

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Electrotechnique  
Option : Réseaux électriques

Réf:.....

Mémoire de Fin d'Etudes  
En vue de l'obtention du diplôme :

**MASTER**

*Thème*

*Application énergétique renouvelable dans la  
wilaya d'El-Oued*

Présenté par :  
**Bekri Salah**

Soutenu le : 31 Mai 2016

Devant le jury composé de :

Mr. MOUSSI Ammar  
Mr. BAHRI Mebarek  
Mr. SAADI Ramzi

Pr  
Pr  
MAB

Président  
Encadreur  
Examineur

**Année universitaire : 2015 / 2016**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



**Université Mohamed Khider Biskra**  
**Faculté des Sciences et de la Technologie**  
**Département de Génie Electrique**  
**Filière : Electrotechnique**  
**Option : Réseaux électriques**

**Mémoire de Fin d'Etudes**  
**En vue de l'obtention du diplôme :**

**MASTER**

***Thème***

***Application énergétique renouvelable dans la  
wilaya d'El-Oued***

**Présenté par :**

**BEKRI Salah**

**Avis favorable de l'encadreur :**

**Pr. BAHRI Mebarek**

**signature**

**Avis favorable du Président du Jury**

**Pr. MOUSSI Ammar**

**signature**

**Cachet et signature**



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Electrotechnique  
Option : Réseaux électriques

## *Thème :*

# *Application énergétique renouvelable dans la wilaya d'El-Oued*

**Proposé par : BEKRI Salah**

**Dirigé par : BAHRI Mebarek**

### **ملخص**

عملية إستبدال مصادر الطاقة المتجددة (الشمس، الرياح...) لإنتاج الكهرباء بدلا عن الوقود الأحفوري والغاز الطبيعي يعتبر من النظرة الأولى اقتصادا في الطاقة الغير المتجددة كونه مصدرا مجانيا. فمع إمتلاك الجزائر للموارد الطاقوية الغير متجددة إلا أن موقعها الجغرافي جعلها تتمتع بموارد مستدامة كطاقة الشمس فكان استغلالها من باب أولى خاصة في المناطق المعزولة للحصول على إقتصاد يجعل منها تحقق نجاحات في هذا المجال. ولأن الطاقة الكهروضوئية ناتجة عن الشمس كان الهدف من هذا العمل تطبيق هذه الطاقة على منزل في منطقة الوادي مع عرض الخطوات وطريقة الحساب وذكر الأجهزة الأساسية في هذا النظام من ألواح شمسية وبطاريات ومحول للتيار ومنظم الشحن.

الكلمات المفتاحية:

النظام الضوئية، الألواح الشمسية، البطاريات، منظم الشحن، محول التيار

### **Résumé**

Le processus de transformation des sources de l'énergie de ressources renouvelables (le soleil, le vent...) pour remplacer les ressources classiques pour produire l'électricité est considéré comme une réussite économique du fait des avantages qu'elle représente. En Algérie il y a des ressources d'énergie renouvelable, aussi sa localisation géographique est bonne. Pour cette raison elle a des ressources permanentes comme le soleil spécialement dans les régions isolées afin d'obtenir le meilleur de cette énergie économique. Le but de ce travail est d'appliquer cette énergie à une habitation isolée dans la wilaya d'El Oued et de montrer les procédures, le mode de comptage et les dispositifs principaux dans ce programme comme les batteries, le transformateur de courant, etc.

Les mots des clés : le système photovoltaïque, les Panneaux solaires, les batteries, régulateur de charge, convertisseur de courant

*Je dédie ce modeste travail à toute ma famille*

*À mon très cher mère À ma très chère Père*

*À mon très cher Frère NourImanne*

*À mon très cher famille Gaboussa*

*À ma très chère grand-mère paternelle et maternelle*

*À tous mes chers frères et sœurs qui je leur souhaite le Bonheur.*

*À tous les amis, ( Moussa, Bilale, Okba, Aissa, Lakhder, Elhachmi  
, Toufik, Hamza, Mihdi, Mohamed. R., tedjani, Mohamed  
G, Elkhader, Saber)*

*Aux amis de 2<sup>ème</sup> master électrotechnique de la*

*Promotion 2015-2016*

*Bekri\_Salah.*

## Remerciements

*Nous tenons à remercier tout premièrement Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donné durant toutes ces longues années.*

*Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur Mr BAHRI MEBARÈK pour avoir d'abord proposée ce thème, pour suivi continué tout le long de la réalisation de ce mémoire et qui n'a pas cessé de nous donner ses conseils.*

*Nous tenons à remercier vivement toutes personnes qui nous ont aidés à élaborer et réaliser ce mémoire, ainsi à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à accomplir ce travail.*

*Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants de département électrotechnique qui ont contribué à notre formation par ailleurs, Nos remerciements à tous les membres du jury (MOUSSI Ammar, SAADI Ramzi), qui ont accepté de juger notre travail.*

*En fin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues pour le soutien moral et matériel...*

### Introduction générale

L'utilisation des sources d'énergie conventionnelles (charbon, pétrole, gaz naturel ou uranium) est l'une des fondements principaux des sociétés industrielles. Cependant, le déploiement de ces énergies fait apparaître deux problèmes insurmontables :

- 1) Elles produisent divers types de pollution atmosphérique aussi bien à l'échelle locale que planétaire. Si nous n'y prenons pas garde, la pollution atmosphérique, le changement climatique ou les déchets nucléaires peuvent remettre en cause les conditions même de la vie terre.
- 2) La limitation des ressources qui doivent être extraites du sous-sol de la terre et vont inexorablement s'épuiser d'ici quelques décennies (un siècle pour le charbon). Donc, elles ne peuvent pas donc garantir la sécurité d'approvisionnement énergétique à long terme.

De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir de sources fossiles. Ce sont les activités humaines, principalement par l'exploitation massive de combustibles fossiles et la modification de la couverture des terres, qui entraînent une augmentation des concentrations atmosphériques en gaz à effet de serre, qui modifient les bilans radiatifs et tendent à réchauffer l'atmosphère.

Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures.

Par contre, les sources d'énergie renouvelables (solaire, géothermique, biomasse, éolienne, etc) ont recours à des flux naturels qui traversent de façon plus ou moins permanente la biosphère. Comme elles n'utilisent qu'une infime partie de ces flux, les énergies renouvelables sont considérées comme inoffensives pour l'environnement aussi bien localement que globalement en plus qu'elles sont durables à l'échelle humain.

Aujourd'hui, les énergies renouvelables deviennent progressivement à part entière, rivalisant avec les énergies fossiles du point de vue coût et performance de production. Cependant, leurs systèmes de conversion en électricité sont encore trop chers et présentent

quelques déficiences importantes en rendement et en fiabilité justifiant le grand nombre de travaux de recherches portant sur la fiabilité de ces sources dont l'énergie solaire fait partie.

Pour exploiter l'énergie solaire, il faut tout d'abord mettre au point des dispositifs permettant la conversion directe de l'énergie lumineuse sous forme électrique avec un rendement compétitif avec les autres formes d'énergie traditionnelles ; dans ce contexte, les cellules photovoltaïques vont jouer un rôle décisif dans la qualité de l'énergie rayonnante convertie en énergie électrique.

Le rayonnement solaire constitue la ressource énergétique la mieux partagée sur la terre et la plus abondante. Une partie de ce rayonnement peut être exploitée pour produire directement de la chaleur (le solaire thermique) ou bien de l'électricité (le solaire photovoltaïque). En fait, la quantité d'énergie libérée par le soleil (captée par la planète terre) pendant une heure pourrait suffire à couvrir les besoins énergétiques mondiaux pendant tout un an.

Dans le travail présenté dans ce mémoire de fin d'études, nous nous intéresserons au dimensionnement d'un système d'alimentation photovoltaïque avec stockage dans des batteries, pour une habitation énergétiquement autonome. Pour cela, ce manuscrit sera organisé en trois chapitres :

Le premier chapitre donnera quelques généralités sur les énergies renouvelables dans le monde et en Algérie en particulier.

Le deuxième chapitre portera sur l'état de l'art de la conversion photovoltaïque du rayonnement solaire.

Dans le but de garantir une bonne qualité d'alimentation de l'habitat sélectionné, et assurer un bon fonctionnement du système d'alimentation photovoltaïque totalement autonome même durant les conditions climatiques défavorables, le troisième chapitre détaillera une méthodologie de dimensionnement précise des éléments constituant le système énergétique retenu.



**I.1 Introduction**

La consommation d'énergie, au cours du dernier siècle, considérablement augmentée à cause de l'industrialisation massive. Les prévisions des besoins en énergie pour les années à venir ne font que confirmer, voire amplifier, cette tendance, notamment compte tenu de l'évolution démographique et du développement de certaines zones géographiques, en Asie en particulier.

D'une part, les gisements des ressources énergétiques traditionnelles, d'origines principalement fossiles, ne peuvent être exploitées que pour quelques décennies, ce qui laisse présager d'une situation de pénurie énergétique au niveau mondial de façon imminente. D'autre part, les déchets des centrales nucléaires posent d'autres problèmes en termes de pollution des déchets radioactifs, du démantèlement prochain des vieilles centrales et du risque industriel.

Pour subvenir aux besoins en énergie de la société actuelle, il est nécessaire de trouver des solutions adaptées et de les diversifier. Actuellement, il y a principalement deux façons possibles d'agir [1].

- La première est de diminuer la consommation des récepteurs d'énergie et augmenter la productivité des centrales énergétiques en améliorant respectivement leur efficacité.
- Une deuxième méthode, nous disposons de ressources en énergie renouvelable inépuisables, que nous sommes en mesure d'exploiter de plus en plus facilement et proprement. Par exemple, le bois, la biomasse, l'énergie hydraulique, l'énergie marémotrice, l'énergie éolienne, l'énergie solaire.

Dans ce premier chapitre nous commencerons par définir les énergies renouvelables, leur importances, leurs avantages et inconvénients, leurs capacités de compenser les énergies non renouvelables (charbon, gaz, pétrole, nucléaire, etc....).

**I.2 Répartition des sources primaires d'énergie dans le monde**

Aujourd'hui plus de 85% de l'énergie produite est obtenue à partir des matières fossiles comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou de l'énergie nucléaire. La figure 1.1 montre la répartition en termes d'énergie primaire dans le monde pour toutes les ressources actuelles.

Les formes de production d'énergie non renouvelables engendrent une forte pollution environnementale par rejet des gaz à effet de serre qui provoque un changement climatique irréversible ou dans le cas du nucléaire une pollution par radiations de longue durée qui pose le problème, aujourd'hui on résolu, du stockage des déchets radioactifs [2].

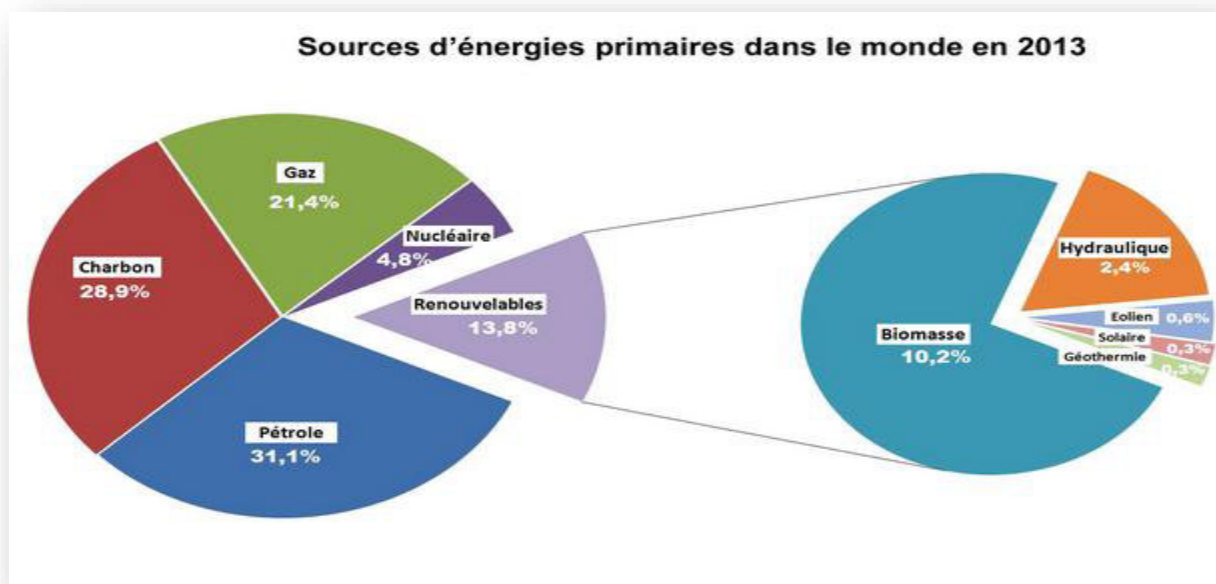


Figure1.1 : Répartition des sources primaires d'énergie dans le monde (2013) [2]

### I.3 Energies renouvelables

#### I.3.1. Qu'est-ce qu'une énergie ?

L'énergie est une grandeur caractérisant un système et exprimant sa capacité à modifier l'état d'autres systèmes. L'énergie se manifeste sous de nombreuses formes (énergie électrique, mécanique, cinétique...). La conservation de l'énergie de l'univers implique que celle-ci n'est ni perdue ni créée. En revanche, si on considère un système contenu dans l'univers, si ce système perd de l'énergie, cette énergie perdue se retrouve dans un ou plusieurs autres systèmes, sous la même forme ou sous d'autres formes.

