

4eme Année

# Rapport de Projet : commande d'un panneau solaire autopiloté via une carte Arduino



Réalisé par :

--ELHAMDANI Ayoub

--HDID Mohammed

**Filière : EMSI**

Année universitaire : 2015-2016

Encadré par :

--Mr.SABOR Jalal

## REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, c'est un devoir agréable d'exprimer en quelques lignes la reconnaissance et la gratitude que nous devons à tous ceux dont on a sollicité l'aide et la collaboration.

Notre gratitude s'adresse tout spécialement à Mr. SABOR Jalal pour cette bénéfique initiative concernant la mise en œuvre d'un projet au sein de ENSAM, qui a pour but d'améliorer l'esprit créatif chez les élèves ingénieurs, d'acquérir et assimiler les notions de base, de L'électromécanique et système industriel, et aussi découvrir et confronter les différentes difficultés d'un processus de conception et d'élaboration d'un projet.

## Tables des matières

REMERCIEMENTS .....	1
Introduction .....	4
Partie1 : Généralités sur les systèmes photovoltaïques .....	5
1-INTRODUCTION .....	6
Energie solaire thermique : .....	6
Energie solaire photovoltaïque : .....	6
2- Composants d'un système photovoltaïque (PV) .....	7
a) Générateur photovoltaïque (GPV) .....	7
b) Contrôle et stockage d'énergie .....	7
c) Utilisation de l'énergie .....	8
3) Générateur photovoltaïque .....	8
3-1- Principe.....	8
3.2 - Cellules Photovoltaïques .....	8
a - Structure d'une cellule Photovoltaïques .....	9
b - Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque .....	9
c - Différents types de Cellules Photovoltaïques .....	11
d - Modélisation d'une cellule photovoltaïque.....	12
4)- Module photovoltaïque.....	12
4.2 - Caractéristiques d'un module solaire PV .....	14
4.3 - Module et groupement de cellules en série.....	15
4.4 - Module et groupement de cellules en parallèle.....	16
5 -Orientation des panneaux solaires.....	18
5.1 - Choix de l'orientation des modules.....	18
Partie 2 : L'analyse fonctionnelle de système de commande de panneau solaire autopiloté.....	21
I- L'analyse fonctionnelle externe du système de commande de panneau solaire.....	22
1- ANALYSE DU BESOIN.....	22
2- Validation du besoin : .....	23

3-	Enoncé des différentes fonctions de service .....	23
II-	L'analyse fonctionnelle interne du système de commande de panneau solaire .....	24
1-	FAST de description du système de notre système : .....	24
2-	SADT, Actigramme A-0 : .....	26
	Partie 3 : Élaboration des différentes phases de projet .....	27
	Introduction au sujet : .....	28
1-	Système de conversion de l'énergie solaire : .....	28
2-	Présentation et description des matériels : .....	30
a)	Onduleur : .....	31
b)	La batterie de condensation : .....	31
c)	Le régulateur : .....	32
3-	Etude de faisabilité .....	32
I-	La chaîne d'acquisition de notre système : .....	33
II-	Stratégie de poursuite du soleil : .....	34
1-	Système de suiveur solaire .....	34
2-	Principe de suiveur soleil : .....	35
III-	Partie puissance : .....	38
	Alimentation des moteurs : .....	38
IV-	Partie distribution : .....	39
V-	Partie commande : .....	40
VI-	Programme de commande de la carte Arduino : .....	43
	Conclusion : .....	46
	<b>ANNEXE</b> .....	47

## Introduction

Notre formation d'ingénieur nous prépare à occuper des fonctions scientifiques ou techniques en vue de prévoir, créer, organiser, diriger et contrôler les travaux qui en découlent. C'est dans cette optique de conception et de direction de projets que nous avons abordé le projet de commande d'un panneau solaire photovoltaïque autopiloté selon deux axes.

L'énergie solaire est l'énergie que dispense le soleil dans son rayonnement, l'expression « énergie solaire » est souvent employée pour désigner l'électricité ou l'énergie thermique obtenue à partir de cette dernière. Les techniques pour capter directement une partie de cette énergie sont disponibles et sont constamment améliorées. On peut distinguer le solaire passif, le solaire photovoltaïque et le solaire thermique.

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque. Les cellules photovoltaïques produisent du courant continu. Ensuite, suivant l'utilisation, plusieurs cellules sont reliées entre-elles sur un module solaire photovoltaïque et plusieurs modules sont regroupés dans une centrale solaire photovoltaïque.

A l'ère des énergies renouvelables, on est constamment amené à rechercher des solutions pour améliorer et innover la production d'énergie. En se basant sur l'exemple de l'énergie solaire, à partir de panneaux photovoltaïques, une idée consiste à étudier la faisabilité et l'intérêt d'un panneau solaire « autopiloté ». En somme un robot, articulé autour de **deux axes de rotations**, permettant d'orienter le panneau solaire perpendiculairement au soleil, pour un meilleur transfert d'énergie et donc un meilleur rendement.

## PARTIE 1 :

# GÉNÉRALITÉS SUR LES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES



## 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).

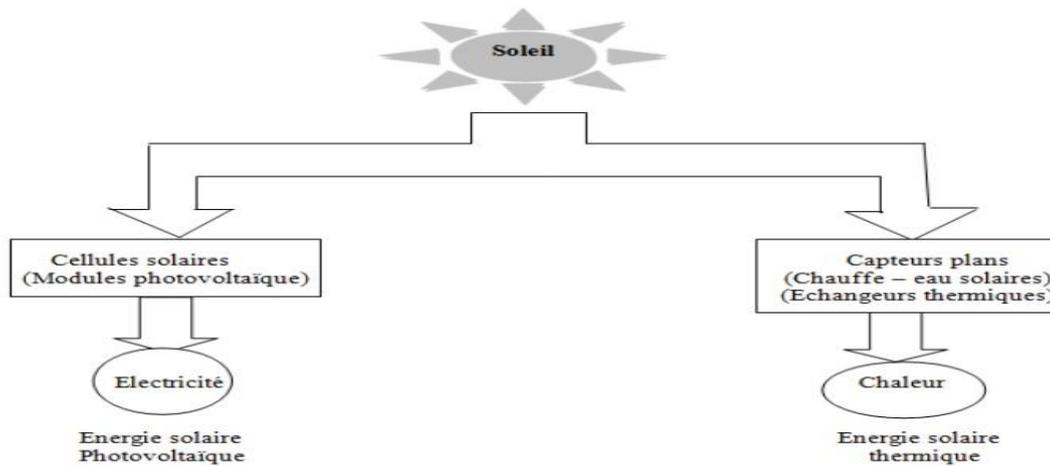


Figure 1.1: types d'énergie solaire

### 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).

### 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- 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 système photovoltaïque comprend les différents éléments indiqués par la figure 2.

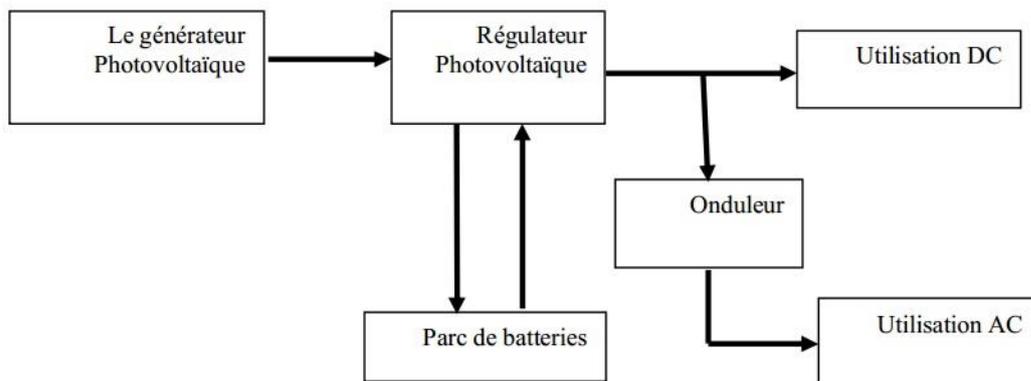


Figure 1.2 : Schéma synoptique d'un système photovoltaïque

### a) Générateur photovoltaïque (GPV)

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

### b) 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.

### c) 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...).

### d) 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.

### 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.

### 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 schématique 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.

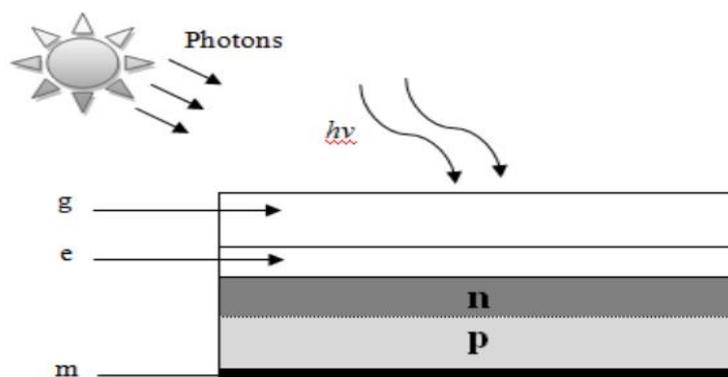
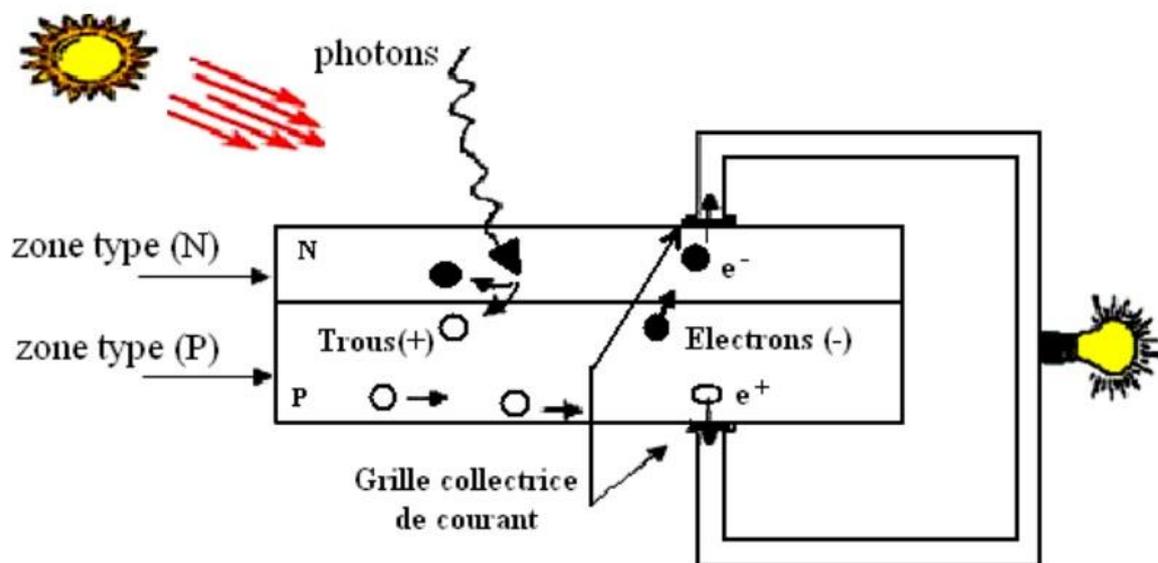


Figure 1.3 : Présentation schématique d'une cellule solaire

### 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 du matériau semi-conducteurs, a appelée 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.



**Figure 1.4:** Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Avec :

$E$  : énergie de photon (eV)

$h$  : constante de Planck

$\nu$  : fréquence de la lumière

$C$  : vitesse de la lumière

$\lambda$  : longueur d'onde de la lumière

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. La tension maximale de la cellule est d'environ 0.6 V pour un courant nul. Cette tension est nommée tension de circuit ouvert (VOC). Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées, il est appelé courant de court-circuit (ICC) et dépend fortement du niveau d'éclairement.

