

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la A Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou



Faculté De Génie Electrique Et D'informatique
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

**Mémoire de Fin d'Etude
de MASTER PROFESSIONNEL
Spécialité : Electronique Industrielle**

Thème

***Etude et Réalisation d'un système
électronique de commande pour un
panneau solaire suiveur.***

Présenté par
FISSEL Abdelhakim

Mémoire dirigé par
M.TAHANOUT

Mémoire soutenu publiquement septembre 2014

REMERCIEMENTS

Mes remerciements s'adressent d'abord à ALLAH le tout puissant et à son prophète MAHOMED (paix et salut sur lui) pour les chances qui me sont offertes pour réaliser ce travail.

Au Mr.Tahanout l'encadreur de mémoire,

Vous m'avez accordée votre confiance en acceptant de diriger ce mémoire, malgré la distance et les multiples occupations qui sont les vôtres. Votre ouverture d'esprit et surtout l'intérêt que vous portez à la science font de vous une source intarissable à laquelle tout étudiant devrait s'abreuver. Trouver ici le témoignage de ma profonde gratitude et de mes sincères remerciements.

Au président de jury de notre mémoire,

Aux membres du jury,

A toute la promotion master professionnelle électronique industrielle
2013 - 2014,

Aux braves enquêteurs.

Dédicaces

Ce travail modeste est dédié :

À ma chère mère et mon père ;

À tous mes proches de la famille Fissel, et plus

Particulièrement, mes sœurs et mes frères tout à son nom et sans

Oublier les familles : Dengire, Saber, Baba, Dakhoul,

Bedari et Fargui ;

À tous mes chers amis : Amina, Abdallah, Akida, Aissa,

Saïd, Abdelskader, Basset, Hania, Ihama, Lazouna, Wasid,

Fouad, Ahmed ;

À mes collègues de l'Université de Tizi-Ouzou et

USTHB ;

Et à tous ce qui ont enseigné moi au long de ma vie scolaire ;

Abdelhakim

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|----|
| Introduction générale | 1 |
| Chapitre 1 : Rayonnement solaire | |
| I.1.Introduction..... | 2 |
| I.2.Le soleil..... | 2 |
| I.3.Principes de calcul de l'énergie solaire..... | 3 |
| 3.1. Déclinaison | 3 |
| 3.2. Le temps solaire vrai..... | 3 |
| 3.3. La durée et le taux d'insolation | 4 |
| 3.4. L'angle horaire | 4 |
| 3.5. Position du soleil | 4 |
| 3.6 .L'éclairement..... | 5 |
| 3.7. L'irradiation..... | 6 |
| 3.7.1. L'irradiation horaire | 6 |
| 3.7.2. L'irradiation journalière..... | 6 |
| 3.7.3. L'irradiation journalière moyenne mensuelle hors atmosphère..... | 7 |
| 3.8. La latitude | 7 |
| 3.9 .Longitude..... | 7 |
| 3.10. Masse d'air | 8 |
| I.4.Rayonnements solaires : | 9 |
| 4.1. rayonnements solaires hors atmosphère | 10 |
| 4.2. rayonnements solaires en présence de l'atmosphère | 10 |
| 4.3 .Types des rayonnements solaires | 10 |
| I.5.Rôle de l'atmosphère | 11 |
| I.6.Ensoleillement en l'Algérie | 11 |
| I-7-Conclusion..... | 14 |

CHAPITRE II Conversion et Technologie photovoltaïque

| | |
|---|----|
| II.1.Introduction | 14 |
| II.2. Historique | 14 |
| II.3.Situation actuelle | 15 |
| II.4.Le futur du photovoltaïque | 15 |
| II.5.La conversion photovoltaïque | 15 |
| II.6.Les cellules photovoltaïques..... | 16 |
| II.7. Constitution de la cellule photovoltaïque..... | 18 |
| II.8. type des cellules solaires (cellules photovoltaïque)..... | 19 |
| 8.1. 1 ^{ere} génération | 19 |
| Une cellule photovoltaïque monocristalline | 20 |
| b- Une cellule photovoltaïque poly cristalline | 20 |
| 8.2. 2 ^{eme} génération | 20 |
| II.9.Comparatif entre les générations | 21 |
| II.10.Le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque..... | 22 |
| II.11.L'association des cellules photovoltaïques..... | 23 |
| L'association des cellules en série..... | 23 |
| L'association des cellules en parallèle..... | 23 |
| L'association mixte de cellules..... | 24 |
| II.12. Le générateur photovoltaïque | 24 |
| II.13.La structure du module photovoltaïque | 25 |
| II.14. Le panneau et le champ photovoltaïques..... | 26 |
| II.15.La position des panneaux solaires | 27 |
| II.16.Orientation et inclinaison des modules..... | 27 |
| II.17.Les paramètres de la cellule photovoltaïque..... | 27 |
| La puissance de crête, Pc | 27 |

| | |
|---|-----------|
| La caractéristique I/V | 28 |
| Le courant de court circuit I_{cc} | 28 |
| La tension de circuit ouvert V_{co} | 28 |
| La puissance maximale..... | 28 |
| Le Facteur de Forme..... | 29 |
| Le Rendement..... | 29 |
| II.18. Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque | 29 |
| 18.a Les avantages | 29 |
| 18.b Les inconvénients | 30 |
| II.9. Conclusion | 30 |

Chapitre III : réalisation et conception

| | |
|---|----|
| III.1. Introduction | 31 |
| III.2. Les différents montages | 31 |
| 2.1. Le montage fixe | 31 |
| 2.2. Le montage orientable | 32 |
| 2.3. Le montage mobile | 33 |
| III.3. Présentation comparées pour un système de $1KW_p$ fixe et avec suiveur : | 33 |
| III.4. Les différents types des suiveurs ou traqueurs..... | 34 |
| Traqueur mono-axial | 34 |
| Traqueur bi-axial | 34 |
| III.5. Etude expérimentale..... | 35 |
| III.5.1. Structure mécanique "porteuse" | 36 |
| III.5.2. Structure globale de la partie mécanique..... | 37 |
| III.5.3. Structure la partie de commande | 39 |
| III.5.3.1. Schéma synoptique | 39 |
| III.5.3.2. Montage NE555 | 39 |

| | |
|---|-----------|
| III.5.3.3. Circuit de monostable : | 41 |
| III.5.3.4. Les Compteurs modulo 10 et 12 | 41 |
| III.5.3.5. Commande des relais d'utilisation..... | 43 |
| III.5.3.6. Schéma électrique de premier sens d'orientation | 43 |
| III.5.3.7. Schéma électrique de deuxième sens d'orientation | 45 |
| III.6.Chargement de batterie..... | 46 |
| III.7. Schéma électrique global | 48 |
| III.8. Nomenclature des composants | 49 |
| III.9. les différents Circuit imprimé | 49 |
| a-Circuit imprimé de commande du vérin..... | 49 |
| b-Circuit du chargeur des batteries | 50 |
| III.10. Conclusion..... | 51 |
| Conclusion générale : | 52 |

Introduction générale

Introduction générale

Diverses opérations de développement à travers la localité de Tahifet située à 70 km à l'est de Tamanrasset sont lancées pour permettre une amélioration du cadre de vie des citoyens et désenclaver la région. Pour ce faire, beaucoup de travaux routier et de génie civil d'aménagement du territoire sont réalisés sur les chemins de wilaya reliant Tahifet et ses zones voisines à Tamanrasset. Le développement de cette région va nécessiter forcément une surconsommation de l'énergie en général et de l'électricité en particulier (éclairage public, climatisation, etc,...). Pour réduire la charge électrique sur le réseau classique de SONALGAZ, cette dernière a développé et installé beaucoup de centrales photovoltaïques pour l'alimentation des habitations et des installations agricoles en électricité.

Cependant, la technologie des cellules solaires photovoltaïques est pénalisée par son coût exorbitant ainsi que son faible rendement dû aux matériaux de fabrication et à la quantité du rayonnement solaire reçu sur la surface du module. Pour remédier à ce dernier problème une optimisation concernant l'installation des modules (inclinaison et orientation) est sollicitée, et parmi les modes d'installation possibles, on distingue le mode fixe et le mode de poursuite du soleil qui peut être sur un seul axe ou deux axes (inclinaison et orientation) durant la durée du jour.

C'est dans ce contexte que se situe notre étude dont le but est la réalisation d'un système de poursuite du soleil mono-axial à base de commande numérique.

Notre mémoire s'articule autour de trois chapitres, le premier chapitre s'intitule « Le rayonnement solaire » dans lequel nous donnons une description des composantes du rayonnement, du mouvement du soleil, du processus de conversion et de la technologie photovoltaïque ainsi que ses propriétés. Dans le second chapitre, nous présentons et nous introduisons les différents modules PV.

Le chapitre troisième est consacré à la présentation de la conception et la réalisation du système de commande.

I.1.Introduction

A environ 150 millions de kilomètres, le soleil est une étoile qui domine le système solaire dont la terre fait partie. Le rayonnement de son énergie électromagnétique fournit directement ou indirectement toute l'énergie nécessaire à la vie sur la terre.

L'énergie solaire est produite par le soleil à la suite de réactions de fusions thermonucléaires. Une partie de l'énergie résultante se propage vers la terre avec une intensité de 16.10^{15} kWh par an. Cette énergie est collectée par la terre sous forme de lumière dont le spectre se compose de toutes les longueurs d'onde, et considéré comme la source de la plupart des énergies disponibles sur Terre. Elle se propage dans l'espace sous la forme de « grains », ou quanta d'énergie, appelés des photons et elle est sans cesse renouvelable.

I.2.Le soleil

Le soleil est à l'origine de la vie sur la terre et la perpétue par son apport incessant d'énergie. Cette énergie nous arrive sous forme d'un rayonnement électromagnétique après avoir parcouru des millions de kilomètres. Notre étoile, véritable boule de feu, est située à environ 150 millions de kilomètres de la terre. Vu de notre planète, il se présente sous la forme d'un disque assez homogène et apparait sous un angle d'un peu plus d'un demi-degré. Son rayon est 109 fois celui de la terre (695 000Km) et sa masse 333 000 fois celle de notre planète. Il est constitué de 80% d'hydrogène et d'environ 19% d'hélium et le 1% reste étant un mélange de plus de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimique connues. Il est aujourd'hui admis que le soleil est une bombe thermonucléaire hydrogène –hélium transformant chaque seconde 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions tonnes d'hélium; la réaction se faisant dans son noyau à la température d'environ 25 millions de degrés Celsius. Ainsi, à chaque seconde, le soleil est allégé de 4 millions de tonnes dispersées sous forme de rayonnement. Sa lumière, à une vitesse de 300000km/s, met environ 8 minutes pour parvenir à la terre [2].

I.3.Principes de calcul de l'énergie solaire

Avant d'entrer dans le calcul de l'irradiation solaire, certains principes de base et définitions méritent d'être rappelés, notamment plusieurs variables qui seront mentionnées à plusieurs reprises par la suite.

3.1. Déclinaison

La déclinaison est l'angle que fait le soleil au maximum de sa course (midi solaire) par rapport au plan équatorial. Sa valeur en degrés est donnée par l'équation de Cooper [2]:

$$\delta = 23.45 \sin\left(2\pi \frac{284+n}{365}\right) \quad (\text{I.1})$$

Où δ : déclinaison et n : est le numéro de jour dans l'année (c.-à-d. $n = 1$ pour le 1er janvier, $n = 32$ pour le 1^{er} février... etc.).

La déclinaison varie entre -23.45° le 21 décembre et $+23.45^\circ$ le 21 juin (Voir Figure 1.1.)

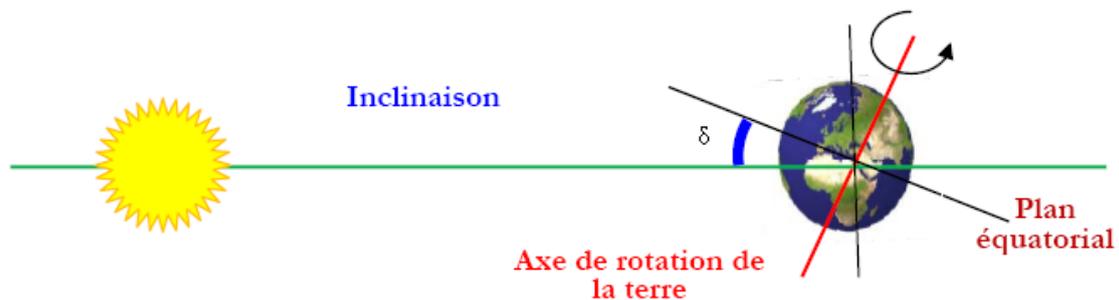


Figure 1.1: Représentation du mouvement de la terre autour du soleil [3].

3.2. Le temps solaire vrai

Le temps mis par le soleil entre deux passages consécutifs au méridien d'un lieu (direction Nord-Sud) a été nommé temps solaire vrai, on note **TSV**. Le temps solaire vrai est donc un temps local puisqu'il est lié directement à la rotation de la terre sur elle-même.

Avec :

$$TSV = 12 + \frac{\omega_s}{15} \quad (\text{I.2})$$

ω_s : L'angle horaire

3.3. La durée et le taux d'insolation

Par ciel claire et pendant la durée de jour d'enseillement S_0 (de lever au coucher du soleil), le sol reçoit le rayonnement solaire maximal. Mais la durée effective d'enseillement S d'une journée ordinaire est inférieure à cette durée maximale.

Le taux d'insolation est donné par l'expression [2] :

$$\sigma = \frac{S}{S_0} \quad (\text{I.3})$$

La durée maximale S_0 est calculée par l'expression suivante :

$$S_0 = \left(\frac{2}{15}\right) \cos^{-1}(-\tan \Psi \tan \delta) \quad (\text{I.4})$$

Avec :

δ : La déclinaison

Ψ : L'attitude du lieu

3.4. L'angle horaire

C'est l'angle formé entre le plan méridien passant par le soleil et le plan méridien du lieu obtenu par le déplacement angulaire du soleil autour de l'axe polaire, dans sa course d'Est en Ouest, par rapport au méridien local. Cet angle est noté ω_s .

La valeur de l'angle est nulle à midi solaire, négative le matin, positive en après midi et augmente de 15° par heure (donc un tour de 360° en 24 heures).

3.5. Position du soleil

La direction du soleil dans le ciel est repérée par l'intermédiaire de deux angles :

➤ La hauteur de soleil (h): angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur le plan horizontal. Cette angle s'annule au lever et au cocher du soleil et prend sa valeur maximale au midi solaire.

(h) peut être déduite par la relation suivante :

$$\sin(h) = \sin \Psi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad (\text{I.5})$$

Chapitre I : Rayonnement solaire

L'angle horaire ω_s au lever de soleil s'obtient en écrivant $\sin(h)=0$ [2] :

$$\cos \omega_s = -\tan \Psi \tan \delta \quad (\text{I.6})$$

Où (δ) la déclinaison calculée d'après l'équation (1.1) et (Ψ) la latitude du lieu.

➤ Azimut du soleil (α) : Angle que fait la projection de la direction du soleil avec la direction du sud. Cet angle étant orienté positivement vers l'Ouest.

$$\sin \alpha = \frac{\cos(\delta) \sin(\omega)}{\cos(h)} \quad (\text{I.7})$$

Ces deux angles (h) , (α) sont représentés sur la figure 1.2.

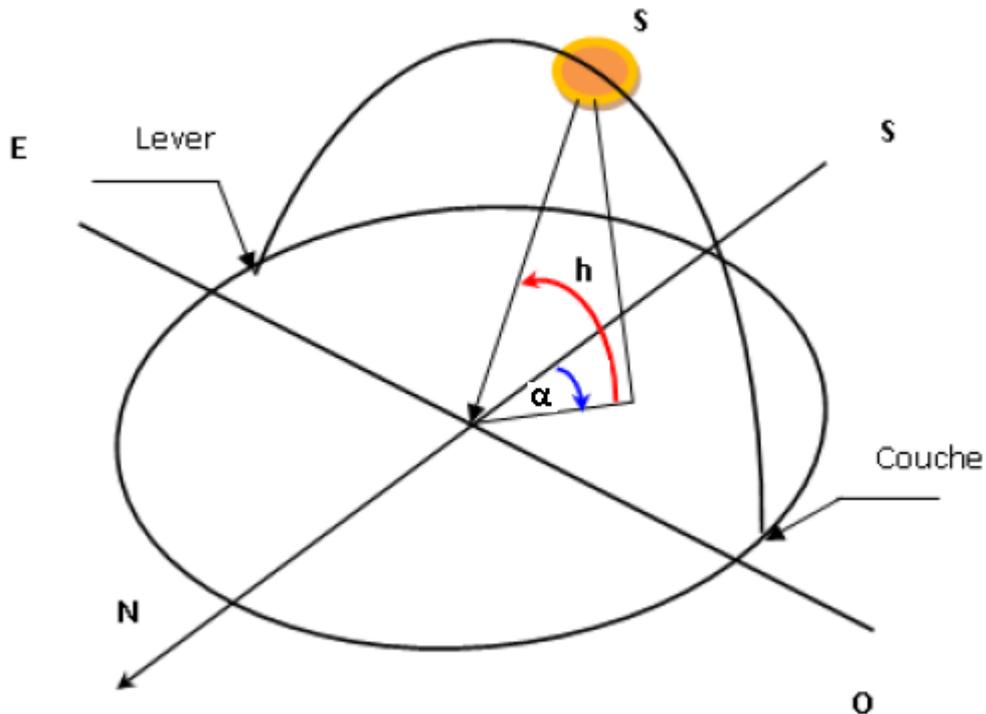


Figure 1.2 : Position du soleil.