Cette propriété fondamentale de l'énergie, permet à l'homme de la capter, parfois de la stocker, et de la convertir en une forme plus appropriée à son utilisation. Par exemple, l'énergie cinétique de l'eau est transformée en énergie électrique grâce aux centrales hydrauliques. [3]

#### I.3.2. Définition

On considère comme renouvelable, toute source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable (d'où son nom).

Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués principalement par le Soleil (l'énergie solaire mais aussi hydraulique, éolienne et biomasse...), la Lune (énergie marémotrice, certains courants : énergie hydrolienne...) et la Terre (géothermique profonde...).

Les sources d'énergie renouvelables sont :

- ✓ Le vent : éolienne
- ✓ Le soleil : thermique, photovoltaïque, thermodynamique
- ✓ La chaleur terrestre : géothermie
- ✓ L'eau : hydroélectrique, marémotrice
- ✓ La biodégradation : biomasse, le biocarburant. [3]

### I.3.3. Classement des sources d'énergie

Les différentes sources d'énergie peuvent être classées selon leur capacité calorifique : c'est pourquoi on les convertit en tonnes équivalent pétrole (tep). Par exemple, 1kg de pétrole produit 10000 kilocalories (kca), alors que la même masse de charbon cède 1000 kcals et que 1kg de gaz naturel fournit environ 8000 kcals. La tonne équivalente pétrole (tep) est l'unité permettant de comparer les sources d'énergie au pétrole brut. Par convention, 1 t de pétrole correspond à 1,5 t de charbon ou à 1000 m<sup>3</sup> de gaz naturel. On estime que 1 tep=4500kWh. [3]

### I.3.4. L'énergie renouvelable dans le monde.

Les deux tiers de la consommation de la planète concernaient un peu moins de 20% de la population mondiale. Les Etats-Unis consommaient 1407 (fig. 1.2) [3].

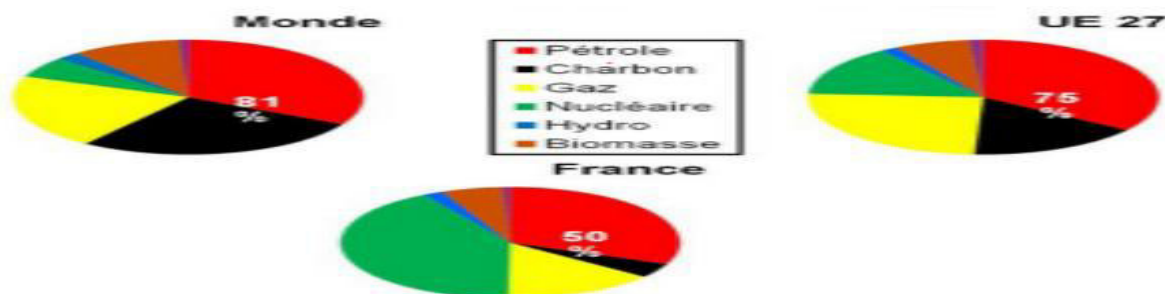


Figure 1.2: Consommation L'énergie des pays développés (2009).[3]

En Europe, l'Allemagne consommait 243 Mtep, la France et la GrandeBretagne152Mtep, l'Italie 122 et l'Espagne 63Mtep, la France utilise 79Mtep par an. La production française annuelle s'élève à 450,6 Téra wattheures (TWh), dont elle en consomme 356,2 TWh. Les Etats-Unis produisant3211 TWh et en consomment 2873,9 TWh ; en seconde position vient le Japon, qui en produit 855,5 TWh et en consomme 796,6 TWh ; ensuite le Canda, dont la production atteint les 515,8 TWh et la consommation, 431,4TWh. En quatrième position se situe l'Allemagne, avec une production de487, 7 TWh et une consommation de 467,2 TWh, l'Algérie produit 30 TWh étend consomme 23 TWh.

Ces statistiques sont représentées sur le tableau (tableau 1.1) [5] :

Pays	Production (TWh)	Consommation (TWh)
Etats-Unis	3211	2873.9
Japon	855.5	796.6
Canada	515.8	431.4
Allemagne	487.7	467.2
France	450.6	356.2
Algérie	30	23

**Tableau 1.1 : La production et la consommation de l'énergie des pays industrialisées (2004) [5].**

D'après certains spécialistes, en 2000, le potentiel annuel d'énergies renouvelables était de 3365 Mtep (mégatonnes équivalent pétrole) pour le monde entier, dont près de 1650 Mtep provenant du bois, 880 Mtep de l'énergie hydraulique, 505 Mtep, des déchets industriels, 200 Mtep en énergie solaire, 70 Mtep en combustibles énergétiques et 60 Mtep en énergie éolienne [6].

### **I.3.5. Les énergies renouvelables en Algérie**

Dans notre pays, les énergies renouvelables n'ont pas connu le développement qui permet leur disponibilité, et qu'impose leur importance pour le développement économique et social.

Trois raisons principales plaident en faveur d'un développement des énergies renouvelables en Algérie :

1- Elles constituent une solution économiquement viable pour fournir des services énergétiques aux populations rurales isolées notamment dans les régions du Grand Sud.

2- Elles permettent un développement durable du fait de leur caractère inépuisable, et de leur impact limité sur l’environnement et

3- La valorisation de ces ressources énergétiques ne peut qu’avoir des retombées positives en matière d’équilibre régional et de création d’emplois.

La loi sur la maîtrise de l’énergie de juillet 1999 affiche la volonté des pouvoirs publics pour une redynamisation de la politique énergétique et fixe un nouveau cadre juridique pour la gestion et l’organisation de la demande d’énergie à tous les niveaux de la chaîne énergétique.

Cette politique énergétique s’articule autour des préoccupations d’utilisation rationnelle de l’énergie, de promotion des énergies renouvelables et de protection de l’environnement, ainsi plusieurs actions sont proposées pour la mettre en place et portent sur l’ensemble de la chaîne allant de la recherche la distribution.

La figure 1.3, représente le bilan des réalisations dans le domaine des énergies renouvelables par wilaya en Algérie [1].

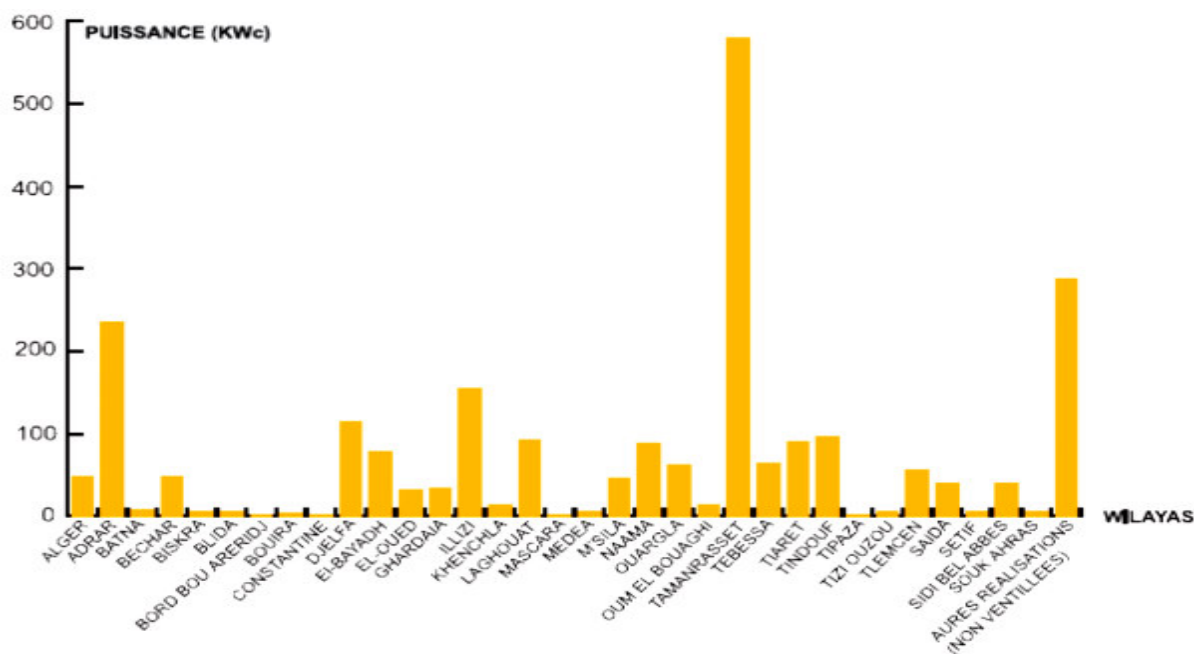


Figure.1.3: Bilan des réalisations par wilaya en Algérie (2007) [1].

## I.4 Principales énergies renouvelables

### I.4.1.Énergies solaire

#### I.4.1.1.Définition

Le soleil est une gigantesque source d'énergie et depuis l'antiquité les hommes ont toujours rêvé d'appriivoiser sa puissance, la terre reçoit du soleil, environ 10000 fois la quantité totale d'énergie consommée par l'ensemble de l'humanité (équivalent à une puissance de 16.1015 kWh/m<sup>2</sup>et par an). En d'autres termes, si on capté 0.01% de cette énergie nous permettrait de nous passer du pétrole, du gaz, du charbon et de l'uranium. [3]

#### A-Energie solaire thermique

Une des façons de profiter directement de l'énergie des photons émis par le soleil est le chauffage direct des capteurs thermiques. Ils se comportent comme une serre où les rayons du soleil cèdent leur énergie à des absorbeurs qui à leur tour réchauffent le fluide circulant dans l'installation de chauffage. La température du fluide peut atteindre jusqu'à 60 à 80°C. Ce système est totalement écologique, très peu cher et la durée de vie des capteurs sont élevée.

Une autre propriété qui rend ce type des capteurs universels est que l'ensoleillement ne doit pas forcément être direct ce qui signifie que, même dans les zones couvertes de nuages (peu denses évidemment) le fonctionnement reste correct, le grand inconvénient est l'impossibilité de transporter l'énergie ainsi captée à grande distance. Cette source est donc utilisation locale (principalement chauffage individuel, piscines).

Une autre application de la technique thermo solaire est la production d'eau douce par distillation qui est très intéressante du point de vue des pays en voie de développement. La technologie thermo solaire plus évoluée utilisant des concentrateurs optiques (jeu de miroirs) permet d'obtenir les températures très élevées du fluide chauffé. Une turbine permet alors de transformer cette énergie en électricité à l'échelle industrielle. Cette technologie est néanmoins très peu utilisée et demande un ensoleillement direct et permanent figures 1.4 et 1.5. [3]

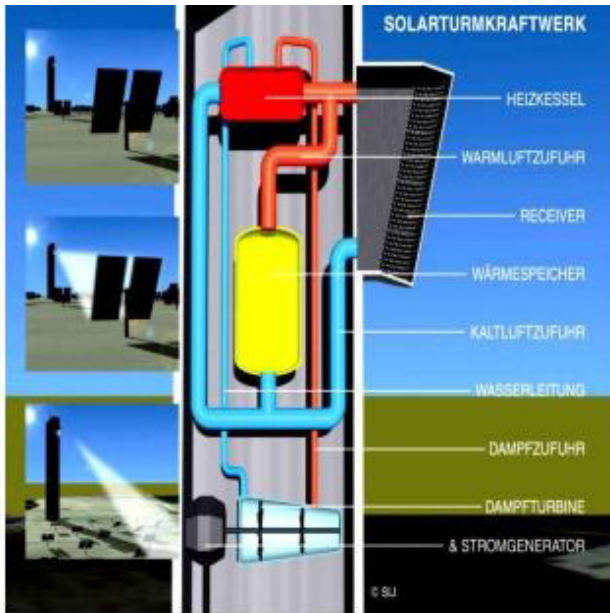


Figure 1.4 : Solaire thermodynamique [3]

Figure 1.5 : Tour solaire [3]

**B-Photovoltaïque**

L'énergie photovoltaïque est obtenue directement à partir du rayonnement du soleil. Les panneaux photovoltaïques composés des cellules photovoltaïques à base de silicium ont la capacité de transformer les rayonnements en énergie électrique. L'énergie sous forme de courant continu directement utilisable. [3]

La figure 1.6.a et 1.6.b représentent des exemples sur les différents panneaux solaires.



