

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU**



**Faculté de génie électrique et d'informatique**

**Département électronique**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU**  
**DIPLOME MASTER ACADEMIQUE**

Spécialité : Electronique

Option: Micro-électronique

**Thème :**

**Etude et réalisation d'un régulateur de tension et chargeur de  
batterie photovoltaïque à base d'une nano arduino.**

**Presenté par :**

**-AOUN Kaci**

**-BAOUALI Amine**

**Soutenu le 27/09/2018 devant le jury suivant :**

<b>M<sup>me</sup> .BOUDIA.O</b>	<b>Maitre assistante</b>	<b>(UMMTO)</b>	<b>Présidente</b>
<b>M<sup>lle</sup> .HATEM.D</b>	<b>Maitre de conférence</b>	<b>(UMMTO)</b>	<b>Promotrice</b>
<b>M<sup>me</sup> .NEMMAR.F</b>	<b>Maitre de conférence</b>	<b>(UMMTO)</b>	<b>Examinatrice</b>

**Promotion : 2018**

# *Remerciements*

*Nous remercions dieu le tout puissant, pour la santé, la volonté, le courage et la patience qu'il nous a donné pour accomplir ce travail.*

*Au terme de ce travail, nous tenons à remercier notre promoteur Mlle HATEM pour son orientation, son efficace assistance, et son travail méticuleux.*

Nos sincères remerciements à tout le personnel de la faculté de l'UMMTO et à tout ceux qui ont contribué de prêt ou de loin à la réussite de notre projet.

*Mes vifs remerciements pour les membres de jury de bien vouloir accepter dévaluer notre travail.*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

À mes chers parents

Frères et sœur

À ma famille et mes amis

Amine.BAOUALI

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

À mes chers parents

Frère et sœurs

À ma famille et mes amis

Kaci.AOUN

## Liste des figures

Figure I.1 : Le rayonnement solaire .....	3
Figure I.2 : Différentes positions du soleil .....	4
Figure I.3 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque. ....	5
Figure I.4 : Forme quatre liaisons covalentes avec un atome voisin. ....	6
Figure I.5 : Densité de pair électron troue dans un semi-conducteur intrinsèque. ....	8
Figure I.6 : Semi-conducteur intrinsèque. A) diagramme des bandes d'énergies b) Densité d'états énergétiques c) Distributions de fermi-Dirac d) Densités énergétiques de porteurs (les densités de porteurs n et p correspondent aux surfaces hachurées). ....	9
Figure I.7 : Forme quatre liaisons covalentes avec un atome donneur.....	10
Figure I.8 : Forme quatre liaisons covalentes avec un atome accepteur. ....	10
Figure I.9 : Présenté la diffusion des trous et des électrons. ....	11
Figure I.10 : Présenté d'une zone de transition. ....	11
Figure I.11 : Structure (à gauche) et diagramme de bande (à droite) d'une cellule photovoltaïque. ....	12
Figure I.12 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque réelle. ....	14
Figure I.13 : courbes $I=f(v)$ . ....	14
Figure I.14 : Différentes technologies des cellules photovoltaïques. ....	16
Figure I.15 : Etape de fabrication des cellules : (1) minerai de silicium (2) raffinage (pour augmenter la pureté) (3) silicium en fusion donnant des lingots (4) après solidification (5) wafer obtenu par sciage du lingot (6) traitement de surface par procédés physico chimique (7) cellule finie avec électrodes. ..	17
Figure I.16 : Cellule mono cristalline et poly cristalline. ....	18
Figure I.17 : module verre-verre au Telluride de cadmium, efficacité de 9% à 11%.....	19
Figure II.1 : Modèle d'une installation photovoltaïque.....	24
Figure II.2 : ambrage sur des panneaux solaires Monter en parallèle de rangs en série.....	25
Figure II.3 : Cellules intégrés dans des ardoises .....	25
Figure II.4 : Aspect d'un onduleur radiateur .....	28
Figure II.5 : Connecteurs étanches .....	29
Figure III.1 : Différentes parties du bloc1 .....	39
Figure III.2 : Différentes parties du bloc2.....	40
Figure III.3 : Ensemble des composants du systeme.....	40
Figure III.4 : Carte arduino.....	41
Figure III.5 : Afficheur LCD .....	42
Figure III.6 : Schéma fonctionnel.....	43
Figure III.7 : image montre les noms des branches en legendes .....	44
Figure III.8 : Réalisation du typon .....	46

Figure III.9 : Impression du typon.....	46
Figure III.10 : organigramme du programme principal.....	47
Figure III.11 : Sous-programme principal : configuration et initialisation .....	49
Figure III.12 : Sous-programme principal : Scan.....	49
Figure III.13 : Organigramme sous-programme principal : traitement et action .....	50
Figure III.14 : Sous-programme principal : Affichage.....	51
Figure III.15 : programme arduino.....	52

# Table des matières

## chapitre1 : généralités sur les cellules photovoltaïques

### Introduction

I. 1. Historique.....	2
I.2. Le rayonnement solaire.....	3
I. 3. Définition d'une cellule solaire PV ou l'effet photovoltaïque.....	5
I.4. Les matériaux semi-conducteurs.....	5
I.4.1. Les semi-conducteurs intrinsèques.....	6
I.4.2. Les semi-conducteurs extrinsèques.....	9
I.4.2.1 Dopage de type N.....	10
I.4.2.2 Dopage de type P.....	10
I.5. La jonction PN.....	11
I.6. Principe de Fonctionnement d'une cellule solaire PV.....	12
I. 6.1. Cellule solaire idéale.....	13
I. 6.2. Cellule solaire réelle.....	14
I. 7. Les différentes caractéristiques d'une cellule solaire.....	15
I. 7.1. Courant de court-circuit $I_{sc}$ .....	15
I. 7.2. Tension de circuit ouvert $V_{co}$ .....	15
I. 7.3. Puissance maximale $P_m$ .....	15
I. 7.4. Facteur de forme FF.....	16
I. 7.5. Rendement de conversion $\eta$ .....	16
I. 8. Les différentes générations des cellules solaires PVs.....	16
I. 8.1. première génération: Silicium cristallin (mono et poly).....	17
I. 8.2. Deuxième génération: CdTe, CIS/ CIGS, silicium amorphe microcristallin.....	18
I.9. Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque.....	19
I.9.1. Avantages.....	19
I.9.2. Inconvénients.....	20

### Conclusion

## Chapitre 2 : installation système photovoltaïque

introduction

II.1.Type d'installation photovoltaïque .....	21
II.2. les contraintes naturelles limitant le rendement d'une installation photovoltaïque.....	22
II.3. Configuration générale d'une installation photovoltaïque .....	23
II.4.Les éléments d'un système photovoltaïque .....	24
II.4.1. Les cellules et les panneaux (ou modules).....	24
II.4.1.1 : dimensionnement des panneaux solaire .....	25
II.4.1.2. Principes de dimensionnement et de positionnement du panneau .....	26
II.4.1.3. Dimensionnement sur le mois le moins ensoleillé .....	26
II.4.1.4. Dimensionnement sur le mois le plus ensoleillé .....	27
II.4.2. L'onduleur.....	27
II.4.3. Le câblage .....	28
II.4.4. Les interfaces de gestion du système .....	29
II.4.5. Les batteries .....	30
II.4.5.1. Définir la capacité de stockage des batteries solaires.....	31
II.4.5.2. autonomie d'une batterie et estimation pour un système .....	31
II.4.5.3. durée de vie d'une batterie solaire .....	32
II.4.6. Régulateur de charge.....	32
II.4.6.1. Les fonctions du régulateur de charge.....	32
II.4.6.2 Les différents types de régulateur de charge .....	33
II.4.6. 2.1 Le régulateur shunt .....	33
II.4.6.2.2 Le régulateur shunt linéaire .....	33
II.4.6.2.3 Le régulateur série .....	33
II.4.6.2.4 Le régulateur série linéaire .....	34
II.4.6.2.5 Le régulateur MPPT .....	34
II.4.6.3 Les différentes caractéristiques des régulateurs solaires .....	34
II.4.6.4 Comment choisir son régulateur de charge .....	35

Conclusion

## Chapitre 3 : réalisation d'un régulateur de charge pour batterie solaire

Introduction

III.1. Cahier des charges et solutions techniques .....	37
III.2. Ensemble du système à réaliser .....	38
III.2.1 principes de fonctionnement du système .....	38
III.2.2. différents composants du système .....	41
III.3. étapes de réalisation du système.....	45
III.3.1 Conception de la carte électronique.....	45
III.3.1.1 Réalisation du typon .....	45
III.3.1.2 Réalisation de la maquette .....	46
III.3.2 La partie programmation .....	48

Conclusion

Conclusion général

# Introduction générale

# Introduction générale

En raison des effets néfastes que présentent les différentes activités humaines sur la nature, il est nécessaire à toute consommation d'énergie de respecter l'écologie en réduisant les combustibles et en incitant à l'utilisation des ressources propres.

Aujourd'hui l'énergie solaire est considérée comme une énergie renouvelable propre et prometteuse et les établissements concernés investissent de plus en plus dans cette dernière, fournissant de très grands efforts afin d'augmenter l'efficacité tout en restant restreints au budget de fabrication et conquérir le marché.

Afin d'assurer la conversion optimale de l'énergie solaire nous avons besoin d'une installation photovoltaïque dont le cœur est le régulateur de charge qui contrôle la production des panneaux tout en optimisant la durée de vie des batteries. Un régulateur de charge solaire adapté doit être donc soigneusement sélectionné pour la surveillance permanente de l'utilisation des accumulateurs et l'assurance de leur bon fonctionnement ainsi que leur durabilité. Ceci est donc le problème fréquemment rencontré lors de l'installation des systèmes photovoltaïques.

Notre mémoire présente le cheminement de la totalité des démarches suivies ayant débouché à la réalisation de notre projet d'étude qui consiste en la mise en place d'un régulateur de tension et chargeur de batterie pour les panneaux solaires à base d'une nano arduino. Pour comprendre le rôle de notre régulateur nous avons fait une rétrospective dans le domaine de la photovoltaïque. Dans le chapitre 1 nous avons commencé par exposer les généralités et les notions de base de la photovoltaïque en étalant la méthode de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. ce processus est assuré par des panneaux solaires, dont on a pris le soin d'expliquer le principe de fonction et de présenter les matériaux qui les constituent, par la suite nous avons présenté dans le chapitre 2 les différents types d'installation photovoltaïque en étudiant les solutions à mettre en place face aux contraintes naturelles, puis nous avons mis au clair la constitution d'une installation photovoltaïque en citant les éléments qui la composent.

L'entame de notre réalisation nous l'avons commencé dans le dernier chapitre. Nous avons commencé par initier les différentes caractéristiques de notre système qui consiste à étudier la sortie en fonction de l'entrée, en définissant un cahier des charges dont le but est de concevoir un régulateur idéal par rapport aux besoins tout en respectant le coût et la fiabilité du système.

# **Chapitre 1**

Généralités sur les cellules  
photovoltaïques

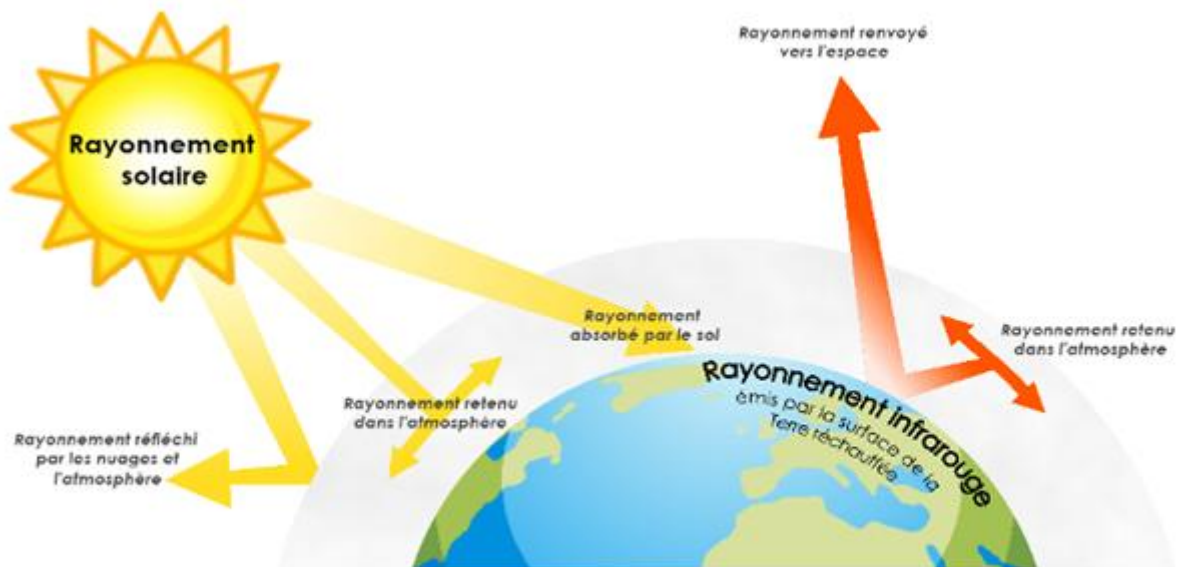
## **Introduction**

Dans le domaine de la photovoltaïque existent quelques notions de base que nous allons présenter. En premier lieu nous aborderons quelques aspects sur les sources d'énergie photovoltaïques. Nous décrirons ensuite les semi-conducteurs, la jonction P-N et les cellules solaires avec leur caractéristiques photovoltaïques et nous décrirons brièvement les différentes filières technologiques existantes dans le domaine.

## **I. 1. Historique**

Quelques dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque : En 1839 : Le physicien français Edmond Becquerel découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. C'est l'effet photovoltaïque. En 1905, Einstein découvrit que l'énergie de ces quanta de lumière est proportionnelle à la fréquence de l'onde électromagnétique. L'utilisation des cellules solaires débute dans les années quarante. Le domaine spatial a besoin d'une énergie sans combustible embarqué. La recherche s'intensifie sur le photovoltaïque. En 1875 : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire. En 1954 : Trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites. En 1958 : Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace. En 1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware. En 1983 : La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 km en Australie. En 1995 : Des programmes de toits photovoltaïques raccordés au réseau ont été lancés, au Japon et en Allemagne, et se généralisent depuis 2001 La première cellule photovoltaïque (ou photopile) a été développée aux États-Unis en 1954 par les chercheurs des laboratoires Bell, qui ont découvert que la photosensibilité du silicium pouvait être augmentée en ajoutant des "impuretés".