3.6 .L'éclairement

L'éclairement extraterrestre à la limite supérieure hors atmosphère, sur un plan horizontal, est calculé à partir de la constante solaire G_{SC} et de la facture de correction de la distance [5].

Avec :

$$I = G_{SC} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) (\cos \Psi \cos \delta \cos \omega + \sin \Psi \sin \delta) \quad (\text{I.8})$$

n : Le numéro de jour de l'année ($n=1$ pour le premier janvier, ...etc.)

G_{SC} : La constante solaire, $G_{SC} = 1367 [\text{W}/\text{m}^2]$.

3.7. L'irradiation

Correspond à l'énergie totale qui est reçue durant un espace de temps déterminée (souvent par jour). Par exemple, l'irradiation d'un jour donné est de $5 \text{ kW.h}/\text{m}^2 \cdot \text{jour}$.

Ces deux caractéristiques "éclairage" "irradiation" sont de toute évidence variable en fonction du site, de l'heure de la journée et de la saison. De plus, la quantité d'énergie solaire captée est fonction de l'orientation du récepteur.

3.7.1. L'irradiation horaire

Pour une heure donnée, l'énergie reçue sur une surface horizontale se calcule par l'intégration de l'équation (1.8) entre deux angles horaires ω_1 et ω_2 . On obtient l'équation suivante :

$$I_0 = \frac{12.36}{\pi} G_{SC} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) (\cos \Psi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \dots \\ \dots (\omega_2 - \omega_1) \sin \Psi \sin \delta) \quad (\text{I.9})$$

I_0 est exprimée en $[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$.

3.7.2. L'irradiation journalière

Pour un jour n donné, l'énergie reçue sur une surface horizontale H_0 est obtenue par l'intégration de l'équation (1.8) (de lever au coucher du soleil). On obtient [4] :

$$H_0 = \frac{24}{\pi} G_{SC} \left(1 + 0.033 \cos 2\pi \frac{n}{365} \right) (\cos \Psi \cos \delta \cos \omega + \sin \Psi \sin \delta) \quad (\text{I.10})$$

Avec l'angle solaire $\omega_s = \cos^{-1} (-\tan \Psi \tan \delta)$.

Chapitre I : Rayonnement solaire

3.7.3. L'irradiation journalière moyenne mensuelle hors atmosphère

Le jour type du mois :

Pour une grandeur donnée, le jour type du mois est le jour du mois qui se rapprochant de la moyenne mensuelle de cette grandeur.

La liste des jours types proposés par Klein [5] est représentée sur le tableau suivant :

| Mois | Jan | Fév. | Mar | Avr | Mai | Jun | Juil. | Aout | Sep | Oct | Nov. | Déc. |
|------------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-------|------|-----|-----|------|------|
| Jour type | 17 | 16 | 16 | 15 | 15 | 11 | 17 | 16 | 15 | 15 | 14 | 10 |
| N° de jour | 17 | 47 | 75 | 105 | 135 | 162 | 198 | 228 | 258 | 288 | 318 | 344 |

Tableau I.1 : Liste des jours types par mois proposés par Klein

Pour calculer l'irradiation journalière moyenne mensuelle, on utilise l'équation (1.10) avec n : Le numéro de jour type du mois.

Le résultat est présenté dans le tableau suivant :

| Mois | N° de jour | $\delta(^{\circ})$ | $\overline{H_0}[\text{wh}/\text{m}^2.\text{j}]$ |
|-------|------------|--------------------|---|
| Jan | 17 | -20.917 | 5750 |
| Fév. | 47 | -12.954 | 7081 |
| Mar | 75 | -2.417 | 8680 |
| Avr | 105 | 9.415 | 10187 |
| Mai | 135 | 18.792 | 11119 |
| Jun | 162 | 23.086 | 11447 |
| Juil. | 198 | 21.184 | 11242 |
| Aout | 228 | 13.455 | 10.494 |
| Sep | 258 | 2.217 | 9179 |
| Oct | 288 | -9..599 | 7516 |
| Nov. | 318 | -18.912 | 6044 |
| Déc. | 344 | -23.0496 | 5363 |

Tableau I.2 : Valeurs de l'irradiation journalière moyenne mensuelle hors atmosphère.

3.8. La latitude

C'est l'angle que fait la verticale d'un point avec le plan de l'équateur. L'équateur est à la latitude 0. La latitude de Bechar est de 31.61° Nord. (Fig1.4)

3.9 .Longitude

C'est l'angle du plan méridien du lieu avec le méridien origine passant par GREENWICH, près de Mostaganem. La longitude se mesure en degrés de 0° à 180° par rapport au méridien origine, soit vers l'est soit vers l'ouest. La longitude de Bechar est de 2.21° Ouest. (Fig.1.3)

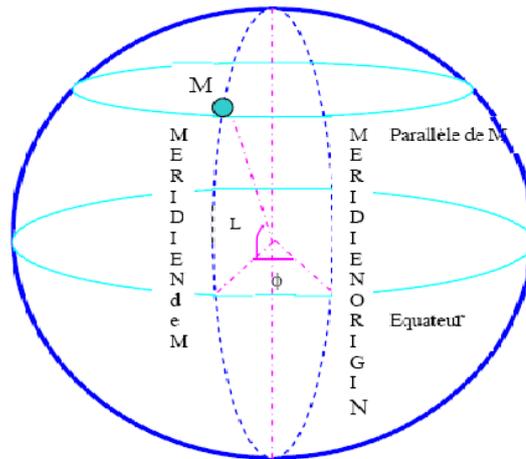


Figure I.3 : Latitude et longitude d'un point M de la terre

3.10. Masse d'air

On appelle « masse d'air », m , ou Air Mass en anglais, la masse d'atmosphère traversée par le rayonnement direct pour atteindre le sol (par ciel clair), par rapport à une traversée verticale au niveau de la mer figure (I.4)

$$m = \frac{1}{\sin h} \tag{I.11}$$

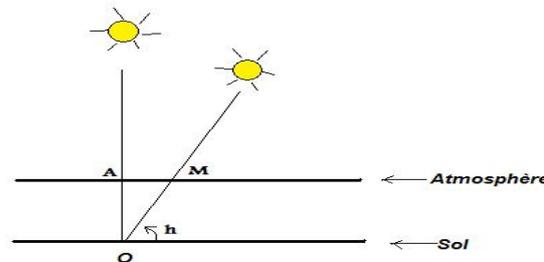


Figure (I.4) : définition de l'Air Masse

A l'aide des points O, A et M et cet angle h représentés à la figure (I.4), on écrit la longueur du trajet du soleil à travers l'atmosphère :

$$OM = \frac{OA}{\sin h} \tag{I.12}$$

Et on appelle m le rapport $\frac{OM}{OA}$, soit $\frac{1}{\sin h}$

Au zénith, les rayons lumineux traversent l'atmosphère dans sa plus courte longueur et qui représente l'unité, on parle alors de conditions AM1 ;

Chapitre I : Rayonnement solaire

- AM0 correspond à l'irradiation hors atmosphère.
- AM1.5 D représente l'irradiation directe.
- AM1.5G (globale) tient compte des irradiances directes et diffuses.

Si la pression de l'atmosphère au lieu considéré est différente de celle du niveau de la mer, le nombre d'air masse est corrigé de la manière suivante :

$$AM = \frac{1}{\sin h} \frac{p}{1.013} \quad (I.13)$$

Où P est la pression du lieu considéré mesurée en bar.

Exemple :

- Soleil au zénith (au niveau de la mer $h=90^\circ$): AM1.
- Soleil à 30° : AM2.
- Soleil à 48° : AM1.5.

Et par convention, AM0 désigne le rayonnement solaire hors atmosphère [4].

I.4. Rayonnements solaires :

Le rayonnement électromagnétique est composé de «grains» de lumière appelés photons. L'énergie de chaque photon est directement liée à la longueur d'onde λ

La figure (I.5) montre la variation de la répartition spectrale énergétique. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi :

6.4 % dans la bande des ultraviolets ($0.20 < \lambda < 0.38 \mu\text{m}$).

48 % dans la bande visible ($0.4 \text{ à } 0.78 \mu\text{m}$).

45.6 % dans la bande des infrarouges ($0.78 < \lambda < 10 \mu\text{m}$).

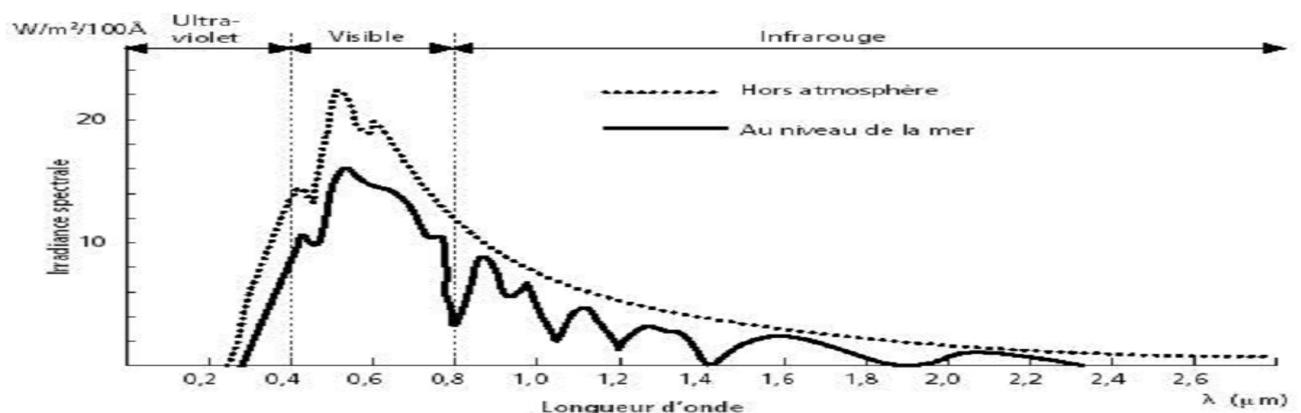


Figure (I.5) : Analyse spectrale du rayonnement solaire [3].

Remarque :

L'utilisation du rayonnement solaire comme source d'énergie pose donc un problème bien particulier. En effet, le rayonnement solaire n'est pas toujours disponible, et on ne peut pas l'emmagasiner ou transporter, pour cela on utilise des batteries pour les emmagasiner.

4.1. rayonnements solaires hors atmosphère

Le rayonnement solaire parvient à la limite de l'atmosphère terrestre après un trajet dans l'espace d'environ 150.000.000 km, effectué en 8 minutes. Le flux de rayonnement intercepté par un récepteur plan perpendiculaire à la direction du soleil produit sur celle-ci un éclairage énergétique de l'ordre de $1367 \text{ [W/m}^2\text{]}$. Ceci est connu sous le nom de « constante solaire » [4]. Cependant, la distance de la terre au soleil n'est pas constante tout au long de l'année, il en résulte que le rayonnement extraterrestre oscille par un pourcentage de 3 %.

4.2. rayonnements solaires en présence de l'atmosphère

Avant d'atteindre le sol, le rayonnement solaire subit des phénomènes de diffusion et d'absorption par les molécules gazeuse, les aérosols, les gouttelettes et les poussières divers en suspension. Le rayonnement absorbé est transformé en chaleur et disparaît du bilan utilisable au sol.

4.3 .Types des rayonnements solaires

Ils existent trois types de rayonnement : le rayonnement direct, le rayonnement diffus et le rayonnement réfléchi ou albédo.

Le rayonnement direct, est reçu directement au soleil

Le rayonnement diffus, Ce rayonnement est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages.

Le rayonnement solaire réfléchi ou l'albédo du sol, est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

- Le rayonnement global est la somme de tous les rayonnements reçus [10].

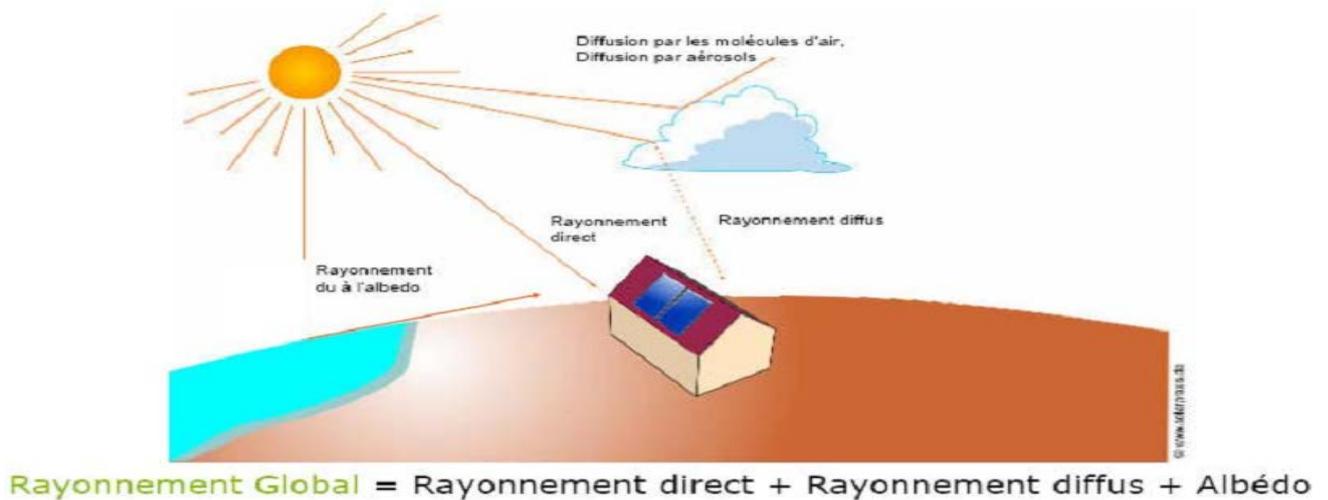


Figure (I.6) : rayonnement global solaire

I.5. Rôle de l'atmosphère

L'atmosphère contient d'azote et d'oxygène (respectivement 78 et 21%), mais aussi de l'argon, du CO₂, de la vapeur d'eau, et la fameuse couche d'ozone de la stratosphère, dont le rôle de filtrage du Ultraviolet les plus durs est si important. Les poussières et les nuages (formés de minuscules gouttelettes d'eau, à ne pas confondre avec la vapeur d'eau, qui elle est un gaz) ont aussi leur importance dans la diffusion du rayonnement solaire [4].

I.6. Ensoleillement en l'Algérie

L'Algérie est un état dont la surface est large (2382000 km) avec une variation sur la situation ainsi la différence de climat. L'énergie solaire présente un potentiel important dans l'Algérie. Cette surface reçoit plus de 3000 heures d'ensoleillement par année avec un niveau très grand d'éclairement.

Chaque année le moyen d'éclairement par jour est entre 5 et 7 KWh/m².Jour si la grande surface est couverte avec un optimal angle d'ensoleillement est considéré.

L'Algérie peut diviser aux 6 zones climatiques dont l'ensoleillement est presque homogène comme illustré dans la figure (I.7).