### c - Différents types de Cellules Photovoltaïques

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

#### → 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

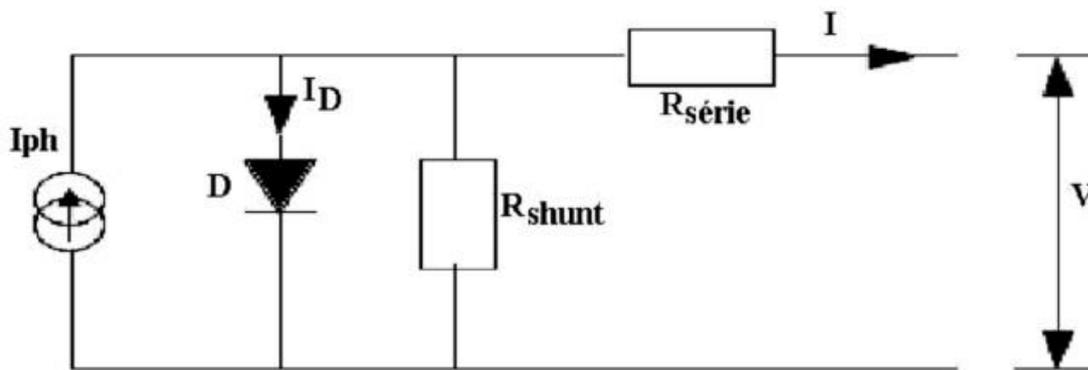
Leur conception étant plus facile, leur coût de fabrication est moins important, cependant leur rendement de conversion est plus faible (12 à 14%).

#### → 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.

#### 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.



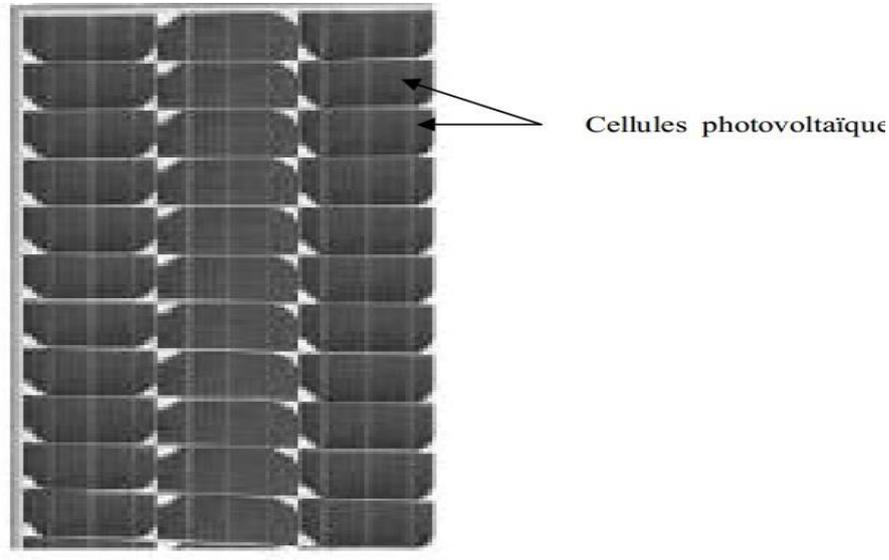
**Figure 1.5 :** Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque

$R_{série}$  ( $R_s$ ) représente la résistance série qui tient compte des pertes ohmiques du matériau des métallisations et du contact métal/semi-conducteur,  $R_{shunt}$  ( $R_{sh}$ ) 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.

#### 4)- 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).

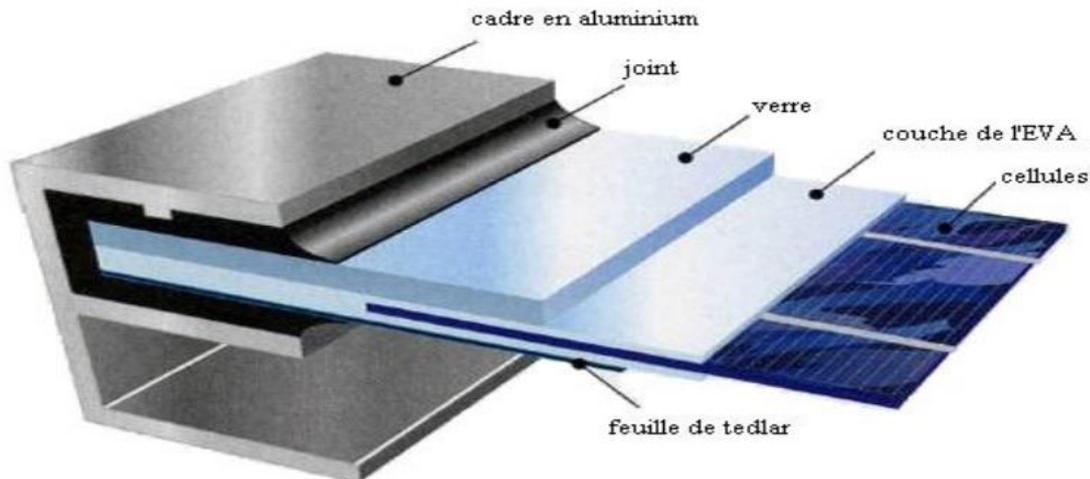


**Figure 1.10 :** Module photovoltaïque

#### 4.1- Composition d'un module solaire photovoltaïque

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

- 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

## 4.2 - Caractéristiques d'un module solaire PV

### - Puissance de crête, $P_c$ :

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

### - 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.

- Facteur de forme :

Rapport entre la puissance optimale  $P_m$  et la puissance maximale que peut avoir la cellule.

### 4.3 - 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  $R'$ .

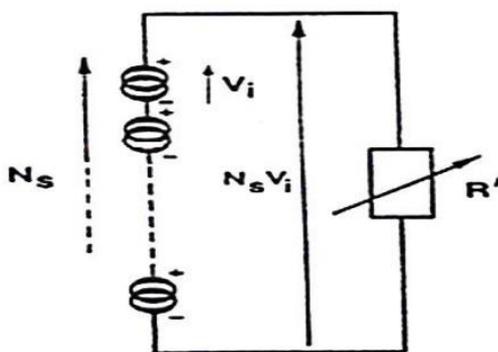


Figure 1.12: Schéma d'un module fermé d'un groupement de  $N_s$  cellules en série

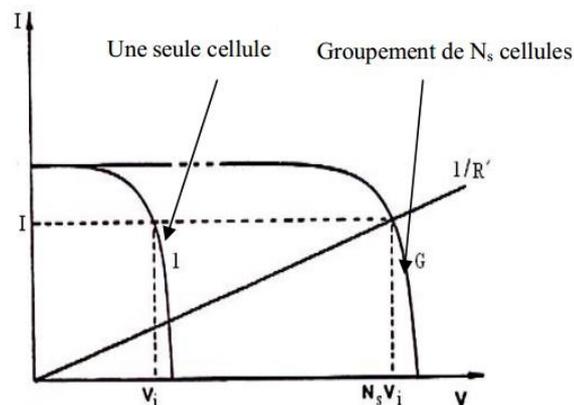


Figure 1.13 : Caractéristique  $I (v)$  d'un groupement de  $N_s$  cellules en série

Avec :

$N_s$  : nombre de cellule en série

$G$  : 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  $N_s.V_i$ . 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.

#### 4.4 - 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). 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.

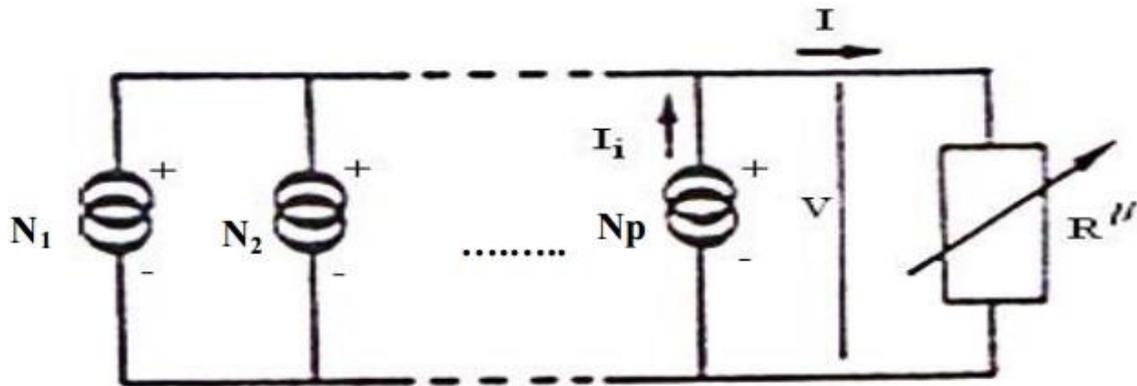


Figure 1.14 : Schéma d'un module fermé d'un groupement de  $N_p$  cellules en parallèle

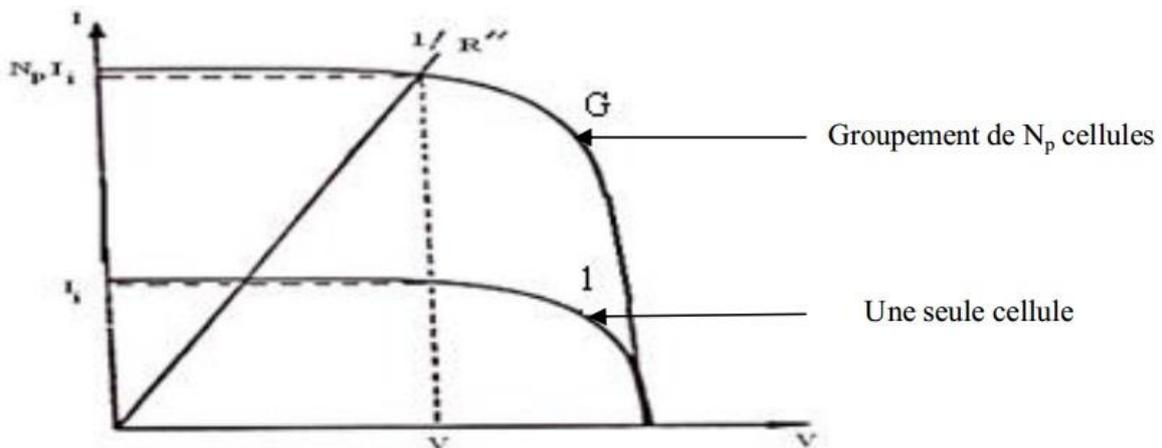


Figure 1.15 : Caractéristique  $I(V)$  d'un groupement de  $N_p$  cellules en parallèle

Avec :

$N_p$  : nombre de cellule en parallèle

G : groupement de  $N_p$  cellules

$R''$ : 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'introduise 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.

## 5 -Orientation des panneaux solaires

### 5.1 - 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.

### 5.2- 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. 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 00 à 900 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). Le déplacement apparent du soleil est d'environ 240° en azimut et de 70° en élévation de latitudes.

