



République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement supérieur
Et de la Recherche scientifique
Université Badji Mokhtar -Annaba



FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

PROJET FIN D'ETUDE LICENCE

ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE ET SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE AUTONOME

Présenté par :

- TOUMI Nihed
- KOUDA Iskandar

Dirigé par :

Monsieur ADJABI Mohamed

Jury de soutenance :

Présidente : TOURAB Wafa

Rapporteur : ADJABI Mohamed

Année Universitaire : 2020/2021

Remerciement

Nous remercions Dieu tout puissant pour nous donner de la force et du courage pour accomplir cela travail modéré.

Nous remercions notre PROFFISEUR M. ADJABI nous guide et donne des suggestions précieuses.

Vouloir acceptez le témoignage de notre plus profonde gratitude. Nous adressons également nos sincères remerciements au corps professoral et au personnel de l'Université de Badji Mokhtar-Annaba

Nous remercions chaleureusement nos membres. Le point de vue du jury madame W. TOURAB en dehors de la critique et de la pertinence dans tous nos travaux.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

- ❖ **A mon cher père, à ma chère mère, et mon frère jumeaux, pour leurs tendresses, leurs Conseils, leurs sacrifices, leurs présences à mes coté et leurs soutient, je dois ce que je suis et à qui je souhaite une longue vie pleine de bonheur et de santé. Qu'ils trouvent ici l'expression de mon éternelle reconnaissance et de ma profonde affection.**
- ❖ **A ma tante Klai Amel, Tonton Nadir Naheli**
- ❖ **A toute ma famille.**
- ❖ **A mes amis Naouel et Fateh**
- ❖ **A mon professeur M. Adjabi**
- ❖ **A monsieur Azouzi Hmidet**
- ❖ **Sans oublie mon binôme Iskander**

Nihed

Dédicace

Je dédie ce travail :

A mon père et à ma mère, que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments, pour leur patience illimitée, leur encouragement contenu, leur aide, en témoignage de mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices,

- ❖ **A mes chers amis ; ANIS et AZIZ,**
- ❖ **Mon binôme NIHED,**
- ❖ **Tous ceux que j'aime,**

Iskandar

Liste des symboles :

- **PV : photovoltaïque**
- **RSE : Responsabilité Sociétale des Entreprise.**
- **KM : kilomètre.**
- **KW : kilowatt.**
- **α, β, γ : angle**
- **P : pression atmosphérique**
- **h : hauteur du soleil**
- **MPPT : maximum power point tracking**

Liste des tableaux :

Chapitre I : Energie solaire

- Tableau (I.1) : Longueurs d'ondes et spectre lumineux6
- Tableau (I.2) : Quelques valeurs d'albedo.....7

Chapitre III : système photovoltaïque

- Tableau (III.1) : La différence entre les batteries PV25
- Tableau (III.2) : Des avantage et inconvénients.....27

Liste des figures :

Chapitre I : Energie solaire

- Figure (I.1) : Cordonnée terrestre4
- Figure (I.2) : Orientation et inclinaison d'une surface5
- Figure (I.3) : Analyse spectrale du rayonnement solaire.....5
- Figure (I.4) : Les trois composantes du rayonnement solaire global sur un plan incliné6
- Figure (I.5) : Le rayonnement solaire et le nombre d'air masse8
- Figure (I.6) : Spectre solaire en fonction de différentes valeurs, Air Mass9
- Figure (I.7) : Normes de mesures du spectre de l'énergie lumineuse émis par le soleil, notion de la convention AM9
- Figure (I.8) : Les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes11
- Figure (I.9) : Configuration du système hybride à bus continu12
- Figure (I.10) : Système connecté au réseau13

Chapitre II : Energie PV

- Figure (II.1) : Principe d'énergie solaire.....15
- Figure (II.2) : L'effet PV15
- Figure (II.3) : La structure de cellule PV.....16
- Figure (II.4) : Principe de fonctionnement d'un cellule PV.....17
- Figure (II.5) : Mono- cristallines.....18
- Figure (II.6) : Cellule poly-cristallines.....18
- Figure (II.7) : Cellule amorphes.....18

Chapitre III : système photovoltaïque

- Figure (III.1) : Structure d'un système autonome.....23
- Figure (III.2) : Les différents composants d'un système photovoltaïque autonome.....23
- Figure (III.3) : De la cellule au champ photovoltaïque.....24
- Figure (III.4) : Exemple d'un panneau solaire.....24
- Figure (III.5) : Symbole d'onduleur.....25
- Figure (III.6) : Régulateur autonome.....26
- Figure (III.7) : Exemple de câblage.....27

Sommaire

- Liste des symboles
- Liste des tableaux
- Liste des figures

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : L'ENERGIE SOLAIRE	2
I. INTRODUCTION :	3
II. DEFINITIONS :	3
2.1. ENERGIE SOLAIRE :	3
2.1.1. CORDONNEES TERRESTRES :	4
2.1.2. ORIENTATION ET INCLINAISON D'UNE SURFACE	5
2.2. LE RAYONNEMENT SOLAIRE :	6
2.3.1. COMPOSITION DU RAYONNEMENT SOLAIRE :	7
2.3. MASSE D'AIR :	9
III. DIFFERENTS TYPES DE SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES :	12
3.1. LES SYSTEMES AUTONOMES :	12
3.2. LES SYSTEMES HYBRIDES :	13
3.3. LES SYSTEMES CONNECTES AU RESEAU :	15
CHAPITRE II : L'ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE	16
I. INTRODUCTION :	17
II. EFFET PHOTOVOLTAÏQUE :	17
III. CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE :	18
3.1. LA CELLULE PV :	18
3.2. LA STRUCTURE :	18
3.3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :	19
3.4. CARACTERISTIQUES DE PV :	20
3.4.1. LES CELLULES MONO- CRISTALLINES :	20
3.4.2. LES CELLULES POLY-CRISTALLINES :	21
3.4.3. LES CELLULES AMORPHES :	21
IV. CIRCUIT EQUIVALENT ET MODELE MATHEMATIQUE :	22
CHAPITRE III : LE SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE	23
I. INTRODUCTION :	24
II. SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE :	24
III. COMPOSANTE DE SYSTEME PV :	25
3.1. GENERATEUR :	26
3.2. BATTERIES :	27
3.3. ONDULEUR :	28
3.4. REGULATEUR :	28
3.5. LA CHARGE :	29
3.6. CABLAGE :	30
IV. AVANTAGE ET INCONVENIENTS DU SYSTEME PV :	30
CONCLUSION GENERALE	31
BIBLIOGRAPHIE	32

INTRODUCTION GENERALE :

Les énergies renouvelables désignent un ensemble de moyens de produire de l'énergie électrique à partir de sources ou des ressources théoriquement illimitées.

Les énergies renouvelables sont également désigner par le terme « énergie vertes » ou « énergie propre ». Le faible impact environnement de leur exploitation en fait un élément majeur des stratégies RSE des entreprises en matière de développement durable.

Parmi les énergies renouvelables L'énergie solaire photovoltaïque est une possibilité de développement efficace assez rapide pour qu'elles puissent être considéré comme une puissance à l'échelle du temps humaine.

C'est pour cela que les recherches scientifiques se développent dans le sens de généraliser, améliorer et optimiser l'exploitation des systèmes solaires. L'optimisation des systèmes solaires est basée sur des critères de dimensionnement et de maximisation de la puissance générée pour avoir un bon rendement.

Depuis l'aube des temps, l'humanité a vécu au rythme de la lune et du soleil. Certaines civilisations les ont défiés. A la base du développement des premières sociétés humaines.

Structurées, on trouve des techniques liées aux sources naturelles d'énergies dont le soleil est le moteur. Il est donc important de réfléchir à la conception des systèmes utilisant cette ressource qui est gratuitement disponible et en quantité inépuisable. L'auto-consommation est une solution bien utile.

L'avantage principal de cette énergie renouvelable est que son utilisation ne pollue pas l'atmosphère et elle ne produit pas de gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone et les oxydes d'azote qui sont responsables du réchauffement de la terre. Notre étude traite l'énergie solaire photovoltaïque et l'installation d'un système solaire autonome.

Chapitre I :

L'énergie solaire

I. Introduction :

L'expression « énergie solaire » est généralement associée aux méthodes qui permettent d'utiliser cette énergie. Situé à 146 millions km de la terre, le soleil est une source d'énergie extraordinairement puissante. Pour s'en faire une idée, il suffit de savoir que le soleil envoie 1.6 milliards de KW à la terre chaque année. 40% seulement de cette énergie atteignent effectivement la surface terrestre, le reste étant réfléchi par les couches supérieures de l'atmosphère ce pourcentage relativement faible

Le rayonnement du soleil commande la majeure partie des grands processus terrestres, notamment météorologique et biologiques. Il fournit ainsi 99.98 % de l'énergie nécessaire au fonctionnement climatique. C'est aussi directement ou indirectement à lui que l'ensemble des espèces végétales et animales doit la vie. Mais ce n'est pas tout : sa lumière peut aussi être transformée en électricité.

Aujourd'hui, nous utilisons cette énergie de différentes manières. La lumière du soleil est en effet à la base de toutes les techniques de production d'électricité à partir d'énergies renouvelables. L'une d'être elle transforme directement le rayonnement solaire en énergie électrique.

Dans ce chapitre nous aborderons ainsi en premier quelques notions indispensables sur l'énergie solaire ensuivent le rayonnement solaire et enfin quelques installations en fonction à l'énergie solaire.