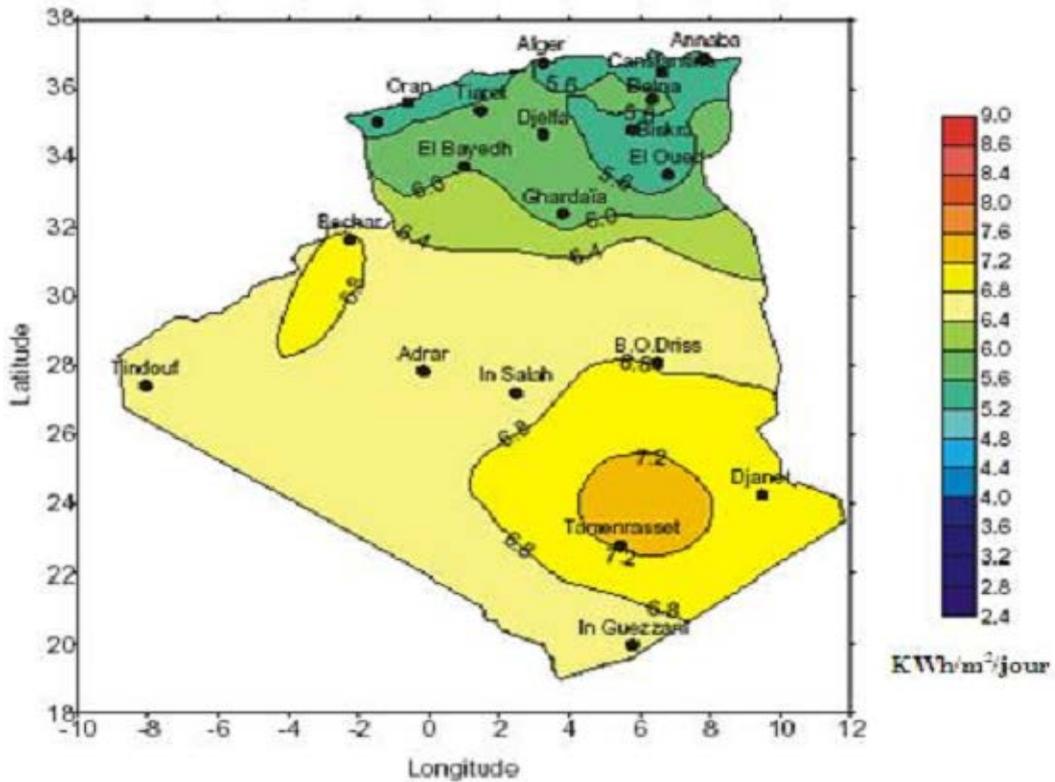


Figure (I.7) : le rayonnement solaire dans l'Algérie.

La figure (I.8) montre un exemple d'installation photovoltaïque dans la région Tahifet. La figure (I.9) donne la position géographique de cette région dans la wilaya de Tamanrasset repérée par un secteur en couleur jaune.



Chapitre I : Rayonnement solaire



Figure I.8 : photo la localité de Tahifet de la wilaya de Tamanrasset.

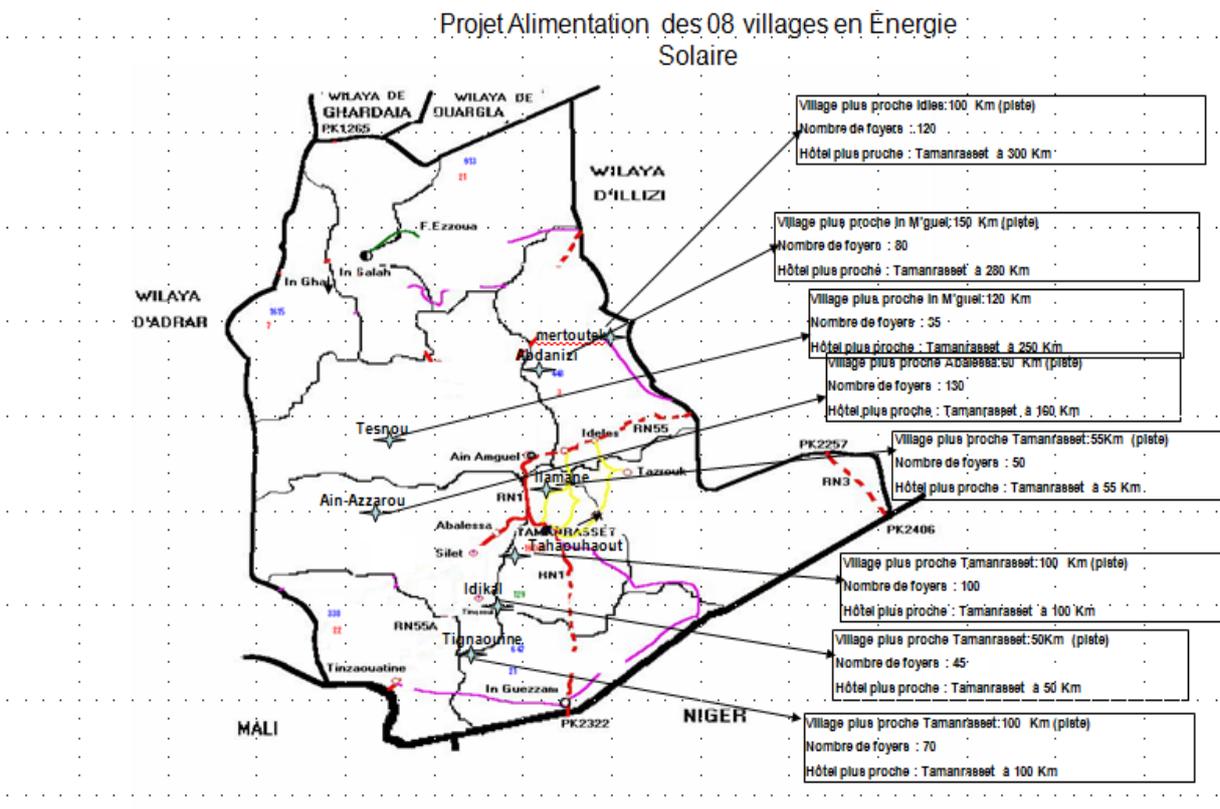


Figure I.9 : Carte des régions de Tamanrasset.

I-7-Conclusion

L'amélioration du rendement de captation par l'orientation de la surface des modules du champ photovoltaïque permet d'obtenir une utilisation rationnelle du système. Autrement dit, un bon rendement donc un coût réduit. En pratique et pour des raisons de coûts, les panneaux solaires sont généralement orientés avec une inclinaison δ . Le travail que nous avons présenté dans ce chapitre nous a permis de constater que nous pouvons améliorer le rendement du système, en récupérant l'énergie maximale que peuvent recevoir les panneaux solaires, et c'est en choisissant d'une manière optimale l'angle d'inclinaison mensuel.

Encore plus pratique et plus intéressant, l'énergie reste maximale en changeant l'inclinaison des panneaux quatre fois par an (saisonnement).

II.1.Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion directe de l'énergie provenant des photons, compris dans le rayonnement solaire, en énergie électrique, par le biais de capteurs fabriqués avec des matériaux sensibles aux longueurs d'ondes du visible (cellules Photovoltaïque **PV**). L'association de plusieurs cellules PV en série et /ou parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque (GPV). Ce GPV a une caractéristique statique courant-tension $I(V)$ non linéaire et présentant un point de puissance maximale (PPM). Cette caractéristique dépend du niveau d'éclairement et de la température de la cellule ainsi que du vieillissement de l'ensemble. Le point de fonctionnement du générateur PV peut donc varier entre les points extrêmes correspondant au courant de court-circuit I_{CS} et la tension en circuit ouvert V_{CO} . La détermination du point de fonctionnement du GPV (**G**énérateur **P**hotovoltaïque) dépend directement de la charge à laquelle il est connecté. Ce point de fonctionnement est plus ou moins éloigné du PPM qui est caractérisé par le courant et la tension optimaux. Dans ce chapitre, nous commencerons par un rappel sur le principe de l'effet photovoltaïque et nous détaillerons les principales caractéristiques de la source PV. Enfin, nous étudierons le fonctionnement optimal du générateur PV.

II.2. Historique

La conversion de la lumière en électricité, appelée effet photo voltaïque, a été découverte par E. Becquerel en 1839, mais il faudra attendre près d'un siècle pour que les scientifiques approfondissent et exploitent ce phénomène de la physique.

L'utilisation des cellules solaires débute dans les années quarante dans le domaine spatial. Les recherches d'après guerre ont permis d'améliorer leurs Performances et leur taille mais il faudra attendre la crise énergétique des années septante pour que les gouvernements et les industriels investissent dans la technologie photovoltaïque et ses applications terrestres.

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". C'est une technique appelée le "dopage" qui est utilisée pour tous les semi-conducteurs. Mais en dépit de l'intérêt des scientifiques au cours des années, ce n'est que lors de la course vers l'espace que les cellules ont quitté les laboratoires. En effet, les photopiles représentent la solution idéale pour satisfaire les besoins en électricité à bord des satellites, ainsi que dans tout site isolé.

II.3.Situation actuelle

Malgré la motivation qu'a sollicitée la conquête de l'espace cette nouvelle source d'énergie a tardé à s'imposer en dehors du domaine spatial, pour des raisons à la fois techniques et économiques. Les prévisions de baisse des prix des modules PV ont été trop optimistes et l'industrie PV se trouve dans une situation difficile. En effet, la complexité des procédés de fabrication des modules PV et les rendements de production trop faibles (on est, expérimentalement, encore souvent loin des rendements théoriques) entraînent des coûts élevés qui freinent le volume des ventes.

Actuellement, 90% de la production totale de modules se fait au Japon, aux EU et en Europe, avec en particulier des grandes compagnies, Siemens, Sanyo, Kyocera, Solarex et BP Solar, qui détiennent 50% du marché mondial. Le solde de 10% de la production est fourni par le Brésil, l'Inde et la Chine qui sont les principaux producteurs de modules dans les pays en voie de développement. Les applications PV se répartissent de manière égale entre les pays industrialisés du nord et les pays dits en voie de développement.

II.4.Le futur du photovoltaïque

L'énergie PV, s'inscrit parfaitement dans le cadre de la politique écologique actuelle des gouvernements des pays industrialisés formalisée par les accords de Kyoto. Cette politique écologique, définie dans le « Livre Blanc », se traduit par un engagement des pays de l'Union à produire, en 2012, 12% de leur énergie à partir des sources renouvelables et réduire de fait le taux d'émission de gaz à effet de serre. Une analyse du conseil consultatif de la recherche sur la technologie PV (photovoltaic Technology Research Council. PV-TRAC) constitué en décembre 2003 montre que le photovoltaïque est capable de fournir de l'électricité à grande échelle à un coût à un coût compétitif. En 2030, il pourrait générer 40% de l'électricité produite dans le monde, et considère donc 2030 comme une étape, très importante dans la quelle le PV continuera à se croître régulièrement et bien au-delà.

II.5.La conversion photovoltaïque

Ceci établi, voyons comment se produit cette conversion d'énergie. Elle met en jeu trois phénomènes physiques, intimement liés et simultanés :

- l'absorption de la lumière dans le matériau ;
- le transfert d'énergie des photons aux charges électriques ;

- la collecte des charges ;

Il est donc clair qu'un matériau doit avoir des propriétés optiques et électriques spécifiques pour permettre la conversion photovoltaïque.

II.6. Les cellules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité par un processus appelé « effet photovoltaïque », a été découverte par E_{ph}. Becquerel en 1839 [2].

$$E_{ph} = \frac{1,24}{\lambda} \quad (\text{II.1})$$

Avec : L'énergie est en [eV] et la longueur d'onde en [μm].

La cellule solaire photovoltaïque est une diode électronique de grande surface, elle est constituée de deux couches de silicium cristallin. Ces deux couches sont dopées afin d'être polarisées. Pour rendre une des couches positive (couche P), on lui incorpore un certain nombre d'atomes de Bore et pour rendre l'autre couche négative (couche N), on lui incorpore un certain nombre d'atomes de Phosphore. On crée ainsi une barrière de potentiel. Lorsqu'un photon ayant suffisamment d'énergie est absorbé par ce semi-conducteur, il produit la rupture d'une liaison de valence et libère ainsi un électron, ce qui crée un « trou » positif. C'est ce que l'on appelle l'effet photovoltaïque. Une différence de potentiel s'établit entre ces deux couches ; en les reliant à travers une résistance, on obtient un mouvement des électrons qui passent d'une couche à l'autre et donc un courant électrique [6], **Figure (II .1)**.

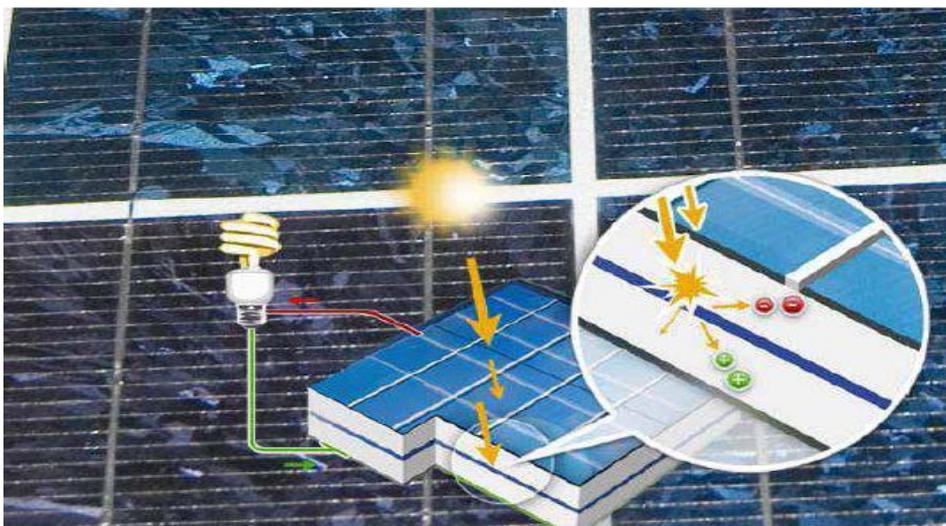


Figure II. 1: Cellule solaire

CHAPITRE II Conversion et Technologie photovoltaïque

Dans une cellule PV, une large fraction de ces électrons et trous atteignent la jonction p-n, et un champ électrique est créé. En conséquence, un courant électrique peut être établi en connectant les matériaux de type-n et type-p à un circuit extérieur. La direction de ce courant est l'opposé de celle de la cellule lorsqu'elle fonctionne en tant que diode, autrement dit, quand la diode est illuminée, un courant positif I traverse de n vers p.

La puissance électrique produit par une cellule industrialisée est très faible typiquement de 1 à 3W avec une tension de moins d'un volt [4].

Le rendement de conversion des cellules commercialisées atteint actuellement 15 à 19 % pour le silicium monocristallin, 12 à 16 % pour le silicium poly cristallin, 7 à 9% pour le silicium amorphe.

Pour élever la tension, les cellules sont commercialisées sous forme des modules photovoltaïques.

Le processus de cette conversion dans la jonction PN prend les étapes suivantes : (figII.3)

1. Les photons sont absorbés de sorte à générer les paires (électron – trou) principalement des porteurs minoritaires dans les zones P et N.
2. Les électrons et les trous générés atteignent la région de charge d'espace par diffusion.
3. Ils sont ensuite orientés par un fort champ électrique ; les électrons du type P vers le côté N et les trous du type N vers le côté P.
4. Si la diode n'est pas connectée, l'accumulation des deux types de charges dans les deux cotés de la jonction produit *une tension de court-circuit*.
5. Si la diode est connectée à une charge, un courant va circuler et alimenter cette charge.
6. Le courant total qui va passer dans la charge est régi par la formule :

$$I = I_{ph} - I_0(V) - I_P \quad (II.2)$$

I_{ph} est le photo courant ou le courant d'éclairement.

$I_0(V)$ est le courant d'obscurité, appelé aussi courant de diode.

I_P est le courant absorbé par la résistance parallèle.

- **Pourquoi le silicium ?**

Le silicium a été choisi pour réaliser les cellules solaires photovoltaïques pour ses propriétés électroniques, il est caractérisé par la présence de quatre électrons sur sa couche périphérique. Dans le silicium solide, chaque atome est lié à quatre voisins, et tous les électrons de la couche périphérique participent aux liaisons.

Si un atome de silicium est remplacé par un atome ayant 5 électrons périphériques (phosphore par exemple), un électron ne participe pas aux liaisons, il peut donc se déplacer dans le réseau. Il y a conduction par un électron, et le semi-conducteur est dit dopé N.

Si au contraire un atome de silicium est remplacé par un atome ayant 3 électrons périphériques (bore par exemple), il manque un électron pour réaliser toutes les liaisons, et un électron peut venir combler ce manque. On dit alors qu'il y a conduction par un trou et le semi-conducteur est dit dopé de type P.

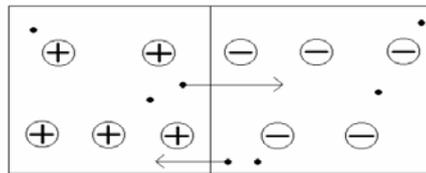


Figure II.2 : Les atomes tels que le bore ou le phosphore sont des dopants du silicium

II.7. Constitution de la cellule photovoltaïque et effet photovoltaïque

Lorsqu'un matériau semi-conducteur dopé de type N (riche en électrons) est mis en contact intime avec un autre matériau semi-conducteur dopé de type P (pauvre en électrons), la jonction PN entre les deux milieux va être le lieu d'un bouleversement. Dans cette zone étroite, les électrons en excès dans la partie n diffusent dans la partie P. Ainsi, dans la zone N, il se crée près de la jonction une région chargée positivement (où il manque des électrons), **Figure (II.3)**. Symétriquement dans la zone P, il se crée une région chargée négativement (où il y a excès d'électrons). A l'équilibre, entre ces deux zones chargées positivement et négativement (zone de déplétion : zone de charge d'espace), il s'est donc créé un champ électrique dirigé de la région P à la région N et une différence de potentiel V_d apparaît. Ce champ électrique est fondamental pour le fonctionnement des cellules solaires.