(a)



(b)

Figure 1.6.a : Champ solaire [3]

Figure 1.6.b : Panneaux solaires [3]

### I.4.1.2.Énergie solaire en Algérie

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus importants du monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 kWh/m<sup>2</sup>/an au Nord et 2263 kWh/m<sup>2</sup>/an au sud du pays [5] (Tableau 1.2).

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	4	86
Durée moyenne d'ensoleillement (heures/an)	2650	3000	3500
Énergie moyenne reçue (KWh/m <sup>2</sup> /an)	1700	1900	2650

**Tableau 1.2 :** Potentiel solaire en Algérie [5].

### I.4.2.Énergie géothermique

#### I.4.2.1.Définition

Le principe consiste à extraire l'énergie contenue dans le sol. Partout, la température croît depuis la surface vers le centre de la Terre. Selon les régions géographiques, l'augmentation de la température avec la profondeur est plus ou moins forte, et varie de 3 °C par 100 m en moyenne jusqu'à 15°C ou même 30 °C. Cette chaleur est produite pour l'essentiel par la radioactivité naturelle des roches constitutives de la croûte terrestre. Elle provient également, pour une faible part, des échanges thermiques avec les zones internes de la Terre dont les températures s'étagent de 1000 °C à 4300 °C. Cependant, l'extraction de cette chaleur n'est possible que lorsque les formations géologiques constituant le sous-sol sont poreuses ou perméables et contiennent des aquifères.

Quatre types de géothermie existent selon la température de gisement :

- ✓ La haute (>180°C) et la moyenne (>100°C), pour la production de l'énergie électrique.
- ✓ La basse (>30°C), pour le chauffage urbain.



- ✓ La géothermie très basse énergie nécessite l'utilisation des pompes à chaleur et donc une installation particulière, [2], [7]

La figure 1.7, montre deux exemples sur l'utilisation de la géothermie : (a) une centrale géothermoélectrique, (b) le chauffage urbain.

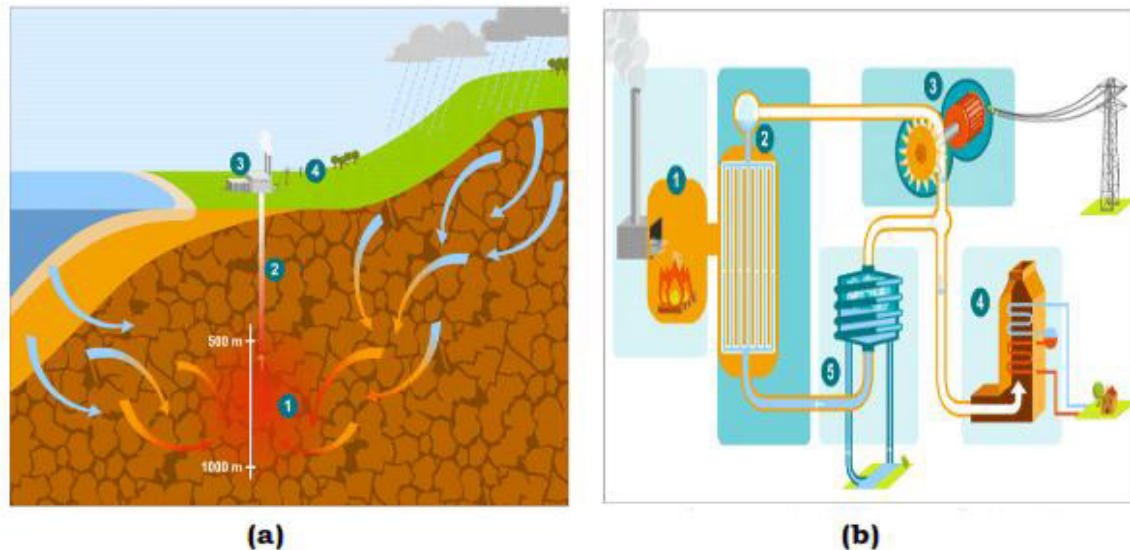


Figure 1.7 : Deux exemples sur l'utilisation de la géothermie [2], [7].

#### I.4.2.2.Énergie géothermique en Algérie

Les calcaires jurassiques du Nord algérien qui constituent d'importants réservoirs géothermiques, donnent naissance à plus de 200 sources thermales localisées principalement dans les régions du Nord-Est et Nord-Ouest du pays.

Ces sources se trouvent à des températures souvent supérieures  $40^{\circ}\text{C}$ , la plus chaude étant celle de Hammam Meskhoutine ( $96^{\circ}\text{C}$ ).

Ces émergences naturelles qui sont généralement les fuites de réservoirs existants, débitent à elles seules plus de 2 m<sup>3</sup>/s d'eau chaude. Ceci ne représente qu'une infime partie des possibilités de production des réservoirs.

Plus au Sud, la formation du continental intercalaire, constitue un vaste réservoir géothermique qui s'étend sur plusieurs milliers de km<sup>2</sup>. Ce réservoir, appelé communément « nappe albienne » est exploité à travers des forages à plus de 4 m<sup>3</sup>/s. l'eau de cette nappe se trouve à une température moyenne de  $57^{\circ}\text{C}$ . Si on associe le débit d'exploitation de la nappe albienne au débit total des sources thermales, cela représenterait, en termes de puissance, plus de 700 MW. [3]

### I.4.3. Biomasse

#### I.4.3.1. Définition

La biomasse est le terme utilisé pour décrire l'ensemble des êtres vivants d'un écosystème. Il désigne l'ensemble de la matière vivante, il s'applique aux produits organiques végétaux et animaux utilisés à des fins énergétiques ou agronomiques. La biomasse contient du carbone, après combustion on obtient de l'énergie sous forme de chaleur ou d'électricité. C'est la source la plus ancienne d'énergie renouvelable connue des hommes (fig. 1.8).

Il y a trois principales catégories d'énergies relatives à la biomasse :

- Bio fuel : la combustion naturelle du bois, de la paille ou des récoltes avec un fort pouvoir calorifique.
- Incinération des déchets : soit des déchets domestiques, ou des déchets commerciaux, ou des déjections animales, c'est une méthode d'éliminer les déchets. Elle est utilisée pour le chauffage ou pour la production d'énergie électrique.

Deux tonnes de déchets ménagers peuvent contenir autant d'énergie qu'une tonne de charbon

- Biogaz : la dégradation des déchets émet de grandes quantités de méthane qui est un gaz combustible, additionnées à une faible quantité d'oxygène, peut agir en tant que source d'énergie [3]



Figure 1.8 : Exemple des sources d'énergie biomasse [3].

### I.4.3.2. La Biomasse en Algérie

L'Algérie se subdivise en deux parties :

- ✚ les régions selvatiques qui occupent 25.000.000 hectares environ, soit un peu plus de 10% de la superficie totale du pays.
- ✚ les régions sahariennes arides couvrant presque 90% du territoire.

Dans le nord de l'Algérie, qui représente 10% de la surface du pays, soit 2500 000 hectares, la forêt couvre 1 800 000 hectares et les formations forestières dégradées en maquis 1 900 000 hectares.

Le pin maritime et l'eucalyptus sont des plantes particulièrement intéressantes pour l'usage énergétique : actuellement elles n'occupent que 5% de la forêt algérienne. [3]

### I.4.4. Hydroélectrique

#### I.4.4.1. Définition

L'énergie hydroélectrique est la production d'énergie utilisable sous forme d'électricité à partir de l'eau. Cette électricité est produite par un générateur, une fois que l'eau en mouvement est passée à travers une turbine, la figure 1.9, présente un schéma de principe d'une centrale hydraulique. Etant donné que les systèmes naturels comme les rivières contiennent déjà une Grande partie de cet élément, elles peuvent être utilisées. Dans le cas où le mouvement naturel de l'eau ne serait pas possible ou insuffisant pour la production d'énergie, la construction d'un barrage devient une nécessité, [8]

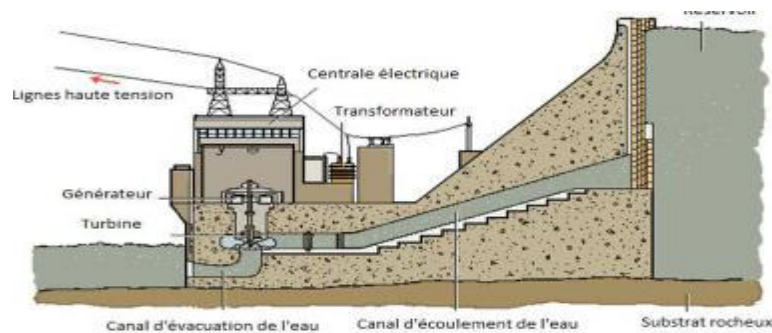


Figure 1.9 : Exemple du Principe d'une centrale hydraulique [8].

### I.4.4.2.Énergie Hydraulique en Algérie

La part de capacité hydraulique dans le parc de production électrique total est de 5% ; soit 286 MW. Cette faible puissance est due au nombre insuffisant des sites hydrauliques et à la non-exploitation des sites hydrauliques existants (fig. 1.10) [9].

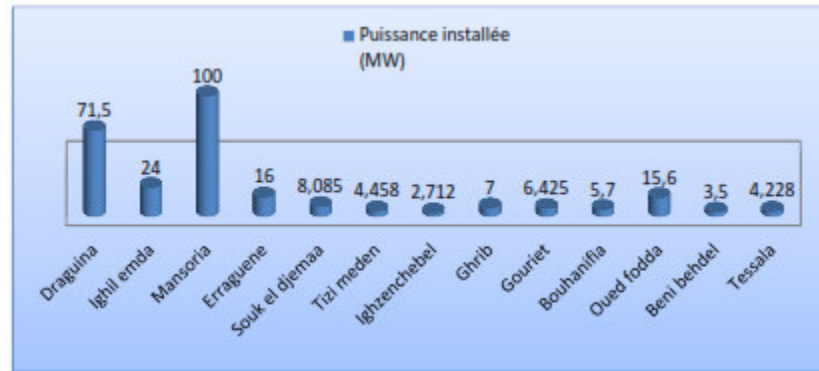


Figure 110 : Parc de production hydroélectrique en Algérie (2007) [9].

### I.4.5.Énergie des vagues (marémotrice)

#### I.4.5.1.Définition

Aussi classée dans l'énergie hydraulique, le développement de nouvelles technologies commence à exploiter le potentiel important de l'océan. Les vagues sont une source d'énergie renouvelable et gratuite, créé par le vent quand il souffle sur la surface de la mer. Plus les distances impliquées sont grandes plus les vagues sont puissantes. L'énergie est stockée de cette manière jusqu'à ce qu'elle atteigne les zones peu profondes et les plages, où elle est libérée, parfois avec des effets destructifs. L'océan occupant plus que les 2/3 de la surface de la Terre, il est évident que le potentiel est immense (fig. 1.11).



Figure 1.11: Usine marémotrice de Rance-France 240MW [3].

La production d'électricité à partir des vagues et des marées est aujourd'hui une option. Environ deux fois par jour lors des marées montantes et descendantes, l'eau s'écoule dans les estuaires et sur les côtes. Cette eau peut actionner des turbines, afin de produire de l'électricité. Aujourd'hui la France et le Canada possèdent les plus grosses installations marémotrices,

La figure 1.11, présente une usine marémotrice de la Rance, 240MW.[3]

## **I.4.6 Energie éolienne**

### **I.4.6.1 Définition**

Eolienne est un dispositif qui transforme une partie de l'énergie cinétique du vent (fluide en mouvement) en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'une génératrice ou pour le pompage d'eau. L'énergie éolienne est une énergie "renouvelable" non dégradée, géographiquement diffuse, et surtout en corrélation saisonnière (l'énergie électrique est largement plus demandée en hiver et c'est souvent à cette période que la moyenne des vitesses des vents est la plus élevée). De plus, c'est une énergie qui ne produit aucun rejet atmosphérique ni déchet radioactif. Elle est toutefois aléatoire dans le temps et son captage reste assez complexe, nécessitant des mâts et des pales de grandes dimensions (jusqu'à 60 m pour des éoliennes de plusieurs mégawatts) dans des zones géographiquement dégagées pour éviter les phénomènes de turbulences.

L'énergie éolienne depuis une dizaine d'années maintient une croissance de 30% par an, En Europe, principalement sous l'impulsion allemande, scandinave et espagnole, on comptait en 2000 environ 15000 MW de puissance installée. Ce chiffre a presque doublé en 2003, soit environ 27000MW pour 40000MW de puissance éolienne installée dans le monde.

Entrevision, pour l'année 2010, on peut espérer une puissance éolienne installée en Europe de l'ordre 70000 MW soit l'équivalent d'environ de 70tranches nucléaires.