II. Définitions :

2.1. Energie solaire :

Ce type d'énergie renouvelable est issu directement de la captation du rayonnement solaire. On utilise des capteurs spécifiques afin d'absorber l'énergie des rayons du soleil et de la rediffuser selon deux principaux modes de fonctionnement :

- **Solaire photovoltaïque (panneaux solaires photovoltaïques) :** l'énergie solaire est captée en vue de la production d'électricité.

- **Solaire thermique (chauffe-eau solaire, chauffage, panneaux solaires thermiques) :** la chaleur des rayons solaire est captée est rediffusée, et plus rarement sert à produire de l'électricité.

Le soleil est une étoile de forme pseudo-sphérique dont le diamètre atteint 1391000 km. Il est situé à une distance moyenne de 149598000 km de la terre. Vu de la terre, le soleil tourne autour de son axe. Le soleil ne tourne pas comme un corps solide :

- La rotation de l'équateur s'effectue environ dans 27 jours
- Les régions polaires durant 30 jours.

2.1.1. Cordonnées terrestres :

Tout point sur la surface terrestre peut être repéré par ses coordonnées géographiques qui sont :

a. Longitude

La longitude (λ) d'un lieu correspond à l'angle formé par deux plans méridiens (passant par l'axe des pôles), l'un étant pris comme origine (méridien de Greenwich 0°) et l'autre déterminée par le lieu envisagé.

La longitude d'un lieu peut être comprise entre -180 et 180° . A tout écart de 1° de longitude correspond à un écart de 4 minutes de temps.

On affecte du signe (+) les méridiens situés à l'Est de ce méridien, et du signe (-) les méridiens situés à l'Ouest.

b. Altitude :

L'altitude d'un point correspond à la distance verticale en mètre entre ce point et une surface de référence théorique (niveau moyen de la mer).

c. Latitude :

L'angle (φ) de latitude est l'angle entre une ligne tracée d'un point sur la surface de la terre avec le centre de cette dernière, et le cercle équatorial de la terre. L'intersection du

cercle équatorial avec la surface de la terre forme l'équateur et est indiquée en tant que latitude de 0° , le pôle nord par la latitude $+90^\circ$ et le pôle sud par la latitude -90° .

Par convention, le signe (-) est affecté à tous les lieux de l'hémisphère nord et le signe (-) à tous les lieux de l'hémisphère sud. La latitude d'un lieu peut être comprise entre -90° et $+90^\circ$.

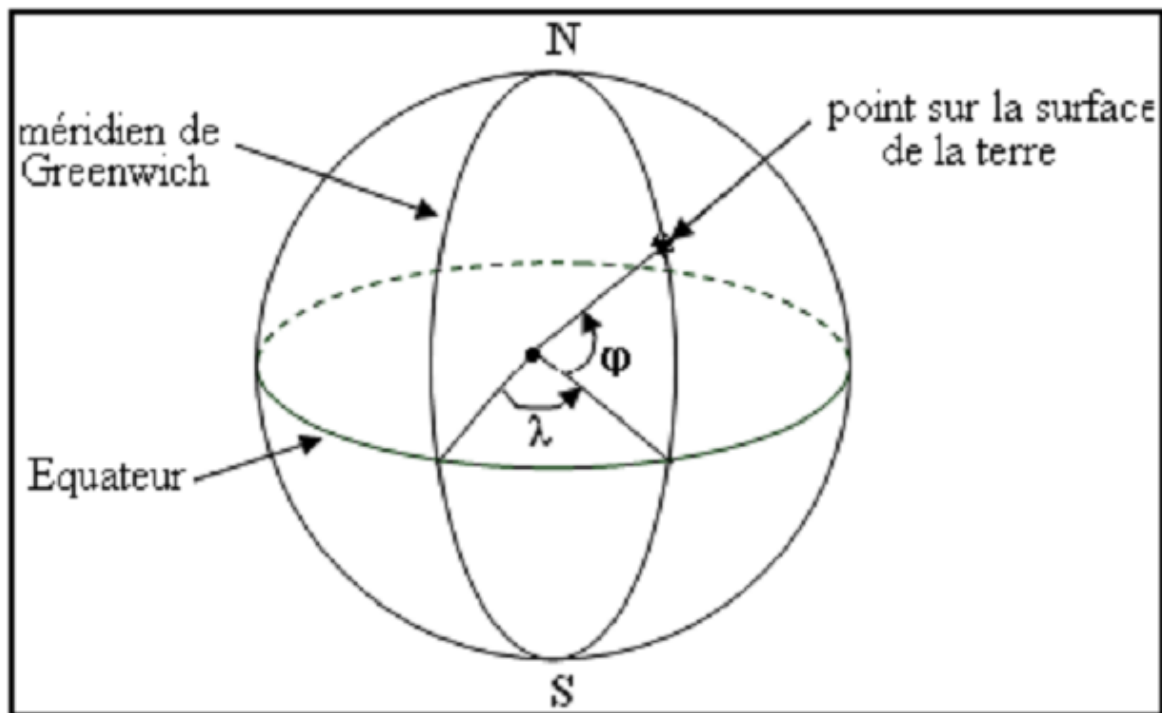


Figure (I.1) : Cordonnée terrestre.

2.1.2. Orientation et inclinaison d'une surface

a. Azimute α

C'est l'angle que fait la projection du soleil sur le plan horizontal avec la direction du Sud et il désigne l'orientation de la surface de telle sorte que :

$\alpha = -90^\circ$ pour une orientation Est

$\alpha = 0$ pour une orientation Sud

$\alpha = 90^\circ$ pour une orientation Ouest

$\alpha = 180^\circ$ pour une orientation Nord

b. Angle d'inclinaison β

C'est l'angle que fait la surface avec le plan horizontal. L'inclinaison de la surface est désignée par la variable b , choisie de telle sorte que :

$\beta = 0$ pour une surface horizontale

$\beta = 90^\circ$ pour un plan vertical

$\beta = 180^\circ$ pour un plan horizontal tourné vers le bas.

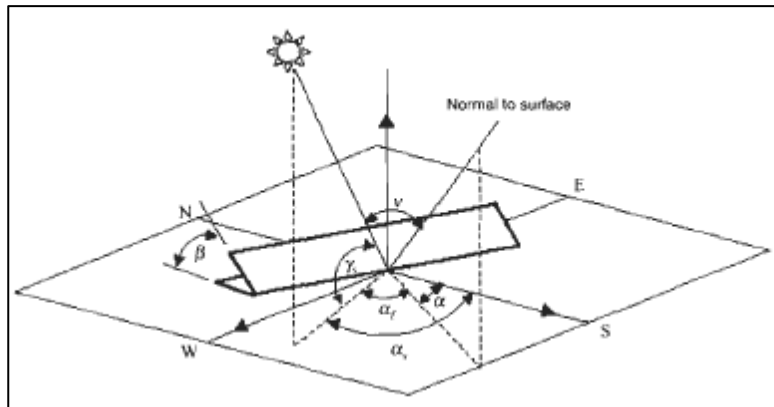


Figure (I .2) : Orientation et inclinaison d'une surface.

2.2. Le rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est constitué de photons dont la longueur d'onde s'étend de l'ultraviolet ($0,2 \mu\text{m}$) à l'infrarouge lointain ($2,5 \mu\text{m}$). L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement de :

- 9% dans la bande des ultraviolets ($<0,4 \mu\text{m}$),
- 47% dans la bande visible ($0,4 \text{ à } 0,8 \mu\text{m}$),
- 44% dans la bande des infrarouges ($>0,8 \mu\text{m}$).

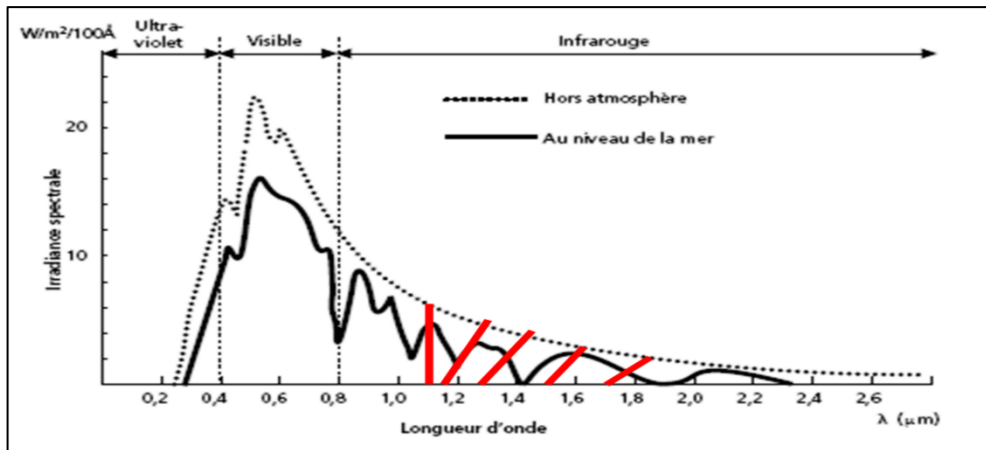


Figure (I.3) : Analyse spectrale du rayonnement solaire.

Le tableau 1 donne les valeurs énergétiques caractéristiques des photos pour diverses longueurs d'ondes, ainsi que les zones correspondantes au spectre lumineux.