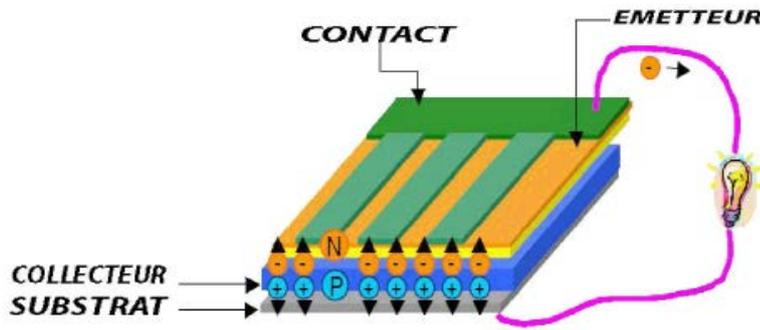


Figure II. 3: Constitution classique d'une diode PN

L'effet photovoltaïque est établi par absorption des photons dans un matériau semi-conducteur qui génère alors une tension électrique **figure (II.4)**. Les cellules photovoltaïques produisent du courant continu à partir du rayonnement solaire, qui peut être utilisé pour alimenter un appareil ou recharger une batterie. [6]

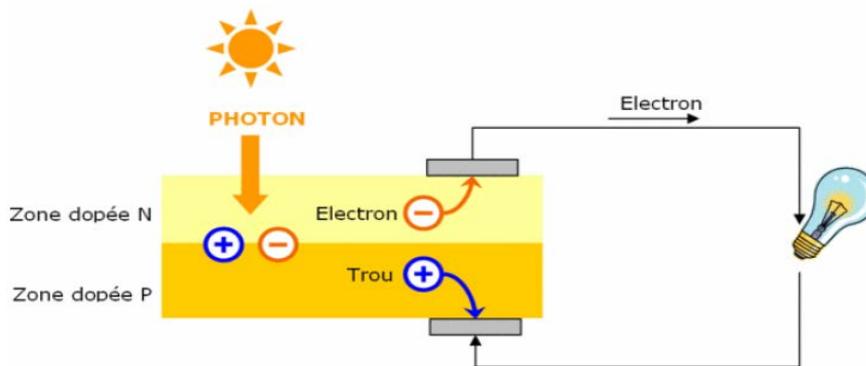


Figure II.4: l'effet photovoltaïque

II.8. type des cellules solaires (cellules photovoltaïques)

8.1. 1^{ère} génération

Les cellules de première génération sont basées sur une seule jonction p-n et utilisent généralement le silicium sous forme cristalline comme matériau semi-conducteur. La technologie du silicium cristallin représente 80% du marché. Cette technologie se subdivise en deux sous filières : le silicium monocristallin et le silicium poly cristallin (ou multi cristallin).

a- Une cellule photovoltaïque monocristalline

Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie en ne formant un seul cristal de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront des cellules en bleu uniforme, comme illustré suivant :



Figure II.5: Cellule monocristallines

b- Une cellule photovoltaïque poly cristalline

Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. Ce genre de cellule est également bleu, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux, comme illustré suivant :



Figure II. 6: Cellule poly cristallines

8.2. 2^{ème} génération

Les couches minces ("thin films") constituent la seconde génération de technologie photovoltaïque. Elle met en œuvre 1% seulement du silicium utilisé pour la fabrication de cellule cristalline équivalente. Les cellules couches minces sont plutôt utilisées pour des applications « courant faibles ». Elles sont également souvent utilisées là où un fort échauffement des modules est à prévoir car le rendement ne chute pas avec la température.

CHAPITRE II Conversion et Technologie photovoltaïque

Dans cette génération, on distingue le silicium **amorphe** (a-Si), le diséléniure de cuivre indium (CIS), le tellurure de cadmium (CdTe), entre autre, comme illustré dans la figure suivant :

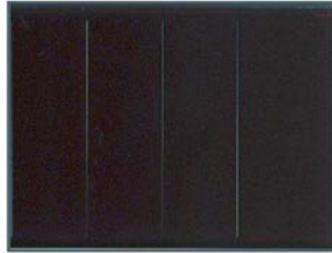


Figure II.7: Cellule amorphe

II.9. Comparatif entre les générations

Les rendements des différentes technologies fait apparaître des écarts importants :

| Matériau | Rendement | Caractéristiques | Principales utilisations |
|--------------------------------------|---------------------------------|--|---|
| Silicium mono cristallin | 12 à 18% (24,7% en laboratoire) | Très performant ; stabilité de production puissance ; méthode de production coûteuse et laborieuse plus de 29% du marché mondial | Aérospatiale, modules pour toits, façades |
| Silicium poly-cristallin | 11à 15% (19,8% en laboratoire) | Adapté à la production à grande échelle; stabilité de production de puissance, 51% du marché mondial | Modules pour toits, façades, générateur... |
| Couche mince (a-Si, CdTe, CIS, etc.) | 6 à 7%(14% en laboratoire) | La toxicité de certains éléments de la fabrication (cadmium) | Appareils électroniques (montres, calculatrices...), intégration dans le bâtiment |

II.10. Le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque

Le modèle mathématique associé à une cellule se trouve à partir de celui d'une jonction PN. On y ajoute le courant I_{ph} , proportionnel à l'éclairement, ainsi qu'un terme modélisant les phénomènes internes. Le courant I issu de la cellule s'écrit alors [7] :

$$I_d = I_{d0} \cdot \exp\left(\frac{qV}{nkT} - 1\right) \quad (\text{II.3})$$

$$I = I_{ph} - I_{d0} \left(\exp\left(\frac{qU + R_s \cdot I}{kT} - 1 \right) \right) \quad (\text{II.4})$$

Avec :

- **I_{ph}** : photo courant, ou courant généré par l'éclairement (A)
- **I_{d0}** : courant de saturation de la diode (A)
- **R_s** : résistance série (W)
- **R_{sh} , R_p** : résistance shunt (parallel) (W)
- **K** : constante de Boltzmann ($k = 1,38 \cdot 10^{-23}$)
- **q** : charge de l'électron ($q = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C)
- **T** : température de la cellule (°K)

On peut déduire de cette expression un schéma équivalent, comme le montre **la figure II.8**

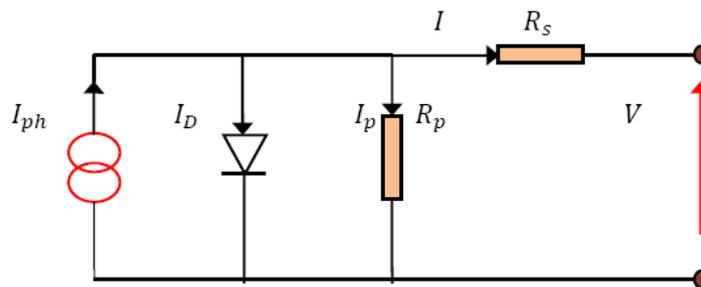


Figure II.8 : Schéma équivalent d'une cellule PV

II.11.L'association des cellules photovoltaïques

a- L'association des cellules en série

Quand les cellules sont reliées en série entre elles, la tension à circuit ouvert du groupement est égale à la somme des tensions à circuit ouvert des cellules associées.

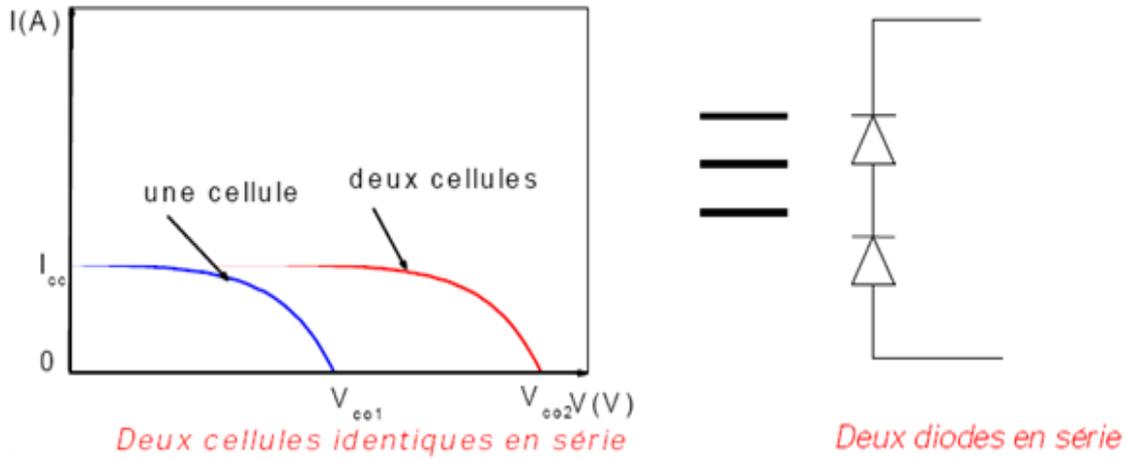


Figure II.9 : L'association des cellules en série

b- L'association des cellules en parallèle

Quand les cellules sont reliées en parallèle, c'est le courant de court-circuit délivré par le groupement qui est égal à la somme des courants de court-circuit des cellules associées.

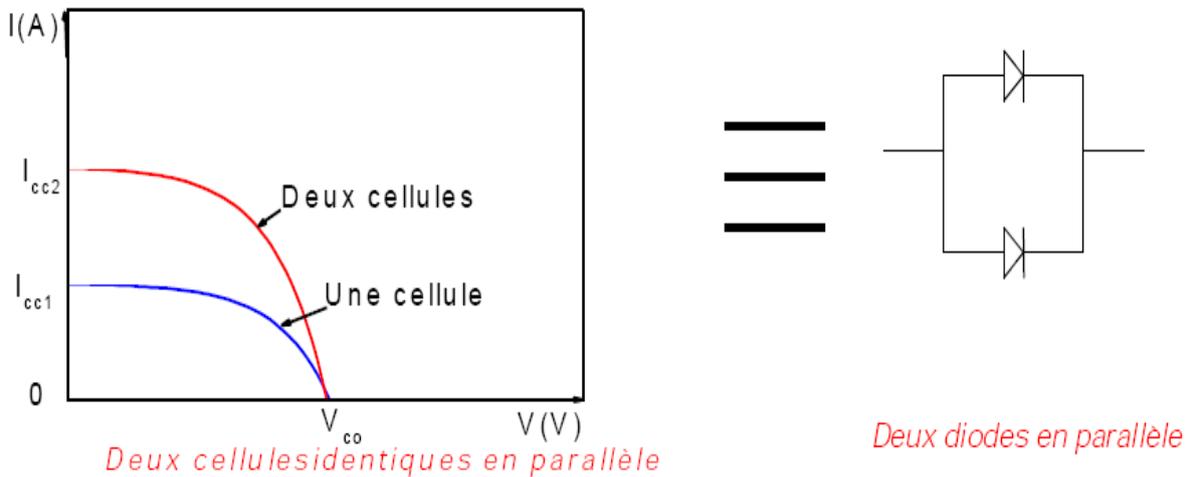


Figure II.10 : L'association des cellules en parallèle

c- L'association mixte de cellules

L'association en série de n_s cellules permet d'obtenir la tension $n_s V_M$. Par ailleurs, l'association de n_p cellules en parallèle permet d'obtenir un courant $n_p I_M$. De ce fait la puissance électrique générée par le groupement mixte

Vaudra :

Les valeurs maximales $P_{SP} = n_s n_p I_M V_M$ du courant et de la tension représentent le point d'intersection de la droite de charge destinée à consommer cette puissance.

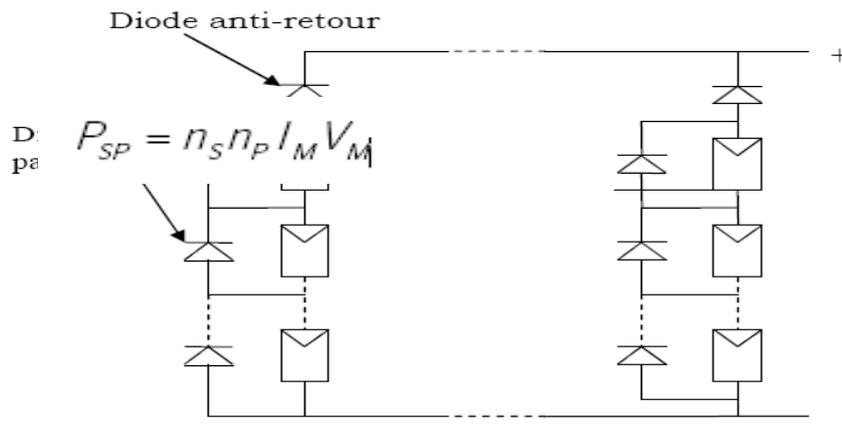


Figure II .11 : Modules en série et en parallèle (mixte) avec protection

II.12. Le générateur photovoltaïque

L'interconnexion des modules entre eux, en série ou en parallèle, pour obtenir une puissance plus grande, définit la notion de générateur photovoltaïque. Le générateur photovoltaïque se compose de plusieurs modules et d'un ensemble de composants qui adapte l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs.

Une cellule PV peut se modéliser à partir de l'équation définissant le comportement statique de la jonction PN d'une diode classique. Ainsi, la figure 2.3 illustre le schéma électrique équivalent d'une cellule PV réelle. Dans cette équation, on prend en compte le courant de court-circuit et les différentes résistances modélisant les pertes dues à la connectique. En statique, le comportement d'une cellule PV constituée d'une jonction PN à base de silicium peut être décrit par l'équation suivante [8]:

$$I = I_{ph} - I_d - I_p \tag{II.5}$$

Avec

I : Le courant fourni par la cellule.

$I_{SC} = I_{SCr} \left(\frac{G}{100}\right)$: Où I_{SCr} : le courant de court-circuit de référence.

$I_p = \frac{V+IR_s}{R_p}$: Le courant dérivé par la résistance parallèle.

$I_d = I_0 \left(\exp\left(\frac{V+IR_s}{nV_T}\right) - 1\right)$: Le courant traversant la diode.

I_0 : Le courant de saturation inverse d'une diode.

$V_T = \frac{KT}{e}$: La tension thermique.

Où :

e : charge d'électron (1.602×10^{-19} C).

K : constante de Boltzmann (1.381×10^{-23} J/K).

n : Facteur de non idéalité de la jonction comprise entre 1 et 5 dans la pratique.

T : La température effective de la cellule en kelvin.

En utilisant les équations ci-dessus, on peut en déduire l'expression du courant délivré par la cellule photovoltaïque :

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V+I.R_s}{nV_T}\right) - 1 \right] - \frac{V+I.R_s}{R_p} \quad (\text{II.6})$$

II.13. La structure du module photovoltaïque

La cellule solaire, unité de base d'un module solaire photovoltaïque, produit typiquement une puissance de 1,3 W pour une surface de 100 cm². Pour produire plus de puissance, des cellules solaires identiques sont assemblées pour former un module solaire (ou panneau photovoltaïque). La mise en série de plusieurs cellules solaires somme les tensions pour un même courant, tandis que la mise en parallèle somme les courants en conservant la tension.

La plupart des panneaux solaires photovoltaïques destinés à un usage général sont composés de 36 cellules en silicium mono ou poly cristallin connectées en série pour des applications en 12 V nominal, **Figure (II.12)** [8].



Figure II. 12: Module photovoltaïque

II.14. Le panneau et le champ photovoltaïques

Avec toujours le même principe d'association des éléments, les modules groupés en série vont augmenter la tension. Par contre, ceux groupés en parallèle vont délivrer un plus grand courant. Le groupement des modules donne un panneau photovoltaïque et quand il est mixte, il permet d'ajuster la tension et le courant de sortie du panneau selon le besoin. [2][9]

Du point de vue technologique, il est indispensable de respecter certaines consignes de câblage et de prendre des mesures de protection, notamment, la diode anti-retour, placée à la fin de chaque série de modules et la diode de protection, placée en parallèle avec le module qui permet la continuité du courant en cas de défaut de ce module. (Fig. II.13).

La taille du champ photovoltaïque dépend du nombre des panneaux assemblés en série et en parallèle.

En plus de la technologie utilisée, l'emplacement et l'inclinaison du champ photovoltaïque dépendent énormément des conditions météorologiques, à savoir ; l'éclairement et la température. A cause de leur nature variable et imprévisible.