La figure 1.12, montre les trois utilisations de l'énergie éolienne :(a) et (b) la production de l'électricité, (c) un moulin à vent, (d) pompage de l'eau. [3]

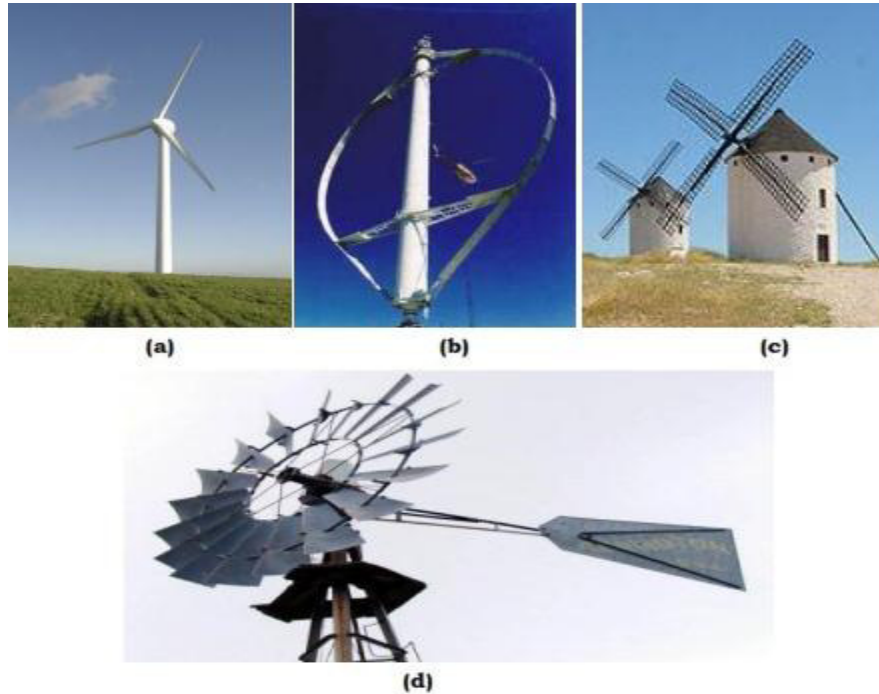


Figure 1.12: Les trois utilisations de l'énergie éolienne [3].

#### I.4.6.2.Énergie éolienne en Algérie

La ressource éolienne en Algérie varie beaucoup d'un endroit à un autre. Ceci est principalement dans une topographie et un climat très diversifiés. En effet, notre vaste pays, se subdivise en deux grandes zones géographiques distinctes. Le Nord méditerranéen est caractérisé par un littoral de 1200 km et un relief montagneux, représenté par les deux chaînes de l'Atlas tellien et l'Atlas saharien. Entre elles, s'intercalent des plaines et les hauts plateaux de climat continental. Le Sud, quand à lui, se caractérise par un climat saharien. Le Sud est caractérisé par des vitesses plus élevées que le Nord, plus particulièrement dans le Sud-ouest, avec des vitesses supérieures à 4 m/s et qui dépassent la valeur de 6 m/s dans la région d'Adrar.

Concernant le Nord, on remarque globalement que la vitesse moyenne est peu élevée. On note cependant, l'existence de microclimats sur les sites côtiers d'Oran, Bejaïa et Annaba, sur les hauts plateaux de Tiaret et Kheiter ainsi que dans la région délimitée par Bejaïa au Nord et Biskra au Sud. [3]

**I.5 Conclusion**

Au rythme de la consommation actuelle, dans les pays industrialisés, un habitant utilise près de 5 tonnes de pétrole par an, selon de nombreux experts, les réserves de pétrole seraient épuisées dans une cinquantaine d'années et un peu plus par le gaz ; celles du charbon, dans deux cents ans. Selon le conseil mondial de l'énergie, les sources d'énergies renouvelables ne pourront couvrir au mieux que 30% des besoins mondiaux vers 2020 (même si certains estiment que ce chiffre pourrait être de 60% vers 2100).

Dans ce chapitre nous avons passé en revue les différents types d'énergies renouvelables ainsi que leurs importances, leurs avantages et inconvénients.

Dans le chapitre prochain nous étudierons plus en détails l'énergie solaire photovoltaïque.

## **II.1 Introduction**

L'utilisation des cellules solaires comme source d'énergie électrique a fait apparaître le besoin d'étudier ces systèmes afin de les exploiter mieux.

Dans ce chapitre, nous allons donner l'essentiel sur la constitution et les caractéristiques électriques des systèmes photovoltaïques.

## **II.2 Historique**

Quelques dates importantes dans l'énergie photovoltaïque

1839 : Le physicien français Edmond Becquerel découvre l'effet photovoltaïque.

1875 : Werner Von Siemens expose devant l'académie des sciences de Berlin un article sur L'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs.

1954 : Trois chercheurs américains Chapin, Pearson et Prince fabriquent une cellule Photovoltaïque.

1958 : Une cellule avec un rendement de 9 % ; les premiers satellites alimentés par des cellules Solaires sont envoyés dans l'espace.

1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite l'Université de Delaware.

1983 : La première voiture alimentée en énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 Km en Australie. [10]

## **II.3 Cellule solaire**

La conversion photovoltaïque est la transformation de l'énergie lumineuse en énergie électrique. Les dispositifs capables d'effectuer cette transformation sont appelés cellules solaires ou photovoltaïques.

Le principe d'une cellule solaire est basé sur le phénomène physique appelé « effet photovoltaïque ». Celui-ci consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 V et 0.7 V en fonction



du matériau utilisé, de sa disposition, de la température de la cellule ainsi que du vieillissement de la cellule. [3]

### II.3.1. Structure et Principe de fonctionnement

La Figure.2.1 illustre la structure d'une cellule PV typique. On voit clairement qu'elle est réalisée à partir de deux couches de semi-conducteurs : une dopée P (dopée au bore) et l'autre couche dopée N (dopée au phosphore) créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule. [11]

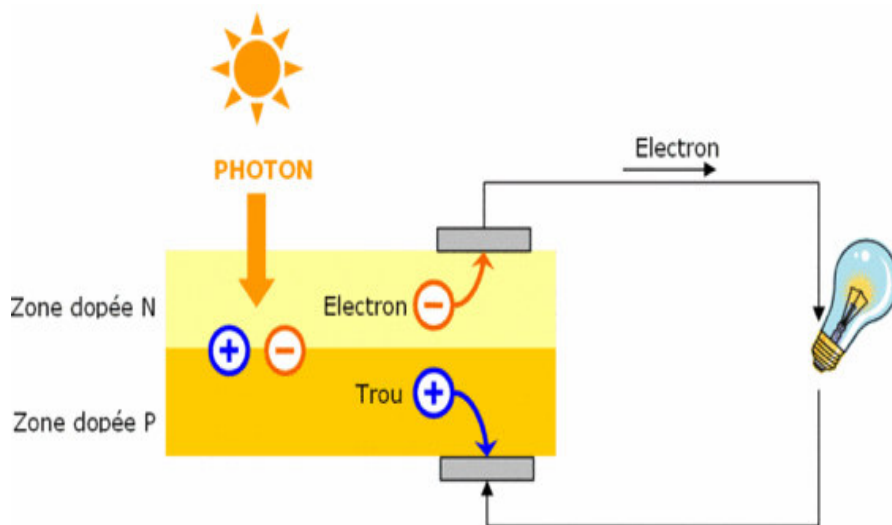


Figure 2.1: Structure d'une cellule photovoltaïque [11]

Le courant délivré sur une charge par une cellule solaire éclairée s'écrit :

$$I(V) = I_{ph} - I_{obs}(V) \quad (2.1)$$

$I_{ph}$  : Courant photo généré,

$I_{obs}$  : Courant d'obscurité.

Pour une cellule solaire idéale, l'équation (1.1) peut être écrite sous la forme suivante :

$$I(V) = I_{ph} - I_s \left[ \exp\left(\frac{qV}{KT}\right) - 1 \right] \quad (2.2)$$

Avec :

$I_s$  : Courant de saturation de la diode

q : charge élémentaire

K : constante de Boltzmann

T : la température.

Pour une cellule réelle, l'expression (1.2) est alors remplacée par :

$$I = I_{ph} - I_s \left[ \exp\left(\frac{q(V + R_s I)}{nKT}\right) - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_p} \quad (2.3)$$

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

$I_d = I_s \left[ \exp\left(\frac{q(V + I.R_s)}{nKT}\right) - 1 \right]$  : Le courant traversant la diode.

$I_s$  : le courant de saturation inverse de la diode.

n : facteur d'idéalité de la diode.

Sur la Figure.2. 2 nous reportons cette caractéristique.

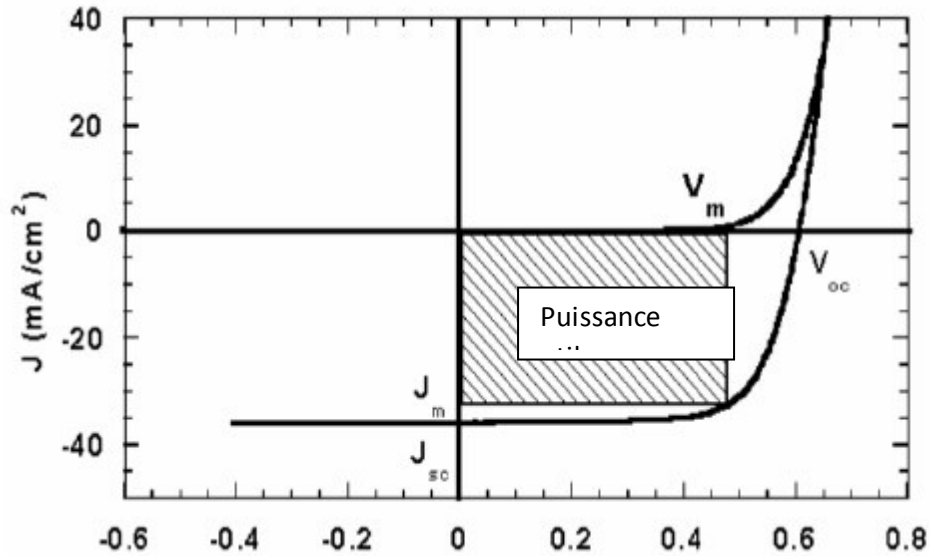


Figure 2.2 : Caractéristiques  $J$  ( $V$ ) sous obscurité et sous éclairement d'une cellule photovoltaïque [3].

A partir de cette Figure, on déduit les paramètres électriques propres à la cellule :

$I_{sc} = I_{ph}$  : Courant de court-circuit (obtenu pour  $V=0$ )

$V_{oc}$  : Tension en circuit ouvert (obtenue pour  $I=0$ )

$I_m$  : Courant à la puissance max de fonctionnement de la cellule solaire.

$V_m$  : Tension à la puissance maximale de fonctionnement de la cellule.

## II.3.2. Influence de la température et du rayonnement

### II.3.2.1. Influence de la température

La température est un paramètre très important dans le fonctionnement des cellules solaires vu que les propriétés électriques d'un semi-conducteur sont très sensibles à la température.

Sur la Figure.2.3, nous reportons les caractéristiques courant-tension pour différentes températures sous un ensoleillement donné ( $E=1000\text{W/m}^2$ ). [12]

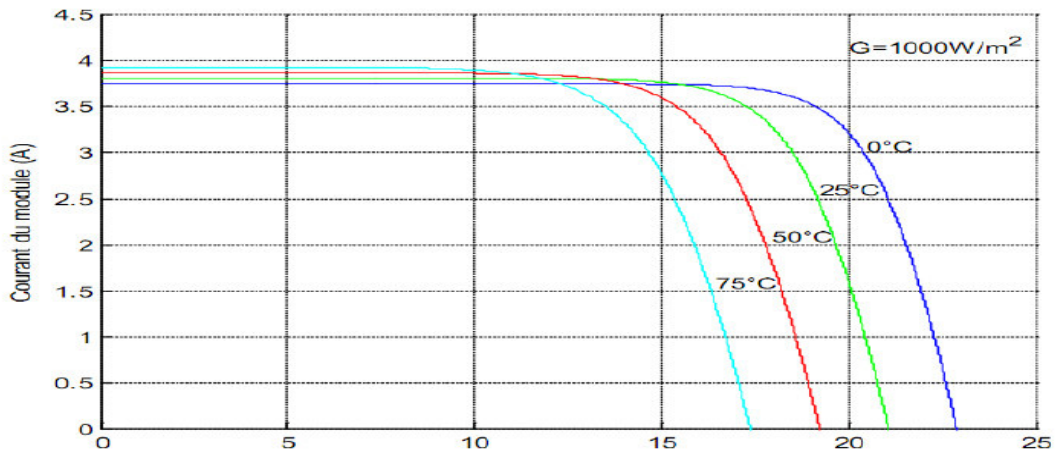


Figure 2.3 : Effet de la température sur la caractéristique I(V) [12].