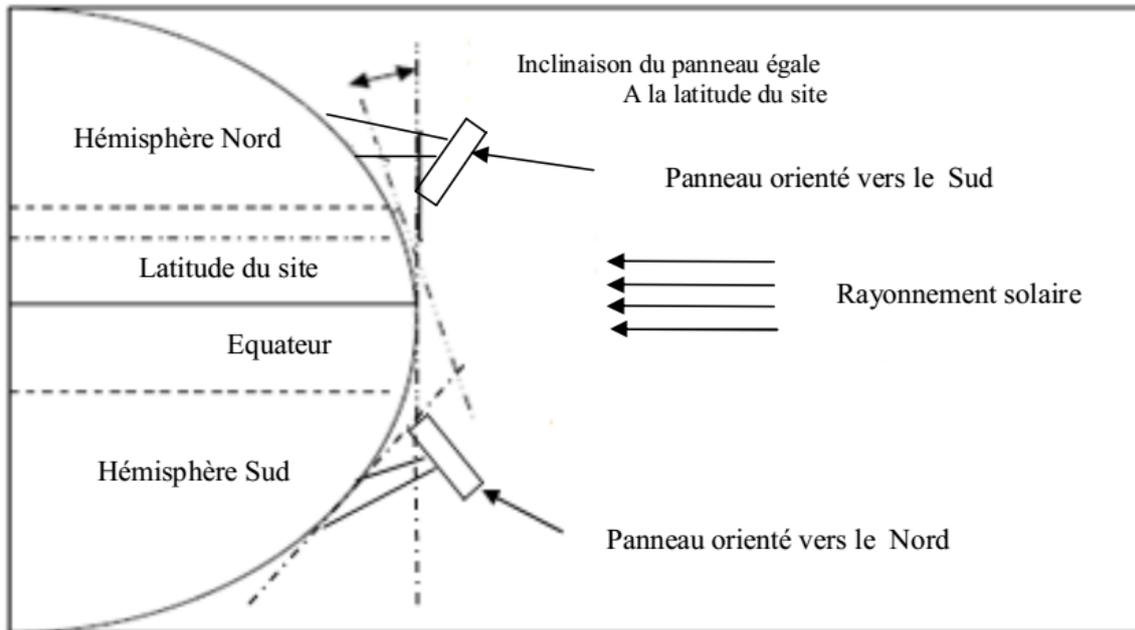


Figure 1.18 : Comment incliner le panneau solaire

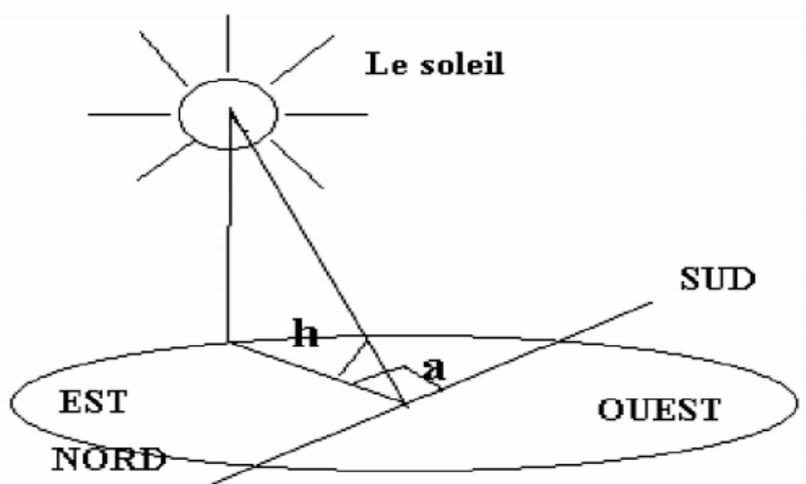
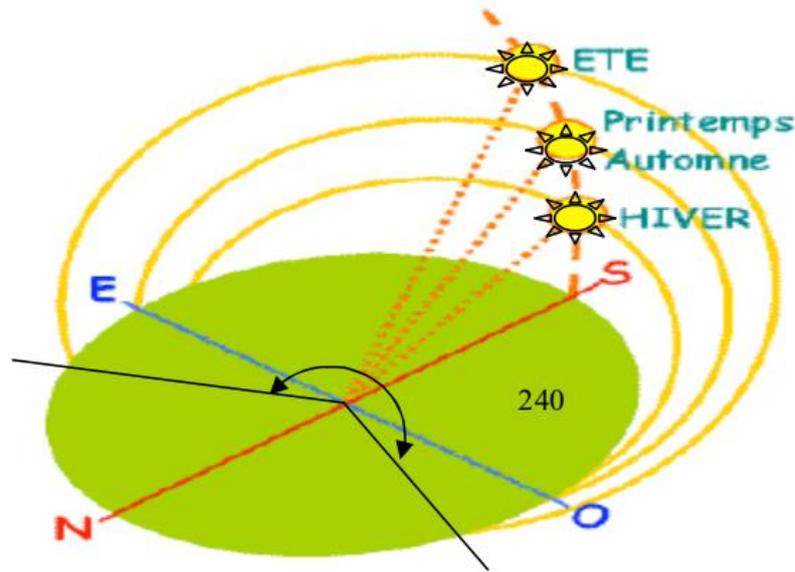


Figure 1.19 : Représentation de la latitude (hauteur) angulaire et l'azimut

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-



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

midi. Une part importante de l'énergie récupérable est ainsi perdue.

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.

## PARTIE 2 :

# L'ANALYSE FONCTIONNELLE DE SYSTÈME DE COMMANDE DE PANNEAU SOLAIRE AUTOPILOTÉ



## I- L'analyse fonctionnelle externe du système de commande de panneau solaire

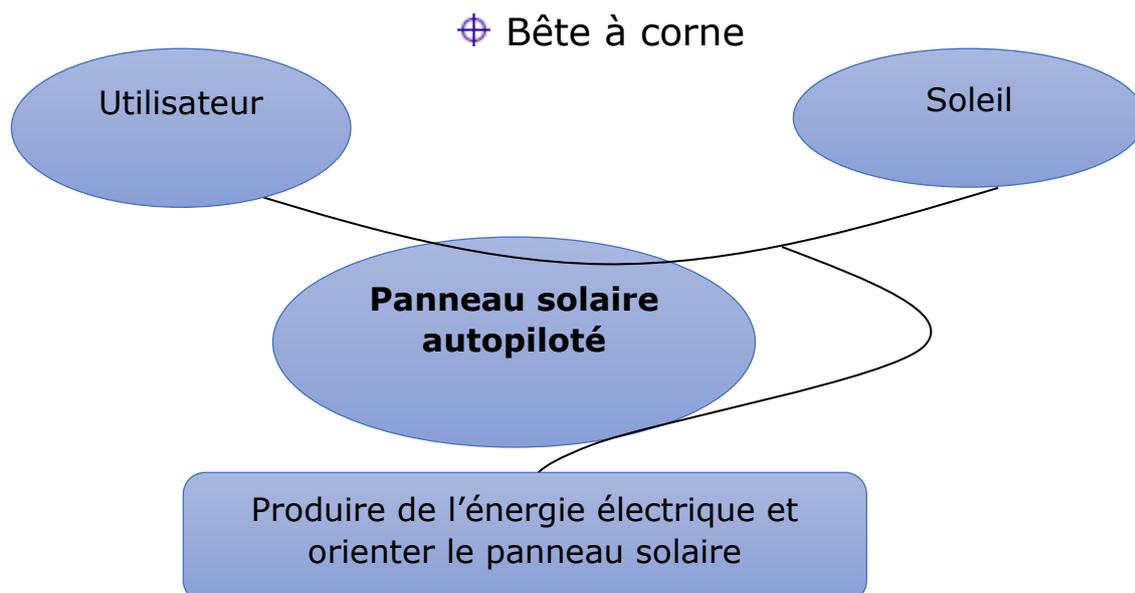
L'analyse fonctionnelle externe consiste à analyser le besoin auquel devra répondre le produit, les fonctions de service qu'il devra remplir, les contraintes auxquelles il sera soumis et à caractériser ces fonctions et ces contraintes. C'est la base de l'élaboration du **Cahier des Charges Fonctionnel**

### Problématique :

Orienter le panneau solaire perpendiculairement aux rayons du soleil afin d'avoir le meilleur rendement dans la transformation de l'énergie. Ce réglage varie dans la journée compte tenu de la rotation de la terre.

### 1- ANALYSE DU BESOIN

- ⊕ BESOIN : produire de l'énergie électrique et recharger la batterie.
- ⊕ PRODUIT : Panneau solaire orientable motorisé.



## 2- Validation du besoin :

Qu'est-ce qui pourrait faire évoluer le besoin et par conséquent le produit ?

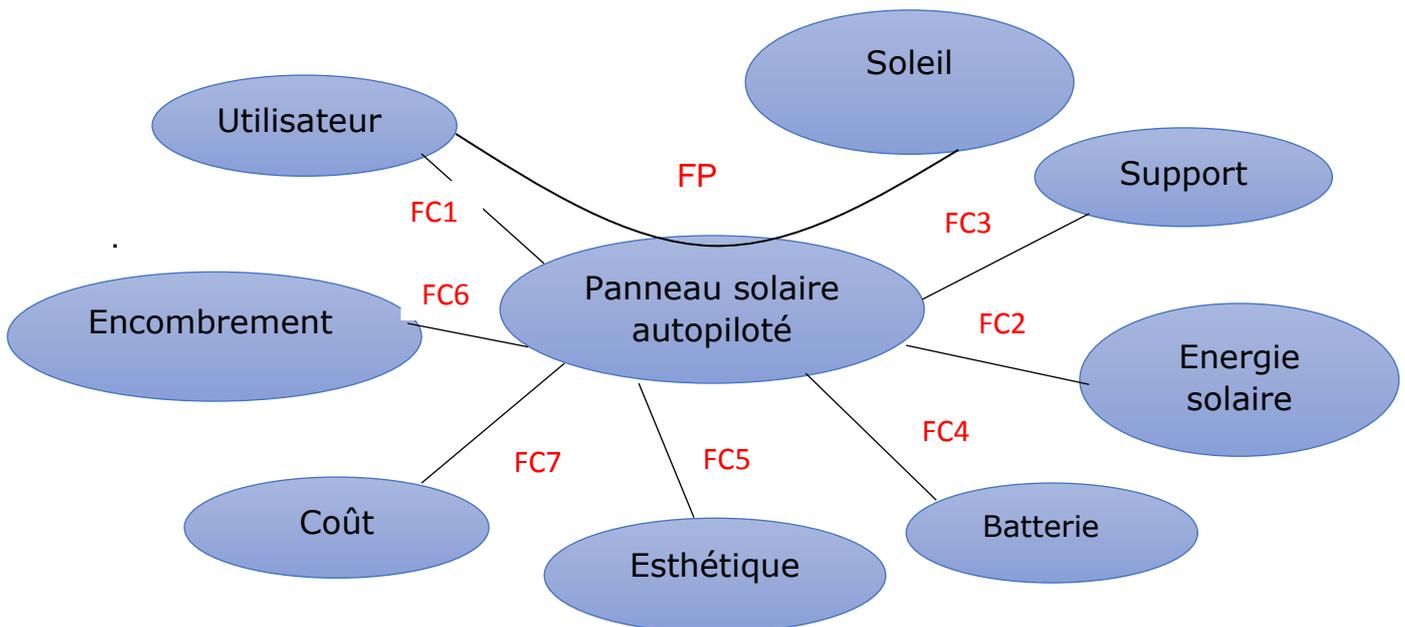
⇒ La présence des Batteries de très grandes capacités de charge

Qu'est ce qui pourrait faire disparaître le besoin et par conséquent le produit ?

⇒ L'utilisation des systèmes automatisés plus sophistiqué.

## 3- Énoncé des différentes fonctions de service.

- Utilisation d'un diagramme des interactions : **"pieuvre"**



Fonctions	EXPRESSION DE LA FONCTION
FP	Capter l'énergie émise par le soleil pour le maintien en charge des batteries et l'orientation du panneau solaire.
FC1	Etre de manipulation facile.
FC2	Etre alimenté en énergie solaire.
FC3	Etre supporté.
FC4	Charger la batterie.
FC5	Avoir un bon aspect esthétique.
FC6	Etre moins encombrant.
FC7	Avoir un coût optimal.

## II- L'analyse fonctionnelle interne du système de commande de panneau solaire

Un produit peut être considéré comme le support matériel d'un certain nombre de fonctions techniques.

L'analyse fonctionnelle interne d'un produit dégage chaque fonction technique permettant d'assurer les fonctions de service et permet la matérialisation des concepts de solutions techniques. C'est le point de vue du concepteur.