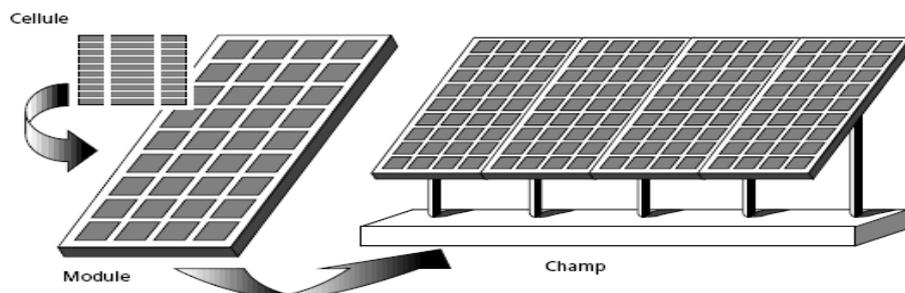


Figure II.13: Composantes d'un champ de modules photovoltaïques [30]

II.15. La position des panneaux solaires

La bonne position des panneaux solaires permet d'augmentation du rendement global d'un système PV, en augmentant l'énergie solaire reçue, est l'amélioration du rendement de captation par le bon choix d'orientation de la surface des modules du champ photovoltaïque. Les panneaux solaires doivent être placés perpendiculairement au soleil vers le sud lorsqu'on est dans l'hémisphère nord, vers le nord lorsqu'on est dans l'hémisphère sud. Ils doivent d'être inclinés avec un angle « optimale » afin d'obtenir un résultat optimal (énergie maximale).

II.16. Orientation et inclinaison des modules

La position des modules PV par rapport au soleil influe directement sur leur production énergétique. Il est très important de bien les placer pour les utiliser au maximum de leurs possibilités. On appelle orientation le point cardinal vers lequel est tournée la face active du panneau (sud, nord, sud-ouest,...).

Quant à l'inclinaison, elle indique l'angle que fait le panneau avec le plan horizontal, elle se compte donc en degré.

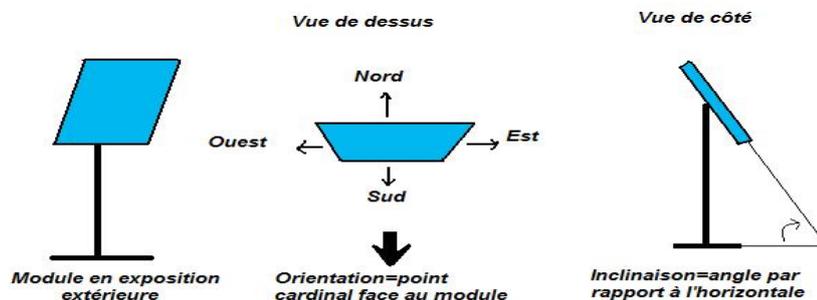


Figure II.14 : définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau solaire

II.17. Les paramètres de la cellule photovoltaïque

a) La puissance de crête, P_c

Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards (25°C et un éclairement de 1000 W/m^2).

b) La caractéristique I/V

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

c) Le courant de court circuit I_{cc}

C'est le courant obtenu quand il est appliqué une tension nulle aux bornes de la cellule solaire, donc quand la résistance de charge est nulle. Il représente l'intersection de la caractéristique avec l'axe des courants " I_{cc} ".

d) La tension de circuit ouvert V_{co}

C'est la tension qui apparaît aux bornes de la cellule quand la charge est infiniment grande. Elle représente l'intersection avec l'axe des tensions dans la caractéristique de la figure II.15.

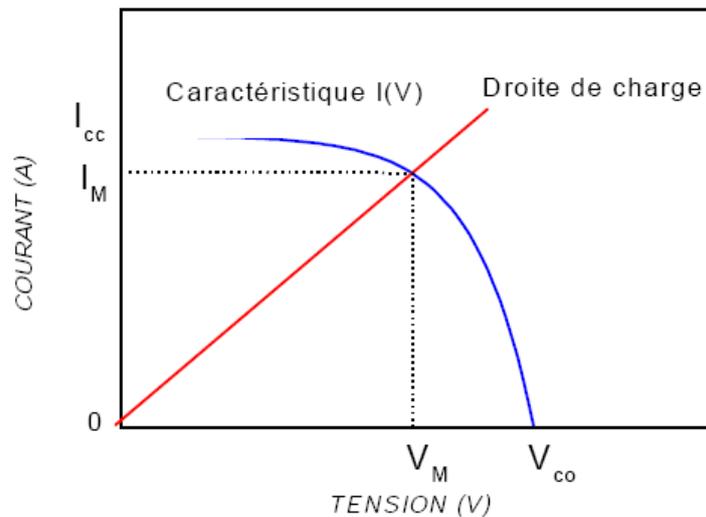


Figure II.15 : Caractéristique I(V) et ses points remarquables

e) La puissance maximale

Quand la cellule solaire est reliée à une charge, elle se comporte comme un générateur de puissance électrique. Alors, comme le montre la figure II.15, le point d'intersection de la droite de charge et la caractéristique I (V), correspond à la puissance maximale qui est le produit de la tension maximale et du courant maximal.

$$P_{MAX} = V_{MAX} \cdot I_{MAX} \quad (II.7)$$

f) Le Facteur de Forme

Le point de fonctionnement optimal de la cellule photovoltaïque est celui par lequel la puissance délivrée à la charge est maximale. Cette puissance augmente d'autant plus que le rapport appelé facteur de forme se rapproche de l'unité, tel que :

$$FF = \frac{V_{MAX} I_{MAX}}{V_{CO} I_{CC}} \quad (II.8)$$

g) Le Rendement

Le rendement de la conversion PV est en fonction du rendement à la température 25°C et de la température de la cellule.

$$\eta_{\%} = \eta[1 + x(T_c - 25)] \quad (II.9)$$

Où X est le coefficient dépendant de température. Il vaut -0.5%/°C pour le semi-conducteur poly-cristallin et -0.2%/°C pour le semi-conducteur amorphe.

II.18. Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque

18.a Les avantages

- D'abord une haute fiabilité. L'installation 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.
- Ensuite le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt.
- Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.
- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions [3].

18.b Les inconvénients

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % (soit entre 10 et 15 MW/km² par an pour le BENELUX) avec une limite théorique pour une cellule de 28%. · Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.
- Tributaire des conditions météorologiques.
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.
- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes.
- Le faible rendement des panneaux photovoltaïques s'explique par le fonctionnement même des cellules. Pour arriver à déplacer un électron, il faut que l'énergie du rayonnement soit au moins égale à 1 eV. Tous les rayons incidents ayant une énergie plus faible ne seront donc pas transformés en électricité. De même, les rayons lumineux dont l'énergie est supérieure à 1 eV perdront cette énergie, le reste sera dissipé sous forme de chaleur [3].

II.19. Conclusion

Comme toute technologie, la technologie photovoltaïque présente des avantages sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions, et aussi des inconvénients par rapport aux coûts initiaux qui sont très élevés.

Nous avons vu que la puissance de cette technologie dépend de la quantité du rayonnement incident, à savoir le rendement des modules photovoltaïque augmente en fonction de rayonnement.

III.1. Introduction

Au cours de la journée, le soleil se déplace continuellement, alors qu'un générateur PV est fixe dans sa position, perdant ainsi une considérable quantité d'énergie qui pourrait être disponible.

Dans une installation fixe qui, pour en optimiser le rendement est exposé au sud, l'énergie rendue par les modules PV est maximal seulement à midi. Pour cela si les modules PV sont toujours orientés vers le soleil, c'est comme s'il y avait constamment la condition correspondante à midi, la puissance générée est toujours celle maximale. Les modules photovoltaïques placés sur des suiveurs de soleil ont un rendement énergétique qui augmente de manière appréciable par rapport aux installations fixes.

Dans le présent chapitre nous aborderons la partie réalisation relative au dimensionnement et à la conception de notre système, système de poursuite sur un seul axe (mono-axial) à base d'une commande numérique. Ce projet a pour but de conserver ou accumuler l'énergie électrique produite par un panneau Photovoltaïque, le projet est implanté à Tahifet.

III.2. Les différents montages

Afin d'exploiter au mieux son système, il est nécessaire de positionner ses panneaux d'une manière optimale, car l'importance de ce dernier facteur est primordiale, ainsi des panneaux dirigés toute la durée du jour face au soleil c'est-à-dire qu'ils poursuivent le soleil, captent plus de rayonnement donc génèrent plus que s'ils étaient fixes. Par conséquent, on distingue deux types de montages : le montage fixe et le montage mobile (système de poursuite du soleil).

2.1. Le montage fixe

Les panneaux fixes sont installés dans une position fixe tout au long de l'année (azimut et inclinaison). Le rendement optimum est obtenu pour une orientation sud avec une inclinaison égale à la latitude du lieu. Dans cette position, un système d'une puissance de 1kWc produit environ 850 kWh par an. Si on s'écarte de cette position, le rendement diminue. Cette diminution du rendement peut être calculée en multipliant le rendement obtenu en position optimale par le facteur de correction pour l'orientation et l'inclinaison choisie. Une installation photovoltaïque orientée entre le sud-est et le sud-ouest avec une inclinaison par rapport à

l'horizontale comprise entre 15° et 50° produira une quantité d'énergie presque optimale (figure III.1) [12]. Ce montage est généralement utilisé en toiture inclinée ou en couverture des murs en position verticale face au sud.



Figure III.1: Montage fixe

2.2. Le montage orientable

Avec des panneaux orientables, on peut modifier l'inclinaison tous les mois, mais par facilité, on peut également choisir une inclinaison pour l'été, une autre pour l'hiver. On utilise généralement ce genre de structure pour des applications au sol ou sur des toits plats.

Pour ces systèmes à inclinaison variable, il existe un angle d'inclinaison des panneaux par rapport à l'horizontale, qui permet de maximiser la production d'électricité mensuelle, (Figure III.2).



Figure III.2 : Montage orientable

2.3. Le montage mobile

Ce montage consiste à placer les panneaux photovoltaïques sur des structures appelés système de poursuite solaire ou traqueurs solaire. Un traqueur solaire est un dispositif qui est utilisé pour aligner un module PV simple ou une rangée de modules avec le soleil. Bien qu'ils ne soient pas une partie nécessaire dans un système photovoltaïque, son utilisation peut spectaculairement améliorer le résultat de la puissance produite en poursuivant le soleil tout au long de la journée [10].

III.3. Présentation comparées pour un système de 1KW_P fixe et avec suiveur :

Une comparaison est faite (Figure III. 3) entre le montage fixe et le suiveur solaire pour le même type panneaux de 1kW_p. Au cours d'une journée complètement ensoleillée, un système de 1KW_P bien orienté, produit 5,5KWh d'énergie, alors que le même système avec suiveur, dans les mêmes conditions d'ensoleillement, produit 11 KWh d'énergie.

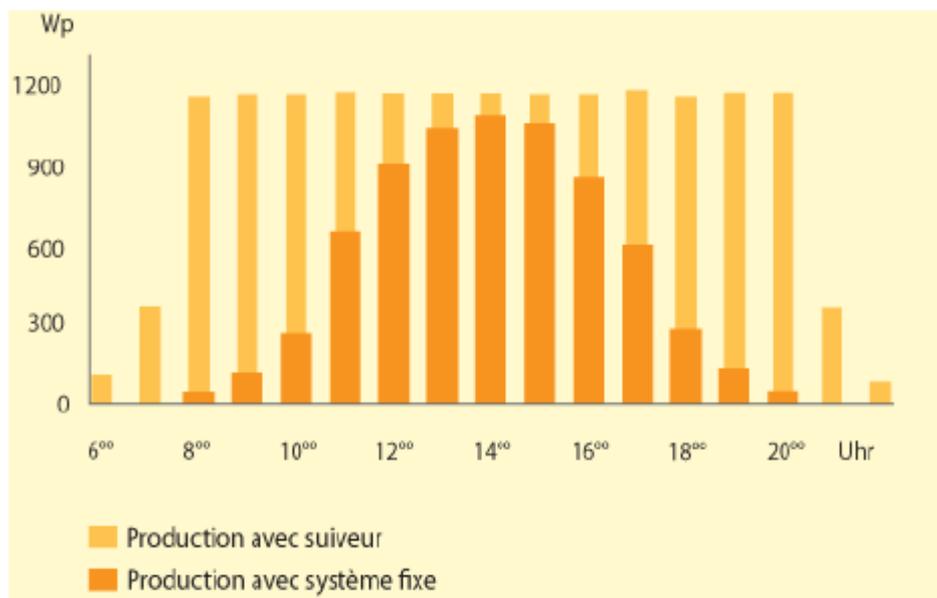


Figure III. 3 : Comparaison entre un système fixe et mobile

III.4. Les différents types des suiveurs ou traqueurs

Les traqueurs solaires peuvent être regroupés dans des modèles mono-axiaux ou bien des modèles bi-axiaux :

a) Traqueur mono-axial

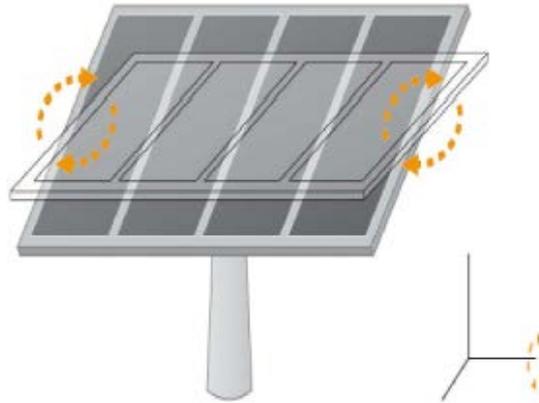


Figure III. 4 : Traqueur mono-axial

Ce sont des traqueurs à un seul axe qui peut être soit horizontal soit vertical, ce choix dépend du lieu de l'implantation du système, ainsi si on est dans des régions tropicales où le soleil est très haut vers midi on utilise le type à axe horizontal, et si on est dans des régions à haute latitude on utilise le type à axe vertical [5], [4].

b) Traqueur bi-axial

Contrairement au premier type (mono-axial), ce type de traqueur comporte deux axes : un axe horizontal et un autre vertical, ainsi il peut poursuivre le mouvement apparent exacte du soleil partout sur le globe, grâce au fait que ses axes sont entièrement indépendants (est-ouest, nord-sud), et son utilisation permet d'avoir un gain supplémentaire de puissance allant jusqu'à près de 40%. Ce type de système est généralement employé pour commander les télescopes astronomiques [5], [4].

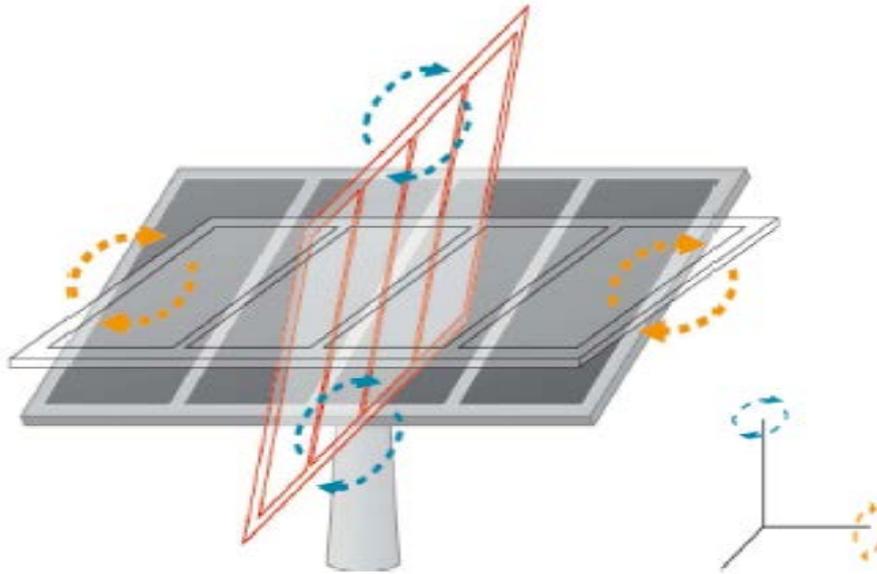


Figure III. 5 : Traqueur bi-axial

➤ **Commande des traqueurs**

On peut classer les traqueurs selon leurs systèmes de commande, et on distingue :

- a) Traqueurs à Gaz (Traqueurs Passifs).
- b) Traqueurs actifs.
- c) Traqueurs à boucle ouverte.

Traqueurs synchronisés et Traqueurs d'altitude/azimut.

III.5. Etude expérimentale

La conception du système de nôtre projet s'est portée sur deux parties : une partie mécanique (matériel) relative à la réalisation de tous les dispositifs matériels nécessaire au système à savoir le système mécanique, (voir ci-dessous : support 'A', support 'B' et vérin), et une partie électrique 'commande' qui s'occupe de la gestion totale du système, ainsi que l'interface visuel.

Nous avons réalisé un prototype d'un système de poursuite solaire à un seul axe (axe horizontale), il est composé de trois parties essentielles.

III.5.1. Structure mécanique "porteuse"

Elle est fabriquée par un matériel léger l'aluminium résistant ou dans certains cas le 'fer', supportant un module solaire de 50 à 60Watts de tel sorte que le support se compose de deux pièces 'A' et 'B'

- La pièce 'A' à pour rôle de porter seulement le panneau PV, il est dimensionnée par des valeurs suivantes :
 - La longueur : 134cm.
 - Le largueur : 37 cm.
 - L'épaisseur : 3,5cm
- La pièce 'B' est bien posée et solide par rapport a la pièce 'A'. cette pièce sert à porter la porteuse 'A' et la fixation du vérin. (Fig. III.6).