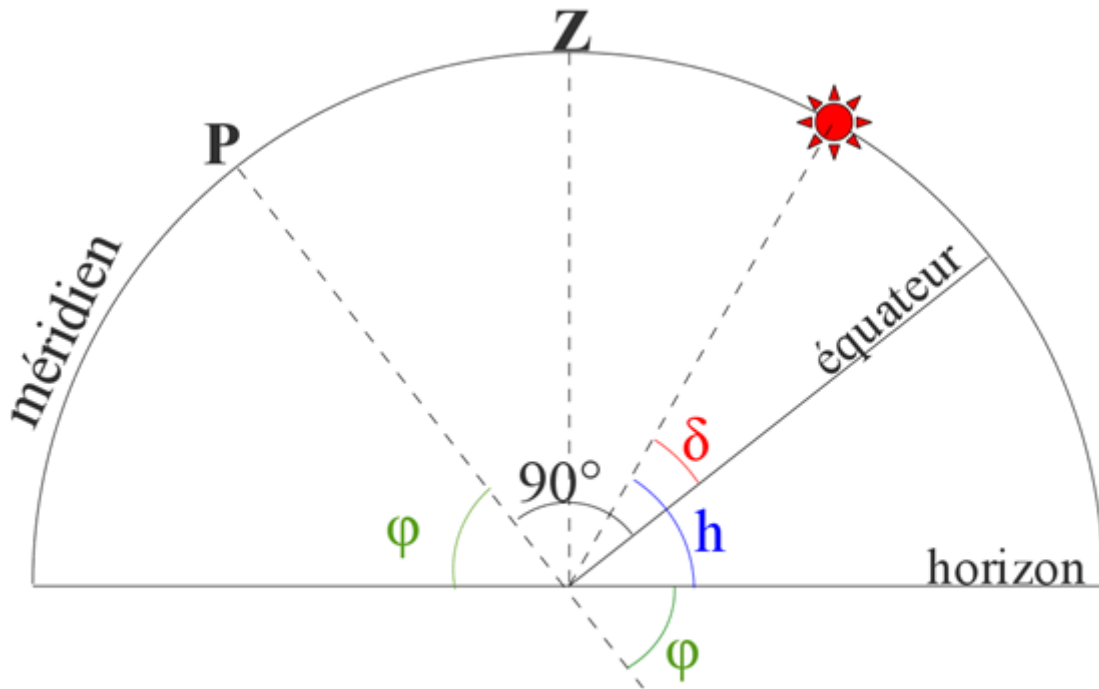
## I.2. Le rayonnement solaire



**Figure I.1 : Le rayonnement solaire**

Le soleil décharge continuellement une énorme quantité d'énergie radiante dans le système solaire, la terre intercepte une toute petite partie de l'énergie solaire rayonnée dans l'espace. Une moyenne de 1367 watts atteint chaque mètre carré du bord externe de l'atmosphère terrestre (pour une distance moyenne Terre-soleil de 150 Millions de km), c'est ce que l'on appelle la constante solaire égale à  $1367\text{W/m}^2$ . [2].

La part d'énergie reçue sur la surface de la terre dépend de l'épaisseur de l'atmosphère à traverser. Celle-ci est caractérisée nombre de masse d'air AM.



**Figure 1.2 : Différentes positions du soleil.**

Le rayonnement qui atteint le niveau de la mer à midi dans un ciel clair est de  $1000 \text{ W/m}^2$  il est décrit en tant que rayonnement de la masse d'air "1" (ou AM1).

Lorsque le soleil se déplace plus bas dans le ciel, la lumière traverse une plus grande épaisseur d'air, perdant plus d'énergie. Puisque le soleil n'est au zénith que durant peu de temps, la masse d'air est donc plus grande en permanence et l'énergie disponible est donc inférieure à  $1000 \text{ W/m}^2$ . [2].

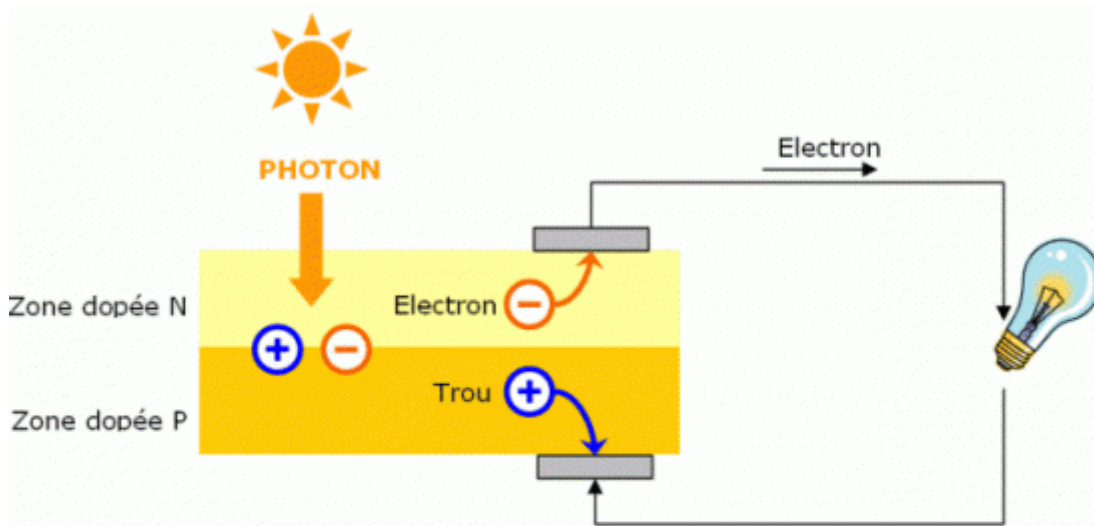
Les scientifiques ont donné un nom au spectre standard de la lumière du soleil sur la surface de la terre : AM1.5G ou AM1.5D.

Le nombre "1.5" indique que le parcours de la lumière dans l'atmosphère est 1.5 fois supérieur au parcours le plus court du soleil, c'est-à-dire lorsqu'il est au zénith (correspondant à une inclinaison du soleil de  $45^\circ$  par rapport au zénith).

Le « G » représente le rayonnement "global" incluant rayonnement direct et rayonnement diffus et la lettre « D » tient compte seulement du rayonnement direct. [2].

## I. 3. Définition d'une l'effet photovoltaïque

La cellule solaire photovoltaïque permet de convertir l'énergie lumineuse du rayonnement solaire en électricité grâce à un matériau semi-conducteur qui produit et transporte des charges électriques sous l'effet de la lumière. [1]



*Figure I.3 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.*

L'effet photovoltaïque est produit par les photons qui heurtent la surface du matériau photovoltaïque disposé en cellules, l'énergie absorbée est transférée aux électrons présents dans la matière, qui se mettent alors en mouvement dans une direction particulière créant alors un courant électrique continu qui sera recueilli par des fils métalliques très fins connectés les uns aux autres et acheminés à la cellule suivante.

## I.4. Les matériaux semi-conducteurs

Un semi-conducteur est un corps non cristallin non conducteur à l'état pur, mais susceptible de conduire de l'électricité suite à un traitement spécifique qui est le dopage. Cette semi-conduction est obtenue en introduisant des impuretés, par dopage n (pour négatif) ou p (pour positif) : cela augmente la conductivité des semi-conducteurs. Les quatre électrons de valence du silicium permettent de former quatre liaisons covalentes avec un atome voisin. Dans ce cas, tous les électrons sont utilisés et aucun n'est disponible pour créer un courant électrique.

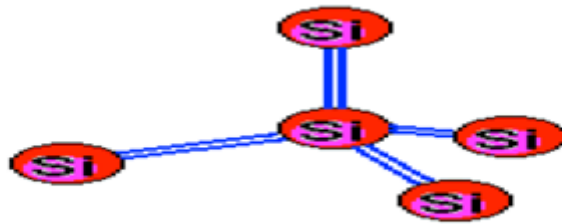


Figure I.4: Forme quatre liaison covalentes avec un atome voisin.

## I.4.1. Les semi-conducteurs intrinsèques

Les électrons situés sur la couche la plus éloignée du noyau, qui participent aux liaisons covalentes peuvent, sous l'effet de l'agitation thermique, devenir porteurs de charges. Le diagramme énergétique est constitué de deux bandes (conduction et valence) séparé par une bande interdite. Pour franchir cette bande l'électron doit acquérir de l'énergie (thermique, photon, ...) Mais le nombre d'électrons libres dans un semi-conducteur intrinsèque reste très faible. Ici le nombre de trous et d'électrons est égal.

Un semi-conducteur intrinsèque est un semi-conducteur non dopé, c'est à dire qu'il contient peu d'impuretés (atomes étrangers) en comparaison avec la quantité de trous et d'électrons générés thermiquement.

Pour mieux appréhender le comportement des semi-conducteurs, nous devons étudier plus en détail le nombre d'électrons et de trous dans chacune des bandes de conduction et de valence. Aussi, nous allons réaliser un bilan électronique des semi-conducteurs intrinsèques. Pour le faire, nous devons introduire la notion de densité d'états énergétique  $N(E)$ . Cette grandeur, dépendante de l'énergie électronique  $E$  correspond à la place disponible pour les électrons dans la bande de conduction  $N_c(E)$  et à la place disponible pour les trous dans la bande de valence  $N_v(E)$ . Pour des énergies proches des extrémités de ces deux bandes, son tracé est parabolique :

$$N_c(E) = \frac{1}{2\pi^2} \left( \frac{2m_c}{\hbar^2} \right)^{3/2} \sqrt{E - E_c} \quad [cm^{-3}/eV] \quad \text{I.1}$$
$$N_v(E) = \frac{1}{2\pi^2} \left( \frac{2m_v}{\hbar^2} \right)^{3/2} \sqrt{E_v - E}$$

# chapitre1 : généralités sur les cellules photovoltaïques

---

Où  $\hbar = h/2\pi$  est la constante de Planck ( $h=6.626.10^{-34}$ J.s) et  $m_c$  c'est la masse effective de densité d'états dans la bande de conduction,  $m_v$  c'est la masse effective de densité d'états dans la bande de valence. Pour un semi-conducteur à gap direct,  $m_c$  (resp.  $m_v$ ) vaut la masse effective d'un électron ( $m_e$ ) (resp. d'un trou  $m_h$ ) dans le cristal.

Le concept de masse effective introduit dans les expressions précédentes permet de traiter les électrons (et les trous) qui sont dans le cristal des particules libres. Le semi-conducteur devient alors un gaz d'électrons et de trous spécifiques de par leur masse effective parfois très différente de celle de la particule libre. A titre d'exemple pour le GaAs  $m_c/m_0=0,066$  avec  $m_0=0,911.10^{-30}$ kg la masse de l'électron libre.

Afin d'obtenir le nombre effectif d'électrons et de trous dans chacune des bandes, la densité d'état ne suffit pas, il faut aussi connaître la probabilité de présence d'un électron sur un niveau d'énergie E. Cette probabilité est donnée par la fonction de Fermi-Dirac à température constante :

$$f(E) = \frac{1}{1 + \exp[(E - E_F)/kT]} \quad \text{I.2}$$

Où  $k=1,38.10^{-23}$  JK<sup>-1</sup> est la constante de Boltzmann, T la température et  $E_F$  l'énergie de Fermi considérée comme le<sup>2</sup> potentiel chimique en semi-conducteurs. Ceci implique que la probabilité d'occupation d'un niveau d'énergie E par un trou est  $1-f(E)$  car l'absence d'un électron implique la présence d'un trou et vice versa.

La densité d'électrons  $n$  [cm<sup>-3</sup>] dans la bande de conduction est alors obtenue en sommant sur toute la plage d'énergie couverte par cette bande, la place disponible pour les électrons à l'énergie E est la probabilité de trouver un électron à ce même niveau d'énergie :

$$n = \int_{E_c}^{+\infty} N_c(E) \cdot f(E) dE \quad \text{I.3}$$

De même pour la densité des trous  $p$  [cm<sup>-3</sup>] dans la bande de valence:

$$p = \int_{-\infty}^{E_v} N_v(E) \cdot (1 - f(E)) dE \quad \text{I.4}$$

Pour un semi-conducteur dont le niveau de Fermi  $E_F$  est distant des extrémités de plus de  $3kT$ , la fonction de Fermi se simplifie sous une forme exponentielle et on obtient pour écriture des densités de porteurs :

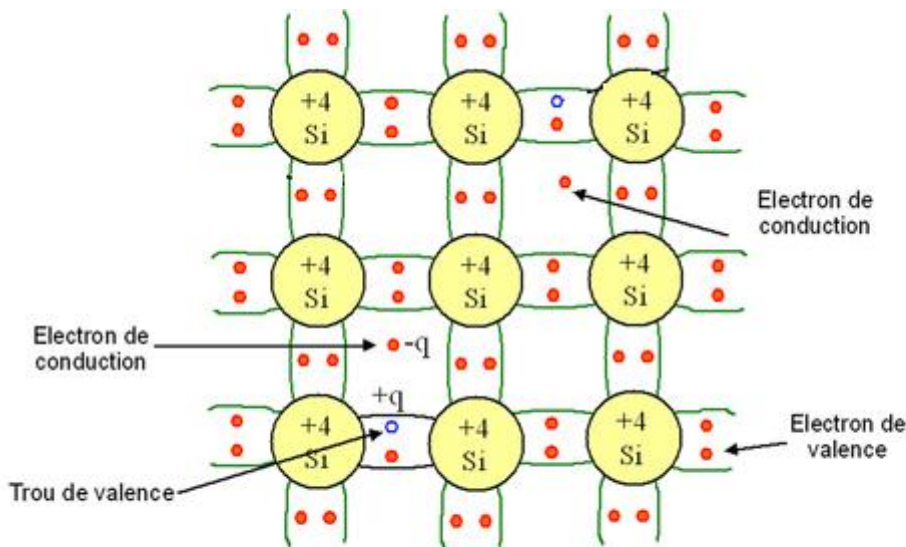
$$\begin{aligned}
 n &= N_c \exp\left[-\frac{E_c - E_F}{kT}\right] & N_c &= \int_{E_c}^{+\infty} N_c(E) \cdot \exp\left[-\frac{E - E_c}{kT}\right] dE \\
 p &= N_v \exp\left[\frac{E_v - E_F}{kT}\right] & N_v &= \int_{-\infty}^{E_v} N_v(E) \cdot \exp\left[\frac{E - E_v}{kT}\right] dE
 \end{aligned}
 \tag{I.5}$$

Où  $N_c$  et  $N_v$  sont les densités d'états équivalentes (ou effectives). Elles représentent en quelque sorte le nombre d'états utiles, à la température  $T$ , dans leur bande d'énergie respective.

La relation donnée par le produit des densités de porteurs ne dépend pas du niveau de Fermi. Elle est donc valable pour les semi-conducteurs intrinsèques mais aussi extrinsèques.

$$np = n_i^2 \quad \text{avec} \quad n_i = \sqrt{N_c N_v} \exp\left[-\frac{E_c - E_v}{2kT}\right]
 \tag{I.6}$$

Où  $n_i$  sera la densité de porteurs intrinsèques (pour le silicium à 300K,  $n_i \approx 10^{10} \text{cm}^{-3}$ ).



**Figure I.5 : Densité de paire électron troue dans un semi-conducteur intrinseque.**

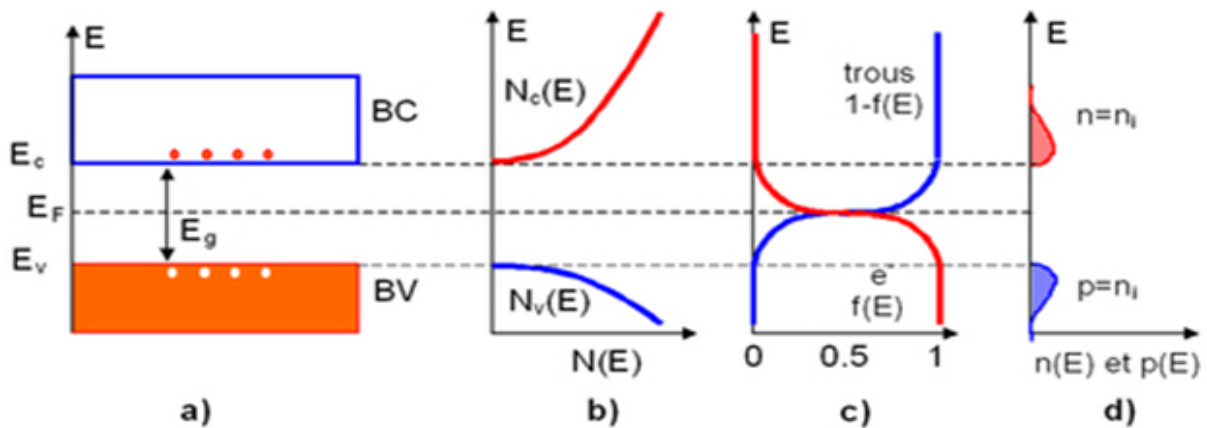
La figure I.5 montre que pour un semi-conducteur intrinsèque (sans impuretés), à chaque électron de la bande de conduction correspond un trou dans la bande de valence. De cette constatation, nous déduisons que les densités d'électrons et de trous sont identiques pour ce type de semi-conducteur.

$$n = p = n_i
 \tag{I.7}$$

En remplaçant les densités de porteurs par leurs expressions respectives, l'égalité précédente nous permet de définir le niveau de Fermi pour un semi-conducteur intrinsèque  $E_{Fi}$ . Sachant qu'à température ambiante  $kT$  est très inférieur au gap, ce niveau se trouve très proche du milieu de la bande interdite :

$$E_{Fi} = \frac{E_c + E_v}{2} + \frac{kT}{2} \ln \frac{N_v}{N_c} \cong \frac{E_c + E_v}{2} \quad \text{I.8}$$

La figure I.6 elle nous donne graphiquement le bilan électronique pour un semi-conducteur intrinsèque.