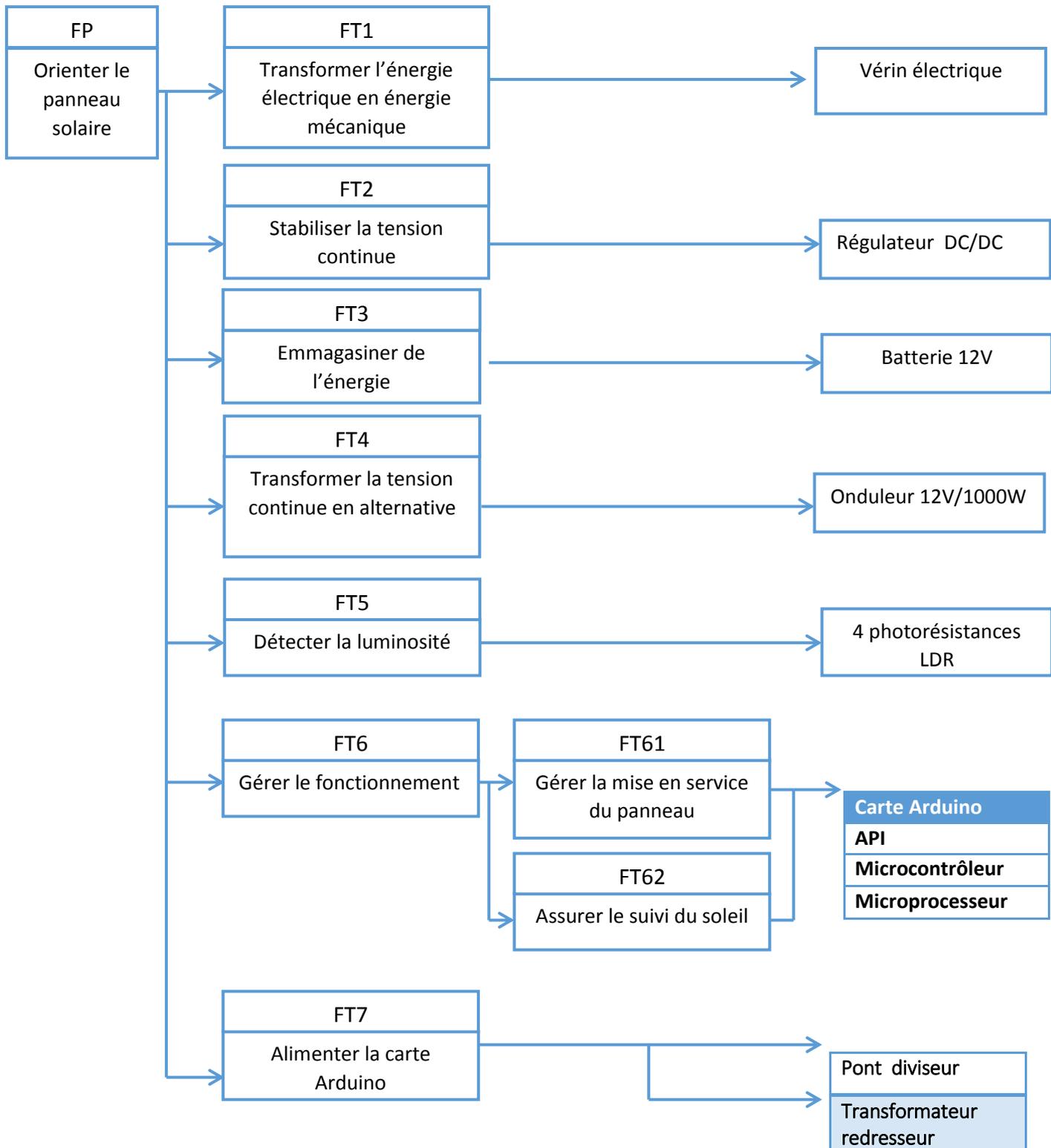
Ce type d'analyse consiste à rechercher les fonctions techniques, les solutions optimales et les composants qui doivent satisfaire une fonction de service.

### 1- FAST de description du système de notre système :

Pour rechercher le maximum de solutions :

Il est nécessaire de procéder à une recherche progressive et descendante des fonctions techniques à partir de chacune des fonctions de service.

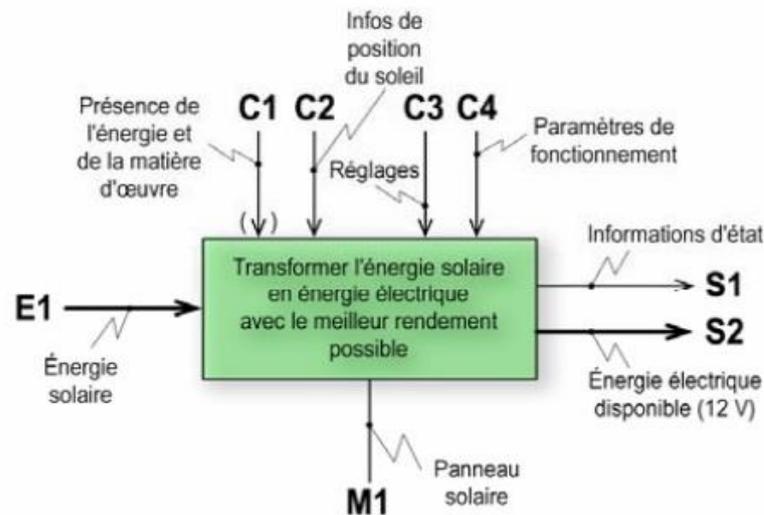
L'outil permettant de réaliser de visualiser cet enchaînement s'appelle le **F.A.S.T.** signifiant : **F**onction **A**nalysis **S**ystem **T**echnic, que l'on peut traduire par : **Technique d'Analyse Fonctionnelle et Systématique**



## 2- SADT, Actigramme A-0 :

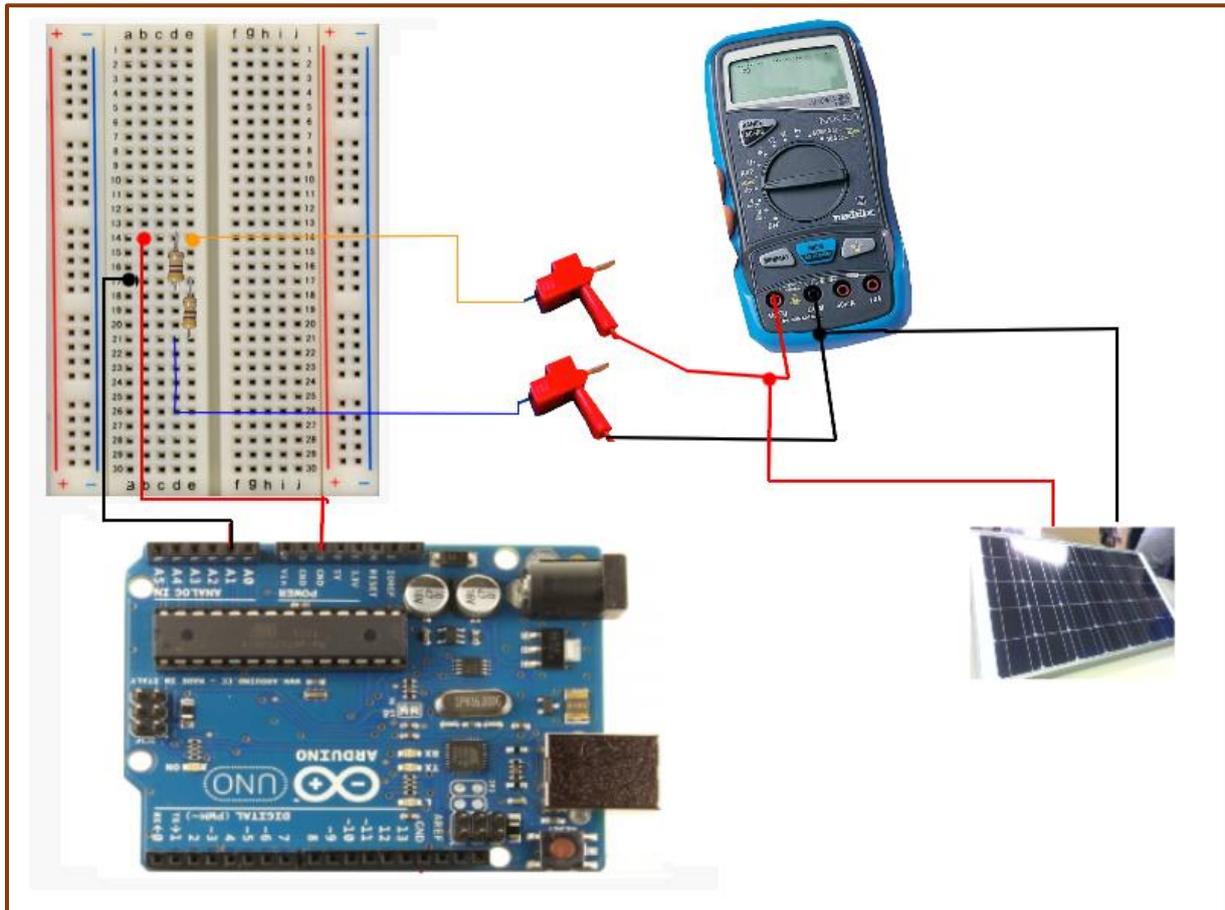
La méthode SADT est une méthode graphique qui part du général pour aller au particulier. Elle permet de décrire des systèmes où coexistent des flux de matières d'œuvre (produits, énergies et informations). Elle s'appuie sur la mise en relation de ces différents flux avec les fonctions que remplit le système.

### Panneau solaire autopiloté SADT niveau A-0 Point de vue système



## PARTIE 3 :

# ÉLABORATION DES DIFFÉRENTES PHASES DE PROJET



## Introduction au sujet :

Beaucoup de populations dans les zones rurales des pays en voie de développement affrontent de grands problèmes dus au déficit en eau. Ces problèmes sont spécialement accentués dans zones désertiques et semi-désertiques. Le déficit en eau dans les zones arides et semi-arides est une question vitale pour les populations. L'amélioration des conditions de vie dans ces zones est liée à la recherche des solutions adéquates à ce problème. Le pompage solaire photovoltaïque (PV) représente la solution idéale pour l'approvisionnement en eau partout où le réseau électrique est absent.

Le projet que nous avons entre nos mains s'agit d'un panneau photovoltaïque servant à alimenter une pompe pour irrigation afin d'avoir une source d'énergie fiable et portable.

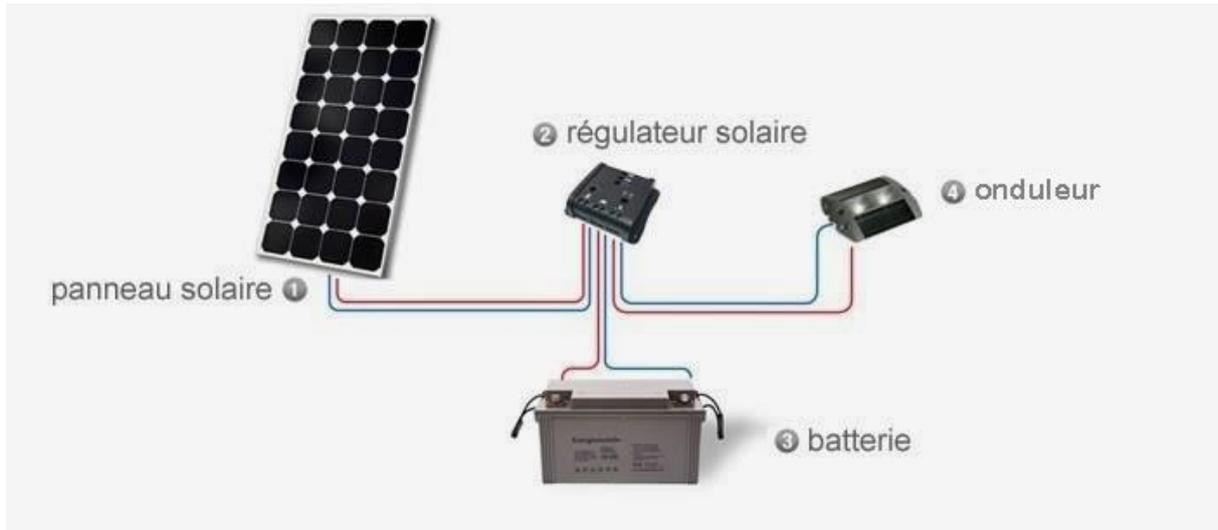
En raison du déplacement permanent de notre module photovoltaïque, et afin de pouvoir assurer un rendement meilleur, on essayera d'élaborer un système qui donnera la possibilité au panneau photovoltaïque de s'autopiloter en recherchant le point du rendement maximal.

Dans la première partie on abordera tout d'abord les composants nécessaires pour donner naissance à la conversion efficace de l'énergie solaire en une énergie mécanique. Puis on s'intéressera à la mise en position d'un système assurant l'autopilotage et la régulation de la position du panneau solaire suivant les deux directions horizontale et verticale.

## 1- Système de conversion de l'énergie solaire :

Afin de pouvoir faire une conversion efficace et total d'énergie, on aura besoin de tout un système de conversion, en passant par l'acquisition de l'énergie jusqu'à sa distribution sur les différents charges.

Le schéma basique de notre installation peut être représenté comme la figure ci-dessous :



En analysant notre besoin on essaiera de décortiquer notre système afin de pouvoir comprendre l'utilité de chaque composant.

#### Panneau photovoltaïque :

Le panneau photovoltaïque est le premier responsable de l'acquisition de l'énergie solaire avant sa conversion vers une énergie électrique, le PV est composé des cellules à base de Silicium qui donnent naissance à une différence de potentiel dès leurs acquisitions d'un éclaircissement.

D'après le dimensionnement déjà fait on peut résumer les différentes charges comme suit :

Appareils	Nombre	Puissance (W)	Durée d'utilisation/Jrs	Consommation journalière(Wh)
Pompe à eau	1	220 (AC)	7	385
Lampe économique	1	220 (AC)	7	105
Moteur d'orientation	2	36 (DC)	4	144

Avec un calcul total des pertes des différents câbles on arrive à dire que la puissance des pertes peut être estimée à 28.8W.