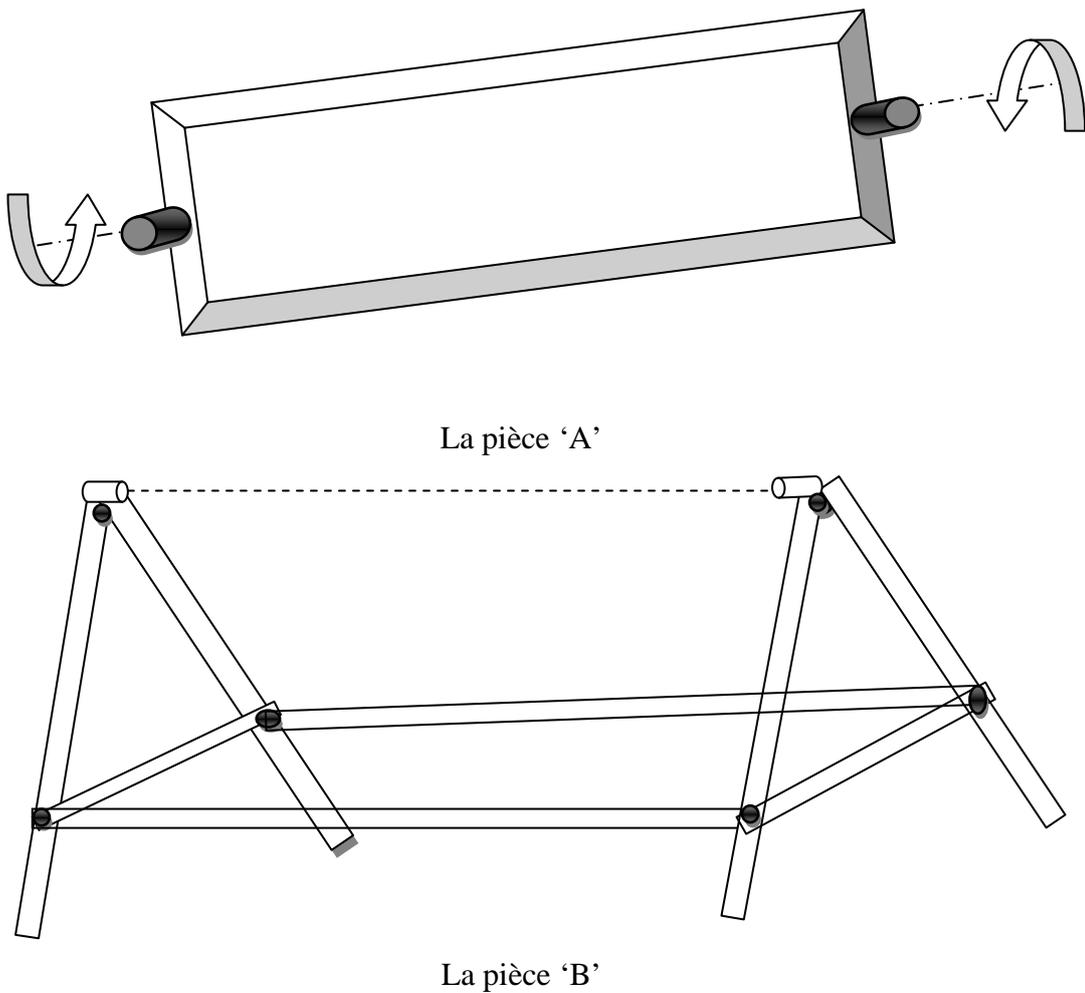


Figure III.6 : Le support 'A' et 'B'

- Le troisième mécanisme utilisé pour l'entraînement en élévation est un vérin électrique (fig. III .7) qui a subi à des modifications selon nos besoins. D'abord, l'orientation de la panneau solaire dans notre projet est sur l'axe horizontale.

Depuis la position centrale de l'axe horizontal correspondant à la droite sortante du point « **O** » qui désigne la position à 0° , pour atteindre 45° en position extrême droite et -45° en position extrême gauche, (figure III. 8), il faut pivoter autour du point « **O** » de telle sorte que le bras sortant entraîne la rotation du panneau autour de l'axe sur l'angle correspondant.

- α est l'angle de rotation du panneau.

- β est l'angle de rotation que fait le vérin, tel que $\alpha = \beta = 45^\circ$ comptent bien des réglages effectués, à savoir $A=B=10\text{cm}$.

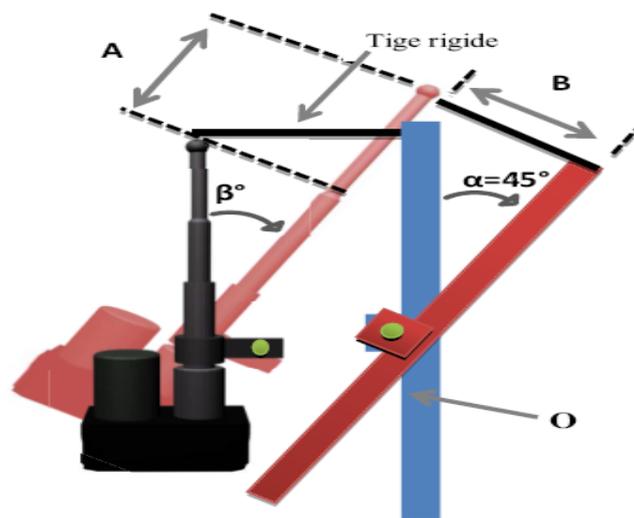


Figure III.7 : structure d'un vérin électrique

III.5.2. Structure globale de la partie mécanique

La figure III.8 représente la structure globale mécanique de notre suiveur. Pour pouvoir commander le suiveur, on a utilisé plusieurs circuits électroniques connectés entre eux de telle façon précise pour orienter le panneau photovoltaïque suivant le soleil chaque 20min par angle de 15° (par rapporte à l'état initiale) du lever vers coucher (fig III.9).

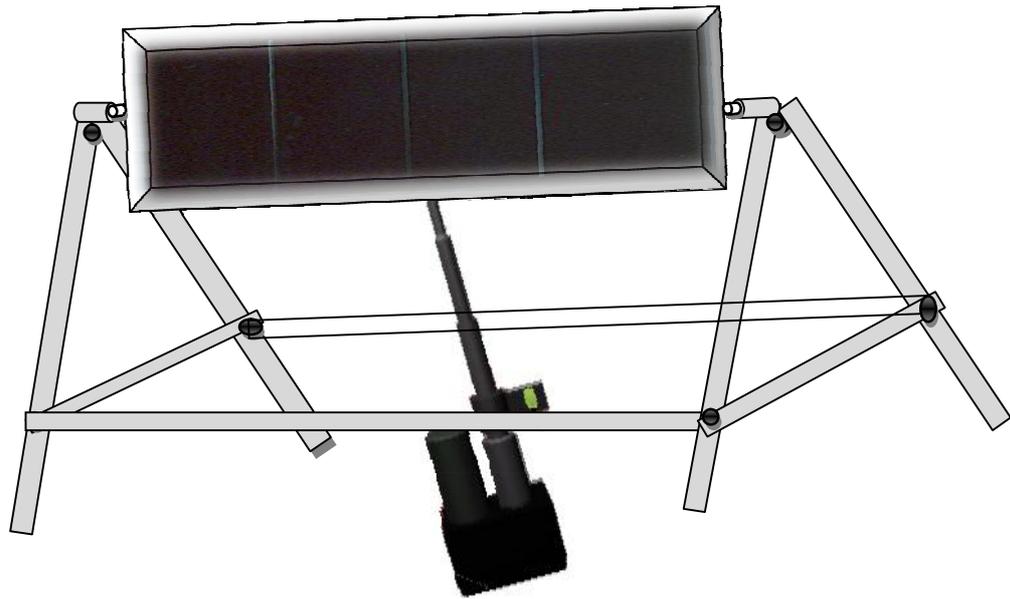


Figure III.8 : structure globale de la partie mécanique

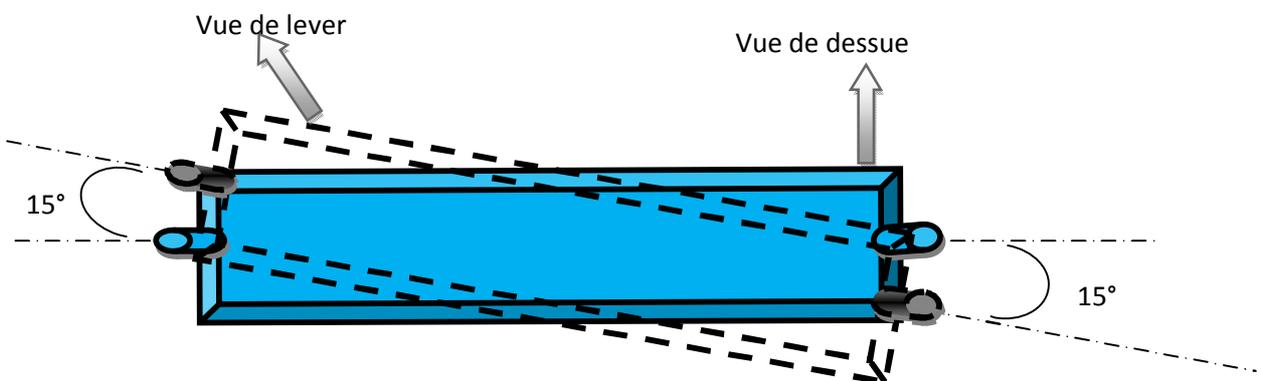


figure III.9: l'angle d'orientation

III.5.3. Structure la partie de commande

III.5.3.1.Schéma synoptique

Le schéma block du circuit de commande est donné par la figure (III .10). Cette commande est construite autour d'un générateur NE555, de deux Monostables, de cinq compteurs et de deux relais.

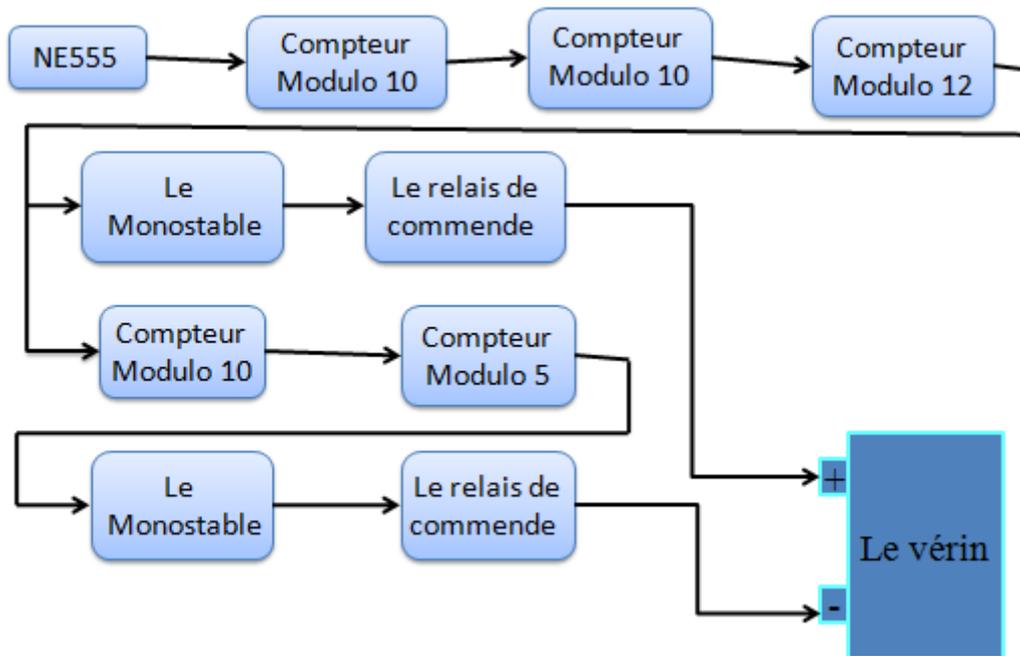


Figure (III .10) : Le schéma block du circuit de commande

III.5.3.2.Montage NE555

Cette carte commande se compose de circuits électroniques autour d'un oscillateur à base de NE555. L'oscillateur est un multivibrateur astable soit à base de NE 555 (voir figure III.11), soit à base de porte logique mais nous avons choisi de travailler avec la première solution.

Chapitre III : Réalisation et Conception

Le montage astable à base du NE555 est donné par la figure III.12. Le circuit génère une fréquence qui correspond à un signal carré à la sortie représentée par la borne 3. Ce dernier génère à sa sortie des impulsions sous la forme de créneaux dont la durée de l'état bas (T_b) s'exprime par la relation(III.1) :

$$T_b = 0.693 \times R_2 \times C_1 \quad (\text{III.1})$$

Ainsi la période (T) s'exprime par la relation(2) :

$$T = 0,693(R_1 + 2R_2) C_1 \quad (\text{III.2})$$

La période de notre montage étant de $T = 2.30s$ nous avons choisi les paramètres des résistances et de la capacité C_1 comme suit :

$R_1 = 15K\Omega$, $R_2 = 15 K\Omega$ et $C_1 = 74\mu F$.

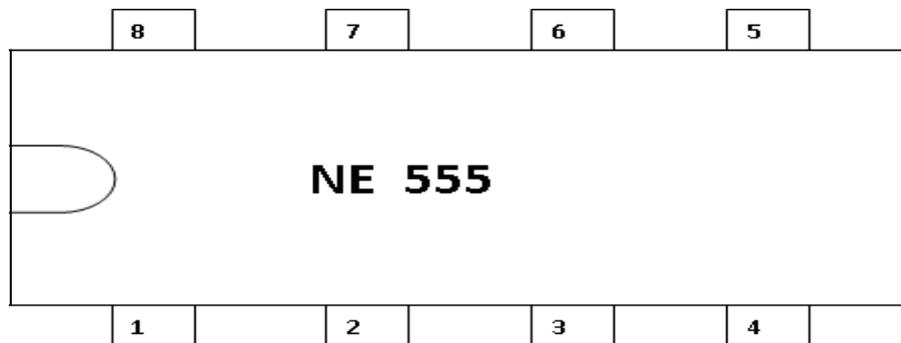


Figure III.11 : brochage du circuit NE 555

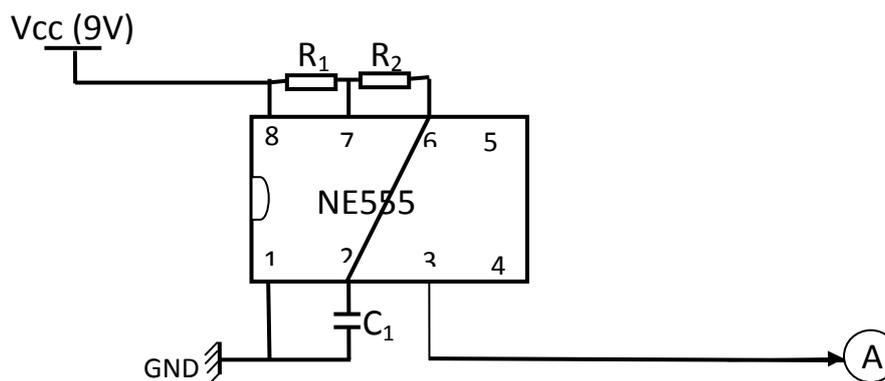


Figure III.12 : Schéma électrique de l'oscillateur

Le NE555 peut être alimenté par une tension +5V à +15V. Dans notre cas nous avons choisi une alimentation de 9V pour assurer la bonne alimentation des autres circuits.

III.5.3.3. Circuit de monostable :

Le circuit monostable est également réalisé autour du NE555. La figure III.13 montre son schéma électrique. Le monostable génère un créneau à sa sortie de durée $T = 1,1 \times R \times C$ en recevant une impulsion sur sa gâchette. Pour notre application, $T = 1,22s$. Dans ce cas, les paramètres électriques du circuit sont : $R = 15K\Omega$ et $C = 74\mu F$.

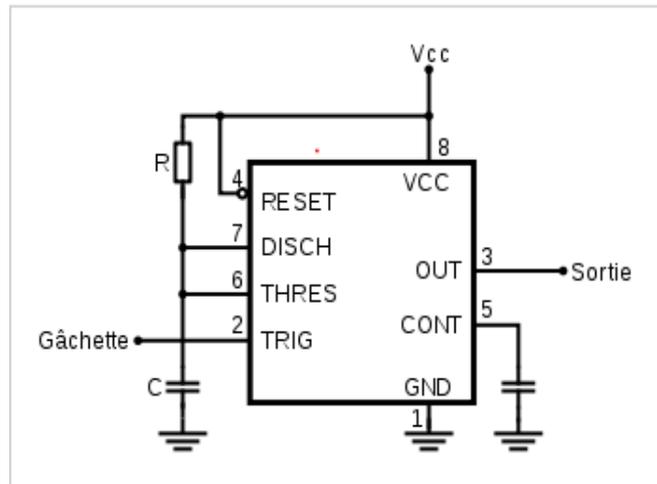


Figure III.13 : Circuit de monostable

III.5.3.4. Les Compteurs modulo 10 et 12

Le circuit intégré SN7490 est un compteur décimal modulo 10 asynchrone à 4 bits, Son brochage est donné dans la figure suivante, (figure III.14). La table de vérité du fonctionnement du compteur est donnée par la table III.1. Les deux entrées **R9(1)** et **R9(2)** permettent de pré-positionner le compteur à l'état initial. Les chronogrammes de sorties relatifs au fonctionnement sont représentés à la figure III-15.