**Figure I.6 : Semi-conducteur intrinsèque. a) Diagramme des bandes d'énergie b) Densités d'états énergétique c) Distributions de Fermi-Dirac d) Densités énergétiques de porteurs (les densités de porteurs n et p correspondent aux surfaces hachurées).**

## I.4.2. Les semi-conducteurs extrinsèques

Un semi-conducteur extrinsèque est un semi-conducteur intrinsèque dopé par des impuretés lui donnant des propriétés électriques adaptées aux applications électroniques (diodes, transistors, etc...) et optoélectroniques (émetteurs et récepteurs de lumière, etc...).

Pour augmenter la conductivité des semi-conducteurs on y introduit des impuretés. Ce procédé est appelé dopage.

La conductivité d'un semi-conducteur est médiocre à l'état pur vue le faible nombre de porteurs à température ordinaire.

## 1.4.2.1 Dopage de type N

On remplace un atome de silicium par un atome pentavalent. Quatre d'entre eux assurent les liaisons avec les atomes voisins de silicium et le cinquième resté disponible va être excité vers la bande de conduction très facilement par l'agitation thermique. D'où le nombre d'électron libre qui va fortement augmenter : dans ce cas le nombre de trou est très inférieur au nombre d'électrons libres .On obtient ainsi un cristal dopé N (négatif).

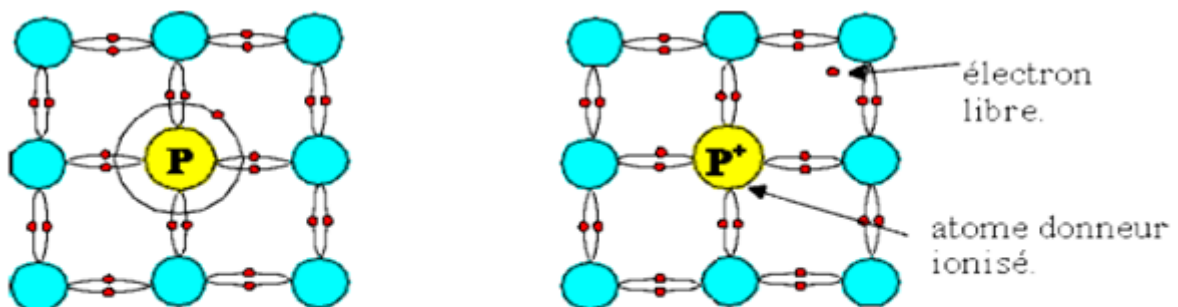


Figure 1.7 : Forme quatre liaisons covalentes avec un atome donneur.

## 1.4.2.2 Dopage de type P

De la même façon on introduit des atomes trivalents, ces trois électrons vont assurer les liaisons covalentes avec trois atomes voisins mais laissant un trou au quatrième. Ce trou se déplace d'un atome à un autre dans le cristal pour créer un courant. Ici le nombre de trous est très supérieur au nombre d'électrons libres du cristal intrinsèque, on obtient donc un cristal dopé P (positif), les impuretés utilisées sont souvent du Bore.

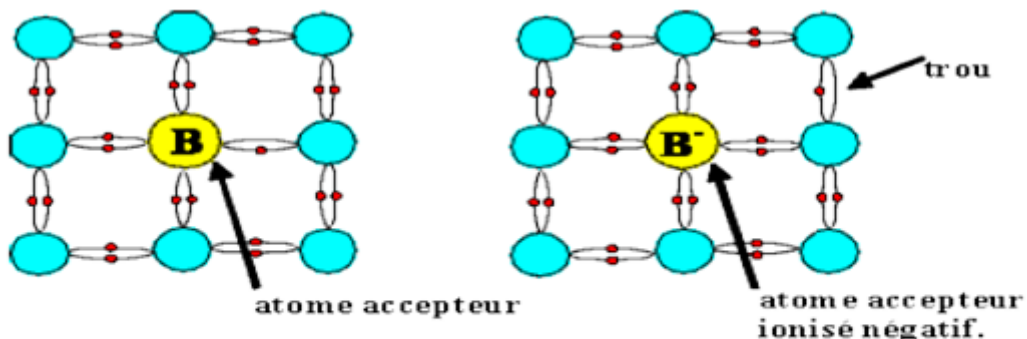


Figure 1.8 : Forme quatre liaisons covalentes avec un atome accepteur.

## I.5. La jonction PN

Une jonction PN est l'assemblage d'une région dopée P et d'une région dopée N. Lors de cet accolement les porteurs de charges libres s'attirent et se recombinent dans la zone de jonction où les porteurs libres disparaissent : c'est la zone de transition.

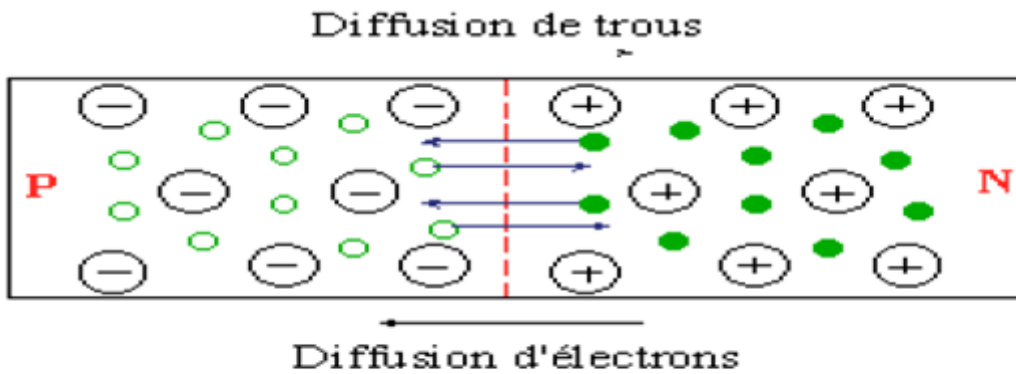


Figure I.9 : Présenté la diffusion des trous et des électrons .

Il ne reste donc plus que les ions dans cette zone qui vont créer un champ électrique interne au niveau de la jonction et qui empêche les charges libres restantes dans chaque zone de traverser la jonction pour se recombiner.

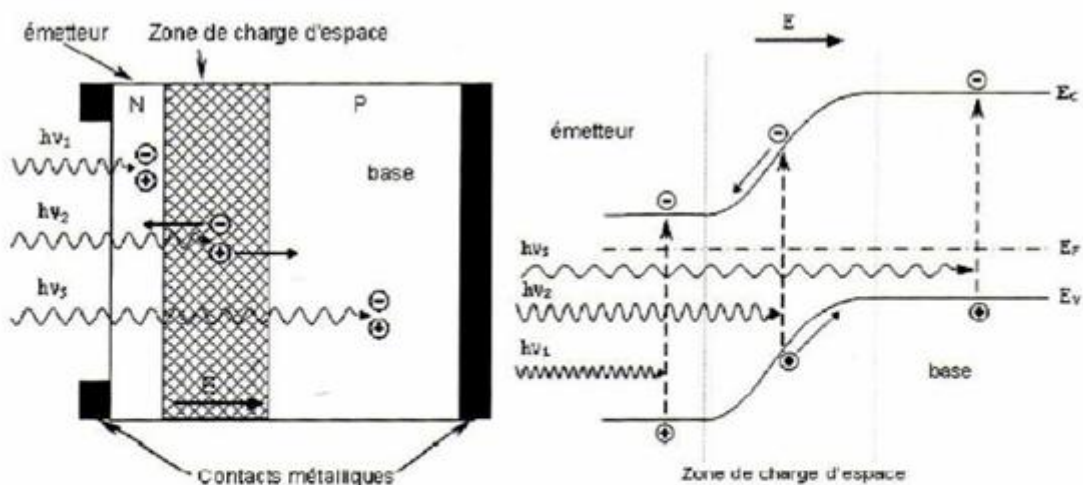


Figure I.10 : Présenté d'une zone de transition.

## I.6. Principe de Fonctionnement d'une cellule solaire PV

La cellule solaire est une photodiode à jonction PN de grande surface qui génère un signal électrique sans l'aide d'une autre source d'énergie. Lorsque les photons issus du soleil frappent la cellule, certains sont réfléchis et d'autres sont absorbés dans la cellule solaire, seuls les photons absorbés participent à l'effet photoélectrique. La conversion photovoltaïque met en jeu trois phénomènes physiques, qui sont l'absorption de la lumière dans le matériau, le transfert d'énergie des photons aux charges électriques et la collecte des charges.

Il est donc clair que les matériaux constituant une cellule solaire doivent avoir des propriétés optiques et électriques spécifiques (absorption, transport des charges, diffusion de porteur) pour permettre la conversion photovoltaïque. Dans le but de collecter les paires électron-trou générées, un champ électrique permet de dissocier les paires électrons /trou créés est nécessaire. Pour cela on utilise le plus souvent une jonction PN. Le principe de fonctionnement des cellules photovoltaïques est illustré sur la figure I.11.



**Figure I.11 : Structure ( à gauche) et diagramme de bande ( à droite) d'une cellule photovoltaïque.**

Les photons incidents génèrent des paires électron-trou dans les régions de type N et P et dans la zone de charge d'espace. Les paires électron-trou générés se comportent différemment suivant la région :

## *Dans la zone N et P :*

Dans la zone n et p, Les porteurs minoritaires se diffusent. Ceux qui atteignent la zone de charge d'espace sont accélérés par le champ électrique vers la zone P (pour les trous) et vers la zone N (pour les électrons) où ils seront majoritaires. Ce transport de porteurs de charges engendre un photo-courant de diffusion.

## *Dans la zone de charge d'espace :*

Dans la zone de charge d'espace, les paires électron-trou photo-générés vont être entraînés par le champ électrique vers la région N (électrons) et la région P (trous). Ce déplacement des photo-porteurs donne naissance à un photo-courant de génération. Ces deux contributions ensemble ont pour résultat de donner un photo-courant total  $I_{ph}$ . C'est un courant de porteurs minoritaires. Il est proportionnel à l'intensité lumineuse [3].

### **I. 6.1. Cellule solaire idéale**

Si la caractéristique de la jonction est de la forme :

$$I = I_s \left( e^{\frac{qv}{kT}} - 1 \right) \quad \text{I.9}$$

On peut admettre qu'en présence de lumière il y a apparition d'un photo-courant supplémentaire,  $I_{ph}$  dont le sens est opposé au courant direct. En branchant un circuit extérieur sur la cellule claire, on recueille ce courant. Le courant sous lumière vaut [3] :

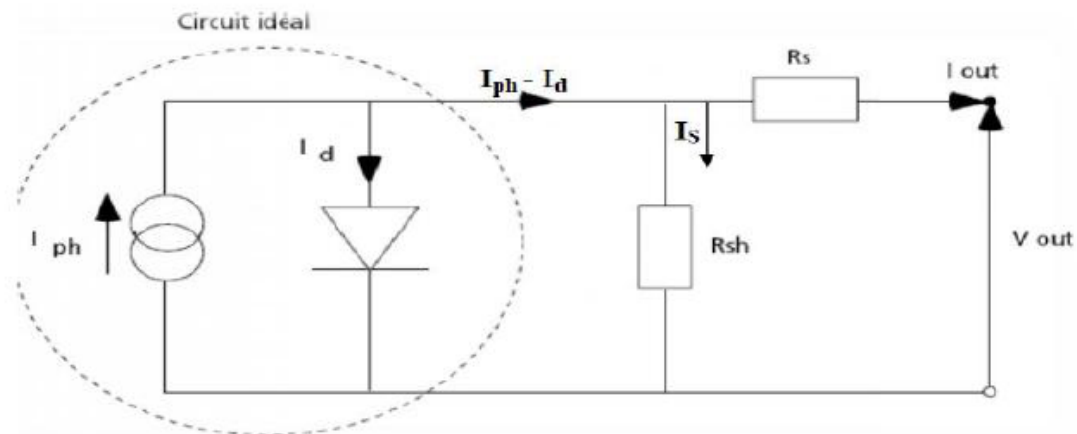
$$I = I_{ph} - I_s \left( e^{\frac{qv}{kT}} - 1 \right). \quad \text{I.10}$$

et la tension V est donnée par :

$$V = \frac{KT}{q} \ln \left( \frac{I_{ph} + I_s}{I_s} - 1 \right) \quad \text{I.11}$$

## I. 6.2. Cellule solaire réelle

La figure. I .12 présente le schéma équivalent d'une cellule solaire réelle, où deux résistances parasites sont introduites dans ce schéma, elles vont influencer sur la caractéristique I(V) de la cellule. La première est la résistance série  $R_s$ , cette résistance est liée de l'impédance des électrodes et de la base, il en résulte que la tension  $V$  aux bornes de la cellule est différente de la tension aux bornes de la jonction.



**Figure I.12 : schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque réelle.**

La deuxième est la résistance shunt  $R_{sh}$  qui correspond aux pertes dans la surface et pertes dues aux défauts dans le matériau, il en résulte qu'une partie du courant  $I_{ph}$  sera drivée par cette résistance et il ne pourra être délivré à la charge.

L'équation de la caractéristique I-V de la cellule photovoltaïque compte tenu des Résistances  $R_s$  et  $R_{sh}$  s'écrit donc [4] :

$$I(V) = I_{ph} - I_d - I_{sh}.$$

$$I(V) = I_{ph} - I_s \left( e^{\frac{q(V+R_s I)}{kT}} - 1 \right) - \frac{V+R_s I}{R_{sh}} \quad \text{I.12}$$

## I. 7. Les différentes caractéristiques d'une cellule solaire

### I. 7.1. Courant de court-circuit $I_{sc}$

Le courant de court-circuit est le courant débité par la cellule sous éclairément en court-circuit la sortie. C'est-à-dire que :  $I_{sc} = (V = 0)$  Pour une cellule solaire idéale le courant de court-circuit est égal au courant photovoltaïque  $I_{ph}$ .

### I. 7.2. Tension de circuit ouvert $V_{co}$

Pour une cellule solaire idéale la tension de circuit ouvert est donnée ;

$$V_{co} = \frac{KT}{q} \ln \left( \frac{I_{ph}}{I_s} + 1 \right) \approx V_{co} = \frac{KT}{q} \ln \left( \frac{I_{ph}}{I_s} \right) \quad \text{I.13}$$

### I. 7.3. Puissance maximale $P_m$

La puissance débitée par une cellule solaire est au maximum quand le produit  $V \cdot I$  est au maximum. Si  $V_m$  et  $I_m$  sont la tension et le courant pour lesquels on atteint le maximum, la puissance maximale est la surface du plus grand rectangle de côté  $V_m$  et  $I_m$  qu'on peut inscrire sous la courbe  $I(V)$  (Fig.I.13).

$$P_m = I_m V_m \quad \text{I.14}$$

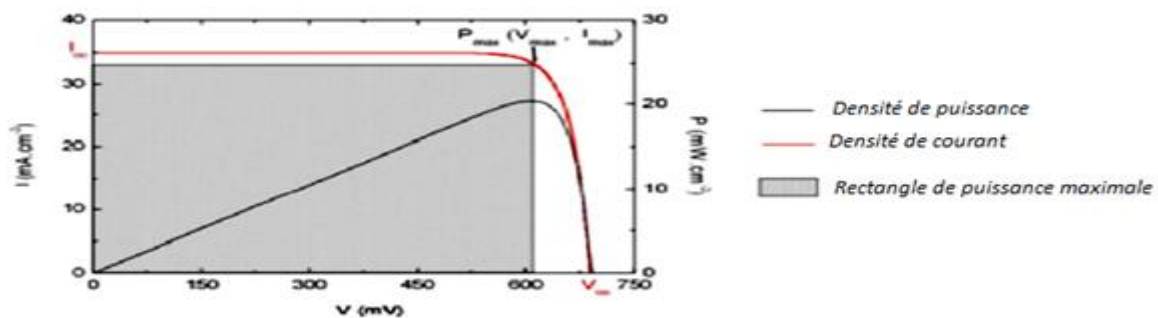


Figure I.13 : Courbes  $I = f(v)$ .