L'ensoleillement moyen de la ville de Meknès est de 8 heures. Donc l'énergie que doit fournir le panneau solaire est de :

$$P(wh) = 730.5 + 28.8 * 8 = 759.68 Wh$$

Donc la puissance du panneau solaire est de l'ordre de :

$$P = \frac{959.68}{8} = 119.92 W$$

Donc le panneau photovoltaïque choisit des de puissance de 120W

## 2- Présentation et description des matériels :

Notre matériel est composé de :

- ⇒ Panneau solaire photovoltaïque.
- ⇒ 4 capteurs LDR photo résistance seuil de lumière.
- ⇒ Batterie 12V.
- ⇒ Régulateur DC/DC.
- ⇒ Onduleur
- ⇒ 3 relais de 5V coté bobine et de 28V coté commande (broche).
- ⇒ Carte Arduino MEGA 2560.
- ⇒ 2 vérins électriques à courant continu 36V DC.
- ⇒ Transformateur redresseur.

**a) Onduleur :**

L'onduleur est un composant assurant la conversion d'une tension continue vers une tension alternative (220V) distribuée vers le réseau ou les charges travaillant sous ce régime.

Mais sous des certaines conditions il faut qu'il soit adapté à notre panneau. La première condition à vérifier se résume dans sa puissance, cette dernière doit être adaptée à la puissance nécessaire pour alimenter la charge :

- ⇒ Pompe : 55W
- ⇒ Lampe : 15W
- ⇒ Moteur d'orientation : 40W (36W avec rendement de 0.9)

Donc la puissance qui véhicule entre l'onduleur et le disjoncteur est :

$$P = 110 \text{ W}$$

Avec une puissance apparente égale à :  $S = 122.22 \text{ VA}$

Le choix fait est un onduleur de 800 W.

**b) La batterie de condensation :**

La batterie de condensation sert à stocker l'énergie convertie afin de pouvoir l'utiliser dans les cas de manque de puissance suffisante délivré par le panneau.

Pour le dimensionnement on trouve que l'énergie que doit être fournie est de l'ordre de : 730 Wh. En terme de Ah on a la capacité de la batterie est égale à 60.77 Ah. Donc le choix fait est : la batterie de capacité 70Ah de référence NRJ70.

### c) Le régulateur :

Le régulateur est le premier responsable de la gestion de courant entre le panneau et la batterie et l'onduleur. Il doit fournir un courant constant à la batterie, donc on choisit un régulateur dont sa puissance soit supérieure à la puissance circulante, par conséquent un courant supérieur au courant d'emploi.

On a la puissance maximale est de l'ordre de 120 W et le courant de 10A donc le choix fait est un régulateur Sygma 380W 30A/30A.

## 3- Etude de faisabilité

On souhaite réaliser un circuit électronique, permettant de piloter les deux moteurs afin de positionner le panneau solaire. Avant la phase de simulation, il est nécessaire de décomposer l'étude en sous chapitres :

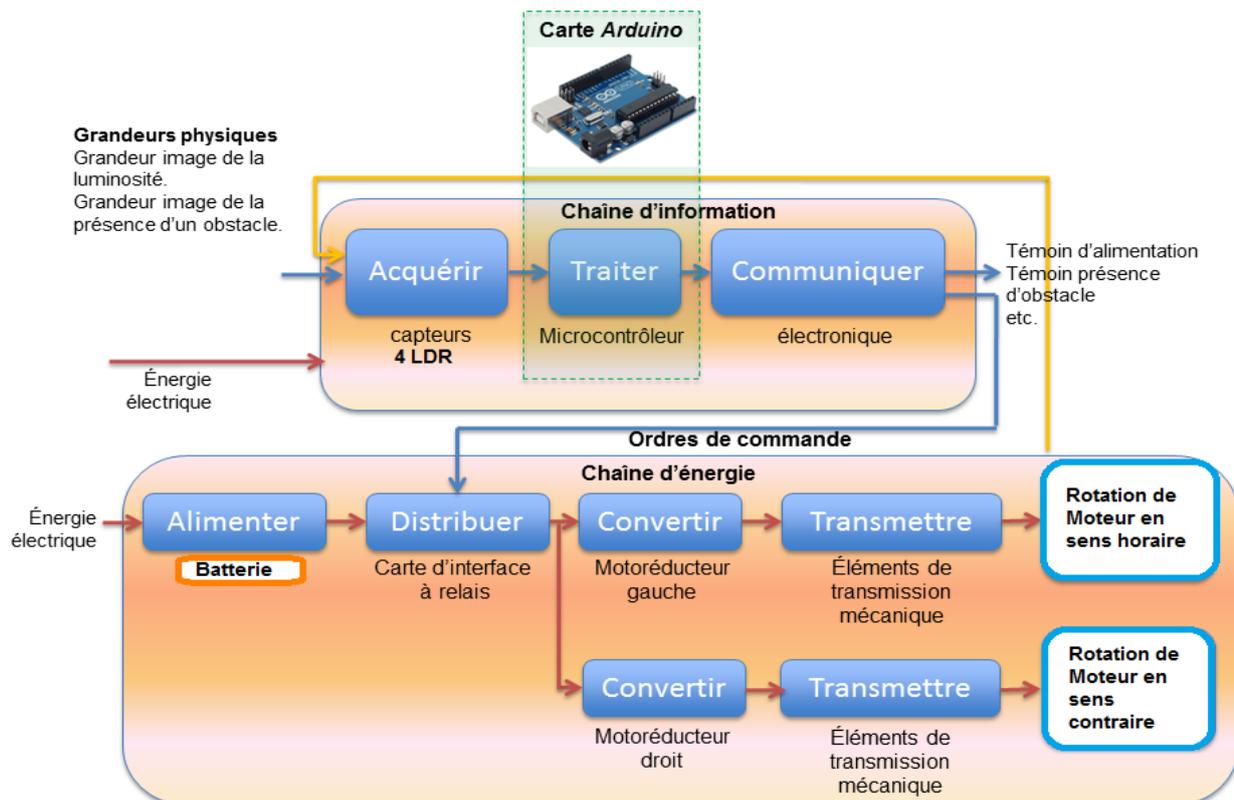
- I- Chaines d'acquisition de notre système.
- II- Stratégie de poursuite du soleil.
- III- Partie commande.
- IV- Partie puissance.
- V- Partie distribution.
- VI- Programme de commande de la carte Arduino.

## I- La chaîne d'acquisition de notre système :

L'association capteur-conditionneur détermine les caractéristiques du signal de sortie. La chaîne d'acquisition doit être considérée dans son ensemble, ses caractéristiques sont déterminées de manière à répondre à l'application visée. Les divers dispositifs constituant la chaîne d'acquisition et sa structure doivent permettre le mesurage, le traitement et la restitution de la mesure avec les caractéristiques nécessaires à l'application :

Résolution, précision, rapidité et immunité aux parasites.

Le schéma ci-dessous présente la chaîne d'acquisition de notre système :



## II- Stratégie de poursuite du soleil :

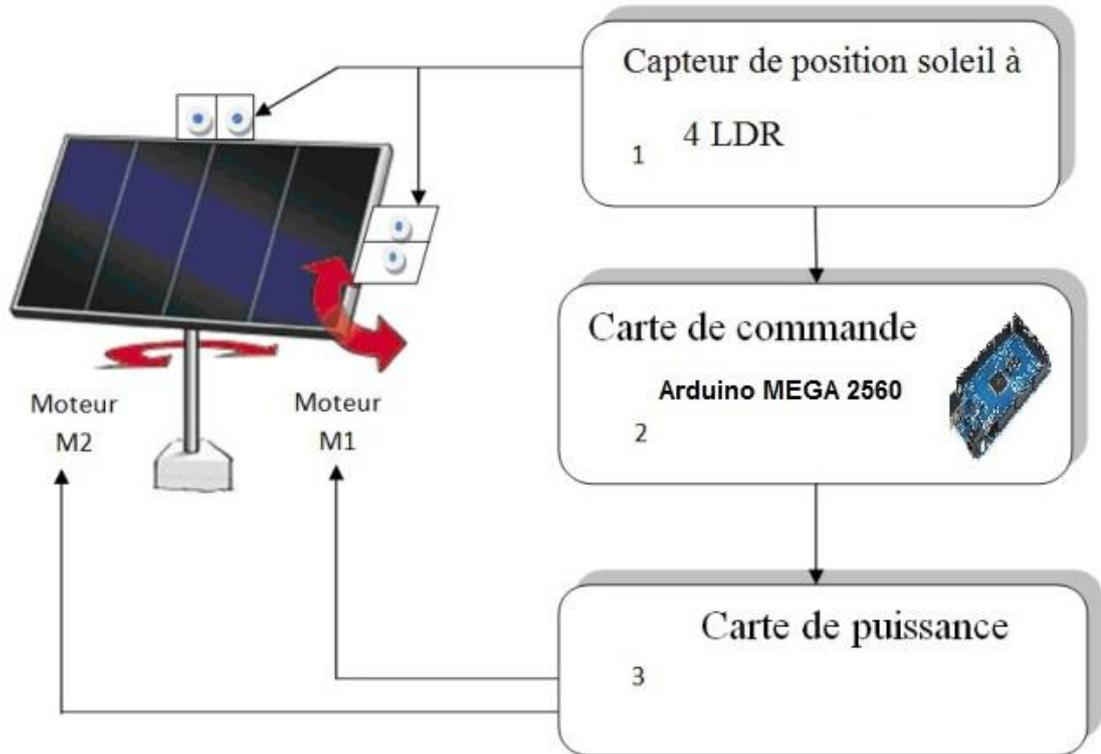


Figure 4.1: schéma de bloc du système

### 1- Système de suiveur solaire

Notre suiveur solaire est basé sur la carte Arduino est peut-être divisé en trois blocs comme suit :

- ✓ 4 Capteur de type LDR (**L**ight **D**épendent **R**ésistor ou résistance dépendant de la lumière).
- ✓ Une carte de traitement et de commande à l'aide d'une carte électronique Arduino MEGA 2560.
- ✓ Une carte de puissance : notre circuit électronique

## 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 au rayonnement solaire figure. En fonction de la valeur du déséquilibre et de son sens, le moteur du vérin est actionné.

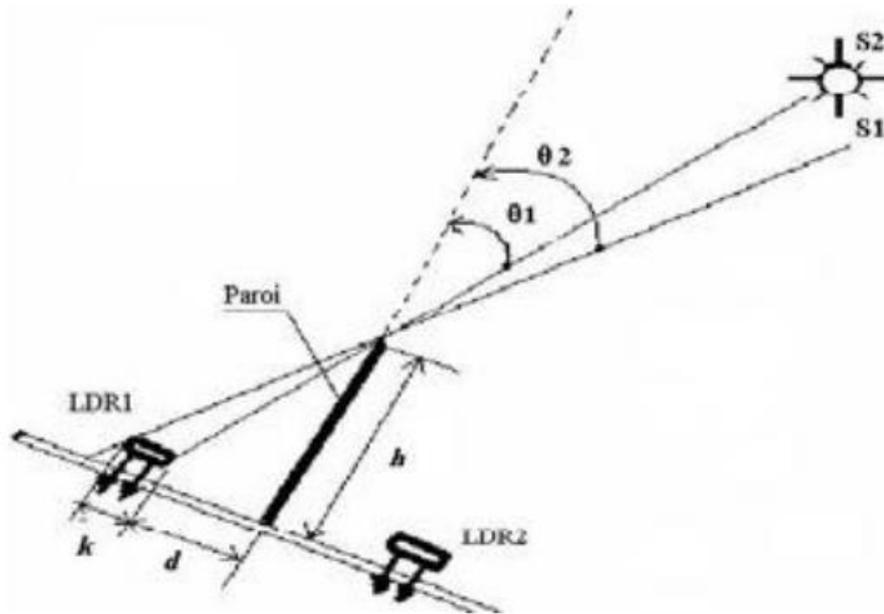


Schéma de principe d'utilisation des deux résistances LDR pour capter la position du soleil

D'après le schéma de la figure, on remarque que l'éclairement de la résistance LDR1 va dépendre des paramètres suivants :

**d** : la distance entre la paroi et la résistance LDR.

**h** : la hauteur de la paroi opaque.

**k** : le diamètre de la résistance LDR.

**θ1** : l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur la résistance LDR 1; tandis que **θ2** est l'angle d'ombre pour la même résistance LDR1.