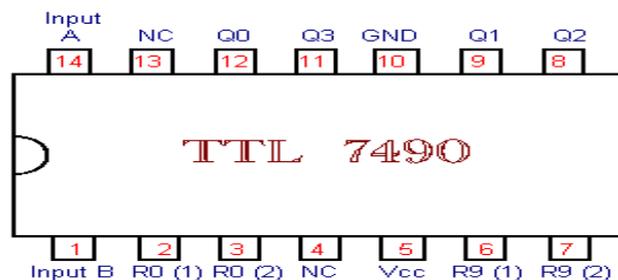


Figure III.14 : Brochage du compteur SN7490

| R0 (1) | R0 (2) | R9 (1) | R9 (2) | Q3 | Q2 | Q1 | Q0 |
|--------|--------|--------|--------|----------|----|----|----|
| 1 | 1 | 0 | X | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | X | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X | X | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| X | 0 | X | 0 | Comptage | | | |
| 0 | X | 0 | X | Comptage | | | |
| 0 | X | X | 0 | Comptage | | | |
| X | 0 | 0 | X | Comptage | | | |

Table III. 1. Table de vérité du fonctionnement du compteur SN7490

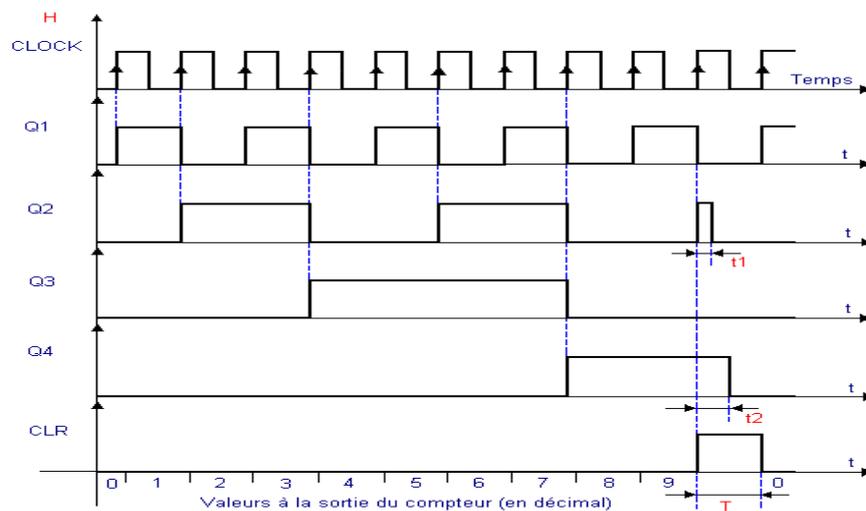


Figure III.15 : Chronogramme relatif au fonctionnement

Suivant le même principe nous avons réalisé le compteur modulo 12 en utilisant la référence « SN7492 » (voir figure III.16).

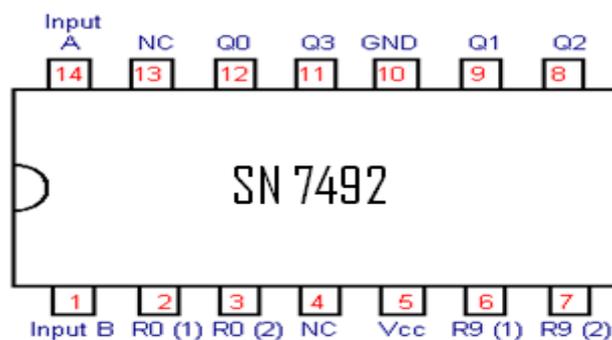


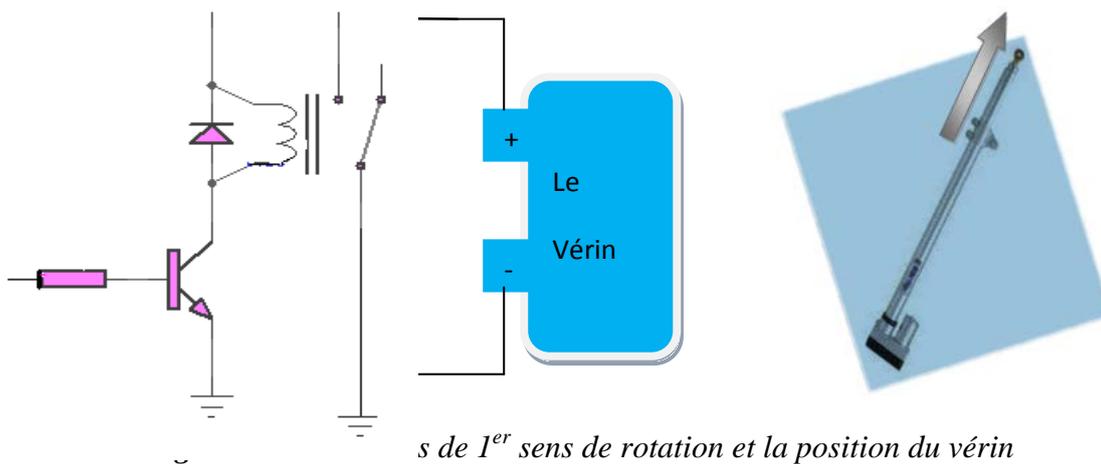
Figure III.16 : Brochage du compteur SN7492

III.5.3.7. Commande des relais d'utilisation

Les sorties indiquées (3) sur les deux monostables (1) et (2) sont respectivement reliées aux bases des transistors T_A et T_R par l'intermédiaire de résistances de limitation R_A et R_R . Ces transistors NPN ont leurs circuits collecteurs reliés aux bobines de relais correspondant. En cas de sollicitation d'un transistor, T_A par exemple, il s'établit ainsi un courant base-émetteur, ce qui a pour effet la saturation du transistor. Enfin les diodes D_A et D_R protègent des transistors T_A et T_R des effets liés à la surtension de self.

Qui se manifestent au moment du début du blocage des transistors, Avec les diodes D_A et D_R est de roue libre.

La phase du secteur est reliée au pôle positif du vérin (1^{er} sens de rotation), ainsi qu'aux bobines des relais. Il en résulte un courant dans la bobine de relais1, (voir la figure III.17)



III.5.3.8. Schéma électrique de premier sens d'orientation

Le circuit de commande du vérin principale (pour les deux sens) est constitué de deux compteurs modulo 10 et 12 pilotés par l'horloge du circuit astable NE555. Dans notre system de poursuite, nous avons utilisé le trackeur pendant une durée d'ensellement de 15h du 6 h 00 du matin à 20 h 00 du soir. De l'autre coté, le panneau solaire est poussé chaque 20 min par l'impulsion de commande venant du monostable à travers le relais de puissance. Le circuit électrique de commande est donné sur la figure III.18. suivante dont les block A et B constution les circuit de pivotation du verin dans le sens directe et inverse respectivement :

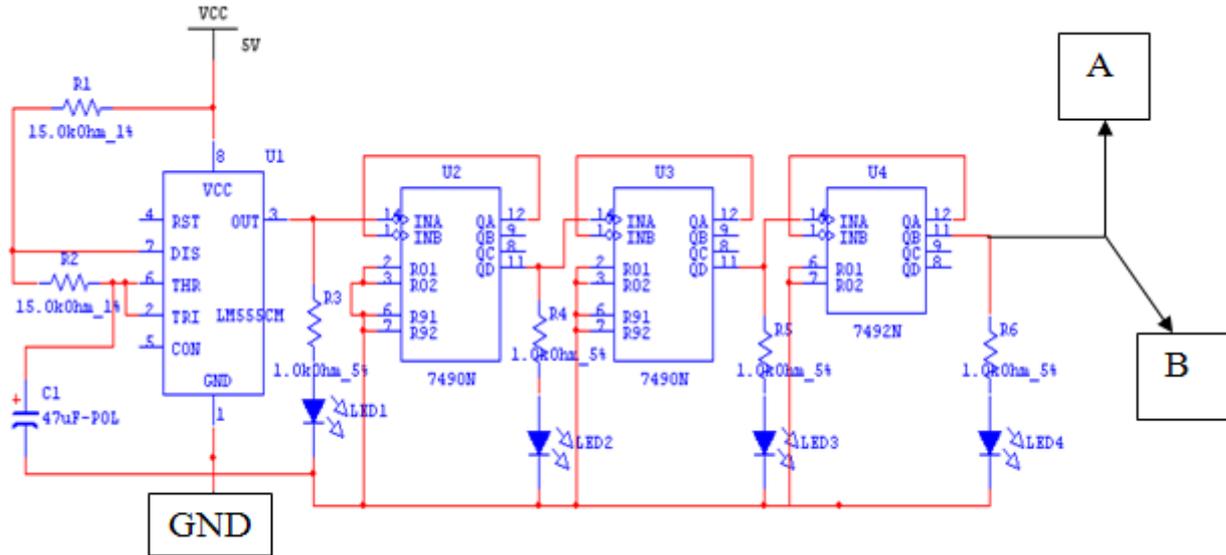


Figure III.18 : Schéma électrique de la commande du vérin

Le block A constitue le circuit de commande du sens direct. Il se compose d'un monostable réalisé à base du circuit NE555 et un relais électrique (12V) qui est l'intermédiaire entre le circuit électronique et le vérin (voir figure III.19)

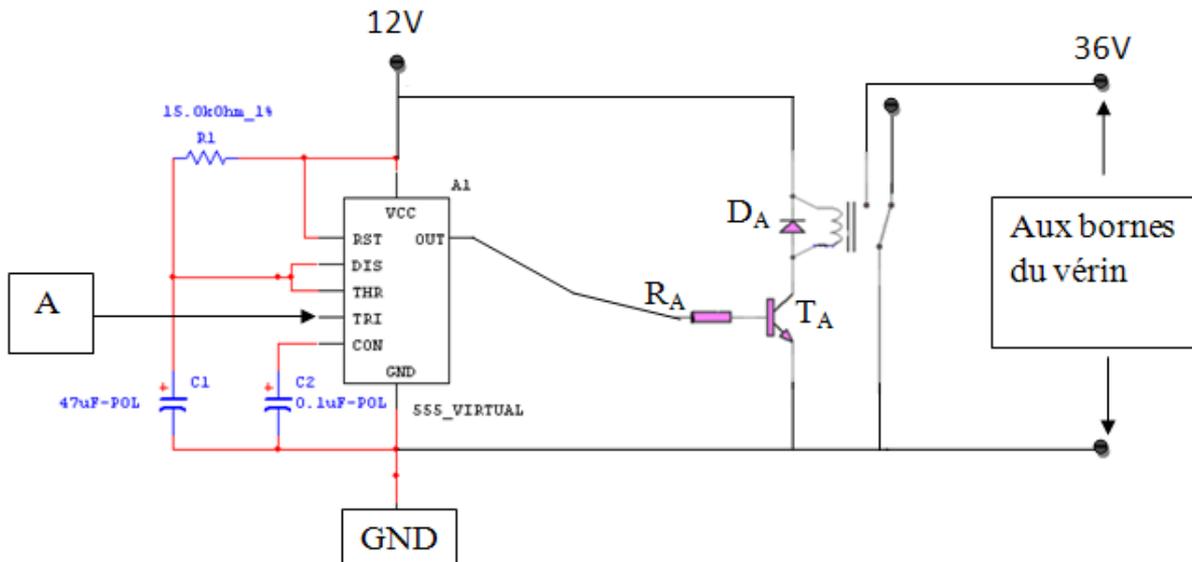


Figure III.19 : circuit électrique de commande du premier sens

III.5.3.9. Schéma électrique de deuxième sens d'orientation

Pour commander le deuxième sens d'orientation (block B) un autre circuit électronique qui commande le retour du vérin à l'état initial. Cette stratégie de commande est réalisée par un compteur modulo 10 et un compteur modulo 5 montés en série pour obtenir un compteur modulo 50. Ce dernier attaque de nouveau un monostable pour compter 45 positions d'orientation du panneau et faire retourner le panneau à son état initial pendant la nuit. La figure III.20 donne le circuit d'inversion du sens d'orientation et la figure III.21 donne le circuit de connexion aux relais de commande du vérin.

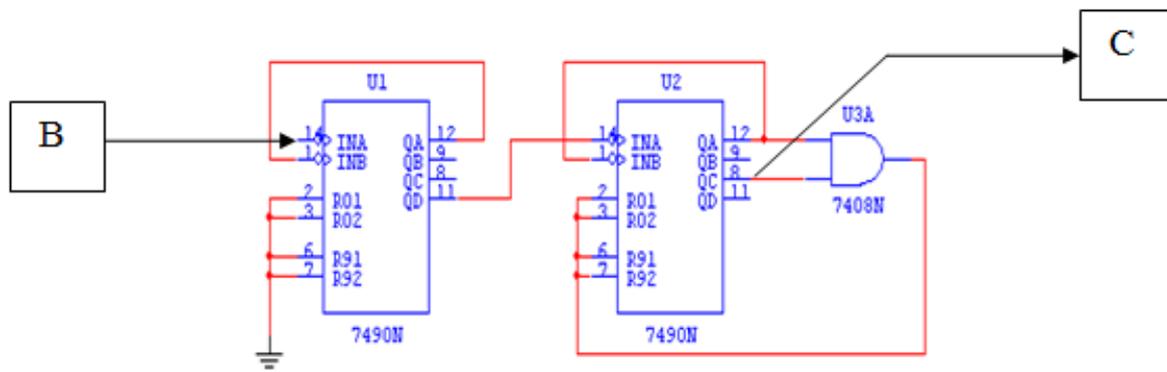


Figure III.20 : Schéma électrique de deuxième circuit de commande du vérin

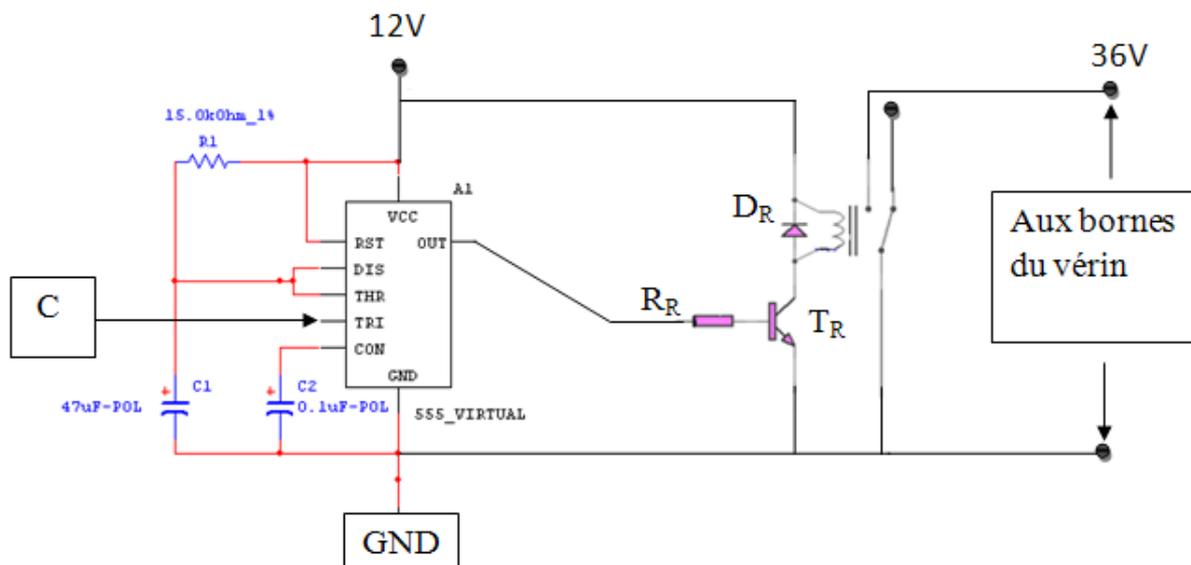


Figure III.21 : circuit électrique de commande du deuxième sens

III.6.Chargement de batterie

Dans ce paragraphe, nous présentons trois types de batteries différentes de point de vue de la tension de l'utilisation domestique (9V, 6V, 3V), alors on a besoins des régulateurs de tension compatibles qui équilibrent la tension d'entrée produite par le PV et la tension de sortie du régulateur qui est fonction de la résistance du charge.