λ (μm)	E_{ph} (eV)	Zone
0.2	6.2	Ultra-violet
0.4	3.1	Visible bleu
0.5	2.48	Visible jaune-vert
0.78	1.59	Visible rouge
1	1.24	Infrarouge
2	0.62	Infrarouge
4	0.31	Infrarouge

Tableau (I.1) : Longueurs d'ondes et spectre lumineux

Les capteurs d'énergie solaire doivent donc être compatibles avec ces longueurs d'ondes pour pouvoir piéger les photos et les restituer sous forme de chaleur ou d'électrons.

Pour que le rayonnement solaire produise un courant électrique dans un matériau donné, faisant alors office de capteur, il faut que les photons soient tout d'abord absorbés par un ou plusieurs matériaux sensibles à la longueur d'onde des photons, qui sont ensuite collectés afin de constituer un courant électrique global.

2.2.1. Composition du rayonnement solaire :

Suite à l'atténuation du rayonnement solaire par les différents phénomènes atmosphériques, le rayonnement solaire sur une surface au sol est composé comme suit :

a. Rayonnement direct :

C'est la fraction du rayonnement solaire qui arrive directement au sol, dont le trajet est « linéaire » (il y a, en fait, de légères déviations) et unique à un instant donné.

Si I est le rayonnement direct. [12]

Dans le cas d'un plan horizontal le rayonnement s'écrit :

$$I_{\square} = I \times \sin \square$$

Avec : h hauteur du soleil.

b. Rayonnement diffus :

Le rayonnement diffus est le rayonnement provenant de toute la voûte céleste. 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. Ainsi, par ciel serein, il constitue 20% de l'énergie globale. Par ciel couvert, il correspond à la totalité de l'énergie reçue au sol.

c. Rayonnement réfléchi (L'albédo) :

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

$$L' \text{ albédo } ALB = \frac{\text{énergie réfléchie}}{\text{énergie reçue}}$$

Il y a quelques valeurs de L'albédo selon la surface du sol.

Surfaces du sol	Albédo
Surface d'eau	0.01 à 0.1
Forêt	0.05 à 0.2
Sol cultivé	0.07 à 0.14
Pierres et rochers	0.15 à 0.25
Champs et prairies	0.1 à 0.3
Sol nul	0.15 à 0.4
Neige ancienne	0.5 à 0.7
Neige fraîche	0.8 à 0.95

Tableau (I.2) : Quelques valeurs d'albédo.

d. Rayonnement global :

- Une surface horizontale

C'est l'ensemble du rayonnement d'origine solaire qui parvient sur une surface horizontale sur le globe terrestre. Il comprend donc la composante verticale du rayonnement solaire direct et rayonnement solaire diffus.

- Une surface inclinée

Rayonnement global sur une surface inclinée est la somme des rayonnements : Direct, Diffus et Réfléchi.

$$\text{Rayonnement Globale} = \left\{ \begin{array}{l} \text{rayonnement direct} \\ + \\ \text{rayonnement diffus} \\ + \\ \text{rayonnement réfléchi} \end{array} \right.$$

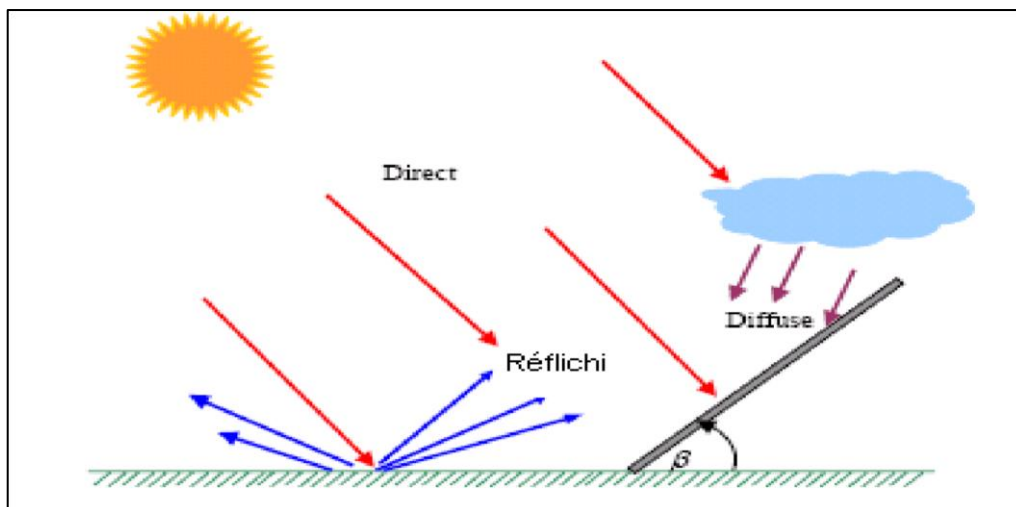


Figure (I.4) : Les trois composantes du rayonnement solaire global sur un plan incliné.

2.3. Masse d'air :

On appelle masse d'air ou Air Mass, le rapport entre l'épaisseur d'atmosphérique traversée par le rayonnement direct pour atteindre le sol et l'épaisseur traversée à la verticale du lieu.

A l'aide des points O, A et M et l'angle h , la longueur du trajet du soleil à travers l'atmosphère :

$$OM = \frac{OA}{\sin h}$$

Donc, l'Air Mass

$$\frac{OM}{OA} = \frac{1}{\sin h}$$

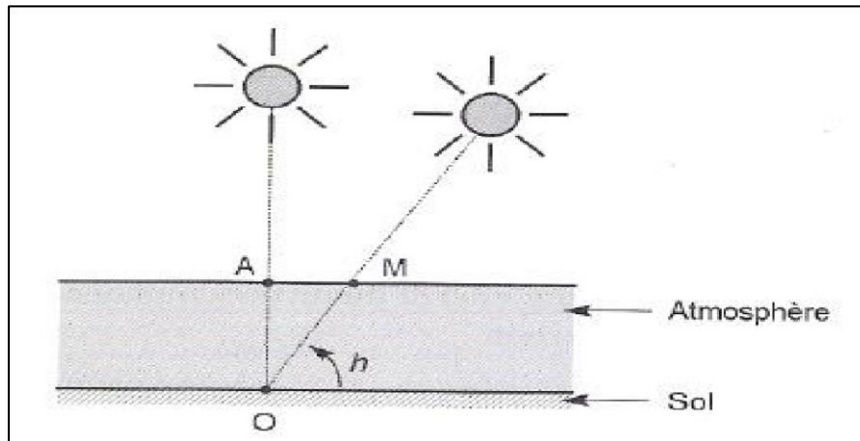


Figure (I.5) : Le rayonnement solaire et le nombre d'air masse.

Pour un site quelconque : $AMX = \frac{1}{\sin(h)} \times \frac{p}{1013}$

p : pression atmosphérique du site considéré (mb)

Et on dit qu'on a les conditions AM1 lorsque le soleil est au zénith, AM2 lorsqu'on a une inclinaison de 30° .

Hors atmosphère à haute altitude, on est dans les conditions AM0.

Les courbes ci-dessous figure 1.11 représentent le spectre solaire pour différentes valeurs de

Air Mass, noté AM. L'indice après AM représente le nombre d'atmosphère traversé, AM0 donc est le spectre solaire hors atmosphère, AM2 est le spectre solaire ayant traversé 2 épaisseurs d'atmosphère (hauteur de 30° du soleil au-dessus de l'horizon).

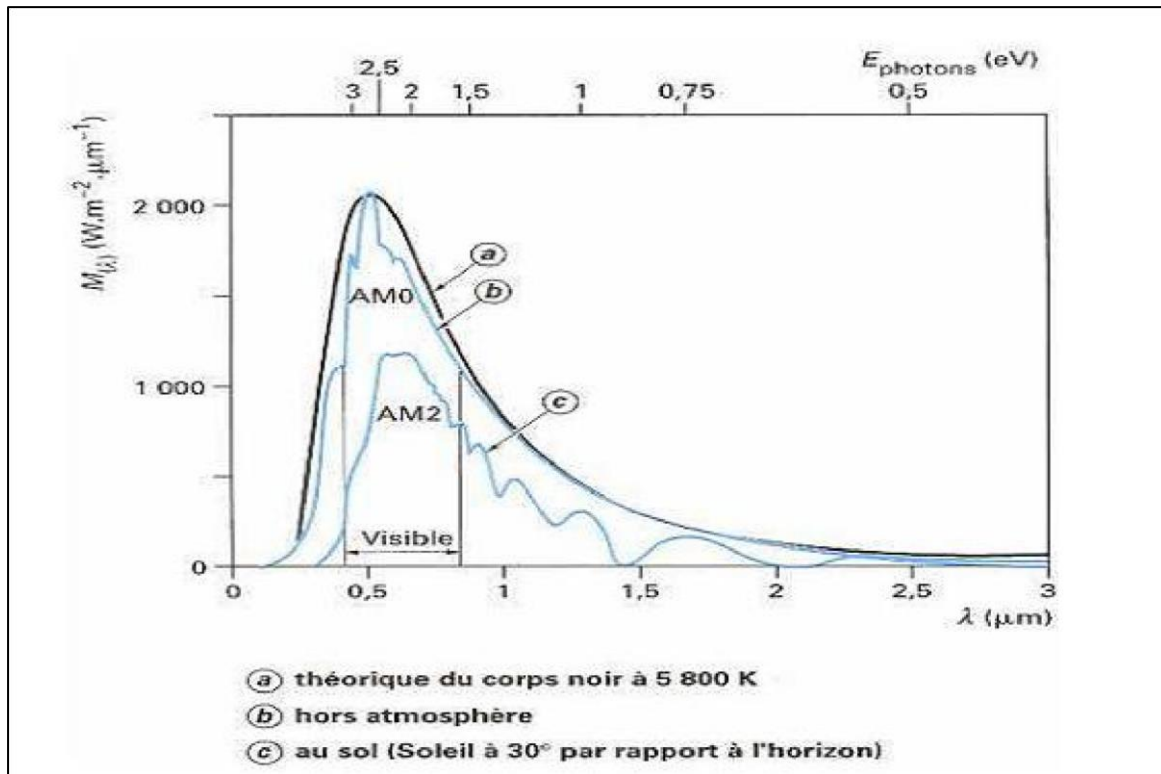


Figure (I.6) : Spectre solaire en fonction de différentes valeurs, Air Mass.