## I. 7.4.Facteur de forme FF

Le point de fonctionnement usuel d'une cellule solaire est un point de la courbe I(V) qui correspond à une puissance maximale dissipée par la charge. On appelle facteur de forme FF (Fill Factor), la quantité :

$$FF = \frac{P_m}{I_{sc} V_{co}} \quad \text{I.15}$$

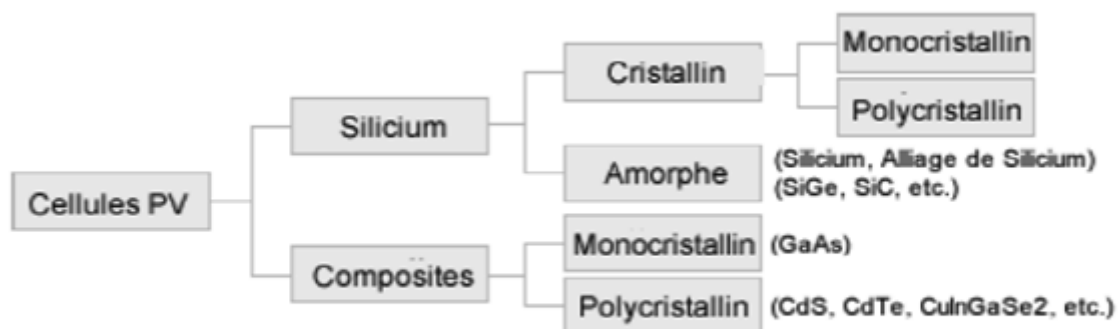
## I. 7.5.Rendement de conversion $\eta$

Enfin, le rendement d'une cellule photovoltaïque est donné par le rapport entre la puissance débitée au point de puissance maximale et la puissance lumineuse disponible

$$\eta = \frac{P_m}{P_i} \quad \text{I.16}$$

Où :  $P_i$  est la puissance incidente du rayonnement solaire au sol.

## I. 8 .Les différentes générations des cellules solaires PVs



**Figure I.14 : Différentes technologies des cellules photovoltaïques.**

Il existe un grand nombre de technologies mettant en œuvre l'effet photovoltaïque. Beaucoup sont encore en phase de recherche et développement.

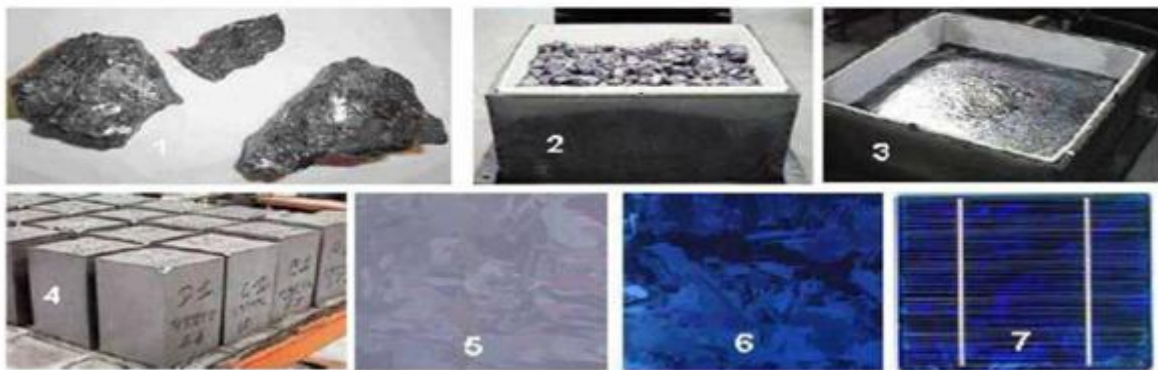
## chapitre1 : généralités sur les cellules photovoltaïques

---

Les principales technologies industrialisées en quantité à ce jour sont : le silicium mono ou poly-cristallin (plus de 80% de la production mondiale) et le silicium en couche mince à base de silicium amorphe ou CIS (Cuivre Indium Sélénium).

### I. 8.1.première génération: Silicium cristallin (mono et poly)

Cette génération de cellule repose sur les wafers (fines tranches) de silicium cristallin. Ces wafers sont sciés dans des lingots de silicium. Ces lingots sont le résultat d'un processus de purification de manière à obtenir un matériau contenant 99.99999% de Silicium.



**Figure I.15 : Etape de fabrication des cellules : (1) minerai de silicium (2) raffinage (pour augmenter la pureté) (3) silicium en fusion donnant des lingots (4) après solidification (5) wafer obtenu par sciage du lingot (6) traitement de surface par procédés physico chimiques (7) cellule finie avec électrodes.**

Il existe 2 catégories de cellules cristallines : mono et poly cristalline selon le type de structure. Ces deux types de cellules proviennent de procédés de purification et de solidification différents (processus Czochralski (Cz) et processus Siemens). Les procédés de purification Cz et Siemens ont des structures d'approvisionnement différentes et sont généralement réalisés par des industries différentes. Figure I.16:



**Figure 1.16 : Cellule mono cristalline et poly cristalline.**

Les cellules monocristallines se distinguent à leurs coins cassés et à leur aspect uniforme.

Les cellules poly-cristallines ont un aspect plus irisé provenant de l'orientation des différents réseaux cristallins par rapport au plan de coupe.

### **I. 8.2. Deuxième génération: CdTe, CIS/ CIGS, silicium amorphe microcristallin**

Cette génération de cellule repose sur la déposition de matériaux semi-conducteurs en couches minces. Ces matériaux sont déposés par des procédés tels que PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition) sur un substrat. L'épaisseur de la couche varie entre quelques nanomètres à des dizaines de micromètres. Ces technologies qui étaient initialement chères étaient réservées aux applications spatiales (en raison de leur poids par watt crête plus faible) et aux technologies de concentration. Avec l'augmentation des volumes de production, le prix de revient de ces technologies a été abaissé pour devenir compétitif avec les technologies cristallines de la première génération.

Parmi les technologies en couches minces qui sont exploitées industriellement (production de masse), on distingue : CDTE : Cadmium Telluride (Telluride de cadmium), CIS / CIGS : Copper Indium Gallium Selenide, Silicium en couche mince : silicium amorphe  $\alpha$ -Si et microcristallin.

A noter que le tellurure de cadmium est un alliage de métal lourd, très toxique, et peut tout comme le plomb ou le mercure se concentrer dans la chaîne alimentaire. L'UE en a interdit l'usage pour les appareils électriques... exception faite pour les cellules PV...



*Figure I.17 : Modules verre-verre au Telluride de Cadmium, efficacité de 9 à 11%.*

### **I.9 .Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque**

#### *I.9.1. Avantages*

- Une haute fiabilité. Les modules sont garantis pendant 25 ans par la plupart des constructeurs. Elle ne comporte pas de pièces mobiles, qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques différents. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt ;
- Leurs coûts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits, et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.
- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique, car Le produit final est non polluant, silencieux, peu de déchet.

## *1.9.2. Inconvénients*

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- L'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28 %).
- Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs Diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.
- Enfin, lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque est accru. La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulations associés soient judicieusement choisis.

### **Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons vu la transformation des photons en un courant électrique en utilisant les différents types de panneaux solaires, mais tout cela ne serait possible sans l'enchaînement de certains éléments qui composent une installation photovoltaïque que nous aborderons dans le chapitre suivant.

# Chapitre 2

## Installation et système photovoltaïque

### Introduction

Chaque jour, notre planète reçoit une énergie solaire équivalente à la consommation électrique de la terre entière pendant plus de 20 ans. La technologie photovoltaïque permet de transformer cette énergie en électricité grâce à des panneaux solaires. Cette transformation s'effectue sans bruit, sans émission de gaz: elle est donc par nature totalement propre. Par ailleurs, l'absence de mise en mouvement de pièces mécaniques lui confère un niveau de fiabilité inégalable (la durée de vie moyenne d'un panneau solaire est estimée à plus de 30 ans, période pendant laquelle le panneau produira de l'énergie, sous nos latitudes environ 10 fois la quantité d'énergie nécessaire à sa fabrication).

En plus, cet investissement présente l'avantage de nous rendre partiellement indépendant des fournisseurs d'électricité, tout en nous permettant de produire notre propre électricité de manière écologique et de contribuer à réduire les émissions de CO<sub>2</sub>. Face au constat qu'il est devenu extrêmement urgent de réduire nos émissions de CO<sub>2</sub>, les organismes responsables ont mis en place toute une série d'aides à l'investissement encourageant la réduction de nos besoins en énergie (isolation) mais aussi la production locale de notre énergie au moyen de technologies renouvelables comme le photovoltaïque.

### II.1.Type d'installation photovoltaïque

Il existe quatre types d'installations :

- **Site isolé:** Les panneaux et la bâtisse ne sont pas connectés au réseau électrique. La production est soit consommée sur place, soit stockée dans des batteries. Ce type de montage permet d'électrifier une bâtisse très éloigné du réseau, mais impose une source alternative (groupe électrogène) en cas d'absence de soleil pendant plusieurs jours en hiver.

**Autoconsommation:** Les panneaux alimentent une bâtisse elle-même connectée au réseau, avec ou sans batteries. Un système de bascule automatique permute sur le réseau électrique dès que la puissance produite est insuffisante, ou que les batteries sont vides. Cette solution n'injectant pas de courant sur le réseau, se contente d'une électronique simplifiée.

-**Autoconsommation avec revente de l'excédent de production:** Dans ce cas, dès que la production excède la consommation, le surplus est vendu à un opérateur à un tarif spécial et avantageux, dit « tarif d'achat ». L'installation injecte donc régulièrement du courant vers le

## Chapitre 2 : installation et système photovoltaïque

---

réseau. Le courant vendu doit être de bonne qualité, c'est-à-dire respecter des contraintes précises de tension et de régularité même en cas d'ensoleillement irrégulier, il convient d'installer un onduleur de bonne qualité. De plus, la présence d'un échange commercial oblige également à implanter un compteur d'injection pour mesurer avec certitude la quantité d'énergie vendue. Il existe des systèmes intelligents visant à maximiser l'autoconsommation, par exemple en chauffant l'eau chaude sanitaire à l'avance, en chargeant des batteries tampons.

**Revente de la totalité de la production:** C'est le modèle de loin le plus utilisé, car le tarif d'achat est encore largement supérieur au prix du kWh venant du réseau. Cette configuration nécessite deux branchements.

- le branchement production, qui comporte deux compteurs d'énergie un pour mesurer l'énergie vendue, et un compteur de non-consommation permettant de contrôler l'absence d'autoconsommation.
- le branchement consommation, qui utilise un compteur standard.

### II.2. les contraintes naturelles limitant le rendement d'une installation photovoltaïque

Les régions les plus ensoleillées assurent une meilleure production, mais d'autres critères déterminants entrent en jeu:

- **L'orientation des panneaux :** l'idéal est sans surprise de faire face au sud si nous sommes en hémisphère nord et l'inverse sur hémisphère sud. Un écart de quelques dizaines de degrés est acceptable, mais au détriment du rendement qui chute rapidement avec l'incidence des rayons du soleil (70% à 45°, 50% à 30°).
- **L'inclinaison des panneaux :** correspond à la latitude du lieu. Comme pour l'orientation, un écart est acceptable dans une certaine mesure et aura une influence sur les performances selon les saisons : un panneau plus vertical produira plus en hiver, à l'inverse, un panneau moins incliné sera plus efficace en été. S'il est difficile de modifier l'inclinaison des panneaux placés sur une toiture existante, il est utile de l'étudier précisément pour les panneaux posés au sol ou les bâtiments neufs.
- **La saleté :** pour les mêmes raisons que précédemment, les cellules photovoltaïques produisent moins lorsqu'elles sont souillées. Feuilles mortes, poussières, etc. sont à prendre en compte. Des panneaux sur un bâtiment proche d'une route très fréquentée, ou

## Chapitre 2 : installation et système photovoltaïque

---

d'une usine particulièrement sale, devront être nettoyés plusieurs fois par an.

- **La surface disponible**: mêmes rendements des cellules progressent d'année en année, il faut tout de même une surface importante pour produire de l'électricité d'une manière rentable qu'il faut étudier en fonction du projet. Les meilleures entreprises combinent des données géographiques, astronomiques, afin d'estimer au plus près la rentabilité du site.
- **L'ombrage** : sachant que l'ennemi numéro un du panneau photovoltaïque est l'ombre, En effet, il suffit qu'une seule cellule d'un panneau soit privée de soleil pour que la production de la totalité du panneau s'écroule.
- **les groupes de panneaux montés en série** : la production de la série est limitée par le module le moins productif. Il faut donc s'assurer qu'aucun arbre ou bâtiment aux alentours du site ne vienne masquer tout ou partie des panneaux, aussi bien l'hiver que l'été.

### II.3. Configuration générale d'une installation photovoltaïque

Une installation photovoltaïque est composée d'une chaîne de matériels électriques et électroniques. Le dispositif se muni des panneaux solaires produisant un courant continu, d'un contrôleur regroupant les sorties de tous les panneaux, il contient un interrupteur afin d'assurer la sécurité, pour la transformation du courant continu en courant alternatif (le 220v-50Hz utilisé dans la maison) l'installation dispose d'un onduleur, elle comporte éventuellement un boîtier d'information et de gestion du système, et des câbles pour les différentes liaisons. Les autres éléments dépendent des différentes installations.

Dans le cas d'une installation isolée on dispose de batteries, d'une sortie en courant continu pour l'utilisation directe des appareils fonctionnant en 12V, éventuellement d'une source d'électricité d'appoint (groupe électrogène).