L'évolution du courant de court-circuit ( $I_{sc}$ ) et de la tension du circuit ouvert ( $V_{oc}$ ) avec la température pour un ensoleillement  $E = 100\text{mW/cm}^2$  est alors donnée sur la Figure.2.4.

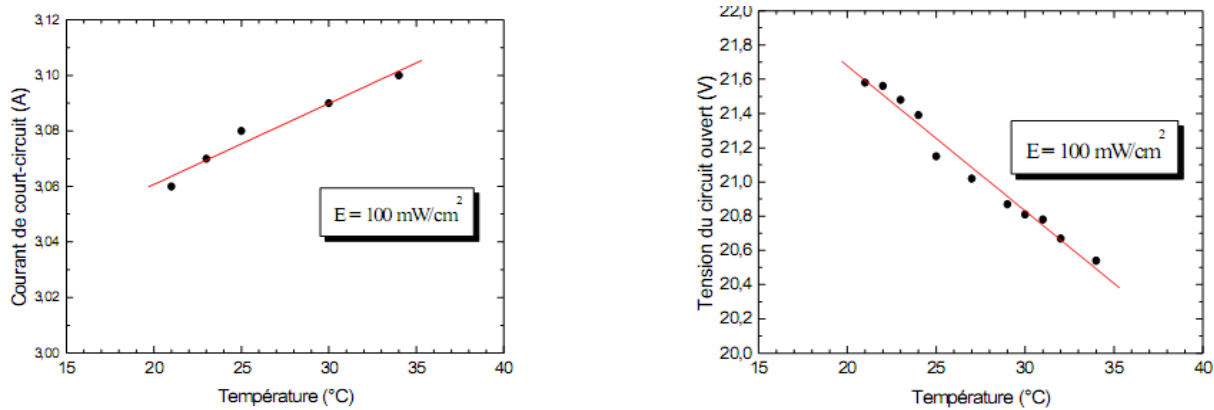


Figure 2.4 : Evolution du courant de court-circuit et de la tension du circuit ouvert avec la température [12].

### II.3.2.2. Influence du rayonnement

De la même manière que la température, la jonction PN réagit différemment selon l'énergie qu'elle reçoit. Plus elle reçoit d'énergie plus elle en restitue [3].

La variation de la caractéristique  $I(V)$  est représentée sur la figure 2.5

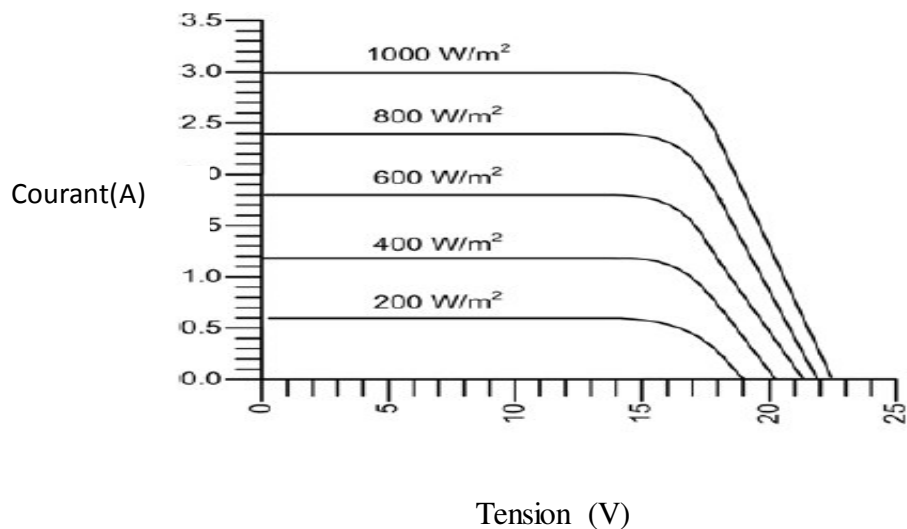


Figure 2.5 : Evolution de la caractéristique courant- tension avec l'énergie reçue [3].

#### II.4 Panneau solaire

La cellule individuelle, unité de base d'un système photovoltaïque, ne produit qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 1 à 3 W avec une tension de moins d'un Volt. Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module (ou panneau). Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. La puissance crête, obtenue sous un éclairage maximal sera proportionnelle à la surface du module. [5]

#### II.5 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 (GPV). Le générateur photovoltaïque se compose de plusieurs modules et d'un ensemble de composants qui adaptent l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs (fig. 2.6).

L'interconnexion des cellules peut être série ou parallèle. La tension totale disponible est égale au produit du nombre de cellules en série par la tension d'une cellule, et le courant est multiplié par le nombre de cellules connectées en parallèle. [3]

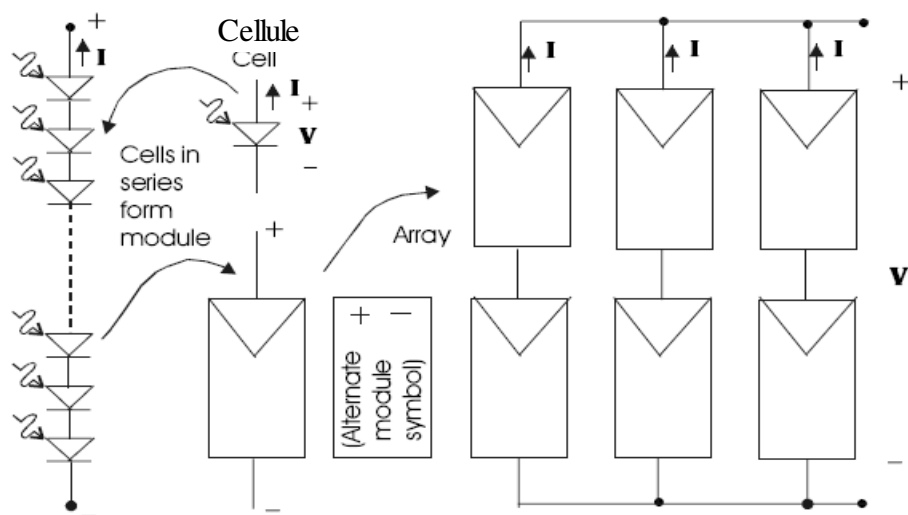


Figure 2.6 : Notion de cellule, panneau et générateur photovoltaïque.

## II.6 Modèle électrique du générateur photovoltaïque

### II.6.1. Schéma électrique équivalent

Le schéma électrique équivalent d'un générateur PV est donné par la Figure.2.

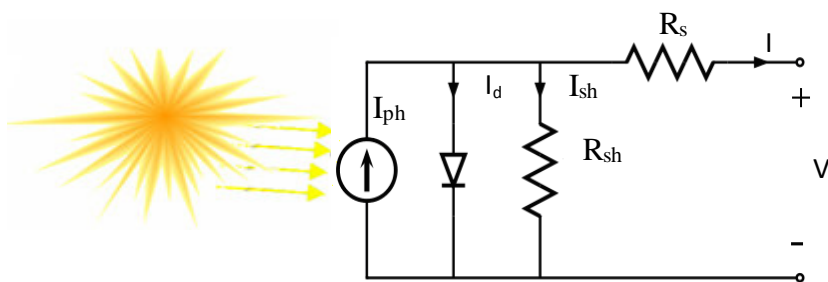


Figure 2.7 : Schéma électrique équivalent d'un générateur photovoltaïque [3].

### II.6.2. Caractéristiques courant – tension

Sur la Figure.2.8, nous reportons un exemple de la caractéristique I-V d'un module constitué d'une association de trois branches en parallèles ayant chacune deux branches en série. On remarque que :

- Le courant du module est égal au courant de la cellule multiplié par le nombre des cellules montées en parallèle.
- La tension totale est égale au produit de la tension de la cellule par le nombre des cellules en série.

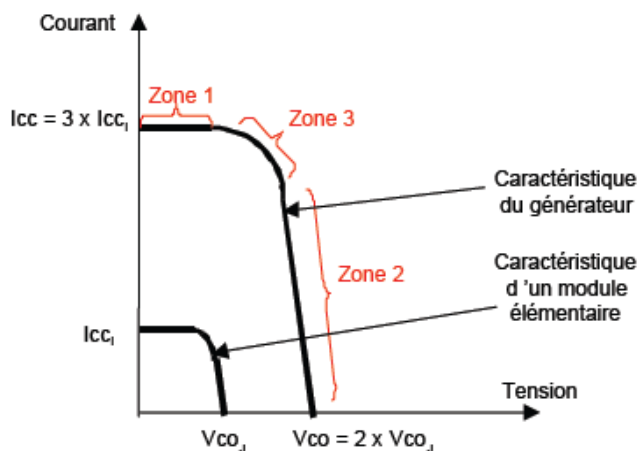


Figure.2.8 : Caractéristiques I(V) d'une cellule et d'une association de 3 branches [3].

En parallèle ayant chacune 2 cellules en série.

Nous pouvons décomposer la caractéristique I(V) du générateur photovoltaïque en trois zones :

- Une zone assimilable à un générateur de courant  $I_{cc}$  proportionnel à l'irradiation, d'admittance interne pouvant être modélisée par  $1/R_p$  (Zone 1).
- Une zone assimilable à un générateur de tension  $V_{co}$  d'impédance interne équivalente à  $R_s$  (Zone 2).
- Une zone où l'impédance interne du générateur varie très fortement de  $R_s$  à  $R_p$  (Zone 3).

### II.6.3. Caractéristiques puissance – tension

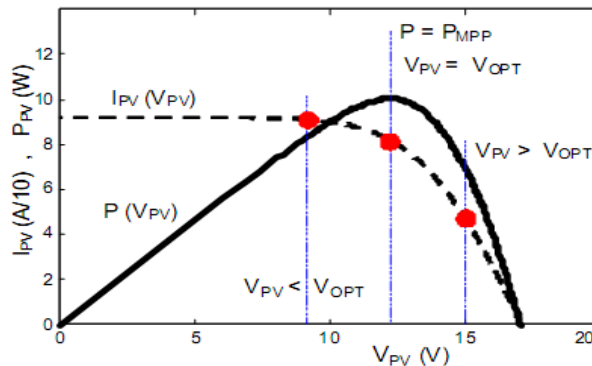


Figure.2.9 : Caractéristique courant- tension et puissance-tension du générateur photovoltaïque [3].

### II.7 Association des générateurs photovoltaïques.

La puissance disponible aux bornes d'une cellule unitaire est très faible .il est donc nécessaire d'associer en série et en parallèle des générateurs photovoltaïques pour augmenter la puissance et de rendre la puissance compatible avec l'équipement électrique usuel. Les puissances des modules disponibles sur le marché s'échelonnent entre quelque watt crête et quelque dizaines de watt crête,

1 m<sup>2</sup> de cellule produit environ 100W, En fait l'association de cellules PV est analogue à l'association de générateurs de courant. En série : leurs tensions s'ajoutent, En parallèle : leurs courants s'ajoutent. [3]

#### II.7.1. Association en parallèle

Dans le cas d'une association en parallèle (figure. 2.10et 2.11), les cellules délivrent la même tension mais elles peuvent fonctionner avec des courants différents. Si les modules en parallèles ne sont pas identiques ou si quelques cellules d'un module sont ombragées, le courant d'utilisation total des modules sera plus faible. Pour une impédance de charge élevée, les modules moins performants deviendront récepteurs si la tension d'utilisation est supérieure à la tension produite par ces modules. Une dissipation de puissance importante peut devenir dangereuse au niveau de la cellule la plus faible de ces modules. Ainsi pour le cas le plus critique



où la charge est nulle et le circuit ouvert, le courant des branches des modules performants se dissipera dans la branche la Moins performante .dans ce cas il est préférable d'ajouter une diode anti retour, mais cette solution occasionne une chute de tension additionne. [3]

$$U = U1 = U2 = U3 = Un$$

$$I = I1 + I2 + I3 + \dots + In$$

• Schéma électrique

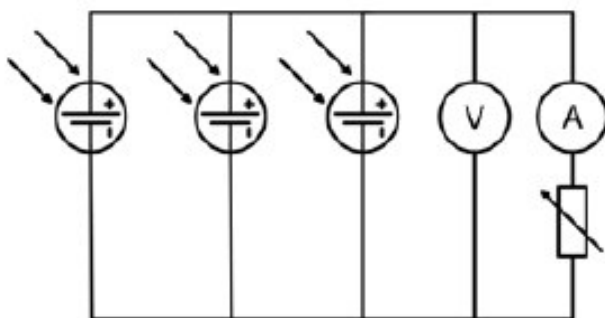


Figure 2.10 : Cellules placées en parallèle [3].