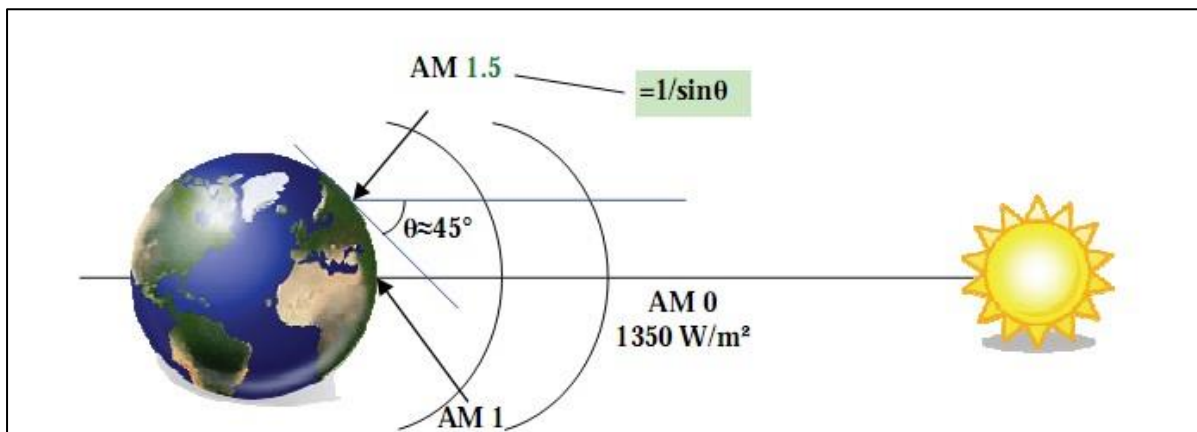


Figure (I.7) : Normes de mesures du spectre de l'énergie lumineuse émis par le soleil, notion de la convention AM.

Il est important de comprendre les deux aspects recouverts par le concept de nombre d'air masse. D'une part, il caractérise la puissance transportée par le rayonnement solaire (1367 /m² pour AM0, 833 W/m² pour AM1, 5) et d'autre part, il sert à définir un spectre de référence pour calibrer les cellules étalons destinées à qualifier les performances des dispositifs photovoltaïques. Ainsi les conditions standards de qualifications des cellules sont un spectre AM1, 5, une puissance incidente 1000W/m² et une température de 25°C.

Sauf indication contraire, c'est pour de telles conditions que doivent être fournies les performances et spécifications d'un dispositif photovoltaïque donné.

III. Différents types de systèmes photovoltaïques :

On rencontre généralement trois types de systèmes photovoltaïques, les systèmes autonomes, les systèmes hybrides et les systèmes connectés à un réseau [Lab 03]. Les deux premiers sont indépendants du système de distribution d'électricité, en les retrouvant souvent dans les régions éloignées.

3.1. Les systèmes autonomes :

Ces systèmes photovoltaïques sont installés pour assurer un fonctionnement autonome sans recours à d'autres sources d'énergie. Généralement, ces systèmes sont utilisés dans les régions isolées et éloignées du réseau. Les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes sont décrits sur la figure (III.1) qui traduit les différentes possibilités offertes : couplage direct à une charge adaptée ou couplage avec adaptateur d'impédance MPPT (Maximum Power Point Tracking), fonctionnement au fil du soleil ou avec stockage d'énergie électrique. Le couplage direct implique un fonctionnement au fil du soleil, donc à puissance essentiellement variable au cours de la journée. Les charges typiques à courant continu qui peuvent satisfaire le critère (tension constante à puissance variable) sont les accumulateurs électrochimiques. Les charges alternatives sont les pompes à eau, c'est le pompage au fil du soleil, le stockage est néanmoins présent sou dans la plupart des cas une adaptation d'impédance doit être réalisée en insérant entre le générateur et sa charge électrique un dispositif électronique qui permet de forcer le système à fonctionner à sa puissance maximale la forme d'eau emmagasinée (dans un réservoir)

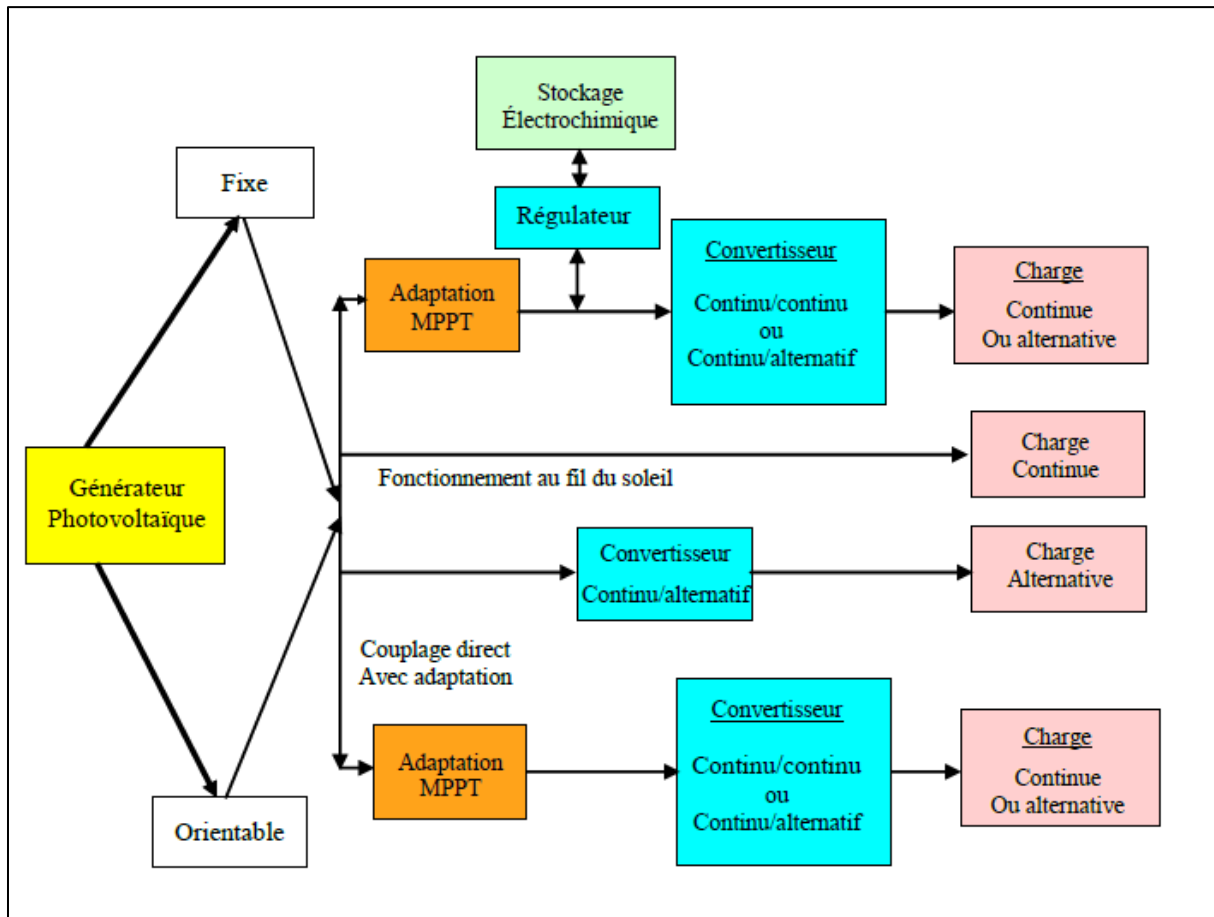


Figure (I.8) : Les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes.

3.2. Les systèmes hybrides :

Les systèmes d'énergie hybride associent au moins deux sources d'énergie renouvelable aussi une ou plusieurs sources d'énergie classiques. Les sources d'énergie renouvelable, comme le photovoltaïque et l'éolienne ne délivrent pas une puissance constante, mais vu leurs complémentarités, leur association permet d'obtenir une production électrique continue. Les systèmes d'énergie hybrides sont généralement autonomes par rapport aux grands réseaux interconnectés et sont souvent utilisés dans les régions isolées.

Les différentes sources dans un système hybride peuvent être connectées en deux configurations, architecture à bus continu et architecture à bus alternatif [Abo 05], [Vec 05].