### Acquisition de position :

Pour pouvoir connaître à chaque moment la position du panneau afin de prendre la décision de la régulation, on doit tout d'abord faire appel à un capteur pouvant réaliser ce travail. Pour cela on a choisi de travailler avec des photorésistances (LDR).

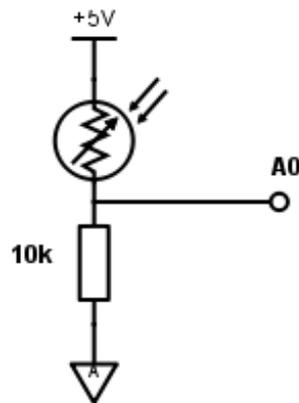
#### → Photorésistances LDR :

Une photorésistance est un composant dont la valeur en ohms dépend de la lumière à laquelle il est exposé. On la désigne aussi par LDR (Light Dependent Resistor = résistance dépendant de la lumière). La principale utilisation de la photorésistance est la mesure de l'intensité lumineuse (appareil photo, systèmes de détection, de comptage et d'alarme...). Elle est fortement concurrencée par la photodiode dont le temps de réponse est beaucoup plus court. Les matériaux utilisés sont généralement du sulfure ou du séléniure de cadmium qui se comporte comme des semi-conducteurs.



### Principe :

La photorésistance (ou LDR) peut se comporter comme une résistance, du coup on peut évidemment l'intégrer dans un circuit diviseur de tension. Donc on peut à chaque moment lire la tension entre les borne de la LDR et faire l'analogie afin de pouvoir si situer par rapport au degré d'éclairage.



Comme montré sur la figure ci-dessus, le potentiel enlevé à partir de A0 peut varier du potentiel fort de la résistance 10k jusqu'à 5V suivant la relation suivante :

$$V(A0) = \frac{R10}{LDR + R10} * 5$$

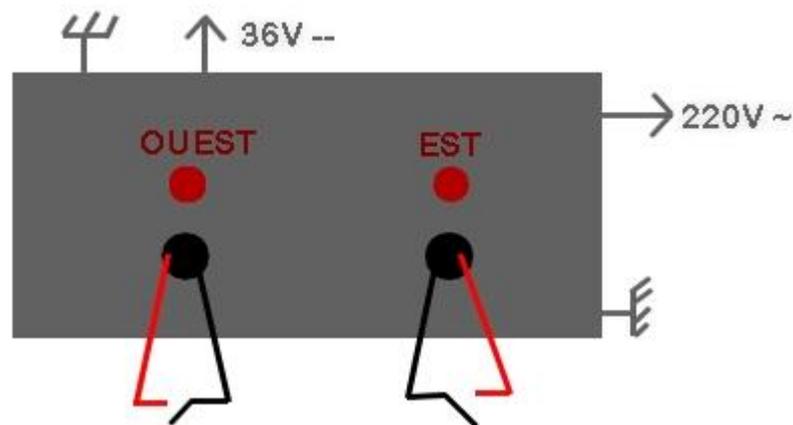
Quand la LDR est éclairée elle représente une résistance moins faible suite au mouvement des électrons du potentiel fort au potentiel faible ce qui donne une tension V(A0) maximale. Par contre, quand la LDR n'est pas éclairée elle représentera une résistance forte ce qui baisse la valeur de V(A0) suite à la formule ci-dessus.

### III- Partie puissance :

#### ⇒ Alimentation des moteurs :

Puisque la tension qu'on doit assurer au bornes des deux moteurs est à l'ordre de 36V continue, on doit intégrer un transformateur redresseur qui va transformer la tension délivrée à travers l'onduleur qui est de l'ordre de 220V (~) et la redresser afin d'avoir une tension continue de 36V.

Le module qu'on a utilisé pour cette fonction intègre un transformateur redresseur et un pont hacheur qui donne la possibilité d'inverser le sens du moteur afin de pouvoir s'orienter à l'aide des moteurs dans les 2 sens, de plus il intègre des roues libres à base des diodes empêchant les courants de retour d'endommager les moteurs.



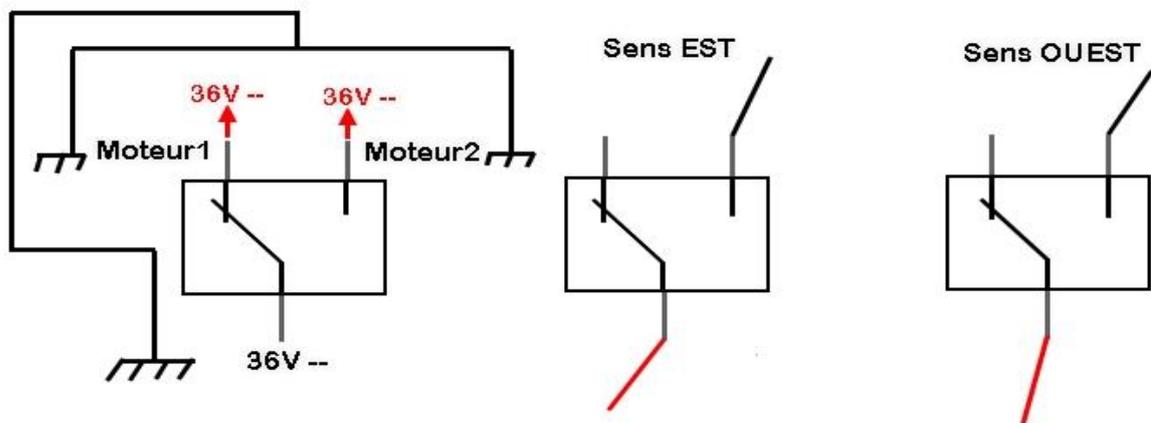
Donc, comme on peut le constater sur le schéma ci-dessus, tout ce qu'il faut faire pour pouvoir faire fonctionner le moteur dans l'un de ses sens c'est de contacter les deux câbles de l'un des sens.

Elaborer le contact ne peut être fait qu'à l'aide d'un circuit électronique et commandable par une carte Arduino comme on a signalé dans l'analyse fonctionnelle. Pour cela il faut élaborer un circuit de distribution d'énergie électrique pour nos vérins à base des contacteurs qui seront dans notre cas des relais.

#### IV- Partie distribution :

Afin de pouvoir distribuer et gérer le passage du courant vers nos moteurs ( vérins ) dans les deux sens, il faut intégrer trois relais qui auront comme objectifs la gestion du choix des sens et du moteur, et la séparation de la partie puissance de la partie commande.

Le Schéma sera comme suit :



Les relais qu'on a choisi sont de types : TRS-5VDC 1A 28VDC/120AC, Donc ils sont commandé par 5V et peuvent laisser circuler un courant sous une tension à l'environ de 28V continue (dans notre cas 36V).

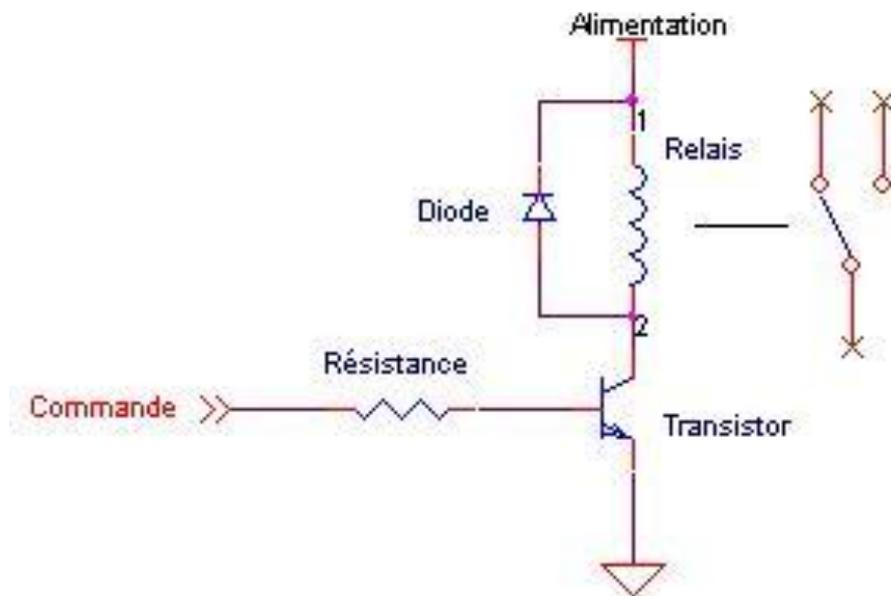
Afin de pouvoir commander ces relais il faut appliquer une tension de 5V continue aux bornes de la bobine interne, ce qui paraît évident à l'aide d'une carte Arduino pouvant assurer en sorties logiques les 5V demandés. Mais la bobine demande un courant très élevé par rapport au courant que la carte peut délivrer, du coup ça ne sera pas possible de faire relier les sorties de la carte directement aux bornes des relais. D'où il faut réaliser un circuit électronique de commande permettant de commander l'alimentation de la bobine par les sorties logiques de l'Arduino à base des transistors. Il faut signaler que l'ajout des diodes de roue libre aux bornes des relais est indispensable pour leur protection.

## V- Partie commande :

Afin de pouvoir commander notre panneau photovoltaïque en position suivant les deux directions, on aura besoin de définir tout un protocole de commande pour pouvoir élaborer la liaison entre tout ce qui est commande et tout ce qui est puissance. Après la fixation des choix fait dans l'analyse fonctionnelle on doit alors commander deux moteurs travaillant sous un régime continu de 36V via une carte Arduino ne dépassant les 5 Voltes, ce qui ne semblera pas possible sans l'intégration d'un circuit électronique permettant de faire la liaison.

Dans ce qui suit on essayera d'aborder cette problématique point par point en essayant de trouver des solutions techniques à l'aide des différentes composantes électroniques.

Pour pouvoir commander la bobine du relais on a opté pour le choix d'un transistor bipolaire NPN travaillant en régime de saturation



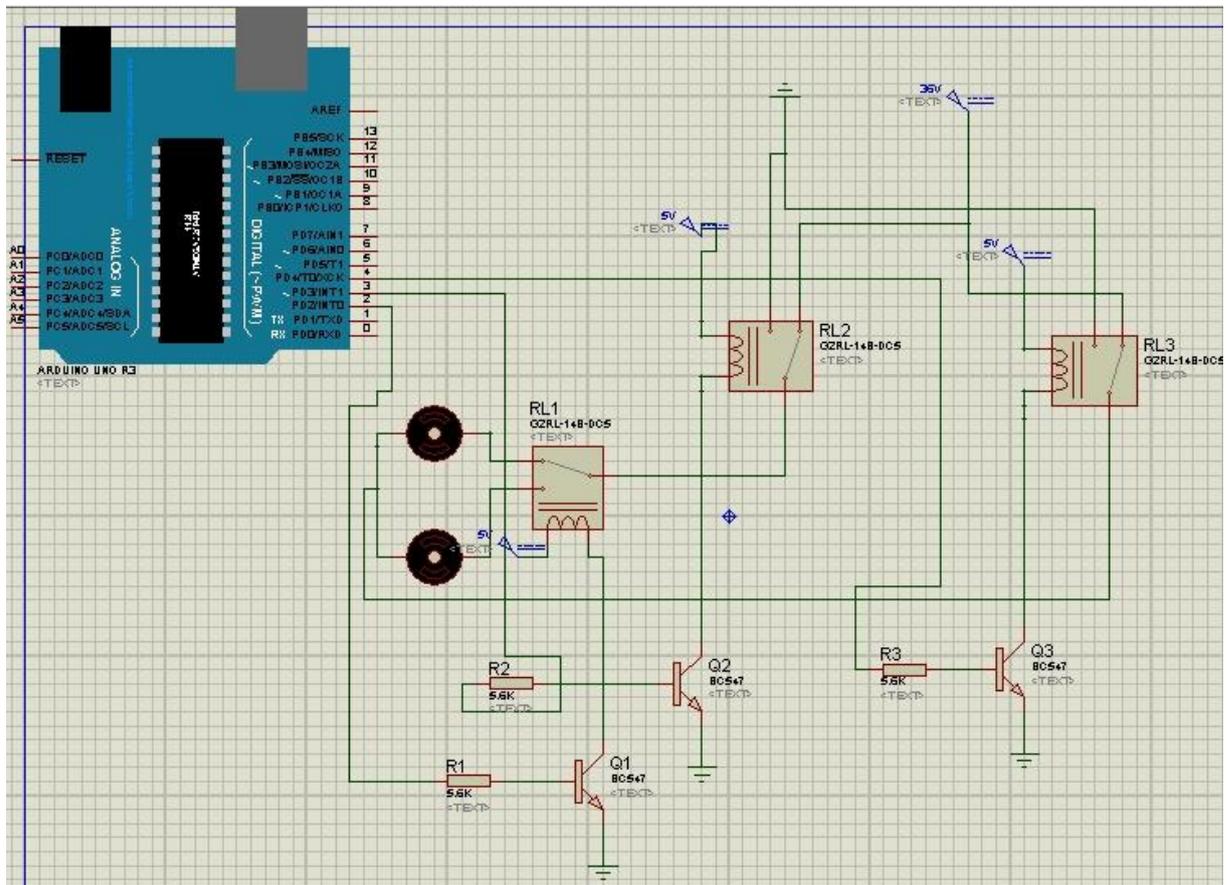
- ⇒ Quand la commande (délivré par la sortie pin de l'Arduino) passe on crée une tension VBE entre la base et l'émetteur, cette tension donne naissance à la saturation du transistor, du coup le courant passe entre les borne de la bobine du relais.