• Caractéristiques I(V) courant – tension

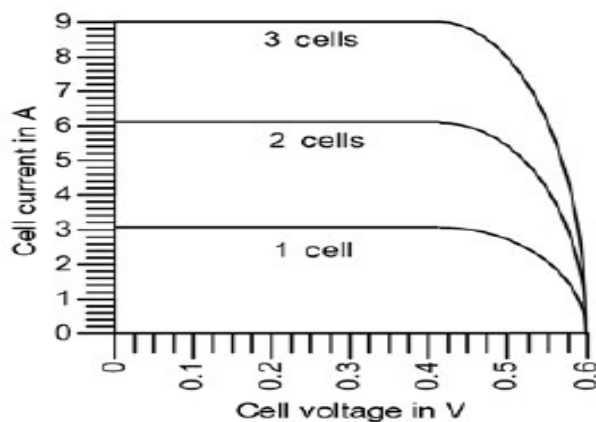


Figure 2.11: Cellules places en parallèle [3].

### II.7.2. Association en série

La plupart des modules commercialisés sont composés de 36 cellules en silicium cristallin, connectées en série pour des applications en 12 V (figure. 2.12 et 2.13).

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

$$I = I_1 = I_2 = I_n$$

Dans ce cas, le courant qui traverse les cellules est le même mais les cellules peuvent fonctionner à des tensions différentes. Si une cellule est occultée (si elle ne reçoit plus qu'une faible partie de l'énergie solaire reçue par les cellules voisines), elle ne peut délivrer qu'un courant limité. Elle fonctionne donc en inverse (comme un récepteur soumis à une tension inverse de celle produite en direct) par rapport aux autres cellules du module qui elles, délivrent un courant supérieur à ce courant limité. En fonctionnant ainsi, un échauffement de la cellule apparaît et peut provoquer le claquage de la cellule.

- Schéma électrique

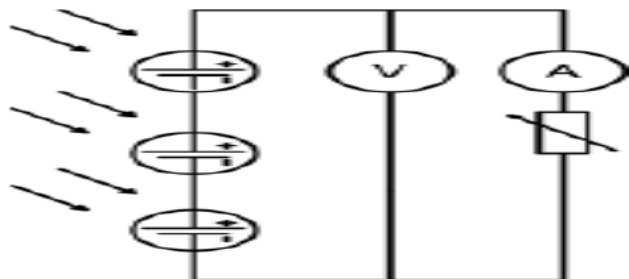


Figure 2.12 : Cellules placées en série [3].

- Caractéristiques courant-tension

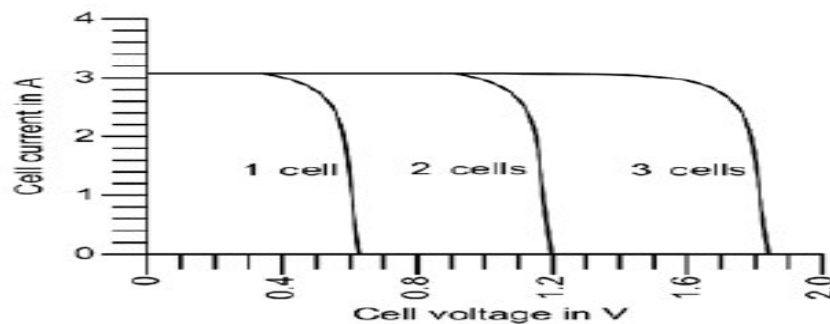


Figure 2.13 : Évaluation de la caractéristique courant-tension avec le nombre de cellules en série [3].

## II.8 Rayonnement solaire

### II.8.1.Soleil

Le soleil est une immense sphère de plasma de diamètre 109 fois supérieur à celui de la terre, de densité  $1408 \text{ kg.m}^{-3}$ ; la pression qui y règne à sa surface est de plusieurs milliards de fois plus forte que celle observée au niveau de la surface terrestre, le constituant principal du soleil est l'hydrogène, des réactions thermonucléaires se produisent alors en permanence provoquant la fusion de l'hydrogène en Hélium. La température à la surface du soleil est de  $5800^\circ\text{k}$  et peut atteindre  $20.10^6$  à son centre [13].

### II.8.2.Spectre du rayonnement solaire

L'énergie émise par le Soleil est d'abord sous forme de rayonnements électromagnétique dont l'ensemble forme le rayonnement solaire, qui constitue la seule source externe notable d'énergie pour l'atmosphère. L'œil humain perçoit une partie seulement du rayonnement solaire, celle située dans le domaine dit visible, de longueurs d'onde comprises entre  $0.38$  et  $0.78 \mu\text{m}$ , le rayonnement ultraviolet, est un rayonnement électromagnétique de longueur d'onde plus courte que le visible comprises entre  $0.20$  et  $0.38 \mu\text{m}$ . Le rayonnement infrarouge est un rayonnement électromagnétique de longueur d'onde entre  $0.78$  et  $10\mu\text{m}$ .

La plus grande partie de l'énergie solaire est cependant rayonnée dans les domaines ultraviolet, visible et proche d'infrarouge [7]. [6].

Sa distribution en énergie est répartie dans le tableau 2.1.

ultraviolet UV	$0.20 < \lambda < 0.38 \mu\text{m}$	6.4 %
visible	$0.38 < \lambda < 0.78 \mu\text{m}$	48.0 %
infrarouge IR	$0.78 < \lambda < 10 \mu\text{m}$	45.6 %

Tableau 2.1 : La distribution de spectre en énergie[3].

## II.9 Rayonnements solaires hors l'atmosphère

### II.9.1.L'atmosphère terrestre

L'atmosphère terrestre est une enveloppe très mince, par rapport au rayon terrestre, qui entoure la terre. En ramenant toutes les couches de l'atmosphère dans des conditions normales ( $p=1013$  mbar et  $T= 0^\circ\text{C}$ ), on définit une atmosphère standard d'épaisseur verticale moyenne de 7.8 km prise pour référence unité et formée des couches planes et stratifiées par les divers gaz comme l'azote, l'argon, ...

### II.9.2.Structure verticale l'atmosphère

L'étude de l'atmosphère a permis de déterminer plusieurs couches en fonction de la croissance ou décroissance de la température.

- La troposphère qui s'étend jusqu'à 15km d'altitude ou la température décroît de  $6.5^\circ\text{C}$  par km pour atteindre  $-70^\circ\text{C}$  à la base de la couche suivante.
- La stratosphère de 15 à 55 km, ou la température croît de  $-70^\circ\text{C}$  à  $10^\circ\text{C}$ .
- La mésosphère de 55 à 80 km, ou la température décroît a niveau de  $- +10^\circ\text{C}$  à  $- 80^\circ\text{C}$ .

La figure 2.14 montre la répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol terrestre.

[3]

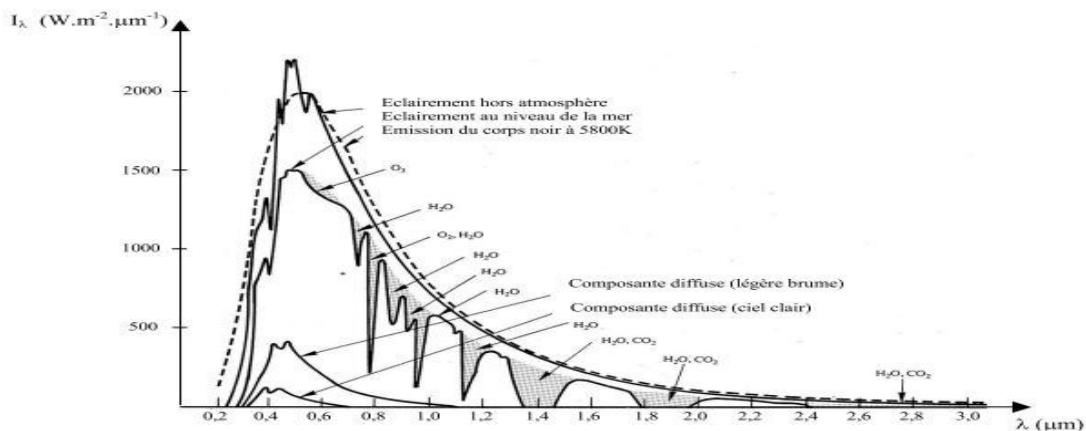


Figure 2.14 : Répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol terrestre [3].

### II.9.3. Compositions de l’atmosphère :

Il est composé généralement de 78% d’azote, de 21% d’oxygène, de 1% d’argon et de divers Gaz, ils sont déterminés par le tableau 2.2.

	Le gaz.	Le pourcentage.
Di azote	(N <sub>2</sub> )	78,084 %
Dioxygène	(O <sub>2</sub> )	20,946 %
Argon	(Ar)	0,9340 %
Dioxyde de carbone	(CO <sub>2</sub> )	0,03 %
Néon	(Ne)	18,18 %
Hélium	(He)	5,24 %
Méthane	(CH <sub>4</sub> )	1,745 %
Krypton	(Kr)	1,14 %
Dihydrogène	(H <sub>2</sub> )	0,55 %
Vapeur d'eau	(H <sub>2</sub> O)	de <1 % ~ 4 %

Tableau 2.2 : les compositions de l’atmosphère [3].

Les autres constituants :

- L'ozone : même en très petite quantité, à une grande importance. Il n'existe normalement qu'en quantités infinitésimales dans les basses couches de l'atmosphère. Comprise entre 15 et 35 km, la couche d'ozone filtre le rayonnement solaire en absorbant une grande partie des ultraviolets et est, de ce fait, un des éléments qui permet la vie.
- ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , etc.) : sont présents à moins d'une part pour un milliard, ils sont localisés près de la surface terrestre
- Aérosols : grains de sable, poussières, fumées [3].

## II.10 Rayonnements solaires arrivant au sol

Le rayonnement reçu au sol se décompose en :

### II.10.1. Rayonnement solaire direct

Les rayons, parallèles celui qui arrive au sol sans avoir subi de diffusion. Elles incident sur un plan donné, et provenant d'un petit angle solide centré sur le disque solaire.

### II.10.2. Rayonnement solaire diffus

Est le rayonnement solaire global à l'exception du rayonnement direct. Il comprend la plus grande partie du rayonnement diffusé par l'atmosphère ainsi qu'une partie du rayonnement réfléchi par le sol, suivant l'inclinaison de la surface réceptrice. Ce rayonnement provient, de manière non isotrope, de toutes les directions de l'espace.

### II.10.3. Rayonnement global

Le rayonnement solaire parvenant au niveau du sol sur une surface horizontale, soit directement, soit après diffusion. Lorsque la partie du rayonnement réfléchi est presque négligeable l'ensemble (direct+ diffus) est le rayonnement global [8].

La figure (2.15) se présente les composantes de rayonnement global d'une surface inclinée.

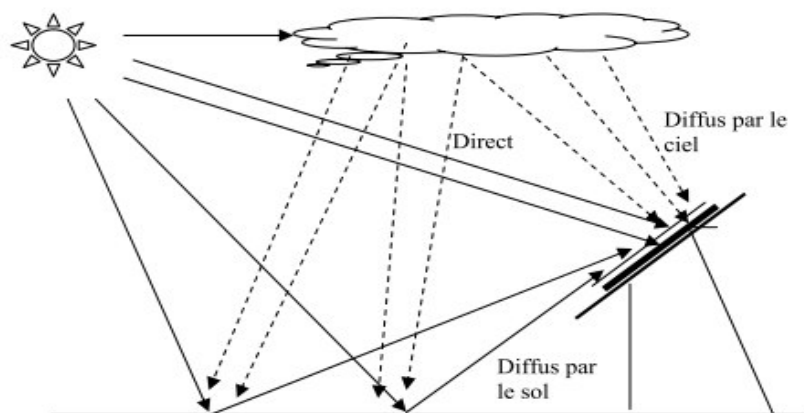


Figure 2.15 : Composantes de rayonnement global d'une surface inclinée [3].

## II.11 Avantages et inconvénient de L'énergie solaire photovoltaïque

### ✚ **Avantage**

La technologie photovoltaïque présente un grand nombre d'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 Mill watt au Méga Watt.
- 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.

### ✚ **Inconvénient**

Le système photovoltaïque présente toutefois des 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 % 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.
- 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.

### **II.12 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu général sur le domaine photovoltaïque. Nous avons commencé par donner l'essentiel sur les cellules solaires (structure, principe de fonctionnement, ...etc.). La liaison de ces cellules (série et/ou parallèle) a été également traitée.

Cette liaison constitue le module photovoltaïque ; alors que la liaison de ces modules aboutit au panneau ou générateur photovoltaïque.

L'influence de la température et de l'éclairement sur les caractéristiques courant-tension a été présentée.



### III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les étapes à suivre pour dimensionner un système photovoltaïque autonome, et choisir les différents éléments à savoir: les modules du générateur photovoltaïque, le parc des batteries de stockage, le régulateur, l'onduleur et le câblage électrique.