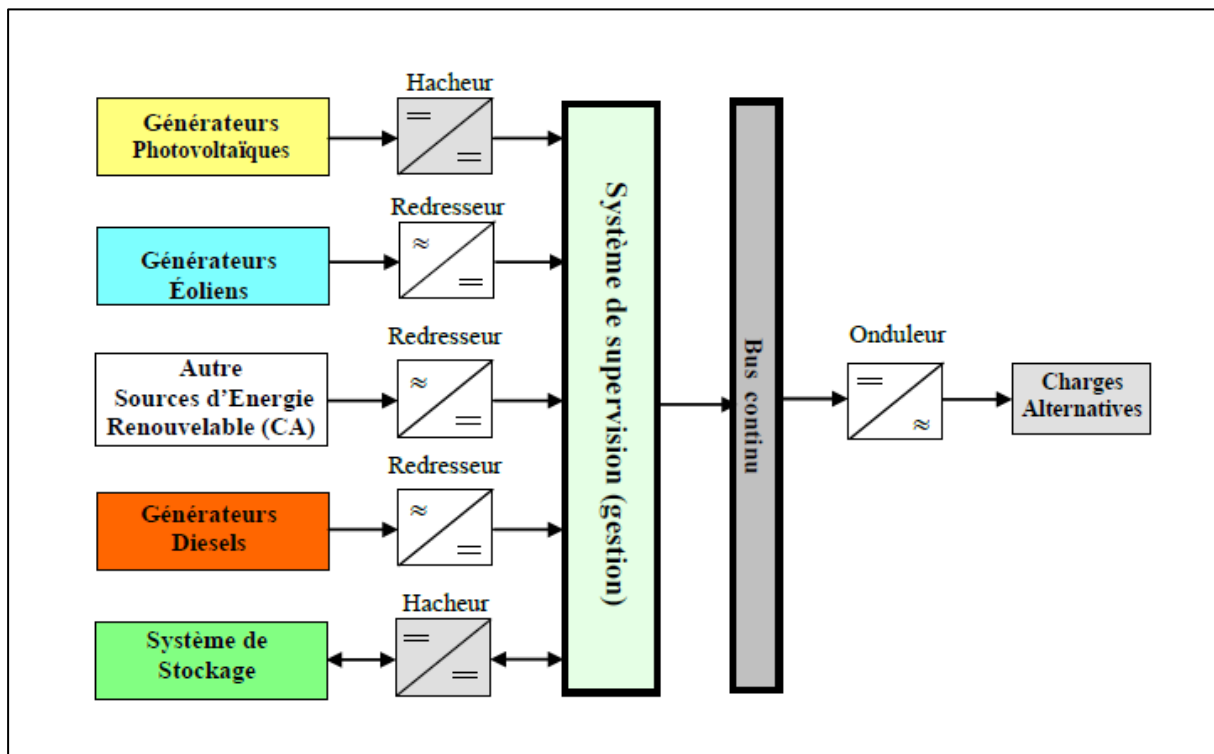


Figure (I.9) : Configuration du système hybride à bus continu.

Dans la première configuration, la puissance fournie par chaque source est centralisée sur un bus continu (voir figure I.5). Ainsi, les systèmes de conversion d'énergie à courant alternatif (CA) fournissent d'abord leur puissance à un redresseur pour être convertie ensuite en courant continu (CC). Les générateurs sont connectés en série avec l'onduleur pour alimenter les charges alternatives. L'onduleur doit alimenter les charges alternatives à partir du bus continu et doit suivre la consigne fixée pour l'amplitude et la fréquence. La fonction spécifique du système de supervision est la commande de mise en marche et arrêt des générateurs et du système de stockage. L'avantage de cette topologie est la simplicité de commande. Dans la seconde configuration tous les composants du système hybride sont reliés à la charge alternative.

3.3. Les systèmes connectés au réseau :

Les systèmes de production d'énergie photovoltaïque connectés à un réseau (figure I.6) sont une résultante de la tendance à la décentralisation du réseau électrique. L'énergie est produite plus près des lieux de consommation. Les systèmes connectés à un réseau réduisent la nécessité d'augmenter la capacité des lignes de transmission et de distribution. Ils produisent leur propre électricité et acheminent son excédent d'énergie vers le réseau, auprès duquel ils s'approvisionnent au besoin, ces transferts éliminent le besoin d'acheter et d'entretenir une batterie. Il est toujours possible d'utiliser ces systèmes pour servir d'alimentation d'appoint lorsque survient une panne de réseau.

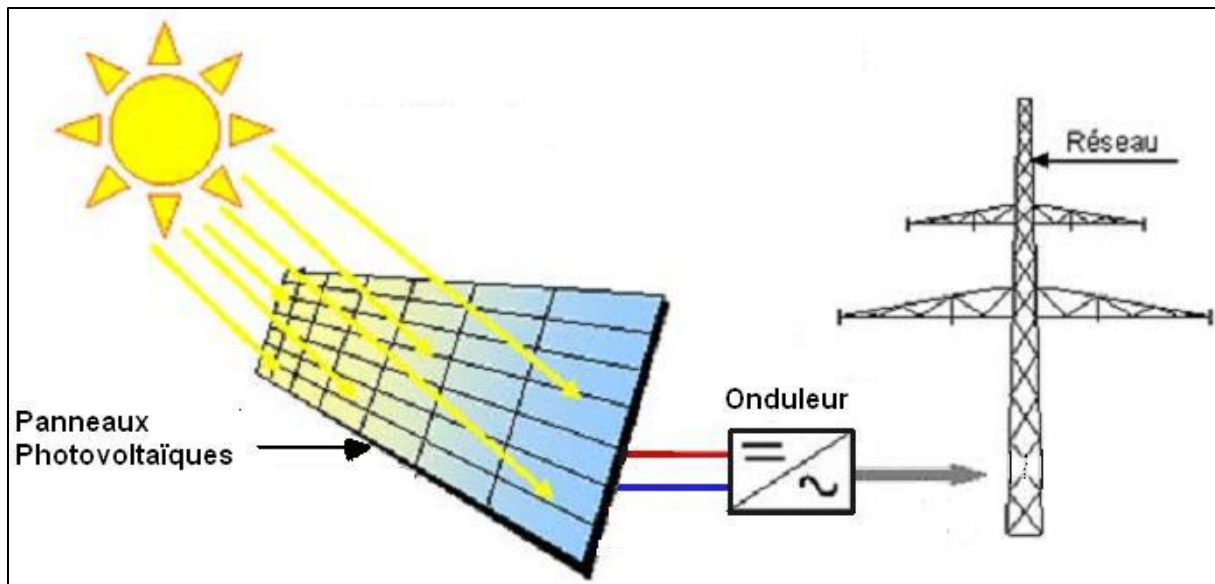


Figure (I.10) : Système connecté au réseau

Chapitre II :

L'énergie

photovoltaïque

I. Introduction :

Principe de l'énergie solaire photovoltaïque : transformer le rayonnement solaire en électricité à l'aide d'une cellule photovoltaïque.

Dans ce chapitre on va traiter l'effet PV et la cellule PV.



Figure (II.1) : Principe d'énergie solaire

II. Effet photovoltaïque :

Le mot photovoltaïque est composé de deux parties : le préfixe « photo », qui est un dérivé du mot grec désignant « lumière » ou « clarté », et le suffixe « volt », relatif au pionnier de l'électricité Alessandro VOLTA.

L'effet photovoltaïque a été découvert par Alexandre Edmond Becquerel en 1839. L'effet photovoltaïque est obtenu par absorption des photons dans un matériau semi-conducteur qui génère alors une tension électrique. Les cellules photovoltaïques produisent du courant continu à partir du rayonnement solaire, qui peut être utilisé pour alimenter un appareil ou recharger une batterie.

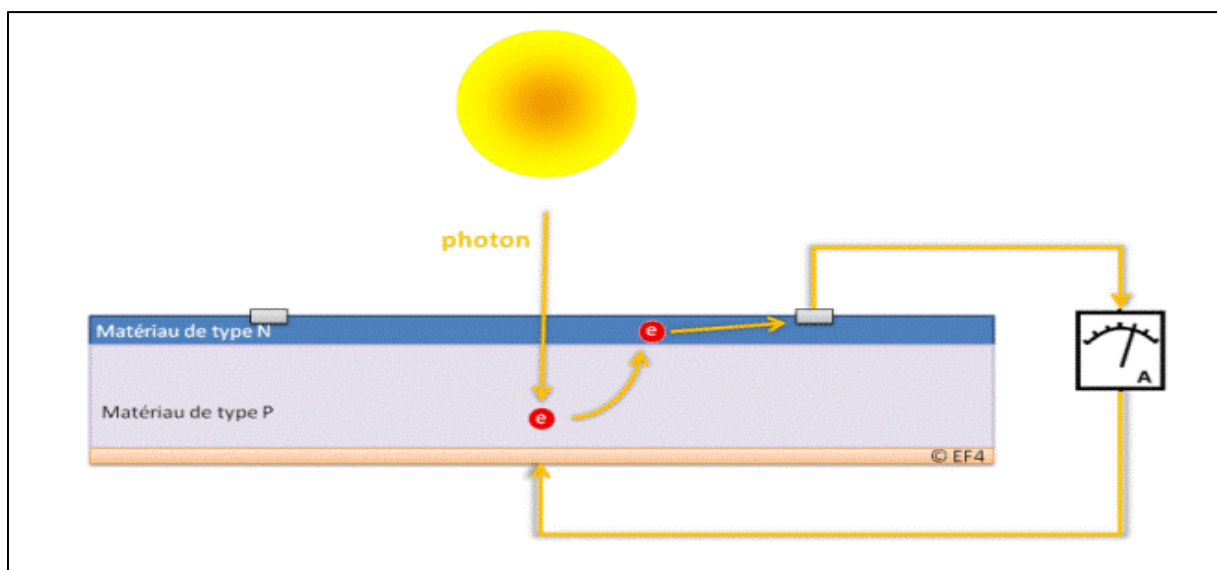


Figure (II.2) : L'effet PV

III. Cellule photovoltaïque :

3.1. La cellule PV :

Une cellule photovoltaïque, ou cellule solaire, est un composant électronique qui, exposé à la lumière, produit de l'électricité grâce à l'effet photovoltaïque. La puissance électrique obtenue est proportionnelle à la puissance lumineuse incidente et elle dépend du rendement de la cellule.