Dans le cas d'une installation en autoconsommation, on dispose d'un boîtier de délestage et de sélection de source pour s'approvisionner au réseau public si nécessaire, éventuellement des batteries

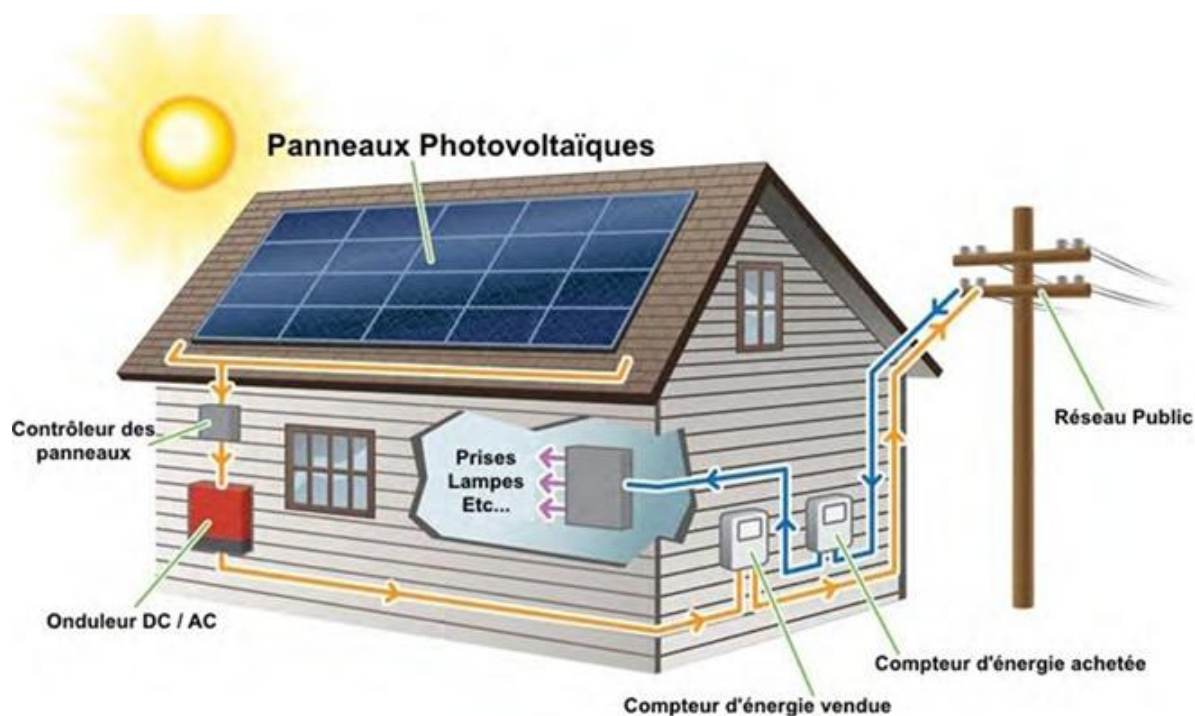


Figure II.1 : Modèle d'une installation photovoltaïque

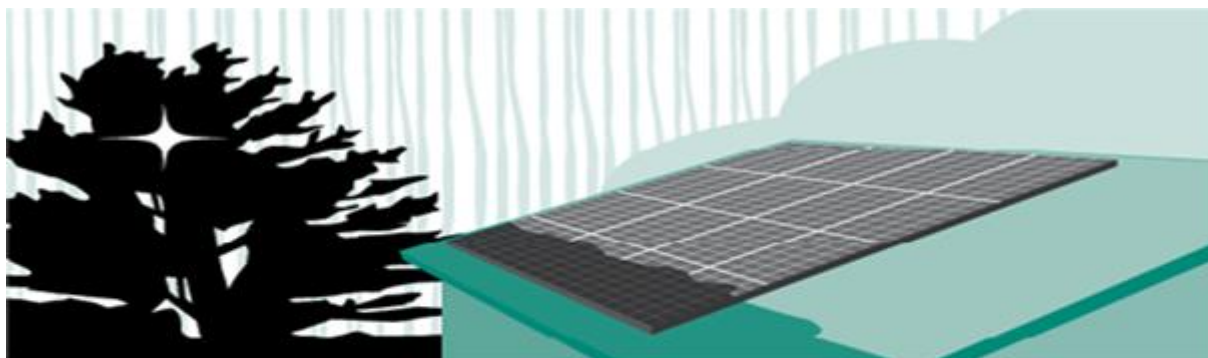
### II.4. Les éléments d'un système photovoltaïque

#### II.4.1. Les cellules et les panneaux (ou modules)

Un panneau, ou module, est constitué de plusieurs dizaines de cellules photovoltaïques généralement montées en série qui délivrent un courant continu. Les panneaux quant à eux, sont le plus souvent montés en série dans des rangées, elles-mêmes montées en parallèle.

Le rôle de la couche de protection en verre consiste à protéger les cellules et leurs interconnexions, tout en permettant leur bonne ventilation car les performances diminuent avec l'augmentation de la température des cellules. Les panneaux standards produisent quelques centaines de watts sous une tension de 12 ou 24 V, et pour une surface approximative d'un mètre carré.

Le choix du montage dépend notamment des ombrages s'ils sont inévitables. Ici (dessin ci-dessous), un montage en parallèle de rangs en série limitera la perte à 25% (1/4 des rangs) pendant les périodes d'ombre. Un montage en parallèle de colonnes en série aboutirait à une production quasi nulle dès que l'ombrage se manifeste



**Figure II.2 : ambrage sur des panneaux solaires monter en parallèle de rangs en serie.**

Notons qu'il existe également des cellules directement intégrées dans des ardoises ou des tuiles.



**Figure II.3 : cellules intégrées dans des ardoises.**

### ***II.4.1.1 : dimensionnement des panneaux solaire***

Dimensionner, c'est fixer la taille et les caractéristiques optimales de chaque élément d'un système dont on connaît la configuration. En effet, le dimensionnement peut amener finalement à changer le système, par exemple s'il s'avère que des éléments optimaux sur le plan technique sont très chers, ou indisponible, etc... La méthode de dimensionnement consiste à déterminer d'abord la puissance crête qui fournit l'énergie électrique nécessaire pendant le mois le moins ensoleillé. Elle consiste à déterminer le moment où vous avez besoin d'électricité, et à mesurer votre consommation. Cette étape comporte peu de calculs, mais demande relativement beaucoup de réflexion car une erreur à ce stade faussera les résultats jusqu'à la fin. La méthode comporte 07 étapes : Le résultat d'une étape influence directement le résultat des étapes suivantes. Si on obtient un résultat aberrant, ça ne veut pas forcément

dire qu'on s'est trompé dans nos calculs. Il ne faut pas hésiter à revenir en arrière, notamment à la première étape, afin de redéfinir nos besoins

La détermination de puissance crête installée présente un intérêt tout particulier, compte tenu du coût du watt-crête. Généralement, la variation de l'énergie fournie par un panneau photovoltaïque d'inclinaison donnée, ne suit pas celle des besoins en énergie d'une habitation. Si on fixe la puissance crête pour satisfaire au mieux les besoins d'un mois donné, on obtient généralement un déficit ou un excédent pour d'autre mois. Sur quelle période faut-il s'efforcer d'égaliser les besoins et les apports? Une inclinaison égale à la latitude du lieu permet de capter une quantité d'énergie annuelle maximale, mais une partie de cette énergie risque d'être inutile car l'énergie est chère à stocker.

Une inclinaison forte (plus proche de la vertical : latitude du lieu + 20° par exemple) favorise la captation de l'énergie solaire en hiver (quand le soleil est bas).

### ***II.4.1.2. Principes de dimensionnement et de positionnement du panneau***

Les deux principes extrêmes illustrent les raisonnements employés pour confronter l'énergie que le panneau doit fournir et l'énergie qu'il peut fournir à partir de l'ensoleillement.

### ***II.4.1.3. Dimensionnement sur le mois le moins ensoleillé***

Une solution simple est sûr consiste à choisir une puissance crête tel que pendant le mois le moins ensoleillé, l'énergie fournie par le panneau satisfasse les besoins, avec une inclinaison voisine de la latitude du lieu. C'est la solution généralement adopté par les sociétés commercialisant et installant des systèmes photovoltaïque. [1] Elle conduit, malheureusement à un gaspillage important d'énergie pendant les autres périodes, et spécialement pour la période la plus ensoleillée.

Pour réduire ce gaspillage, et donc économiser sur la puissance crête du panneau, il est possible de favoriser l'exposition du panneau pendant la saison la moins ensoleillée en choisissant une inclinaison supérieure de 10 à 20° (15° en général) à la latitude du site, et de surdimensionné la batterie par aux besoins réels (principalement liés au nombre possible de jour sans soleil durant cette saison moins ensoleillée. [5]

Il est alors possible de dimensionner non plus sur le mois le mois ensoleillé, mais sur des mois un peu plus ensoleillé permettant de combler le déficit du mois le mois ensoleillé grâce à une capacité suffisante de la batterie. [1]

### *II.4.1.4. Dimensionnement sur le mois le plus ensoleillé*

La puissance crête est suffisante pour satisfaire les besoins pendant le mois le plus ensoleillé et généralement tout à fait insuffisante pour satisfaire les besoins d'hiver. Un tel dimensionnement implique le recours à une source d'énergie complémentaire. Dans un système à deux sources, il faut alors favoriser l'utilisation de l'énergie solaire pendant les mois plus ensoleillés et donc, choisir une faible inclinaison des modules ( $\alpha$ =la latitude -10° à 20°). Ce dimensionnement trouve sa limite dans le coût de l'énergie complémentaire. [1] Un calcul de coût (investissement, fonctionnement) permet de décider de la solution optimale entre un petit panneau peu incliné et source complémentaire très sollicitée et un panneau plus important et plus incliné et source complémentaire moins sollicitée.

### **II.4.2. L'onduleur**

Cet appareil est aussi important que les modules. Il a pour rôle de transformer le courant continu, variable selon la luminosité, en courant alternatif stable pouvant être injecté sur le réseau ou utilisé dans le bâtiment. L'onduleur est souvent le maillon faible d'une installation, car il supporte mal les montées en températures. Il doit donc être placé dans un local frais. Il est également recommandé de préférer un modèle équipé d'un radiateur passif au lieu d'un ventilateur (qui peut tomber en panne, et diminue légèrement le rendement). Si les meilleures marques prétendent atteindre des durées de vie proches de 20 ans, les installateurs conseillent un remplacement au bout d'une dizaine d'années car le rendement d'un onduleur diminue avec le temps. Quelques entreprises commencent à proposer des micro-onduleurs suffisamment petits pour être intégrés directement dans chaque module, qui produisent ainsi directement du courant alternatif. Cette technologie encore peu exploitée offre de nombreux avantages :

- la possibilité de mélanger différents types de modules (contraintes architecturales, extension d'une installation)
- la limitation des pertes de production en cas de panne d'un module ou d'ombrage partiel des panneaux.
- l'absence d'un onduleur général au profit de plusieurs micro-onduleurs : répartition des risques de panne, meilleure durée de vie...
- un suivi de la production module par module

- l'élimination des risques liés à la manipulation de courants continus de forte intensité.



**Figure II.4 : aspect d'un onduleur radiateur**

### II.4.3. Le câblage

L'installateur doit porter une attention particulière au câblage et aux connexions car ils peuvent être source de pertes de rendement, voire de risques de sécurité.

La section des câbles doit être bien calculée afin de limiter les pertes en ligne (maximum 3% pour l'ensemble des câbles). Elle dépend notamment de la disposition des modules : plus le nombre de panneaux en série est élevée, plus la tension et la section des câbles augmentent, et plus les pertes diminuent. En revanche, dans un dispositif en série, la puissance produite est limitée par celle du module le moins productif car si un seul panneau est à l'ombre, tous les autres ne produisent plus rien non plus.

Les connexions doivent être parfaites afin d'éviter les fuites de courant et surtout provoquer un incendie. Il existe d'ailleurs des systèmes pré-câblés munis de connecteurs totalement étanches qui limitent ces risques.

L'ajout d'un parafoudre est recommandé afin de protéger l'installation et plus particulièrement l'onduleur. Le danger d'électrocution est réel. Pour les techniciens bien sûr, mais aussi pour les pompiers en cas d'incendie. Normalement, les installations conformes aux normes en vigueur limitent ces risques et comportent des interrupteurs de sécurité. Il nous paraît cependant extrêmement risqué de faire effectuer une opération de maintenance ou une réparation par une personne non qualifiée.



Figure II.5 : connecteurs étanches

### II.4.4. Les interfaces de gestion du système

La plupart des installations se contentent d'un compteur d'énergie qui permet non seulement de connaître sa production, mais aussi de vérifier à tout moment que le système produit bien. Si ce compteur est évidemment indispensable, il est également insuffisant pour gérer au mieux le rendement et la productivité de son installation. Il est ainsi tout à fait pertinent, voire recommandé pour les grands projets, d'acquérir un système de supervision et de contrôle offrant une ou plusieurs des fonctionnalités suivantes :

- Mesure de la puissance instantanée des panneaux.
- Mesure de la puissance instantanée de chaque module.
- Mesure cumulée de la production selon plusieurs échelles de temps (heure, journée, semaine, mois, année, cumultotal).
- Détection, localisation et alerte de pannes.
- Alertes de risques ou d'état anormal (température élevée, ombrage inhabituel...).
- Alertes de maintenance.
- Contrôle à distance (pour une résidence secondaire et/ou le SAV).
- Interface web et/ou smartphone.

### II.4.5. Les batteries

Vue les besoin d'énergies durant la nuit, les chercheurs ont été obligé de remédier à ce problème afin de trouver une autre alternative que les panneaux photovoltaïques qui ne fonctionnent que la journée, pour cela ils ont introduit un accumulateur (batterie) pour stocker l'énergie produite au cours de la journée.

Les batteries solaires stockent l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques afin d'assurer l'alimentation électrique en toutes circonstances (jour ou nuit, ciel dégagé ou couvert).

Une batterie utilisée avec des panneaux solaires ou une éolienne est une batterie à décharge lente (appelée aussi batterie solaire). Ces batteries sont spécifiquement conçues pour les applications solaires ou éoliennes. Elles n'ont pas les mêmes caractéristiques qu'une batterie de voiture par exemple, elles se déchargent plus progressivement et supportent mieux les décharges fréquentes peu profondes.

Une batterie solaire peut se brancher directement sur un panneau solaire, mais elle risque de s'endommager si son niveau de charge dépasse les 90%. C'est pour cela qu'il est vivement recommandé d'installer un régulateur solaire entre le panneau solaire photovoltaïque et les batteries solaires, qui est d'ailleurs le thème de notre projet que nous verrons en détail plus tard.

Le rôle du régulateur dans une installation solaire est très important car le niveau de charge des batteries solaires ne doit être ni trop bas (pas en dessous de 40%) ni trop haut (ne pas dépasser 90%). Des charges trop faibles ou trop importantes non régulées détériorent les batteries et limitent leur durée de vie.

La vérification du cycle est fortement recommander (nombre de cycles complets de charge - décharge de la batterie) est clairement indiqué par le fabricant. Le cycle indique la durée de vie de la batterie solaire. Les batteries solaires de qualité ont une durée de vie de plus de 500 cycles, soit de 7 ans jusqu'à 15 ans.

### *II.4.5.1. Définir la capacité de stockage des batteries solaires*

La première question à se poser est celle de la capacité de stockage d'énergie solaire ou éolienne, dont vous avez besoin.

La capacité d'une batterie solaire est exprimée en Ampères Heure (Ah) ce qui désigne le débit totale d'énergie de la batterie dans des conditions données (10 heures, 20 heures, ...).

Avec un régulateur solaire (qui se branche entre les panneaux solaires et la batterie), vous réglez la charge de la batterie, qui ne doit pas dépasser 90%, et ne doit pas descendre sous les 40%, car une surcharge comme une décharge trop profonde endommage ces batteries et diminue leur durée de vie.

Donc, si nous reprenons notre exemple, une batterie 100 Ah – 12V, pourra se décharger au mieux de 60Ah (60% x 100Ah). Cela représente par rapport à votre besoin quotidien en énergie  $60 \text{ Ah} \times 12\text{V} = 720 \text{ Wh}$ .

### *II.4.5.2. autonomie d'une batterie et estimation pour un système*

Pour déterminer l'autonomie dont une installation à besoin, vous devez fixer le nombre de jour d'autonomie de votre installation photovoltaïque, c'est-à-dire le nombre de jours pendant lesquels vos batteries n'ont pas besoin d'être rechargées tout en conservant une consommation d'énergie normale. En général, cela représente le nombre de jours consécutifs sans soleil auquel vous pouvez faire face.

En continuant avec notre exemple, si vous avez un besoin d'énergie de 900 Wh par jour et que vous choisissez une autonomie de 3 jours, votre besoin de stockage sera de  $3 \times 900 \text{ Wh} = 2700 \text{ Wh}$  (pour simplifier, car il faudrait ajouter à cela une perte de charge de 15% à 30% à cause du câblage, de l'onduleur ...). Soit en 12V, une capacité de  $2700 \text{ Wh} / 12\text{V} = 225 \text{ Ah}$ .

Comme indiqué plus haut il est recommandé de ne pas décharger sa batterie au delà de 40%, donc il faut prévoir une capacité de batterie de 360 Ah.

Donc vous pourriez choisir avec une bonne marge de sécurité 3 batteries de 150 Ah de 12V qui vous donneront une capacité cumulée de 450 Ah.

### ***II.4.5.3. durée de vie d'une batterie solaire***

La durée de vie d'une batterie solaire s'évalue en nombre de cycles de charge/décharge qu'elle est capable de supporter. On dit "estimer" car il s'agit d'une donnée basée sur un niveau de décharge et sur des conditions atmosphériques données.

La durée de vie d'une batterie solaire dépend d'abord de la technologie utilisée : plomb ouvert, AGM (absorbed glass mat), GEL (électrolyte est figé par l'addition de gel de silice).