### III.2 Géographie de l'aire d'étude

La région de Oued Souf appelée aussi région du Bas-Sahara à cause de la faible altitude est située au Sud-Est du pays au centre d'une grande cuvette synclinale. Elle forme une wilaya depuis 1984 et couvre une superficie totale de 4458600 ha. Oued Souf se trouve à environ 700 km au Sud – Est d'Alger et 350 km à l'Ouest de Gabes (Tunisie).

Elle est limitée :

- au Nord par les wilayas de Biskra, Khenchela et Tébessa,
- à l'Est par la Tunisie,
- à l'Ouest par les wilayas de Biskra, Djelfa et Ouargla,
- au Sud par la wilaya d'Ouargla.

Cette région tire son originalité de son architecture typique, caractérisée par les coupoles et par ses palmeraies plantées dans les Ghouts.

L'aire d'étude représente la vallée du Souf, par  $7^{\circ}$  E et  $33^{\circ}5$  N .

La vallée de Souf ce n'est pas un bassin versant mais une unité de ressource en eau qui est délimitée:

- Au Sud par la mer de dunes du grand erg oriental,
- A l'Est par une série de chotts,
- A l'Ouest par l'Oued Righ (fleuve de fossile) et par la ligne de palmeraie qui court de Biskra à Touggourt.

Elle est délimitée donc par les coordonnées Lambert suivantes :

- $X = 275\ 200 / 322\ 0$
- $Y = 3\ 665\ 000 / 3743\ 000$

Mais ses frontières sont plus amples si l'on considère l'aire de pâturage des nomades qui s'étend au Nord jusqu'aux monts du N'éméchas (contreforts des Aurès), et au Sud jusqu'à la frontière libyenne. Cette région possède des dunes qui dépassent parfois 100 mètres de hauteur; son altitude moyenne est 80 m [3].

La zone d'étude occupe une superficie de 11738 km<sup>2</sup> qui représente 18 communes administrativement et englobe un nombre de population de 363110 habitants (185484 masculins et 177626 féminins), selon le recensement de 1998 (tableau 3.1).

N°	Commune	Superficie (km <sup>2</sup> )	N°	Commune	Superficie (km <sup>2</sup> )
01	Hassi Khalifa	1112	10	Sidi Aoun	480
02	El-Ogla	1352	11	Trifaoui	474
03	MihOuansa	1111	12	Magrane	618
04	El Oued	77	13	Ourmes	443
05	Robbah	499	14	Kouinine	116
06	Oued Allenda	712	15	Reguiba	1966
07	Bayadha	139	16	Taghzout	539
08	Nakhla	700	17	Debila	78
09	Guemar	1264	18	Hassani Abdelkerim	58
<b>Total : 11738 km<sup>2</sup></b>					

Tableau 3.1: Répartition de la superficie de la zone d'étude par commune (en km<sup>2</sup>) [3].

### III.4 Insolation

La figure 3.1. représenter le temps d'ensoleillement durant 1996/2005. Voir l'annexe [E]

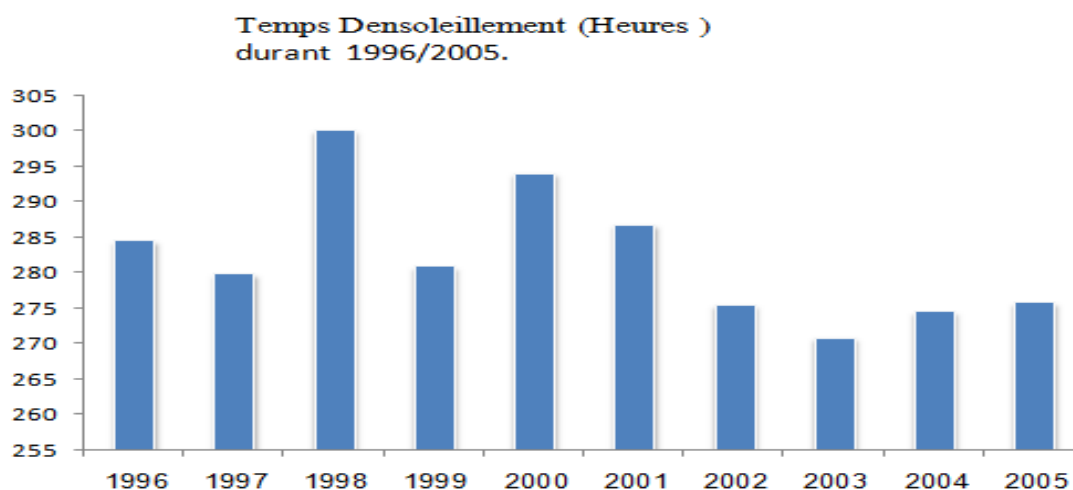


Figure 3.1: Insolation dans la région Oued Souf.

### III.5 Stations de l'énergie solaire proposées pour l'investissement privé à wilayad'El oued

Ces plateformes seront programmées lors d'une annonce de l'investissement privé par le ministère de l'énergie dans les prochains jours.

Il faut signaler qu'il y avait des plateformes destinées antérieurement aux projets des stations de l'énergie solaire, ne sont pas exploitées jusqu'à présent par les établissements suivants:

1- Commissariat de Développement des Energies Renouvelables. (C.D.E.R)

Commune	Espace utilisé (hectare)
Oued El Alenda	40
Nakhla	50
Hamraia	400
Still	104
Sidi Khellil 1	100
Sidi Khellil 2	1200
Tendla	100
El M'Ghair	1200
<b>Total : 3470</b>	

Tableau 3.2: Stations de l'énergie solaire dans la région d'El oued Souf.

### III.6 Dimensionnement d'un système PV autonome

#### III.6.1. Démarches à suivre

Le dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome précis est en réalité un processus relativement complexe car il y a de nombreux paramètres à prendre en considération. Par exemple, la consommation du régulateur de charge, d'onduleur, de la batterie, doivent être ajoutés à celle des récepteurs pour définir la consommation totale du système. Or, le choix de ces paramètres dépend de la taille du champ photovoltaïque, lui-même déterminé par la consommation des récepteurs. Le diagramme représenté à la figure 3.2 page suivante, résume les étapes à suivre dans le cas d'un système photovoltaïque autonome (avec conversion d'énergie mais sans sources auxiliaires). Le dimensionnement se fait en passant par les étapes suivantes :

- ✓ **Etape 1** : Détermination des besoins de l'utilisateur : tension, puissance des appareils et durées d'utilisation.
- ✓ **Etape 2** : Chiffrage de l'énergie solaire récupérable selon l'emplacement et la situation géographique.
- ✓ **Etape 3** : Définition des modules photovoltaïque, tension de fonctionnement, technologie, Puissance totale à installer.
- ✓ **Etape 4** : Définition de la capacité de la batterie et choix de la technologie.
- ✓ **Etape 5** : Choix du régulateur.
- ✓ **Etape 6** : Choix de l'onduleur.
- ✓ **Etape 7** : Plan de câblage : détermination des accessoires de câblage et des sections de câbles.
- ✓ **Etape 8** : Analyse du coût du système.

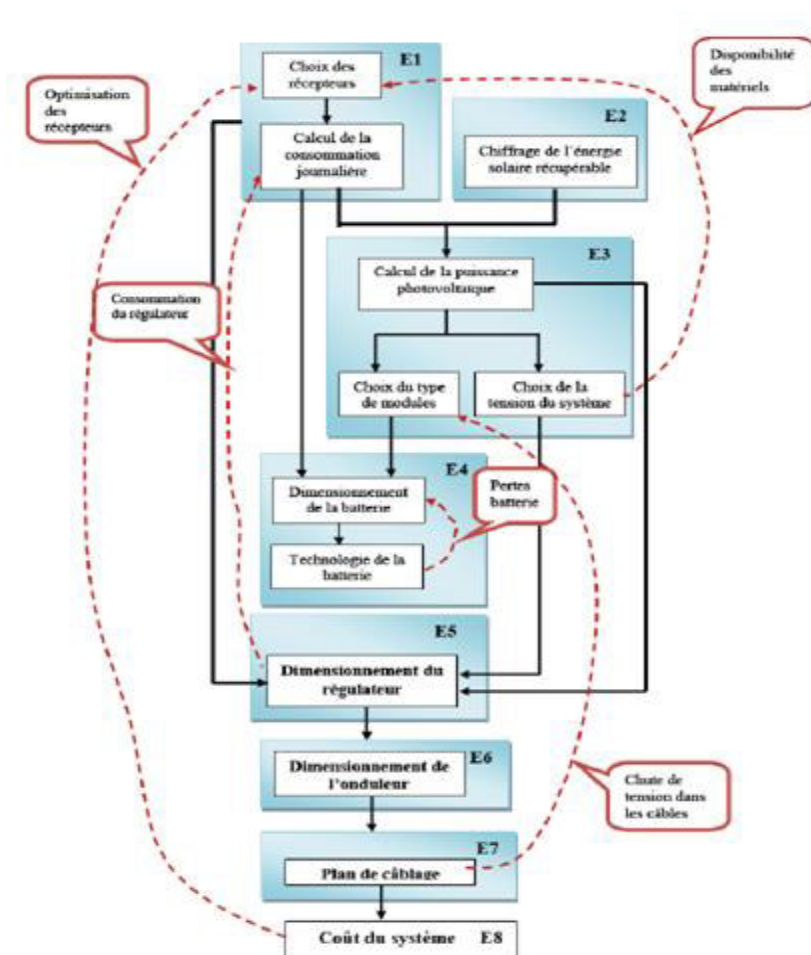


Figure 3.2: Diagramme simplifié du dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome [14].

### III.7 Systèmes autonomes

C'est un système photovoltaïque complètement indépendant d'autre source d'énergie, qui alimente l'utilisateur en électricité sans être connecté au réseau électrique. Dans la majorité des cas, un système autonome exigera des batteries pour stocker l'énergie. Ils servent habituellement à alimenter les maisons en site isolé, sur des îles, en montagne ainsi qu'à des applications comme la surveillance à distance et le pompage de l'eau. Comme l'indique la figure 3.3 représentant un exemple de système PV autonome, la présence d'éléments de stockage est obligatoire pour assurer la fourniture à l'utilisateur continuellement et même en cas d'absence potentielle de la production d'électricité [4].

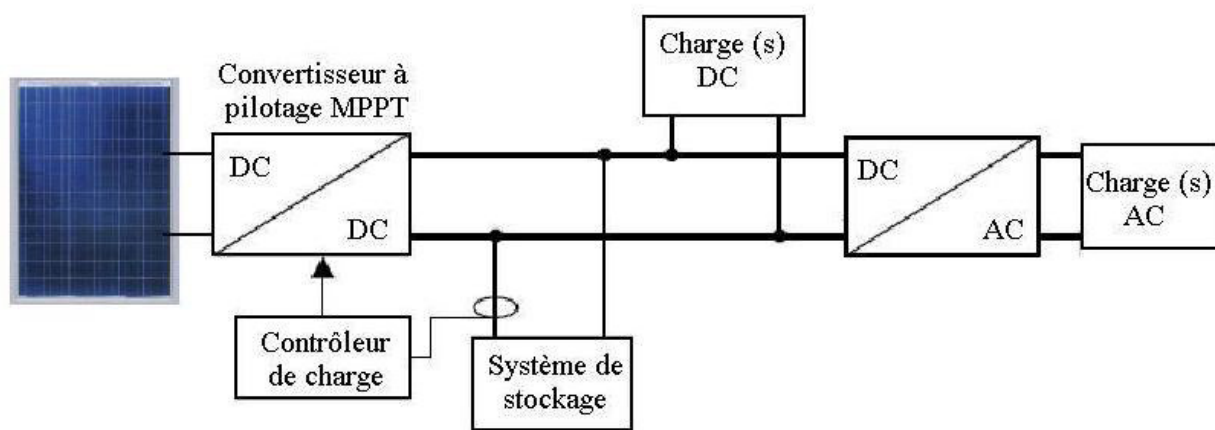


Figure 3.3 : Exemple de structure d'un système PV autonome.

### III.8 Evaluation du besoin énergétique journalier de l'installation (Etape 1)

Les besoins énergétiques journaliers des charges est la quantité d'énergie nécessaire chaque jour pour alimenter les charges (lampes et appareils). Il s'exprime en watts-heures .on l'obtient en totalisant l'énergie consommée par tous les appareils et toutes les lampes un jour « moyen ». Il faut considérer séparément les appareils fonctionnant en courant continu et les appareils fonctionnant en courant alternatif (alimentés via un onduleur). [15]

#### III.8.1.Tension des récepteurs

L'énergie photovoltaïque étant en courant continu, l'idéal est que les appareils à alimenter fonctionnent aussi en continu. Plus le champ photovoltaïque est puissant, plus il faudra choisir une tension élevée pour éviter les ampérages trop forts, il n'est donc pas toujours facile de la choisir a priori [15].