Celle-ci délivre une tension continue et un courant la traverse dès qu'elle est connectée à une charge électrique (en général un onduleur, parfois une simple batterie électrique).

3.2. La structure :

Le silicium est actuellement le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques. On l'obtient par réduction à partir de silice, composé le plus abondant dans la croûte terrestre et notamment dans le sable ou le quartz. La première étape est la production de silicium dit métallurgique, pur à 98 % seulement, obtenu à partir de morceaux de quartz provenant de galets. Le silicium de qualité photovoltaïque doit être purifié jusqu'à plus de 99,999 %, ce qui s'obtient en transformant le silicium en un composé chimique qui sera distillé puis retransformé en silicium. Il est produit sous forme de barres nommées « lingots » de section ronde ou carrée. Ces lingots sont ensuite sciés en fines plaques de 200 micromètres d'épaisseur qui sont appelées wafers. Après un traitement pour enrichir en éléments dopants et ainsi obtenir du silicium semi-conducteur de type P ou N, les wafers sont métallisés : des rubans de métal sont incrustés en surface et reliés à des contacts électriques. Une fois métallisés les wafers sont devenus des cellules photovoltaïques.

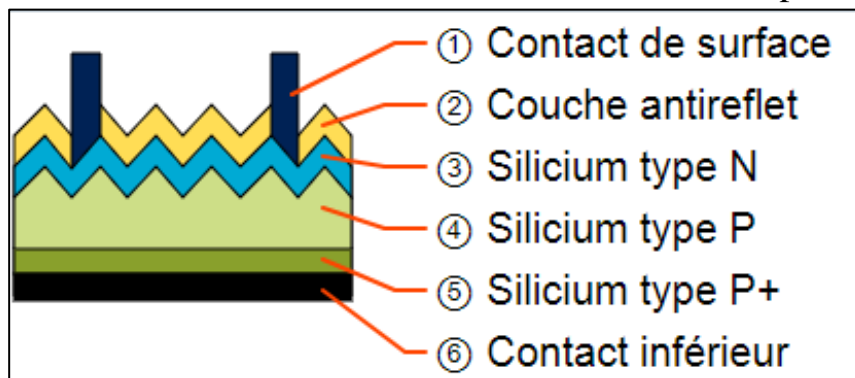


Figure (II.3) : La structure de cellule PV

3.3. Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement de la cellule photovoltaïque est fondé sur les propriétés de semi-conducteurs qui, percutés par les photons, mettent en mouvement un flux d'électrons . Les photons sont des particules élémentaires qui transportent l'énergie solaire à 300 000 km/s et qu'Albert Einstein appelait dans les années 1920 les « grains de lumière ». Lorsqu'ils frappent un élément semi-conducteur comme le silicium , ils arrachent des électrons à ses atomes . Ces électrons se mettent en mouvement, de façon désordonnée, à la recherche d'autres « trous » où se repositionner.

Mais pour qu'il y ait un courant électrique, il faut que ces mouvements d'électrons aillent tous dans le même sens. Pour les y aider, on va associer deux types de silicium. La face exposée au soleil est « dopée » avec des atomes de phosphore qui comportent plus d'électrons que le silicium, l'autre face est dopée avec des atomes de bore qui comportent moins d'électrons. Cette double face devient une sorte de pile : le côté très chargé en électrons devient la borne négative (N), le côté avec moins d'électrons devient la borne positive (P). Entre les deux il se crée un champ électrique.

Quand les photons viennent exciter les électrons, ceux-ci vont migrer vers la zone N grâce au champ électrique, tandis que les « trous » vont vers la zone P. Ils sont récupérés par des contacts électriques déposés à la surface des deux zones avant d'aller dans le circuit extérieur sous forme d'énergie électrique. Un courant continu se crée. Une couche antireflet permet d'éviter que trop de photons se perdent en étant réfléchis par la surface. *Voir le schéma.*

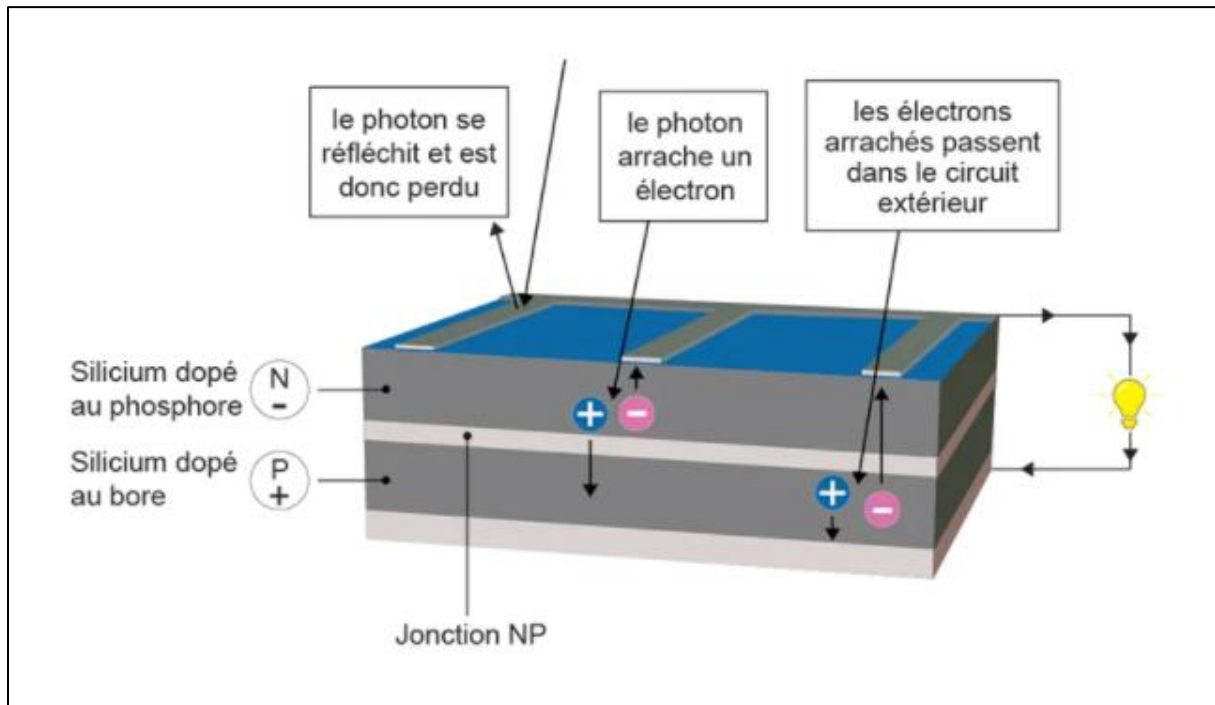


Figure (II.4) : Principe de fonctionnement d'une cellule PV

3.4. Caractéristiques de PV :

Les différents types des cellules solaires : Il existe trois types principaux de cellules :

3.4.1. Les cellules mono- cristallines :

La cellule monocristalline qui s'approche le plus du modèle théorique : cette cellule est effectivement composée d'un seul cristal divisé en deux couches. Les cellules monocristallines permettent d'obtenir de hauts rendements, de l'ordre de 15 à 22 %.

Ces cellules souffrent néanmoins des inconvénients :

- Méthode de production laborieuse et difficile, et donc, très chère.
- Il faut une grande quantité d'énergie pour obtenir un cristal pur.
- Une durée d'amortissement de l'investissement en énergie élevée (jusqu'à 7 ans).



Figure (II.5) : Mono- cristallines

3.4.2. Les cellules poly-cristallines :

Les cellules poly-cristallines sont composées d'un agglomérat de cristaux. Elles aussi proviennent du sciage de blocs de cristaux, mais ces blocs sont coulés et sont dès lors Hétérogènes. Les cellules poly- cristallines sont caractérisées par :

- Coût de production moins élevé.
- Nécessite moins d'énergie.
- Rendement de 13% et jusqu'à 20% en labo

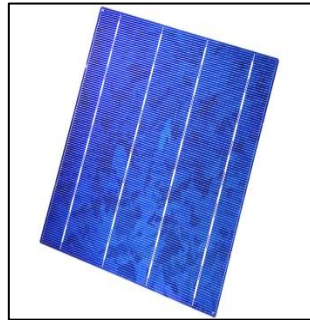


Figure (II.6) : Cellule poly-cristallines

3.4.3. Les cellules amorphes :

Le silicium amorphe, est apparu en 1976. Sa structure atomique est désordonnée, cristallisée, mais il possède un coefficient d'absorption supérieur à celui du silicium cristallin. Cependant, ce qu'il gagne en pouvoir d'absorption, il le perd en mobilité des charges électriques (rendement de conversion faible). • Coût de production bien plus bas. • Rendement de seulement 5 % par module et de 14 % au laboratoire. • Fonctionne sous très faible éclaircissement.