Ensuite les batteries solaires vieillissent en raison des charges et décharges : le nombre de cycles dépend principalement de la profondeur habituelle de décharge.

Pour vous donner un ordre d'idée, pour des décharges de l'ordre de 40%, on peut estimer les durées de vie suivantes pour les différents types de batteries à décharge lente

- Batterie solaire au plomb ouvert : 400 à 500cycles
- Batterie solaire AGM : 600 à 700cycles
- Batterie solaire GEL : 800 à 900cycles

### **II.4.6. Régulateur de charge**

Le régulateur de charge solaire est un composant indispensable d'un système solaire photovoltaïque autonome. Il est mis en place dans le système solaire entre les panneaux solaires et les batteries.

#### **II.4.6.1. Les fonctions du régulateur de charge**

Un régulateur de charge solaire remplit 2 fonctions :

- Sa fonction principale est qu'il protège la batterie contre la surcharge ; il coupe le courant allant du panneau solaire vers la batterie quand la batterie est pleinement chargée.
- Sa deuxième fonction il protège la batterie contre la décharge profonde ; quand les utilisations sont branchées sur la sortie du régulateur de charge, il déconnecte les utilisations quand la batterie descend en dessous d'un seuil critique d'état de charge de la batterie.

### II.4.6.2 Les différents types de régulateur de charge

#### *II.4.6.2.1 Le régulateur shunt*

Le courant du panneau solaire est envoyé dans un interrupteur en parallèle avec la batterie lorsque celle-ci atteint sa pleine charge.

Le principe de fonctionnement est un simple aiguillage : tout le courant délivré par les panneaux photovoltaïques, passe normalement dans les batteries jusqu'à ce que le seuil de coupure soit atteint.

Alors, le courant est dérivé dans l'interrupteur équipé d'une diode.

Cette diode joue également le rôle de blocage du courant nocturne pouvant s'écouler des batteries.

L'interrupteur le plus souvent utilisé est un MOSFET à faible résistance de passage, plus intéressant qu'un transistor bipolaire qui dissipe trop d'énergie.

#### *II.4.6.2.2 Le régulateur shunt linéaire*

Ce type de régulateur maintient une tension constante aux bornes des batteries lorsqu'elles atteignent leur pleine charge.

L'avantage est que la charge totale des batteries est garantie.

L'inconvénient, c'est que la puissance non utilisée provenant des panneaux photovoltaïques doit être dissipée par un transistor en parallèle, ce qui limite ce type de régulation aux petits courants.

#### *II.4.6.2.3 Le régulateur série*

Ce type de régulateur est très répandu et il domine le régulateur shunt.

L'interrupteur de charge est ici en série avec les batteries et il s'ouvre lorsque la fin de charge est atteinte.

La différence avec la technique shunt, c'est que le relais peut être commutant en laissant passer le courant vers un autre récepteur.

Cette propriété permet d'utiliser la totalité de la puissance solaire en alimentant un récepteur auxiliaire (ventilation, pompage, chauffage en pays froid).

### *II.4.6.2.4 Le régulateur série linéaire*

Dans ce modèle, on ajoute une source de courant parallèle avec l'interrupteur pour réaliser l'égalisation des batteries par flottement : un transistor contrôlé par une simple résistance en série avec une diode.

Le désavantage par rapport au type shunt est que l'interrupteur, selon sa résistance de passage, ajoute une chute de tension supplémentaire entre les panneaux et les batteries.

### *II.4.6.2.5 Le régulateur MPPT*

Dans ce régulateur, un circuit électronique mesure en permanence la tension et le courant des panneaux solaires pour tirer de l'énergie au point de puissance maximale MPPT (Maximum Power Point Tracking).

Ceci permet de garantir que le maximum d'énergie sera récupéré, quels que soient la température et l'ensoleillement.

L'avantage de ce genre de régulateur, est qu'il permet de travailler dans une grande plage de température et ainsi récupérer l'excès non négligeable de tension en hiver lorsque le point de puissance maximale peut monter au-dessus de 18 volts dans un système 12 V.

Cette technologie est réservée aux systèmes de plusieurs centaines de Watts pour que le gain d'énergie compense le prix plus élevé de ce type de régulateur.

### **II.4.6.3 Les différentes caractéristiques des régulateurs solaires**

Il existe de nombreux régulateurs de charge disponible sur le marché qui ont des caractéristiques différentes :

- l'affichage de l'état de charge de la batterie : certains régulateurs ne fournissent pas cette information; d'autres la fournissent sous forme de LED, d'autres sur un écran digital.
- la compensation thermique : elle permet d'affiner les seuils de travail du régulateur de charge et améliore la durée de vie de la batterie.
- les seuils de coupures ajustables : sur certains régulateurs, les seuils de coupure sont réglables soit par des petits interrupteurs, soit par des potentiomètres, soit par un réglage avec l'afficheur LCD ou à l'aide d'une commande à distance.

- data logging : certains régulateurs de charge enregistrent les données du système; ces données sont ensuite lisible sur le régulateur ou sur ordinateur; cela permet de visualiser une erreur ou alarme sur le système solaire.

### II.4.6.4 Comment choisir son régulateur de charge

Etant donné l'importance du régulateur de charge dans le système solaire, il est indispensable de choisir un régulateur solaire fiable.

- le régulateur de charge doit être choisi en fonction du courant délivré par les panneaux solaires et de la tension des batteries :

- pour un régulateur PWM, le régulateur doit pouvoir fonctionner sur la tension des batteries; le courant du régulateur doit être de minimum 1.5 fois le courant de court-circuit des panneaux solaires;

- pour un régulateur MPPT, le régulateur doit pouvoir fonctionner sur la tension des batteries; la puissance des panneaux solaires doit être inférieure ou égale à la puissance acceptable par le régulateur de charge; les tensions des panneaux solaires doivent être inférieures aux tensions acceptables par le régulateur de charge;

- il est important de tenir compte de la consommation interne du régulateur de charge; pour un régulateur ayant les mêmes caractéristiques, il est toujours préférables d'opter pour celui ayant une consommation la plus faible pour optimise le système solaire.

- la précision des seuils et la possibilité de brancher une mesure séparée de la tension peut être un critère de choix.

- l'indice de protection d'étanchéité du produit : il est à prendre en compte en fonction de l'environnement ou sera installé le régulateur de charge; un choix adapté prolongera la durée de vie du produit et donc du système.

- la facilité de montage : les bornes de connexion doivent être facilement accessibles et permettent le câblage avec des sections suffisantes.

### **Conclusion :**

Dans une installation photovoltaïque l'enchaînement des éléments qui composent le système est primordial pour le bon fonctionnement de ce dernier et l'un de ces éléments est le régulateur pour lequel nous avons opté pour une réalisation que l'on verra en détail dans le chapitre suivant.

# Chapitre 3

Réalisation d'un  
régulateur de charge  
pour batterie solaire

### **Introduction**

Ce chapitre sera consacré au sujet principal de notre projet qui est la réalisation d'un régulateur de charge pour batterie solaire à base de carte Arduino, qui a comme but de surveiller la charge de la batterie, pour couper le courant à la pleine charge de cette dernière ou de nous informer quand celle-ci sera complètement déchargée afin d'éviter son usure, ainsi une durée de vie plus longue.

L'élaboration de notre régulateur de charge s'étend du dimensionnement des panneaux solaires ainsi que des batteries jusqu'à la conception concrète du système électrique.

Nous ferons l'étude de la structure du système que nous avons conçu, puis, l'étude de la carte électronique qui est le cœur de notre projet.

Pour finir, la partie programmation, notre programme commandera notre carte électronique pour assurer le bon fonctionnement du système et la charge correcte de la batterie.

### **III.1. Cahier des charges et solutions techniques**

Pour faire l'étude d'un système il est nécessaire de commencer par élaborer un cahier des charges, nous avons donc mis en place quelques conditions suivies de solutions techniques concrètes.

Le système doit :

- être autonome, c'est-à-dire il fonctionne sans source de tension extérieur au système, afin de gérer seul la régulation et la charge de ses batteries.
- être adaptable à tout type de batteries, et cela en changeant les paramètres du programme, l'utilisateur aura donc la liberté de choisir n'importe quelle batterie de 12v.
- être accessible en cas de panne, ainsi les parties puissance et commande seront mises en évidence et ne seront pas cachées.
- fonctionne seul, c'est-à-dire que l'utilisateur ne met que le système en marche, et ceci sera possible grâce à l'automatisation du processus par programmation.
- être transportable : le système ne doit pas être ni volumineux ni lourd.

## **Chapitre 3 : réalisation d'un régulateur de charge pour batterie solaire**

---

- posséder une interface d'affichage, pour permettre à l'utilisateur de consulter certaines informations avec l'utilisation d'un LCD qui affiche les informations demandées.

### **III.2. Ensemble du système à réaliser**

Pour notre expérience nous avons opté pour un panneau photovoltaïque délivrant un courant total de 21v en moyenne qui alimentera les batteries de 12v en passant par notre régulateur de charge, qui assurera la charge de notre batterie, et alimentera le reste du système afin d'utiliser l'énergie stockée qu'en cas d'absence d'énergie solaire.

#### **III.2.1 principes de fonctionnement du système**

Notre régulateur sera placé entre le panneau solaire et la batterie afin de surveiller l'énergie produite par le panneau et de fournir la bonne quantité d'énergie à notre batterie pour cela on devisera notre carte électronique en deux blocs :

##### **1er bloc**

La tension du panneau photovoltaïque est reçue aux bornes du connecteur vin p5 (la figure suivante), puis passe sur une diode de protection servant d'anti retour de courant, le premier bloc surveillera la tension émise par le panneau solaire à l'aide des résistances qui transmettront la tension reçue par l'entrée Vin .Si la tension dépasse les 15V la carte Arduino enverra l'ordre au relais de faire passer le courant vers la batterie en passant par des capacités de filtrage dont le rôle est de stabiliser la tension, ensuite le courant passe sur un régulateur de tension 7815 afin d'avoir une tension de sortie stable à 15V qui charge les batteries du panneau solaire.

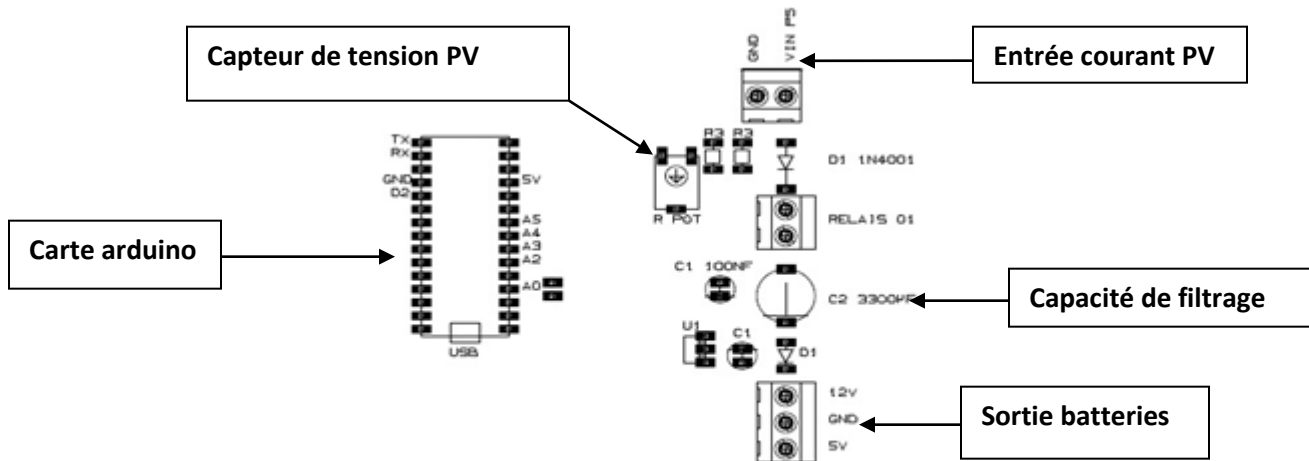


figure III.1 : différentes parties du bloc 1.

A ce moment-là nous avons une batterie qui se charge avec une tension stable, à condition que la batterie ne dépasse pas les 90% du taux de charge maximale, pour ce faire nous avons mis un dispositif mesurant la tension aux bornes de la batterie, au moment où elle atteint les 90% du taux de charge maximale le courant passe sur le deuxième chemin qui est le capteur de tension à base de résistances, automatiquement la carte Arduino donne l'ordre d'arrêter la charge, en mettant le relai 1 en circuit ouvert ( la charge est terminée).

### 2eme bloc

Ce bloc surveillera la décharge de la batterie, grâce au capteur de tension à base de résistance, notre carte Arduino aura continuellement les informations sur l'état de la batterie et quand celle-ci atteint 40 % de sa charge maximale, la carte Arduino donnera l'ordre de faire passer le courant pour charger la batterie, en mettant le relai 1 en circuit fermé.

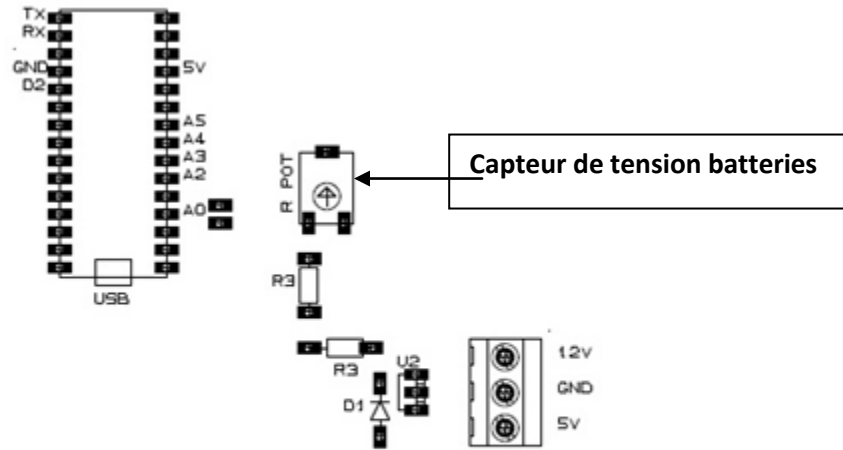


figure III.2 : différentes parties du bloc 2.

Toutes ces informations et manipulations seront affichées sur un écran LCD.

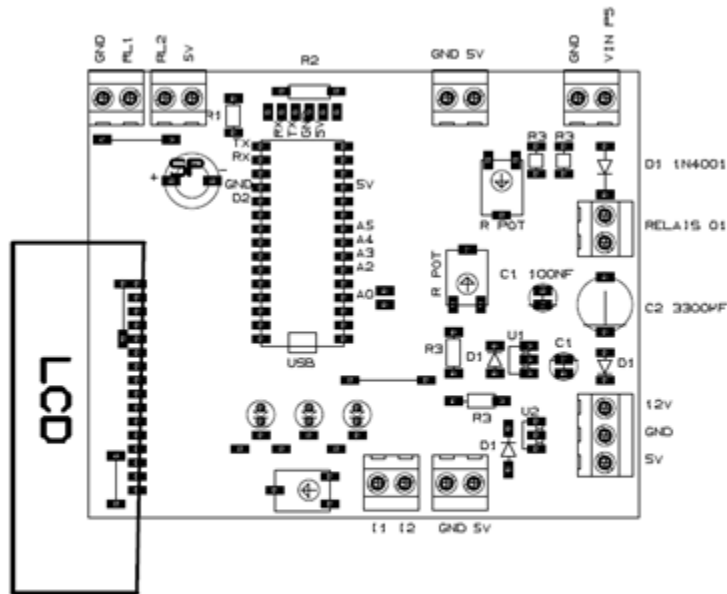


figure III.3 : ensemble des composants du système

## Chapitre 3 : réalisation d'un régulateur de charge pour batterie solaire

### III.2.2. différents composants du système

Pour la création de l'ensemble du système nous auront besoin d'une carte arduino, des résistances de différentes valeurs, des capacités de filtrage, un circuit imprimé, des relais un écran LCD, des leds de signalisation et un boîtier.

