/wiki/Centrale_hydro-%C3%A9olienne)
- [11] Le gisement solaire, Dr TOUAFEK Khaled, URAER
- [12] Document, 'Contrôle des Systèmes DEGERtraker', DEGERenergie GmbH, 72160 Horb/Germany. <http://www.degerenergie.de>
- [13] European office: Solenergy Europe St. Petersburg, Russia, Universal solar tracker Sunflower St.
- [14] Document, 'Export Bureau International' Manufacture Export Directory, Solar-Azimuth Trackers.
- [15] Report, 'Array Technologies', Inc: Wattsun Solar Trackers.
- [16] A. Vial, 'Lignes de Déclinaison d'un Cadran Solaire Plan d'Orientation Quelconque', Université de Technologie de Troyes, Pôle Physique, Matériaux et Nanotechnologies, N°981 - 998, Octobre 2007.
- <sup>17</sup>[17] M. Haddadi, 'Elaboration d'une Commande pour Héliostat', Revue des Energies Renouvelables, Numéro Spécial, pp. 153 – 157, 2003.
- [18] S. Chin, J. Gadson and K. Nordstrom, 'Nerd Girls, Maximum Power Point Tracker', Nerd Girls Solar/MPPT Group May 12, 2003.
- [19] Document in International Competition (1993/94) 'First Step to Nobel Prize in Physics' and published in the competition proceedings (Acta Phys. Pol. A 88 Supplement, S-49 (1995)).
- [20] Mémoire de Magister, Etude et réalisation d'un banc d'essai Hybride photovoltaïque thermodynamique, GAMA Amor

- 
- [21] Document, 'Export Bureau International' Manufacture Export Directory, Solar-Azimuth Trackers.
- [22] Report, 'Array Technologies', Inc: Wattsun Solar Trackers.
- [23] Datasheet de PIC16f877A de Microchip
- [24] [http://www.sonelec-musique.com/electronique\\_theorie.html](http://www.sonelec-musique.com/electronique_theorie.html)
- [25] [www.energieplus-lesite.be/](http://www.energieplus-lesite.be/)
- 



Terminé

---