Figure (II.7) : Cellules amorphes

IV. Circuit équivalent et modèle mathématique :

Une cellule photovoltaïque peut être représentée par un générateur de courant I_{ph} monté en parallèle avec une diode et deux résistances parasites qui sont également introduites.

Ces résistances ont une influence sur la caractéristique $I = f(V)$ de la cellule, à savoir :

- La résistance série R_s qui est la résistance interne de la cellule, elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles ;

- La résistance shunt R_{sh} qui est due à un courant de fuite au niveau de la jonction ; elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée

Selon la loi de Kirchhoff, le modèle mathématique d'une cellule PV idéale est donné par l'expression suivante

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_{sh}$$

Où :

$$I_{ph} = [I_{cc} + K_i(T_{mod} - T_r)] \frac{G}{G_0}$$

$$I_d = I_s (e^{\frac{V_d}{V_{th}}} - 1)$$

$$I_{sh} = \frac{V_d}{R_{sh}}$$

Avec :

$$T_{mod} = T_c + T_{ref} + G \left(\frac{NOCT-20}{800} \right)$$

$$I_s = I_{or} \left(\frac{T_{mod}}{T_r} \right)^3 e^{\frac{qE_g}{A.k} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T_{mod}} \right)}$$

$$V_d = V_{pv} + R_s I_{pv}$$

$$V_{th} = \frac{A.k.T_{mod}}{q}$$

Nous avons ainsi l'expression de I_{pv} qui sera égale à :

$$I_{pv} = [I_{cc} + K_i(T_{mod} - T_r)] \frac{G}{G_0} - I_s \left(e^{\frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{V_{th}}} - 1 \right) - \frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_{sh}}$$

Chapitre III :

Le système photovoltaïque

I. Introduction :

Besoins en termes d'électricité. Ceci peut s'appliquer particulièrement aux pays où il y a de Le cout élevé de l'extension du réseau électrique vers les clients isolés a fait que de nombreuses communautés, propriétés et ménages du monde entier s'appuient désormais sur des systèmes utilisant le diesel, l'essence ou même les énergies renouvelables pour subvenir a leurs grandes zones reculées et des terrains ou l'implantation de lignes électriques est très difficile. Les systèmes photovoltaïques autonomes offrent une option très intéressante dans ce domaine et peuvent aussi servir de complément aux technologies plus anciennes (par exemple le diesel). Ils sont largement utilisés dans des petites installations, grandes installations. Sont de plus en plus utilisés

Il existe deux types d'installations PV qui s'appuient sur un générateur photovoltaïque qui convertit l'irradiation solaire incidente en puissance électrique :

- a. système photovoltaïque connecté au réseau
- b. système photovoltaïque autonome (isolé)

Notre chapitre traite le système photovoltaïque autonome, de leur composants (module, batteries, régulateurs de charge, onduleurs) le câblage et leurs avantages et inconvénients des système PV.

II. Système photovoltaïque :

Les systèmes autonomes ou « stand-alone » ne sont pas raccordées au réseau électrique public. L'énergie solaire est stockée provisoirement dans des batteries. En cas de besoin d'Electricité peut être utilisée directement avec des appareils électriques en courant continu. Ou transformée en courant alternatif par un onduleur puis injectée dans une installation à courant alternatif (couplage AC). Des appareils usuels à courant alternatif (réfrigérateur, téléviseur, pompe, etc.) peuvent être ainsi alimentés. En Algérie, les installations en site isolé sont surtout utilisées pour les chalets de montagne ou les maisons difficilement accessibles. Les systèmes en site isolé permettent également d'alimenter en

électricité les maisons situées dans régions éloignées de tout réseau. Dans les pays émergents, ces installations sont souvent le seul moyen d'alimenter en électricité des villages isolés. La demande est immense : dans le monde, il existe encore environ deux milliards des personnes sans électricité et sans tout réseau électrique public.

Comme on le remarque sur la (figure. III. 1) qui représente l'exemple d'un système PV autonome, un système de stockage est associé au générateur PV pour assurer l'alimentation à chaque instant et pendant plusieurs jours malgré l'intermittence de la production

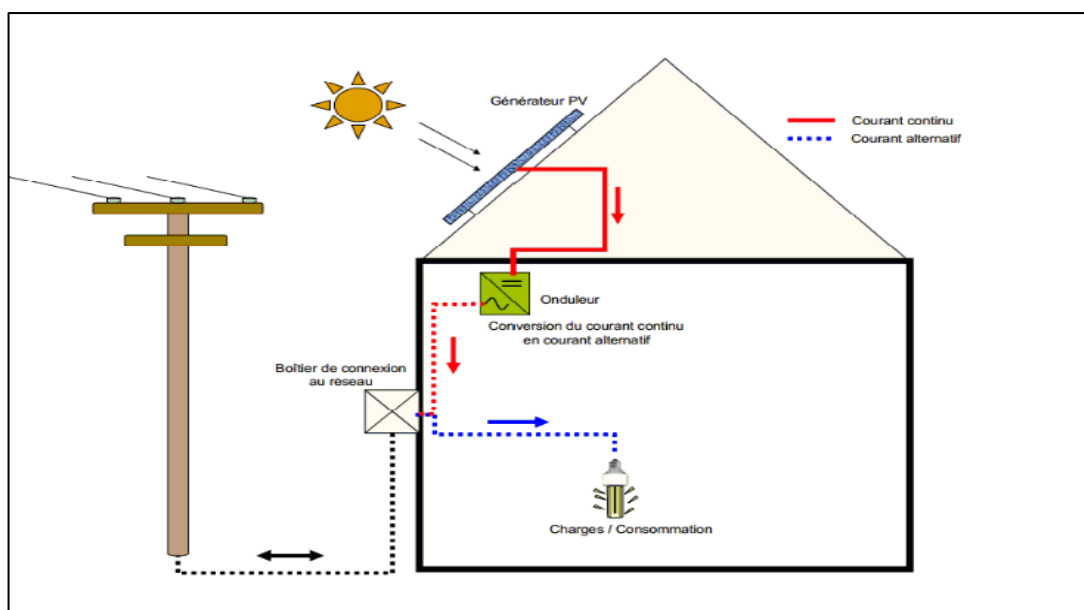


Figure (III.1) : Structure d'un système autonome

III. Composante de système PV :

Un système PV est un ensemble complet d'équipement permettant de transformer la lumière du soleil en électricité et l'utiliser pour alimenter des équipements tels que des lampes, des petits appareils ...

En général les installations photovoltaïques comprennent cinq éléments essentiels et qui sont : générateur, onduleur, régulateur, batterie, stockage.

(Voir la **Figure (III. 2)**)

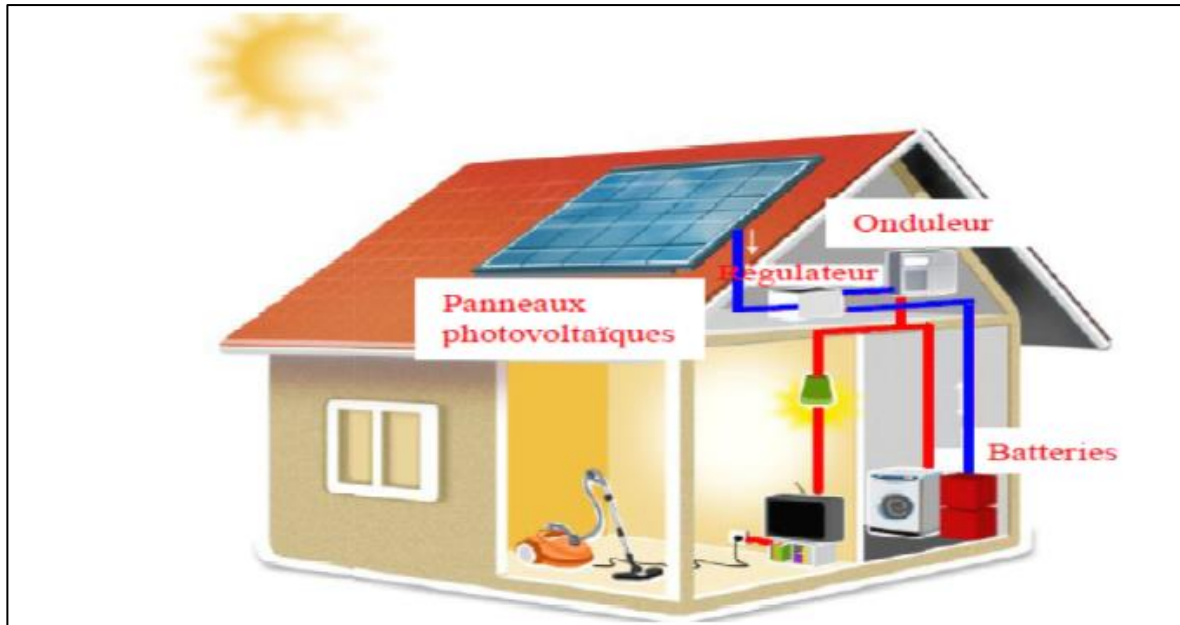


Figure (III.2) : Les différents composants d'un système photovoltaïque autonome.