#### *1-La Nano Arduino*

La carte Arduino Nano est considérée comme l'élément idéal pour les systèmes embarqués ou pour des applications robotiques nécessitant du multitâches et ce grâce à son grand nombre d'entrée/ sorties et sa mémoire de 32KB. La carte Arduino Nano est basée sur un ATmega328 cadencé à 16MHz contenant un bootloader permettant la modification des programmes sans passer par un programmeur et cela en utilisant le logiciel Arduino.

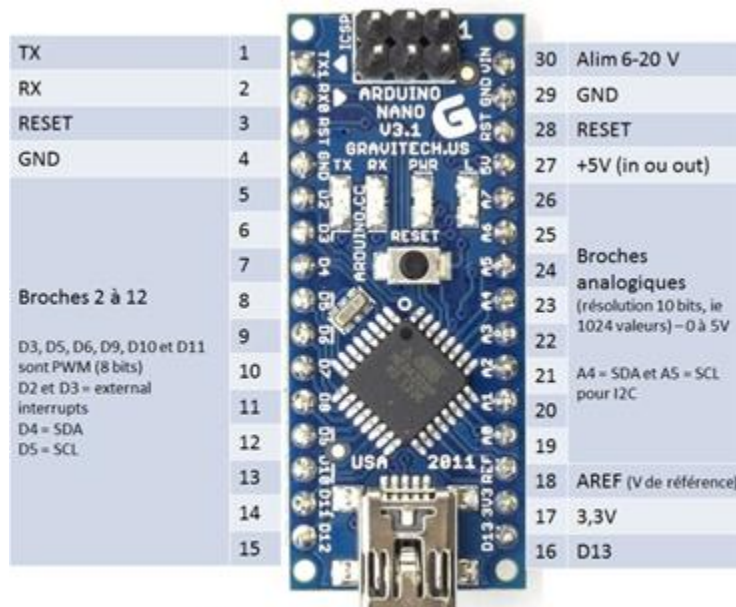


figure III.4 : carte arduino

#### *1.1-Alimentation*

Notre carte Arduino Nano peut être alimentée de plusieurs manières en fonction de ses différents voltages, Par le PC via le connecteur USB mini-B de 7 à 12V, via la pin 30 (Vin) ou via une alimentation 5V régulée sur la pin 27 (5v) ce qui est dans notre cas.

La Nano sélectionne automatiquement son alimentation sur la source au voltage le plus élevé.

### *1.2-Entrés – Sorties*

Notre carte Nano comporte des pins qui peuvent être utilisés soit en entrée soit en sortie digitales avec un niveau logique de 5V.ces pins peuvent fournir chacun 40mA au maximum et comporte une résistance de pull-up interne (désactivée par défaut) de 20-50 KOhms.

La Nano dispose aussi de 8 entrées analogiques, avec une résolution de 10 bits (1024 valeurs) chacune, les pins analogiques 6 et 7 sont les seules qui ne peuvent pas être reconfigurées en pins digitales.

### *2- Afficheur LCD*

#### *2.1. Définition*

Un afficheur LCD ou (liquid cristal display) d'où son sigl LCD, est un écran a cristaux liquides. Ce dernier dont la fonction d'afficher les textes les données numériques et les différentes informations est un élément compact, intelligent et indispensable dans les systèmes techniques. Il est piloté par un microcontrôleur qui assure un affichage aisé et donne aussi libre cour a la création.



**figure III.5 : Afficheur LCD.**

### 2.2. Principe du fonctionnement de l'afficheur LCD

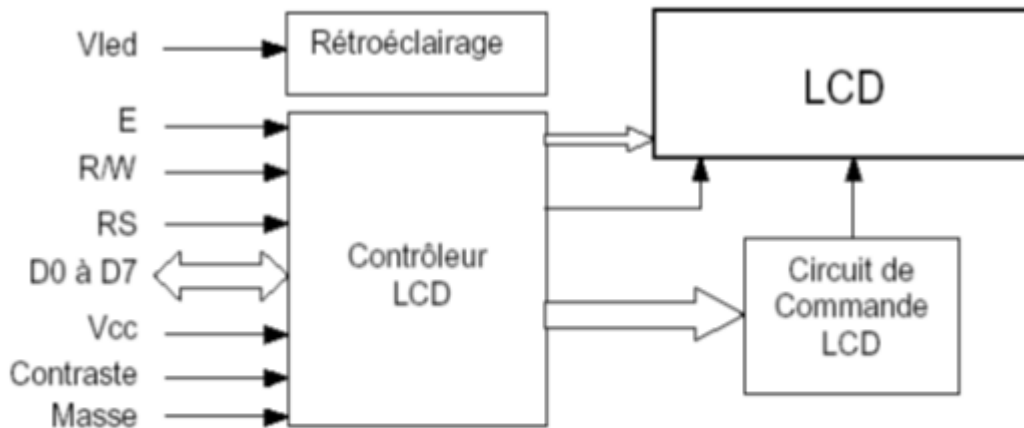
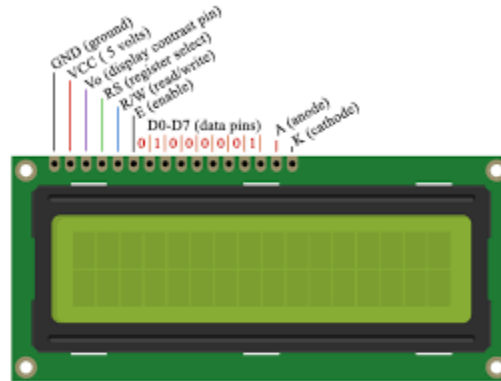


figure III.6 : schéma fonctionnel

Les 14 broches de l'afficheur LCD ont chacune une fonction qui la spécifie voici ci-dessous l'explication de chacune d'elles :

- VCC, Masse : alimentation de l'afficheur LCD. Un afficheur LCD s'alimente en 0V- 5V.
- Contraste : entrée permettant de régler le contraste de l'afficheur LCD. Il faut appliquer une tension continue réglable (entre 0V et 5V) à l'aide d'un potentiomètre.
- Vled : différence de potentiel permettant de commander le rétro éclairage.
- E : entrée de validation (ENABLE), elle permet de valider les données sur un front descendant. Lorsque E=0 alors le bus de données est à l'état haute impédance.
- RS : (Register Select) cette entrée permet d'indiquer à l'afficheur si l'on souhaite réaliser une commande (RS=0) par des instructions spécifiques ou écrire une donnée (envoi du code du caractère à afficher) sur le bus (RS=1).
- R/W : entrée de lecture (R/W=1) et d'écriture (R/W=0). Lorsqu'on commande l'afficheur LCD il faut se placer en écriture.
- D7...D0 : bus de données bidirectionnel, il permet de transférer les instructions ou les données à l'afficheur LCD.



**figure III.7 : image montre les noms des broches en légendes**

### **3-Les leds**

Sur notre carte électronique, il y a 3 diodes électroluminescentes rouge, orange, vert :

-La led vert indique que le fonctionnement du système est en marche

-La led orange indique que le transistor est commandé

-La led rouge indique que le fonctionnement du système est en stop Voici les caractéristiques de la diode :

### **4-Les régulateurs**

Le premier régulateur est un 7815 permet la régulation d'une tension environ égale à 24V en une tension de sortie égale à 15V.

Le second régulateur est un 7805 qui permet la régulation d'une tension environ égale à 24V en une tension de sortie égale à 5V.

### **5-La diode**

Il s'agit d'une diode anti retour, c'est-à-dire qu'elle bloque le retour du courant des batteries aux *modules* photovoltaïques.

### ***6-Les résistances***

Les résistances font le rôle d'un capteur de tension suivant la loi d'ohm comme diviseur de tension.

### ***7-Les capacités***

Nous avons utilisé des capacités de filtrage pour assurer une réserve d'énergie afin d'avoir une tension continue au borne de sortie pour la charge des batteries.

### ***8-Les relais***

Nous avons utilisé un relais shield double canon qui est un organe électrique permettant de dissocier la partie puissance de la partie commande, il permet l'ouverture et la fermeture d'un circuit électrique par un second circuit ( dans notre cas il est commandé par la carte nano arduino)

## **III.3. étapes de réalisation du système**

### **III.3.1 Conception de la carte électronique**

#### **III.3.1.1 Réalisation du typon**

Après une étude approfondie des composants élémentaires du plan de notre système nous avons pu mettre au point un typon adaptable au bon fonctionnement de ce plan et pour ce faire nous avons poursuivi certaines procédures se basant sur l'utilisation du logiciel « TCI »

Après avoir déterminé l'emplacement de chaque composant et ainsi élaboré le circuit à imprimer.

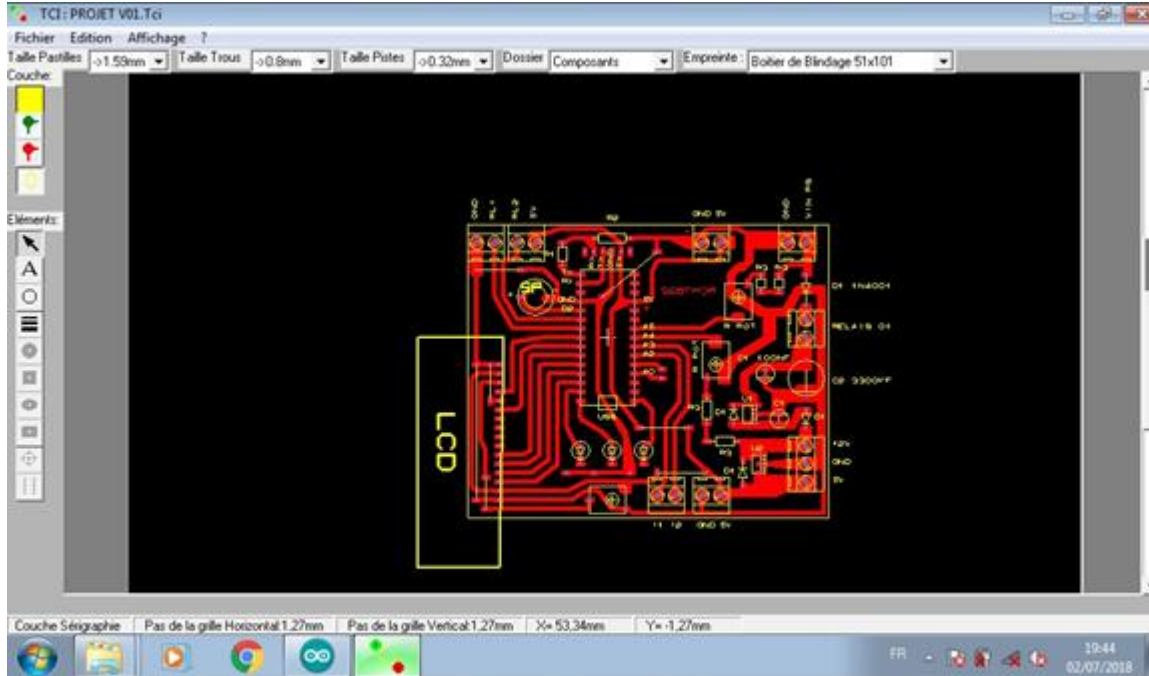


figure III.8 : réalisation du typon

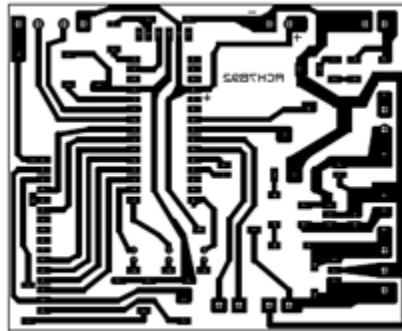


figure III.9 : impression du typon

### III.3.1.2 Réalisation de la maquette

Dotés de notre circuit imprimé nous passons par les étapes suivantes :

- **Insolation**

Les ultra-violets émis par les tubes de l'insoleuse vont détruire la couche photosensible aux endroits non protégés par le tracé du typon. On observe alors le tracé des pistes imprimé sur la résine.

## **Chapitre 3 : réalisation d'un régulateur de charge pour batterie solaire**

---

- **Révélation**

En Trempant la plaque pré sensibilisée dans le bain révélateur en suivant bien les consignes de sécurité. Si le révélateur est récent ou très actif, l'opération risque d'être très courte ! Observez bien l'action du produit qui désagrège la couche photosensible brûlée par les ultra-violets, ne laissant que le tracé des futures pistes sur la couche de cuivre.

- **Rincage**

Rincez abondamment la plaque pré sensibilisée dans l'eau pour que le révélateur disparaisse.

- **Gravure**

En utilisant du perchlorure de fer, toute la surface du cuivre disparaît suite à une réaction chimique avec la solution, mis à part les tracés des pistes du typon car ils sont toujours protégés par une résine.

- **Enlèvement du vernis**

en utilisant de l'acétone et un chiffon, on enlève les résines qui restent sur nos pistes.

- **Percage**

Afin d'implanter les composants sur le circuit il faut percer des trous sur les endroits spécifiés et cela à l'aide d'une perceuse

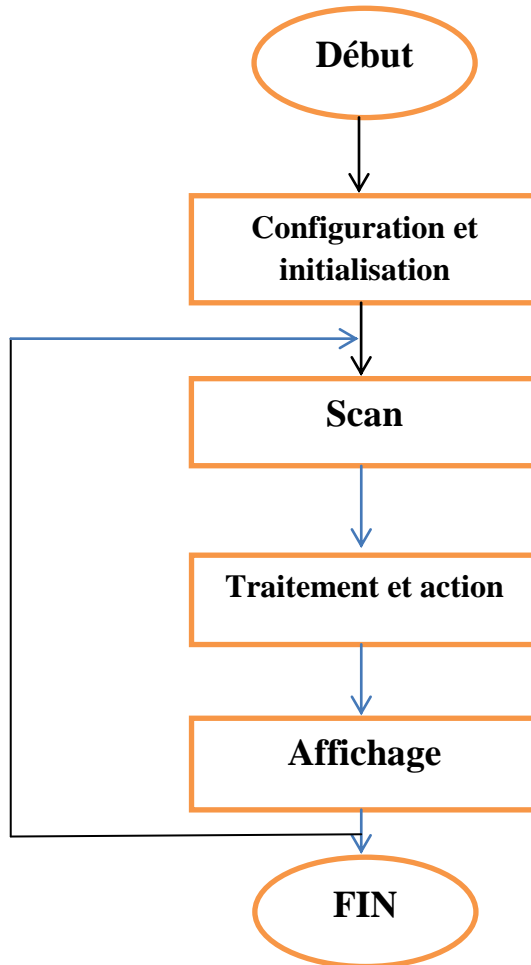
- **Soudage**

Et cela avec du fer à souder et de l'étain.