Nous allons former le système de charge comme suite :

- ✓ Régulateur de tension de la référence 7812 pour chargé une batterie 9Vet 6V.
- ✓ Régulateur de tension de la référence 7805 pour chargé une batterie 3V.

➤ Calcul la de résistance de charge (R)

Les caractéristiques de la batterie 6V sont :

- Sealed lead-acid ;
- RB 640 BS.6V – 4,5Ah ;
- Cycle use : 7,20V- 7 ,50V ;
- Stand by use 6,75 V – 6,90V ;
- Max charging current 1,35A;

Pour charger une batterie du 6V ;(voir la figure III.22), on a $V_1= 12V$; $V_2= 6V$; On suppose que: $I=0,5A$ (courant de charge), on applique la relation suivante :

$$V_1 = R \cdot I + V_2$$

$$R = \frac{V_1 - V_2}{I} = \frac{12 - 6}{0,5} = 12\Omega.$$

$$P = R \cdot I^2 = 12 \cdot (0,5)^2 = 3W ; \text{ la puissance de la résistance calculée est, donc, 3Watts.}$$

➤ Calcul le temps de charge (T)

$$\text{On a : } T = \frac{C}{I} = \frac{4,5}{0,5} = 9h ; \text{ donc le temps de charge est égale a : } 9h ;$$

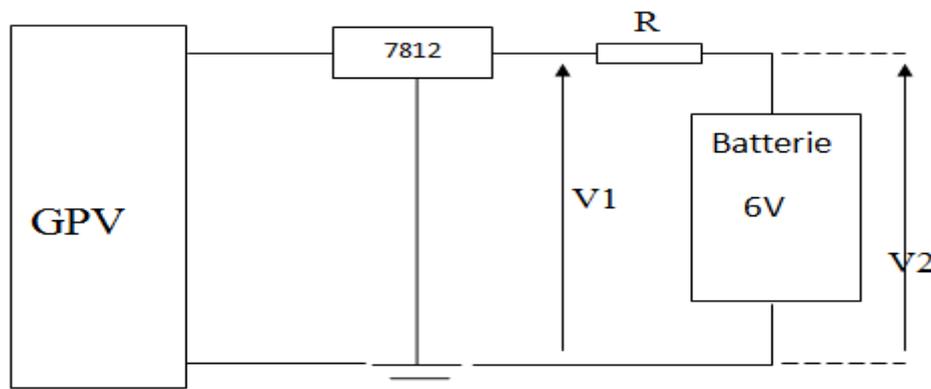


Figure III.22 : chargeur de batterie 6V

La figure III.22 donne le circuit électrique globale du chargeur.

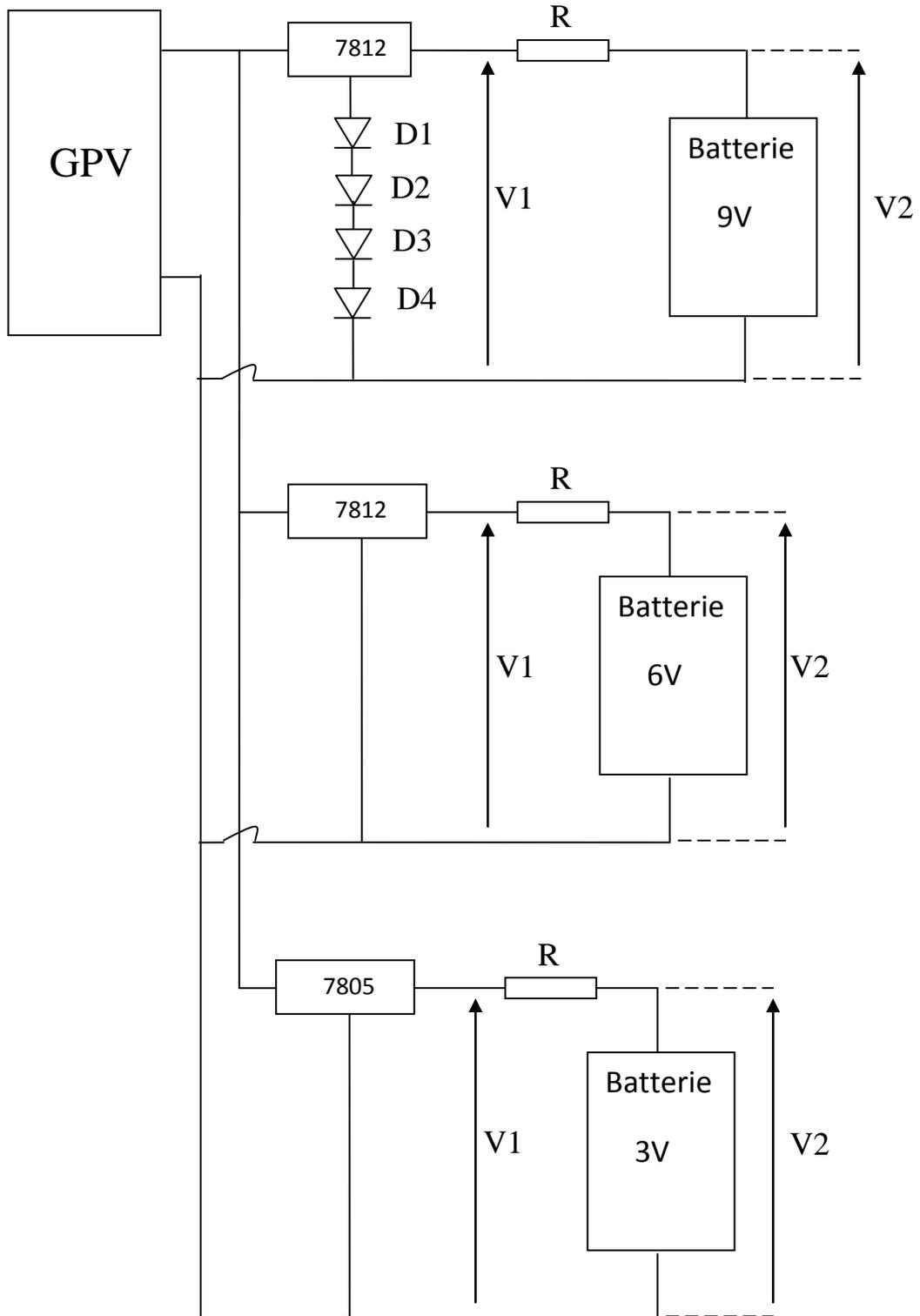


Figure III.22 : Circuit électrique globale du chargeur

III.8. Nomenclature des composants

- $R_1=R_2=R_{10}=R_{11}=R_{12}=15K\Omega$
- $R_3=R_4=R_5=R_6=1K\Omega$
- $R_7=R_8=R_9=10K\Omega$
- $C=C_1=C_2=C_3=C_4=C_5=74\mu F (63V)$
- Quatre leds
- Deux de Transistor BC237
- Trois de NE555
- Quatre compteur modulo 10 « SN 7490 »
- Un compteur modulo 12 « SN 7492 »
- Deux régulateurs 7812
- Un régulateur 7812
- Deux relais 10A, 12V
- Quatre diodes 1N4007
- Un vérin (36V)
- Un panneau solaire BL85-55 (3V, 160MA)
- Deux batterie 9V et 3V (batterie portable)

III.9. les différents Circuit imprimé

a-Circuit imprimé de commande du vérin

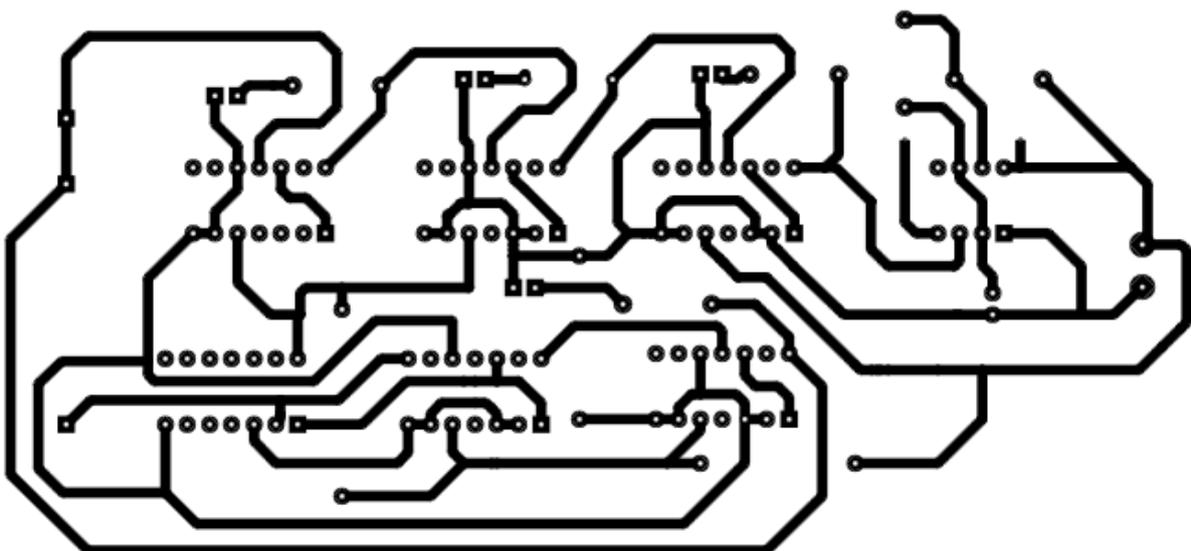


Figure III.24 : circuit imprimé de la commande électronique

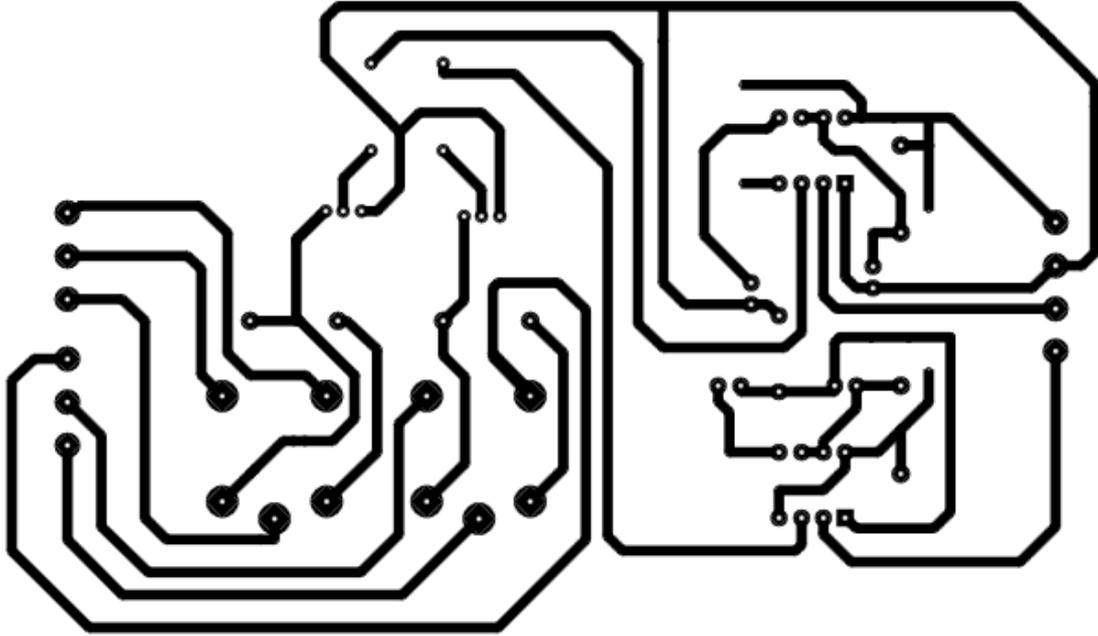


Figure III.25 : Circuit de relais de commande du v erin

b-Circuit du chargeur des batteries

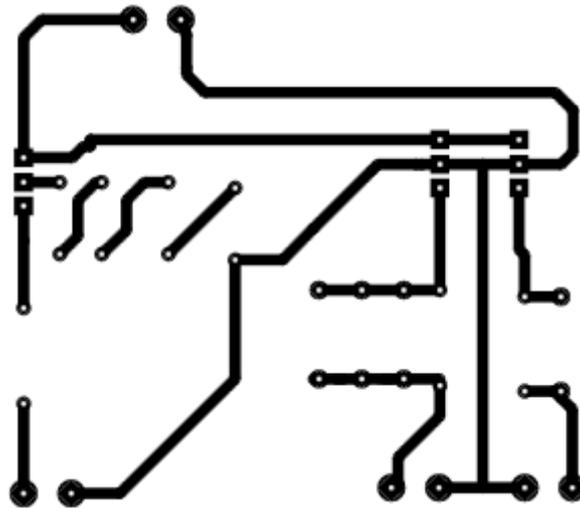


Figure III.26 : Circuit du chargeur des batteries

III.10. Conclusion

Nous avons vu dans l'actuel chapitre tous les plis de la réalisation, des tâches hardware comme la réalisation de la structure mécanique où nous avons rencontré des difficultés qui ont été atténuées par notre inspiration de la vision du système et les sollicitations du soudeur. Ce travail a duré plus de six semaines.

Nous avons également réalisé des tests, à travers lesquels, nous avons pu constater l'efficacité et la fiabilité de notre système de poursuite du soleil, à savoir que le panneau photovoltaïque conserve la même génération du courant et de la puissance durant la période d'ensoleillement.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le recours aux énergies renouvelables et surtout l'énergie solaire photovoltaïque est de plus en plus sollicité, c'est pourquoi utilisateurs et producteurs cherchent à optimiser et à améliorer, cette technologie, déjà pénalisée par son faible rendement ainsi que son coût exorbitant.

Cette optimisation est appelée au niveau des matériaux utilisés pour la fabrication des cellules photovoltaïques en cherchant à améliorer le rendement des matériaux solaires. Cette optimisation est également appelée par l'utilisation de structure de poursuite du soleil laissant néanmoins toute latitude au choix du montage qu'il soit fixe ou mobile.

Notre travail a été réalisé, dans but d'optimiser un système de poursuite du soleil mono-axial. Nous avons pu élaboré la partie mécanique du système concrétisée par une réalisation mécanique réelle. Nous avons également réalisé la partie commande numérique à base du générateur de fréquence NE555 pour générer les signaux et les temporisations nécessaires à la commandé les vérins via une carte de commande avec relais.

Les tests effectués confirment l'optimisation de la position du panneau photovoltaïque par le maximum de captation du rayonnement. Cependant, par manque de temps, nous sommes privés de faire d'autres séances de tests, c'est-à-dire en mode fixe, pour établir une comparaison entre les deux résultats et de constater l'efficacité du système du tracking.

Bien que le système ait bien fonctionné, le travail n'est pas finalisé et en perspective de cette réalisation, il faut prévoir une alimentation autonome du système traqueur à partir de la puissance générée. En outre, il serait intéressant d'intégrer un système mesurant la vitesse du vent en vue de développer un dispositif de protection contre le vent, mais améliorer également le système pour la position de nuit et la position initiale.

BIBLIOGRAPHIQUE

- 1) OBSERVER BN, «Baromètre du solaire photovoltaïque, systèmes solaires », Avril 2004,N°160,pp .69-83.
- 2) A .Labouret-M Villoz « énergie solaire photovoltaïque », le manuel du professionnel Dunod 2003 .
- 3) HABBATI BELLIA Assia , « ETUDE ,ANALTSE ET APPLICATION D'UN GENERATEUR PHOTOVOLTAIQUE POUR LA PRODUCTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE », mémoire magister ,université de sidi-bel-abbés, 2007.
- 4) M .PETIBON stéphane , « nouvelle architecture distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les application photovoltaïque » ;thèse de doctorat de l'université de Toulouse ,France 2009.
- 5) Mark ORGERET , « les piles solaires , le composant et ses application » ,Masson ,paris 1985 . ISBN :2-225-80482-6.
- 6) R-BALMA, présentation de l'énergie photovoltaïque,
<http://www.energieprope.net/pv.htm/>
- 7) D.Turcotte ,M .Ross and F .Sheriff. « Photovoltaic hybrid system Sizing and Simulation Tools » PV Horizon ,Canada,2001.ARTICLE PDF.
- 8) GHIAT saàd et BENARABI Adel , « simulation d'une centrale photo-voltaïque connectée au Réseau Infini » ,mémoire ingénieur électrotechnique , université Ferhat abbés ,Sétif 2010 .
- 9) « Trackeur solaire» , mémoire master automatique industrielle ,université USTO,oran 2010 .
- 10) Romy Kansal *PIC Based Automatic solar Radiation Tacker* THAPAR UNIVERSITY, PATIALA (PUNJAB)-147004-JUNE2008.

Chapitre I

Rayonnement solaire

Chapitre II

Conversion

et

Technologie photovoltaïque

Chapitre III

Réalisation et conception

Introduction générale

Conclusion générale