3.1. Générateur :

C'est le champ photovoltaïque

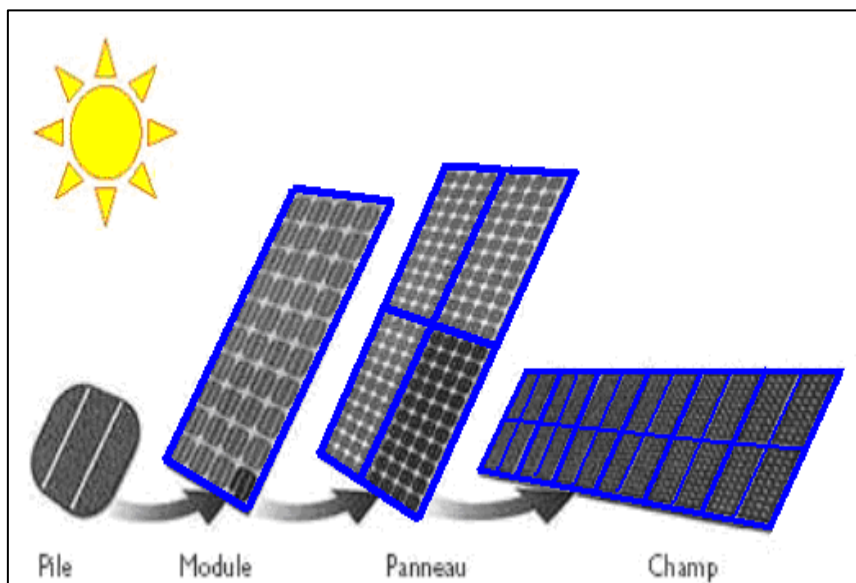


Figure (III.3) : De la cellule au champ photovoltaïque.

Le panneau photovoltaïque se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec une orientation et un angle d'inclinaison spécifique.



Figure (III.4) : Exemple d'un panneau solaire.

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

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

3.2. Batteries :

Les batteries Utilisé pour le stockage d'énergie

Les batteries solaires sont adaptées au cyclage quotidien et à la charge lente par panneaux solaires. Leur durée de vie est considérablement augmentée si la profondeur de décharge quotidienne est inférieure à 30% de la capacité totale pour les batteries plomb et jusqu'à 70% pour les batteries lithium.

Type de batterie (décharge de 30% / temp. 25°C)	Nombre de cycles cycle = 1 x (décharge + charge)	Durée de vie
Batterie AGM	1500 cycles (600 cycles à 50%)	≈ 4 ans
Batterie AGM Plomb-Carbone	1500 cycles (1000 cycles à 50%)	≈ 4 ans
Batterie GEL	1800 cycles (750 cycles à 50%)	≈ 5 ans
Batterie GEL Plomb-Carbone	2500 cycles (1750 cycles à 50%)	≈ 7 ans
Batterie OPzV / OPzS	5000 cycles (3000 cycles à 50%)	≈ 13 ans
Batterie Lithium	6000 cycles (5000 cycles à 50%)	≈ 15 ans

Tableau (III.1) : La différence entre les batteries PV

3.3. Onduleur :

Un onduleur est un appareil électrique permettant de transformer la tension / courant continue issue des modules photovoltaïques ou des batteries en tension / courant alternatif .il dit autonome s'il assure de lui-même sa Fréquence et sa forme d'onde

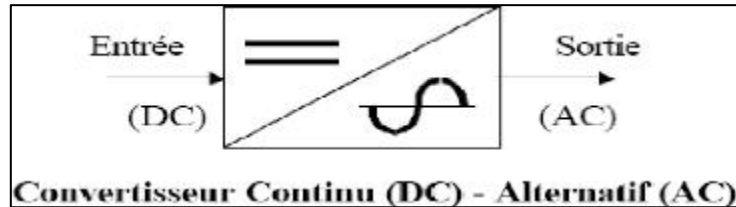


Figure (III.5) : Symbole d'onduleur

Les principales caractéristiques des onduleurs sont

- Puissance nominale.
- Puissance de point ou surcharge.
- Consommation à vide ou
- Tension d'entrée et de sortie.
- Rendement et la durée de vie.

3.4. Régulateur :

Le régulateur est l'élément central d'un système photovoltaïque autonome. Il se place entre les panneaux et les batteries. Son objectif est de protéger la batterie contre les surcharges et les décharges profondes pour lui assurer une meilleure durée de vie, pour que l'application autonome le soit pendant longtemps.



Figure (III.6) : Régulateur autonome

3.5. La charge :

La charge et l'équipement électrique alimenté par le système, pouvant être de type continu des équipements de télécommunication, nécessite un onduleur.

➤ **Les lampes :**

Représentent les principaux récepteurs des systèmes autonomes. Le type plus utilisé est lampe fluorescente qui présente un des rendements les plus élevés. Les autres sources de lumière comme les lampes à incandescence et à halogène seront réservées aux courtes durées d'utilisation.

➤ **Réfrigération :**

Les réfrigérateurs pour installations autonomes utilisent des compresseurs fonctionnant avec un moteur DC et une armoire à isolation renforcée.

➤ **Ventilation :**

Pour la ventilation de petits espaces, il existe une large gamme de ventilateur DC utilisés en électronique. Certains sont même déjà montés avec des cellules solaires dans une bouche de ventilation pour caravane ou bateau.

➤ **Le pompage de l'eau :**

Le pompage de l'eau est une des priorités du solaire dans les régions isolées du sud.

Pour les utilisations au nord, les besoins les plus courants sont la mise en pression de l'eau d'une habitation.

➤ **Ordinateurs :**

La plupart des ordinateurs portables doivent être rechargés à des tensions de 15 à 20V, ce qui demande un convertisseur DC/DC adapté.

➤ **L'imprimante :**

Les modèles qui consomment le moins d'énergie sont des modèles à jet d'encre (12 W à 150 W), les modèles à impact consomment en général plus de 100W et les types à laser de 300 à 1500 W.

3.6. Câblage :

Toute installation solaire photovoltaïque comporte des câbles permettant le passage de l'électricité du panneau à la batterie, puis aux charges. Généralement, les câbles recommandés côté cc sont en cuivre souple, le cuivre présentant le meilleur rapport prix / conductivité et la caractéristique multibrin permet d'assurer des connexions de qualité optimale donc de minimiser les pertes d'énergie par chute de tension.

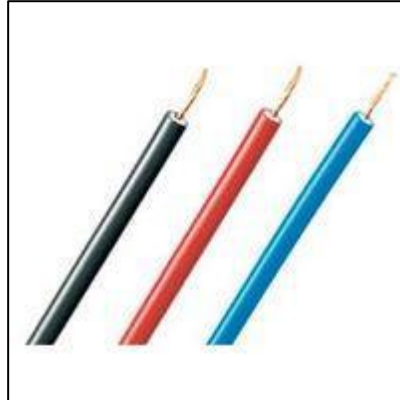


Figure (III.7) : Exemple de câblage

IV. Avantage et inconvénients du système PV :

Avantage	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Technologie sûre et sans risque. • Énergie propre, non-polluante. • Pas de combustion • Des systèmes fiables et stables. 	<ul style="list-style-type: none"> • Le rendement des cellules PV reste assez faible. • Le coût d'investissement est relativement élevé. • Il n'y a aucune production d'électricité le soir et la nuit

Tableau 2 : Des avantage et inconvénients

CONCLUSION GENERALE :

Dans notre travail nous avons étudié l'énergie solaire photovoltaïque et le système photovoltaïque autonome d'une façon générale.

Par conséquent, en raison de l'effet photovoltaïque, l'énergie solaire est convertie en énergie électrique. En effet, le silicium contenu dans les semi-conducteurs nous permet d'utiliser la lumière comme source d'électricité grâce aux cellules photovoltaïques, et les panneaux solaires composés d'un grand nombre de ces cellules nous permettent d'utiliser l'effet photovoltaïque dans notre vie quotidienne. Même si cette source est très abondante, nous avons vu que l'énergie solaire photovoltaïque ne peut pas être utilisée comme source d'énergie principale en raison du faible rendement des batteries. Néanmoins, certains domaines d'application semblent plus adaptés à la production d'électricité photovoltaïque, comme l'espace, les lieux isolés, les télécommunications et les « petits » produits électroniques, qui nécessitent très peu d'énergie.

Si, d'une part, les coûts de production sont réduits, car seules quelques personnes peuvent accéder à ces systèmes, le photovoltaïque peut devenir la source d'énergie du futur; d'autre part, si l'efficacité des batteries augmente.

En raison de ses faibles émissions de dioxyde de carbone, l'électricité produite respecte généralement l'environnement. Ensuite, nous verrons une réduction de l'effet de serre. Le photovoltaïque deviendra propre, économique et surtout rentable. On peut alors se demander dans quelle mesure les énergies renouvelables peuvent remplacer les énergies fossiles.

Bibliographie :

Livre :

- Installation solaires photovoltaïquessylvain brigand ..

Mémoire :

Mémoire de Fin d'Etude de MASTER ACADEMIQUE, thème : Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Site internet :

- <https://www.ef4.be/fr/pv/composants-dun-systeme/effet-photovoltaque.html>
- <https://fr.wikipedia.org>
- <https://youmatter.world/fr/definition/energies-renouvelables-definition/>
- <https://www.electronique-mixte.fr/wp-content/uploads/2018/07/Batterie-panneaux-solaire-6.pdf>
- <https://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/la-cellule-photovoltaique-comment-ca-marche>
- <https://www.jade-technologie.com/panneau-solaire-mono-cristallin/>