### III.3.2 La partie programmation

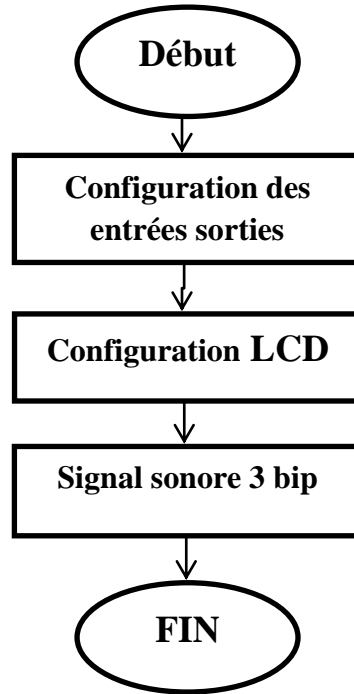
Une fois tout en place on procède à la programmation de la carte arduino pour faire marcher le système selon les chronogrammes suivant :

**Programme principal :**



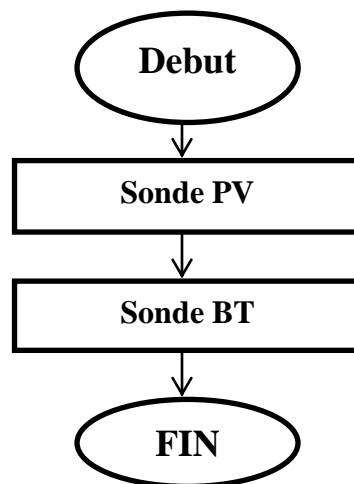
**Figure III.10 : organigramme du programme principal**

**Sous-programme principal : configuration et initialisation**



**Figure III.11 : Sous-programme principal : configuration et initialisation**

**Sous-programme principal : Scan**



**Figure III.12 : Sous-programme principal : Scan**

## Sous-programme principal : traitement et action

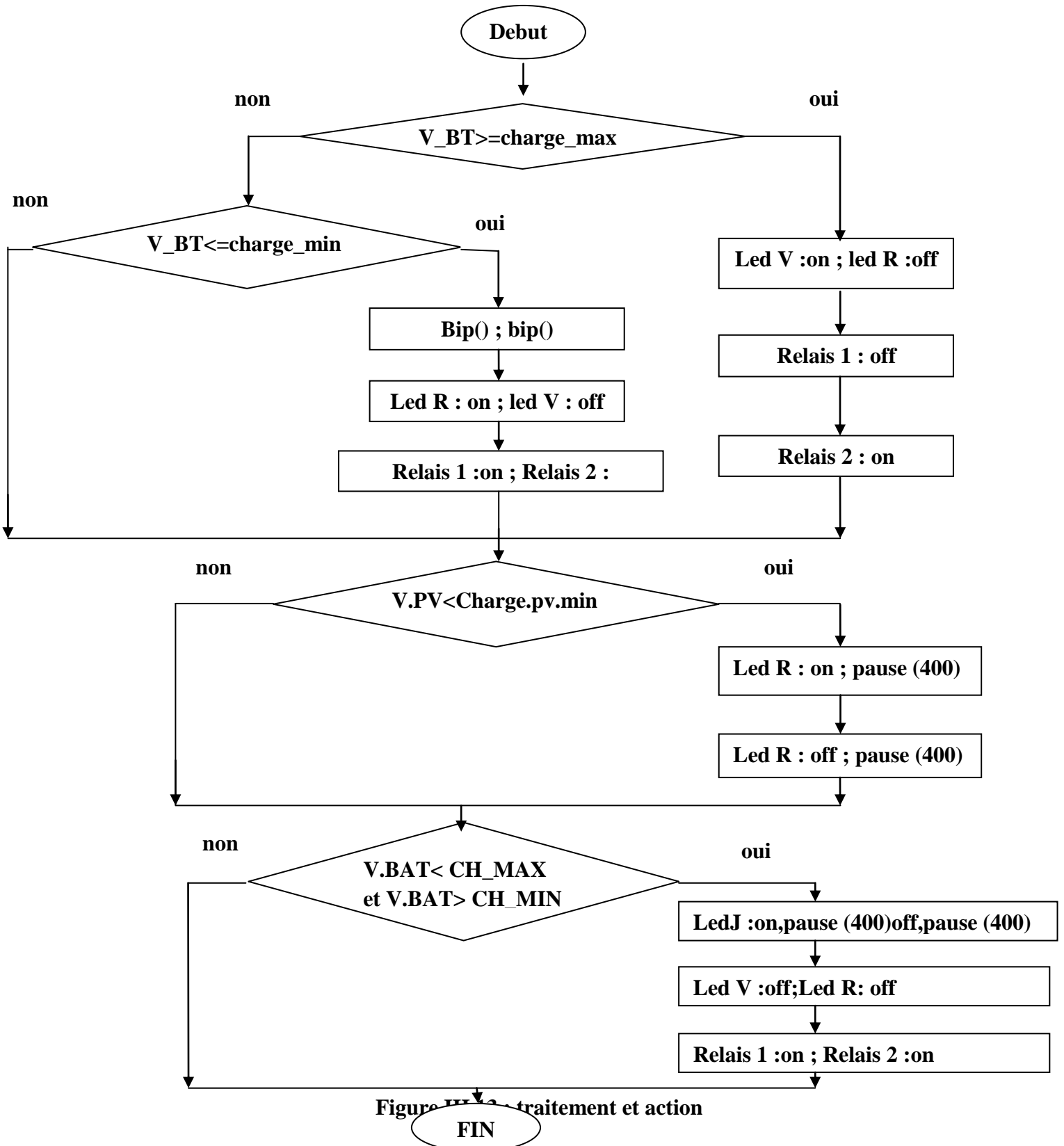


Figure III-2 : traitement et action

Sous-programme principal : Affichage

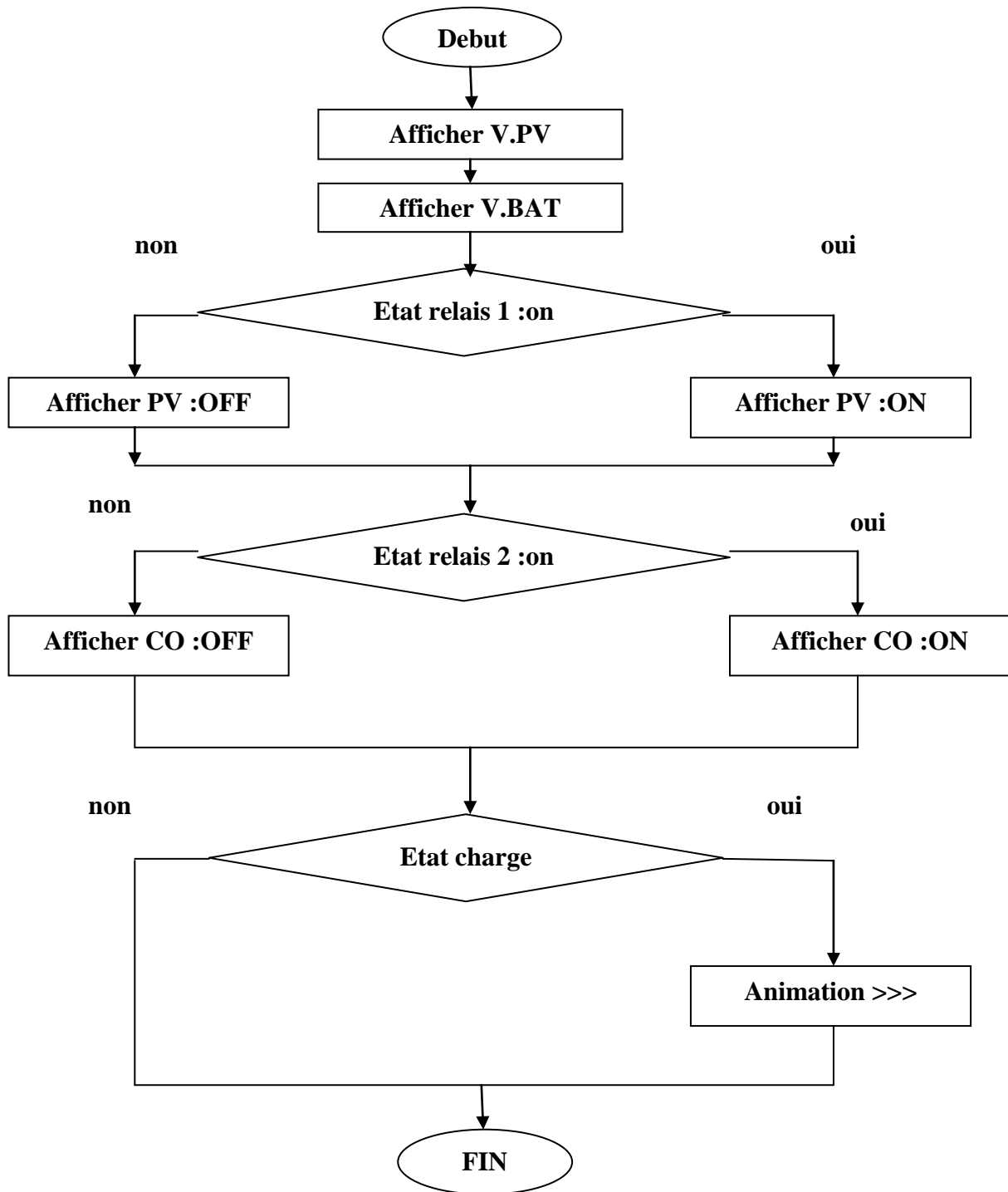
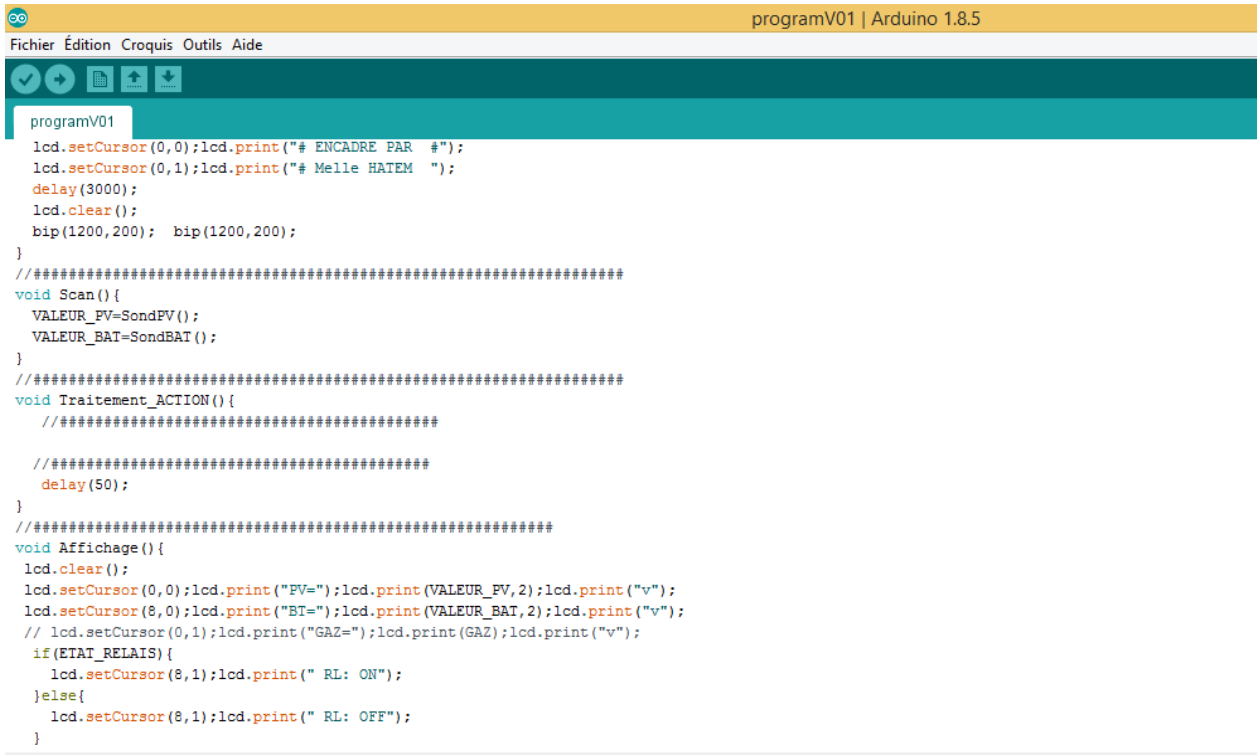


Figure III.14 : Sous-programme principal Affichage

## Chapitre 3 : réalisation d'un régulateur de charge pour batterie solaire

Après d'avoir établie les organigrammes on est amené à faire le programme permettant d'assurer le bon fonctionnement de notre dispositif, et cela est fait sous le logiciel arduino 1.8.5.



```
programV01
lcd.setCursor(0,0);lcd.print("# ENCADRE PAR #");
lcd.setCursor(0,1);lcd.print("# Melle HATEM ");
delay(3000);
lcd.clear();
bip(1200,200); bip(1200,200);
}
//#####
void Scan(){
  VALEUR_FV=SondFV();
  VALEUR_BAT=SondBAT();
}
//#####
void Traitement_ACTION(){
  //#####
  //#####
  delay(50);
}
//#####
void Affichage(){
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);lcd.print("FV=");lcd.print(VALEUR_FV,2);lcd.print("v");
  lcd.setCursor(8,0);lcd.print("BT=");lcd.print(VALEUR_BAT,2);lcd.print("v");
  // lcd.setCursor(0,1);lcd.print("GAZ=");lcd.print(GAZ);lcd.print("v");
  if(ETAT_RELAIS){
    lcd.setCursor(8,1);lcd.print(" RL: ON");
  }else{
    lcd.setCursor(8,1);lcd.print(" RL: OFF");
  }
}
```

Figure III.15 : programme arduino

# Conclusion générale

# Conclusion générale

Dans notre travail nous avons conçu un dispositif électronique important pour un système photovoltaïque qui permet de réguler la tensionémise par les panneaux solaires et de charger convenablement les accumulateurs. Grâce à la carte arduino, ce régulateur peut être adaptable à tout type de batterie et cela juste en changeant les seuils déjà injectés de notre programme arduino.

Cependant notre travail nous a permis de mettre en œuvre nos connaissances théoriques acquises durant notre cycle de master spécialement dans le domaine de la photovoltaïque. Pour concevoir notre carte électronique nous avons étéconfronté à certains problèmes dont lesquels nous avons été amené à utiliser les notions acquises au préalablenotamment dans l'électronique générale, la conception des circuits électroniques et de maitriser le langage de programmation arduino. Nous sommes donc amenés à dire que notre projet englobe tout notre cursus universitaire.

Pour finir, nous espérons que notre projet sera d'une grande utilité pour les futures étudiants, toute fois pour les perspectives de ce projet nous proposons certaines améliorations qui seront comme suite :

- Ajouter un dispositif Bluetooth afin de nous communiquer les différentes informations et nous donner la possibilité de commander notre système à distance.
- Ajouter des boutons de commande afin de faciliter le basculement d'un type de batterie à un autre sans passer par la programmation.

# Références bibliographiques

## Bibliographie

- [1] Le photovoltaïque–Module 3 – Fonctionnement et Technologies Novembre 2010 page 3, 4, 5, 6/10.
- [2] Energie solaire photovoltaïque.doc / B. Flèche - D. Delagnes / juin 07.
- [3] H. Mathieu, "Physique des semi-conducteurs et des composants électroniques", 2ème Edition, Masson, 1990.
- [4] S. M. Sze, Physics of semi-conductor Devices, second edition, Copyright. C.1981 by John, Wiley and Son, Inc.
- [5] Semi-conducteur extrinsèque lien :  
[http://www.optique-ingenieur.org/fr/cours/OPI\\_fr\\_M05\\_C02/co/Contenu\\_04.html](http://www.optique-ingenieur.org/fr/cours/OPI_fr_M05_C02/co/Contenu_04.html).
- [6] Greenvivo guide photovoltaïque pour les particuliers 2011
- [7] <http://www.ademe.fr>
- [8] <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Quel-est-le-nouveau-dispositif-de.html%0D>
- [9] <http://www.ecocitoyens.ademe.fr/mon-habitation/construire/produire-son-electricite>

# Résumé

Pour une bonne présentation de notre projet nous avons suivis un plan de travail commençant par les généralités sur les cellules photovoltaïques en abordant les matériaux semi-conducteurs, la jonction PN, le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque en citant les différentes caractéristiques de celle-ci, et les différentes générations des cellules solaires .Ensuite nous avons parlé des installations des systèmes photovoltaïques nommant les différents types d'installation et ainsi les éléments les composants tel que l'onduleur, les batteries et le régulateur de charge qui est le cœur de notre projet d'étude. Pour finir nous avons abordé la réalisation d'un régulateur de charge pour des batteries solaire suivant un cahier de charge, tout en trouvant des solutions répondants a ce cahier en passant par l'étude du système et sa réalisation, son principe de fonctionnement, ses différents composants.

## **Mots clés :**

Photovoltaïque, charge, batterie , panneaux solaire , programmation, arduino, cellule solaire,