- ⇒ Quand la tension VBE est nulle, C'est-à-dire que la sortie pin de l'Arduino ne délivre aucun courant le transistor se trouve en état bloqué, du coup il se comporte comme un interrupteur ouvert, donc le courant ne passe pas entre les borne de la bobine

Nous mettrons une résistance avant la base du transistor pour assurer le passage d'un courant suffisant pour la saturation du transistor.

Le schéma général du circuit électronique permettant la commande des deux moteurs dans les deux sens sera comme suit :

### En simulation : (PROTEUS)

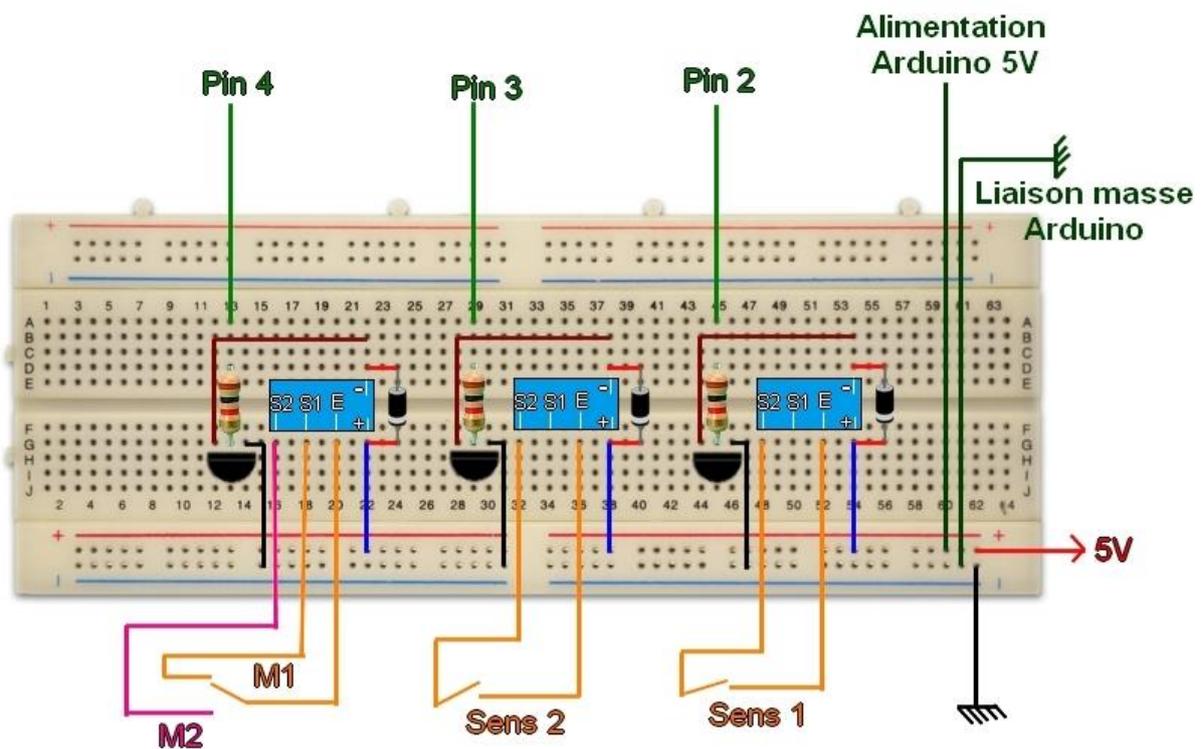


Avec ce schéma on aura la possibilité de simuler avec un programme sous Arduino virtuelle le fonctionnement des deux moteurs dans les deux sens.

Il faut signaler que ce modèle reste parfait donc on n'aura pas vraiment besoin des diodes de roue libres contrairement au schéma pratique.

Il faut signaler qu'à l'aide du module transformateur redresseur qui intègre le pont inverseur des sens ça sera plus simple de faire le câblage des 3 contacteurs afin d'assurer une gestion efficace des sens et des moteurs.

**Schéma de câblage :**



**Le matériel utilisé :**

- ⇒ 3 Transistors KSP2222
- ⇒ 3 Relais TRS 5VDC
- ⇒ 3 résistances 20KOhm
- ⇒ 3 Diodes N4004

## VI- Programme de commande de la carte Arduino :

### L'élaboration de programme :

Après un test sur chaque LDR on arrive à déterminer un Seuil de tension séparant la partie indiquant l'ensoleillement de la LDR et la partie indiquant l'existence de l'ombre. La procédure de régulation à l'aide de la carte Arduino sera comme suit :

#### - Verticalement :

- ⇒ LDR1 sous l'ombre ( $V(LDR1) < \text{Seuil}$ ) et LDR2 ensoleillé : Action sur le moteur vertical suivant le sens EST.
- ⇒ LDR2 sous l'ombre ( $V(LDR2) < \text{Seuil}$ ) et LDR1 ensoleillé : Action sur le moteur vertical suivant le sens OUEST.
- ⇒ LDR1 et LDR2 Ensoleillées ou sous l'ombre total de la nuit : ne rien faire

#### - Horizontalement

- ⇒ LDR3 sous l'ombre ( $V(LDR3) < \text{Seuil}$ ) et LDR4 ensoleillé : Action sur le moteur vertical suivant le sens EST.
- ⇒ LDR4 sous l'ombre ( $V(LDR4) < \text{Seuil}$ ) et LDR3 ensoleillé : Action sur le moteur vertical suivant le sens OUEST.
- ⇒ LDR3 et LDR4 Ensoleillées ou sous l'ombre total de la nuit : ne rien faire

```
Projet_panneau_solaire_autopilot_

int LDR1;
int LDR2;
int LDR3;
int LDR4;
void setup()
{
  Serial.begin(9600)
  pinMode (1,OUTPUT);//choix de moteur
  pinMode (2,OUTPUT);//commande de 1ere sens de rotation EST
  pinMode (3,OUTPUT); //commande de 2eme sens de rotation OUEST
}

void loop() {
  // LDR1 et LDR2 pour regler la position verticale
  LDR1=analogRead(A1);
  LDR2=analogRead(A2);
  //LDR3 et LDR4 pour regler la position horizontale
  LDR3=analogRead(A3);
  LDR4=analogRead(A4);

  // commande de position verticale

  if(LDR1>seuil1 & LDR2>seuil2 || LDR1<seuil1 & LDR2<seuil2)
  //absence d'éclairage ou position bien regulée
  {
    digitalWrite (1,LOW);
    digitalWrite (2,LOW);
    digitalWrite (3,LOW);
  }
  if(LDR1>seuil1 & LDR2<seuil2 )// position malregulé
  {
    //commander un sens de rotation du moteur jusqu'à la regulation du position
    //et le retour à la premiere condition
    digitalWrite (1,LOW);
    digitalWrite (2,HIGH);// activation de 1ere sens de rotation
    digitalWrite (3,LOW);
  }
  if(LDR1<seuil1 & LDR2>seuil2 )
  {
    //commander l'autre sens de rotation du moteur jusqu'à la regulation du position
    // et le retour à la premiere condition
    digitalWrite (1,LOW);
    digitalWrite (2,LOW);
    digitalWrite (3,HIGH);// activation de 2eme sens de rotation
  }
}
```

```
Projet_panneau_solaire_autopilot_

// commande de position horizontale

if(LDR3>seuil3 & LDR4>seuil4 || LDR3<seuil3 & LDR4<seuil4)
  //absence d'éclairage ou position bien réglée
  {
  digitalWrite (1,HIGH); // commander le 2eme Moteur
  digitalWrite (2,LOW);
  digitalWrite (3,LOW);
  }
if(LDR3>seuil3 & LDR4<seuil4) // position malréglée
  {
  //commander un sens de rotation du moteur jusqu'à la régulation du position
  // et le retour à la première condition
  digitalWrite (1,HIGH);
  digitalWrite (2,HIGH); // activation de 1ere sens de rotation
  digitalWrite (3,LOW);
  }
if(LDR3<seuil3 & LDR4>seuil4 )
  {
  //commander l'autre sens de rotation du moteur jusqu'à la régulation du position
  // et le retour à la première condition
  digitalWrite (1,HIGH);
  digitalWrite (2,LOW); // désactivation de 1ere sens de rotation
  digitalWrite (3,HIGH); // activation de 2eme sens de rotation
  }
}
```

### Conclusion :

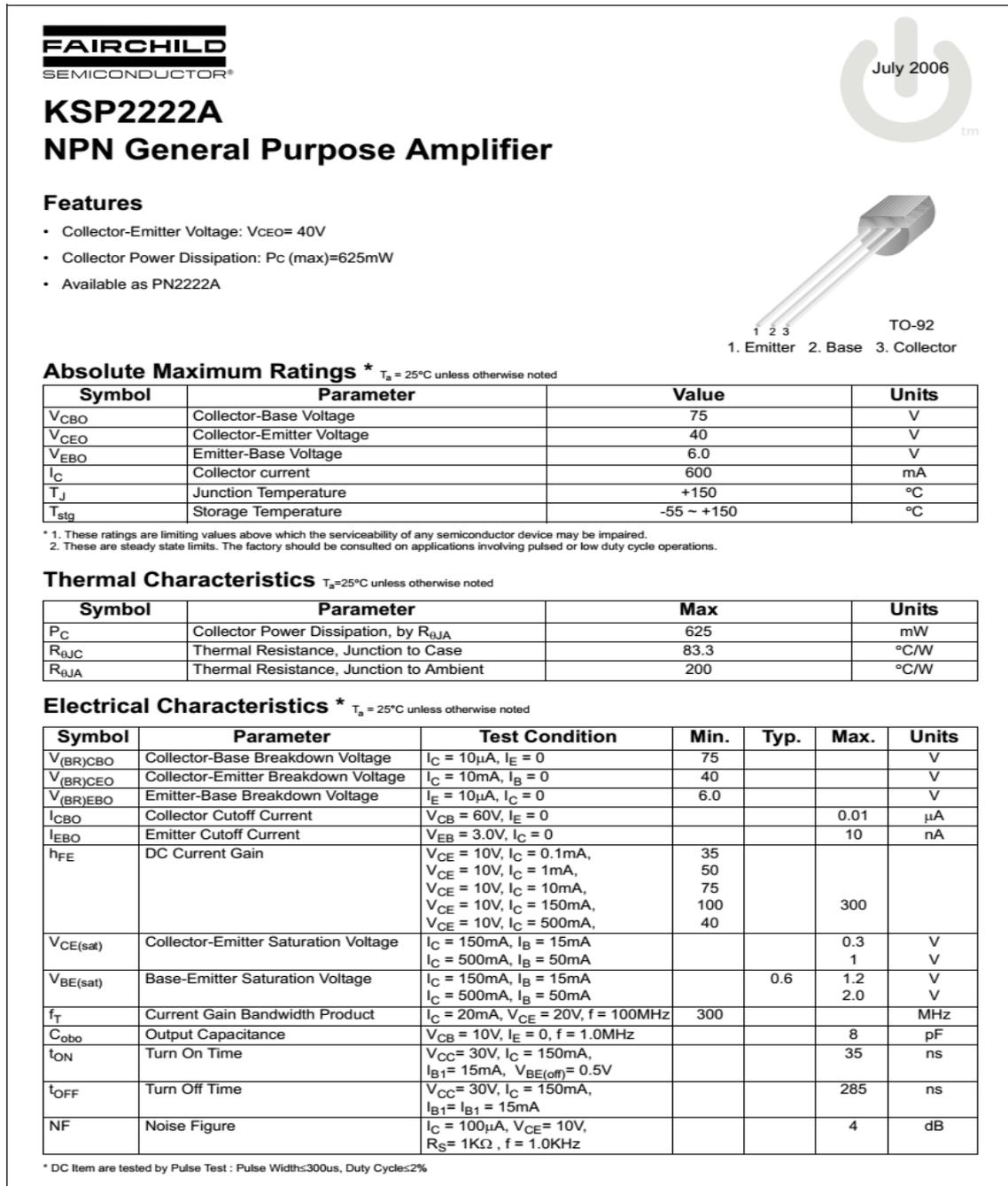
Ce projet nous a permis une mise en œuvre efficace de quelques connaissances que nous avons acquies pendant notre formation au sein de l'ENSAM. C'était une occasion pour nous afin de pouvoir toucher concrètement ce côté électronique voir électrique en passant par les différentes phases de notre projet.

On a pu connaître mieux le fonctionnement d'un panneau photovoltaïque tout en manipulant les différents moyens de la transformation efficace de l'énergie solaire vers une énergie électrique. En remplaçant l'automate programmable par une carte Arduino à base du microcontrôleur Atmega, on a pu contribuer à l'intégration d'un protocole de suivi de soleil autonome et optimale au niveau de la consommation d'énergie.

Ce mini projet était une occasion exclusive pour nous afin de pouvoir manipuler certains composants électroniques assurant l'intégrité des fonctions de distribution d'énergie et de la réalisation d'un circuit de commande pouvant manipuler des hautes tensions à travers des tensions et des courants basses.

Ce travail a donc permis de faire une lumière sur l'importance qu'on doit attribuer à ces types de modules qui représentent la clés vers un avenir prometteur en terme d'énergie renouvelable et particulièrement solaire, et surtout à l'innovation qu'on doit y affecter.

## ANNEXE

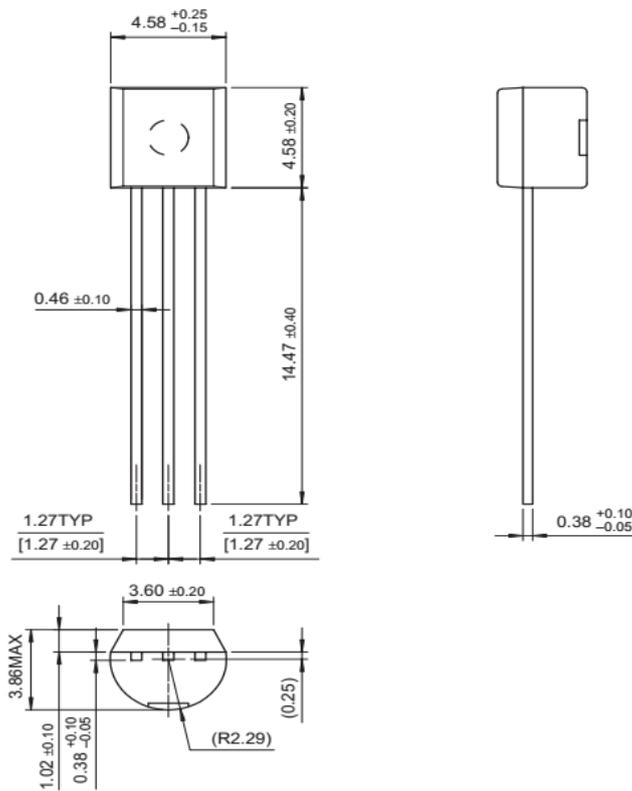


KSP2222A NPN General Purpose Amplifier

Figure1 : caractéristiques du Transistor utilisé

Package Dimensions

TO-92



Dimensions in Millimeters

KSP2222A NPN General Purpose Amplifier

## JRC-27F

## SUBMINIATURE DIP RELAY



**cRLus**  
File No.:E133481

**RL**  
File No.:CQC02001001938

**Features**

- 2 Form C contact
- High switching capacity 60W, 125VA
- Fit standard 16 pin IC socket
- Epoxy sealed for automatic-wave soldering and cleaning

### CONTACT DATA

Contact Arrangement	2C
Initial Contact Resistance Max.	50mΩ
Contact Material	Silver alloy, Au Clad
Contact Rating (Res. Load)	2A,30VDC 1A,125VAC
Max. switching power	125VA/60W
Max. switching voltage	120VDC/240VAC
Max. switching current	2A
Min. Applicable load	10mV 10μA
Mechanical life	1x10 <sup>8</sup> OPS
Electrical life	1x10 <sup>6</sup> OPS

### COIL

Coil power	Sensitive:200mW	Standard:360mW
Temperature Rise	max. 65°C	
Coil Voltage	See coil data table	

### COIL DATA

Order Number	Coil Voltage VDC	Pick-up Voltage VDC (Max.)	Drop-out Voltage VDC (Min.)	Coil Resistance Ω ±10%	Allow Voltage VDC (Max.)
003-M	3	2.25	0.3	30	4.5
005-M	5	3.75	0.5	90	8.0
006-M	6	4.50	0.6	130	10.0
009-M	9	6.80	0.9	280	14.5
012-M	12	9.00	1.2	450	18.5
015-M	15	11.3	1.5	625	22.0
024-M	24	18.0	2.4	1600	35.5
048-M	48	36.0	4.8	4000	56.0

### CHARACTERISTICS

Initial Insulation Resistance	1000MΩ 500VDC
Dielectric Strength	Between coil and Contacts 1500Vrms 1min
	Between open contacts 1000Vrms 1min
Operate time (at nomi. Volt.)	6ms max.
Release time (at nomi. Volt.)	4ms max.
Ambient temperature	-40°C to +85°C
Humidity	40 to 85%R.H.
Vibration Resistance	DA: 1.5mm 10 to 55Hz
Shock Resistance	Functional 196m/s <sup>2</sup> (20g)
	Destructive 980m/s <sup>2</sup> (100g)
Max. Solder Temp. Time	270°C 5s
Max. Solvent Temp. Time	80°C 30s
Termination	DIP & PCB
Unit weight	Approx. 5g
Construction	Sealed

### Sensitive (200mW)

Order Number	Coil Voltage VDC	Pick-up Voltage VDC (Max.)	Drop-out Voltage VDC (Min.)	Coil Resistance Ω ±10%	Allow Voltage VDC (Max.)
003-S	3	2.25	0.3	45	6
005-S	5	3.75	0.5	125	10
006-S	6	4.50	0.6	180	12
009-S	9	6.80	0.9	405	18
012-S	12	9.00	1.2	720	24
015-S	15	11.3	1.5	1125	30
024-S	24	18.0	2.4	2880	48

Note: When user's requirements can't be found in the above table, special order allowed.



HONGFA RELAY  
ISO9001/QS9000/ISO14000 CERTIFIED

VERSION: EN01-20020620

Figure2 : caractéristiques de relais



Figure3 : caractéristiques du panneau solaire

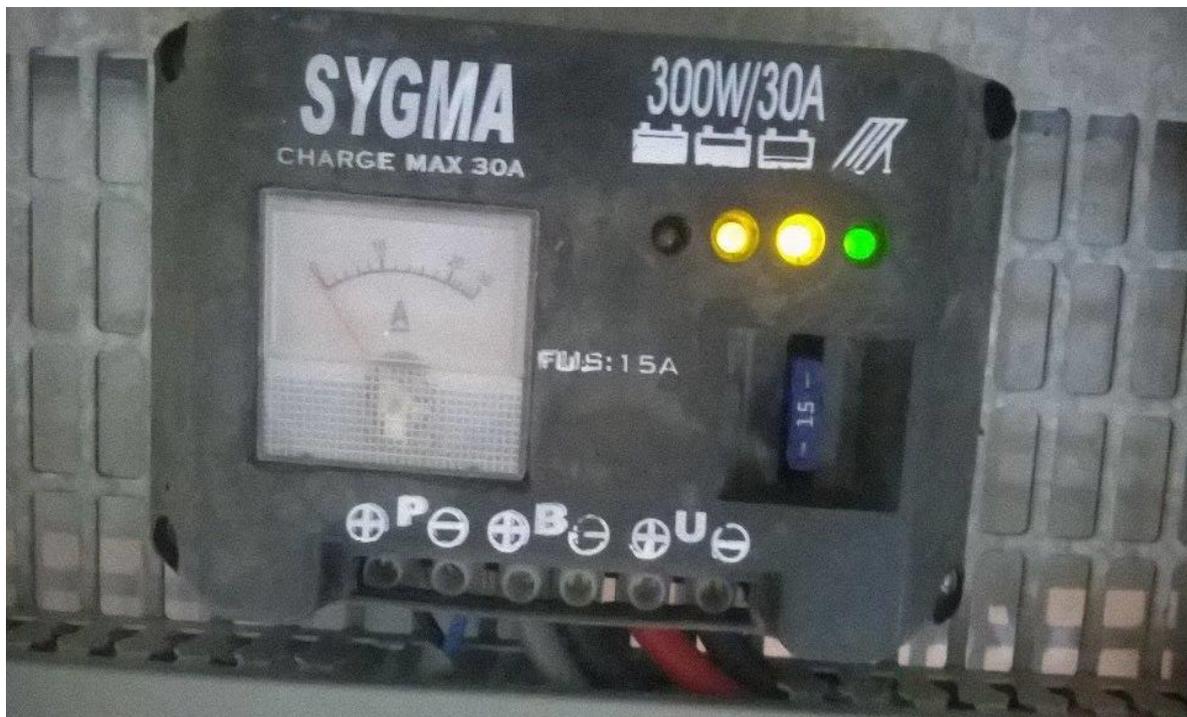


Figure4 : Régulateur de courant

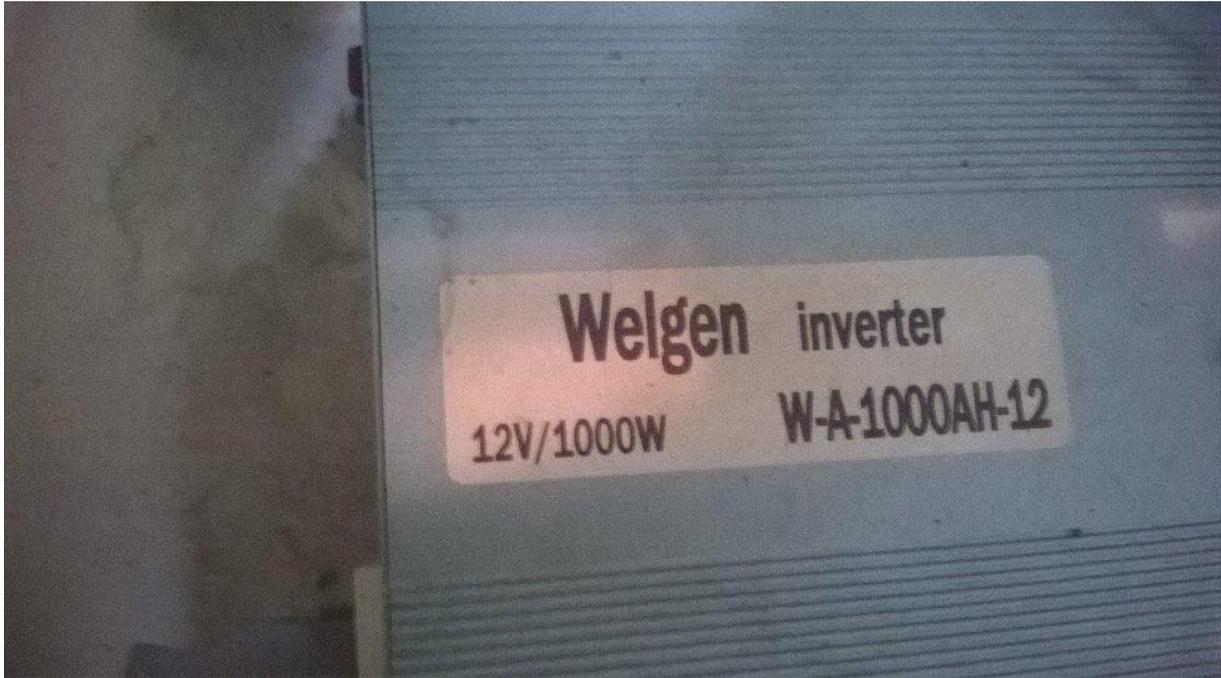


Figure5 : onduleur



Figure6 : Disjoncteur