### III.8.2. Besoins de l'application en énergie

Cette étape est importante. Evaluer sérieusement notre besoin en énergie permet que l'on dispose d'un système bien adapté, Il faut remarquer que toute exigence supplémentaire entraînera une augmentation de la puissance à mettre en œuvre, soit plus de panneaux, plus de batteries [15].

Pour calculer le besoin journalier en énergie d'une application, on utilise la formule suivante :

$$E = P \cdot t \quad (3.1)$$

Avec :

**E** : énergie électrique en Wh/j.

**P** : puissance électrique en W.

**t** : temps d'utilisation en heure par jour (h/j).

Pour calculer la consommation totale d'une application, on calcule le besoin énergétique journalier de chaque appareil ou chaque fonction électrique et on les additionne. Le besoin énergétique journalier  $B_j$ , ou consommation journalière, est l'énergie électrique consommée en 24h par l'application. On aura donc :

$$B_j = E_1 + E_2 + E_3 + \dots \quad (3.2)$$

Avec :

**B<sub>j</sub>** : besoin journalière en Wh/j.

La consommation d'énergie est indiquée en watts-heures (Wh) ou en ampères-heures (Ah).

Les Wh ou kWh sont la mesure la plus courante de l'énergie électrique. [15]

### III.8.3. Détermination des besoins énergétiques journaliers de l'habitat considéré

D'abord, nous affichons l'équipement dans la maison à partir d'un ordinateur et climatiseur avec le congélateur. Etc. Tous ces éléments sont utilisés selon un cycle bien défini. Dans ce qui suit, on présente chaque élément à part toute en donnant sa consommation et durée d'utilisation. Cette figure représente l'équipement électrique dans la maison.



Figure 3.4: Les appareils de consommation d'électricité à la maison.

Le tableau suivant représente tous les éléments de l'électricité consommée en interne employés.

	Nombre de charges	Puissance nominale (W)	Heures d'utilisation (h)		Consommation journalière (Wh/j)		
			Eté	hiver	Eté	hiver	
Les charges	Lampe	7	36	8		2016	
	Réfrigérateur	1	200	6		1200	
	Pompe à eau	1	370	$\frac{1}{2}$		185	
	Télévision	1	90	12		1080	
	Micro portable	1	100	4		400	
	Climatiseur	1	1200	6	0	7200	0
	Chargeur portable	3	3	1		9	
	Ventilateur	2	60	6	0	720	0
	Congélateur	1	300	6		1800	
Consommation Totale	9	18	2359	49.5		14610	6690

Tableau 3.3: Estimation des besoins énergétiques journaliers.

- **7 Points lumineux** (alimentés en alternatif) de 36 W restant allumés durant 8 heures.

$$E_{\text{Lampe}} = (7 \cdot 36 \cdot 8) = 2016 \text{ Wh/j} = 9.16 \text{ Ah.}$$

- **1 Réfrigérateur** (alimenté en alternatif) de 200 W géré de sorte qu'il fonctionne en alternance durant 6 heures par jour.

$$E_{\text{réfrigérateur}} = (1 \cdot 200 \cdot 6) = 1200 \text{ Wh/j} = 5.45 \text{ Ah.}$$

- **1 Pompe d'eau** (alimentée en alternatif) de 370 W qu'elle fonctionne pendant 30 min.

$$E_{\text{pompe d'eau}} = (1 \cdot 1/2 \cdot 370) = 185 \text{ Wh/j} = 0.84 \text{ Ah.}$$

- **1 Télévision** (alimentée en alternatif) de 90 W qu'elle fonctionne pendant 12 heures

$$E_{\text{télévisions}} = (1 \cdot 90 \cdot 12) = 1080 \text{ Wh/j} = 4.9 \text{ Ah.}$$

- **1 Micro portable** (alimenté en alternatif) de 100 W qu'il fonctionne pendant 4 heures

$$E_{\text{micro portable}} = (1 \cdot 100 \cdot 4) = 400 \text{ Wh/j} = 1.81 \text{ Ah.}$$

- **1 Climatiseur** (alimenté en alternatif) de 1200 W qu'il fonctionne pendant 6 heures

$$E_{\text{Climatiseur}} = (1 \cdot 1200 \cdot 6) = 7200 \text{ Wh/j} = 32.72 \text{ Ah.}$$

- **3 Chargeurs portable** (alimentés en alternatif) de 3 W qu'ils fonctionnent pendant 1 heure.

$$E_{\text{Chargeur portable}} = (3 \cdot 3 \cdot 1) = 9 \text{ Wh/j} = 0.04 \text{ Ah.}$$

- **2 Ventilateurs** (alimentés en alternatif) de 60 W qu'ils fonctionnent pendant 6 heures.

$$E_{\text{Ventilateur}} = (2 \cdot 60 \cdot 6) = 720 \text{ Wh/j} = 3.27 \text{ Ah.}$$

- **1 Congélateur** (alimenté en alternatif) de 300 W qu'il fonctionne pendant 6 heures

$$E_{\text{Congélateur}} = (1 \cdot 300 \cdot 6) = 1800 \text{ Wh/j} = 8.18 \text{ Ah.}$$

#### III.8.4. Besoin journalier

$$B_{\text{j été}} = E_{\text{lampe}} + E_{\text{Réfrigérateur}} + E_{\text{Pompe à eau}} + E_{\text{Télévision}} + E_{\text{Climatiseur}} +$$

$$E_{\text{Ventilateur}} + E_{\text{Chargeur portable}} + E_{\text{Micro portable}} + E_{\text{Congélateur}}.$$

$$B_{\text{j hiver}} = E_{\text{lampe}} + E_{\text{Réfrigérateur}} + E_{\text{Pompe à eau}} + E_{\text{Télévision}} + E_{\text{Chargeur portable}} +$$

$$E_{\text{Micro portable}} + E_{\text{Congélateur}}.$$

$$B_{\text{j été}} = 2016 + 1200 + 185 + 1800 + 720 + 400 + 1080 + 7200 + 9 = 14610 \text{ Wh} = 66.40 \text{ Ah}$$

$$B_{\text{j hiver}} = 2016 + 1200 + 185 + 1800 + 400 + 1080 + 9 = 6690 \text{ Wh} = 30.41 \text{ Ah.}$$



### III.9 Energie solaire journalière récupérée en Algérie (Etape 2)

La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures dans les hauts plateaux et le Sahara. L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m est de l'ordre de 5 kWh sur la partie du territoire national, soit près de 1700 kWh/m<sup>2</sup>/an au Nord et 2263 kWh/m<sup>2</sup>/an au Sud du pays. [9]

La figure suivante nous donne l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu et orienté Sud. La distribution à grande échelle de sa moyenne annuelle est donnée par la figure ci-dessous.

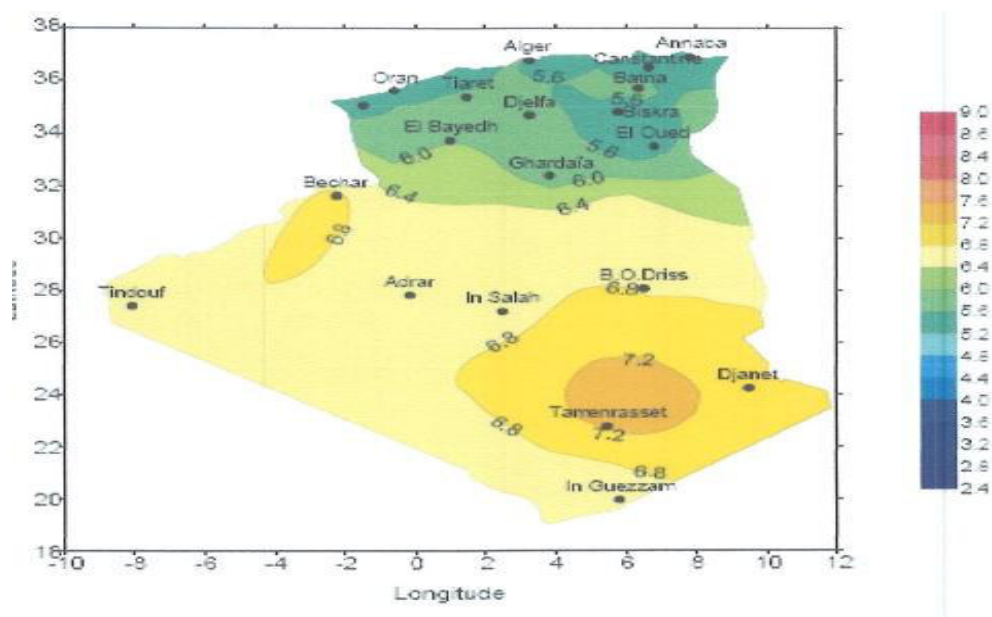


Figure 3.5: Irradiation solaire globale reçue sur plan incliné à la latitude du lieu: moyenne annuelle [14].

L'irradiation solaire globale reçue sur plan incliné à la latitude d'El oued Souf est 5.6kwh/m<sup>2</sup>

### III.10 Définition des modules photovoltaïque (étape3)

#### III.10.1. Dimensionnement d'un module photovoltaïque

Nous connaissons maintenant la quantité d'électricité nécessaire, et le temps dont nous disposons pour la produire et l'énergie récupère en d'Oued-Souf. L'étape suivante consiste à calculer la quantité de modules photovoltaïques que l'on devra posséder pour couvrir ces besoins. Il faut pour cela calculer l'énergie que les modules doivent produire chaque jour, connaître l'ensoleillement de la région où se trouve l'installation, et adapter ces données à sa situation.

### III.10.2. Module photovoltaïque

L'installateur propose des modules PV de ALPV85-125M-36. Un certain nombre de panneaux sera utilisé pour fournir la puissance demandée. Leur montage dépend de la configuration adoptée qui est choisie dans notre cas pour fonctionner sous 48V DC. Voir Annexe [A].



Figure 3.6: représente du module photovoltaïque étudié.

### III.10.3. Calcul pratique de la puissance photovoltaïque

Le module choisi pour notre étude est du type ALPV85-125M-36 d'une puissance optimale de 85 W. Il présente les caractéristiques suivantes :

Grandeurs	Symbole	Valeur
Eclairement standard	E	1000W/m <sup>2</sup>
Temperature standard	T	25°
Puissance crêt maximale	P <sub>max</sub>	85W
Tension à puissance max	V <sub>mp</sub>	17.14V
Courant à puissance max	Imp.	5.01A
Tension en circuit ouvert	V <sub>co</sub>	22.23V
Courant de court-circuit	I <sub>cc</sub>	5.43A
Tension maximale system	V <sub>dc</sub>	700V

Tableau 3.4: représente les paramètres électriques module solaire.

Le tableau (3.5) nous donne la tension adaptée la plupart du temps pour les différentes puissances du champ photovoltaïque. Il faut déterminer la tension de stockage de l'énergie solaire : 12V, 24V, 48V. La règle du jeu pour cela est assez simple : plus on utilise d'énergie, plus on doit utiliser une tension élevée [15].

Puissance du champ photovoltaïque	0 - 500 Wc	500 Wc - 2 kWh	2-10kWh	> 10kWh
Tension recommandé	12 VDC	24 VDC	48 VDC	> 48 VDC

Tableau 3.5: Tension recommandée pour le système photovoltaïque [15].

### III.10.4. Caractéristique I(V) du module solaire

Pour une utilisation optimale, on a relevé la caractéristique réelle des panneaux utilisés. Un teste classique est ainsi réalisé.

#### III.10.4.1. Méthode expérimentale

Dans cette expérience, le module photovoltaïque est relié à:

1. Un voltmètre : pour lire les valeurs de tension le module photovoltaïque.
2. Un ampèremètre : pour lire les valeurs du courant le module photovoltaïque.

Un rhéostat : résistance variable employée pour relavé la caractéristique I.V. du module photovoltaïque.

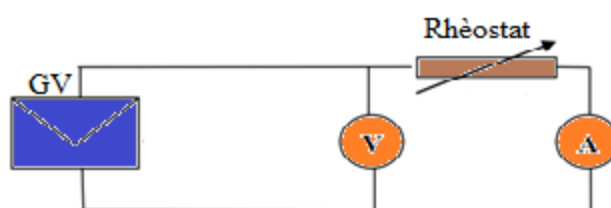


Figure 3.7: Montage électrique pour relever les caractéristiques  $I=f(V)$  de module photovoltaïque.

Pour déterminer les caractéristiques du panneau PV, nous avons effectué une série de mesures de la tension et du courant et ceci en faisant varier la valeur de la résistance depuis le rhéostat qui est alimenté par le module photovoltaïques. L'expérience décrite ci-dessus est réalisée sur un temps court (de l'ordre de 2 minutes) afin d'assurer un éclairage constant

durant toute l'expérience. Les relevés des valeurs du courant et de tension nous permettent de tracer la courbe des caractéristiques  $I=f(V)$  du module photovoltaïque. [5]

La figure ci-dessous présente le montage de cette expérience:

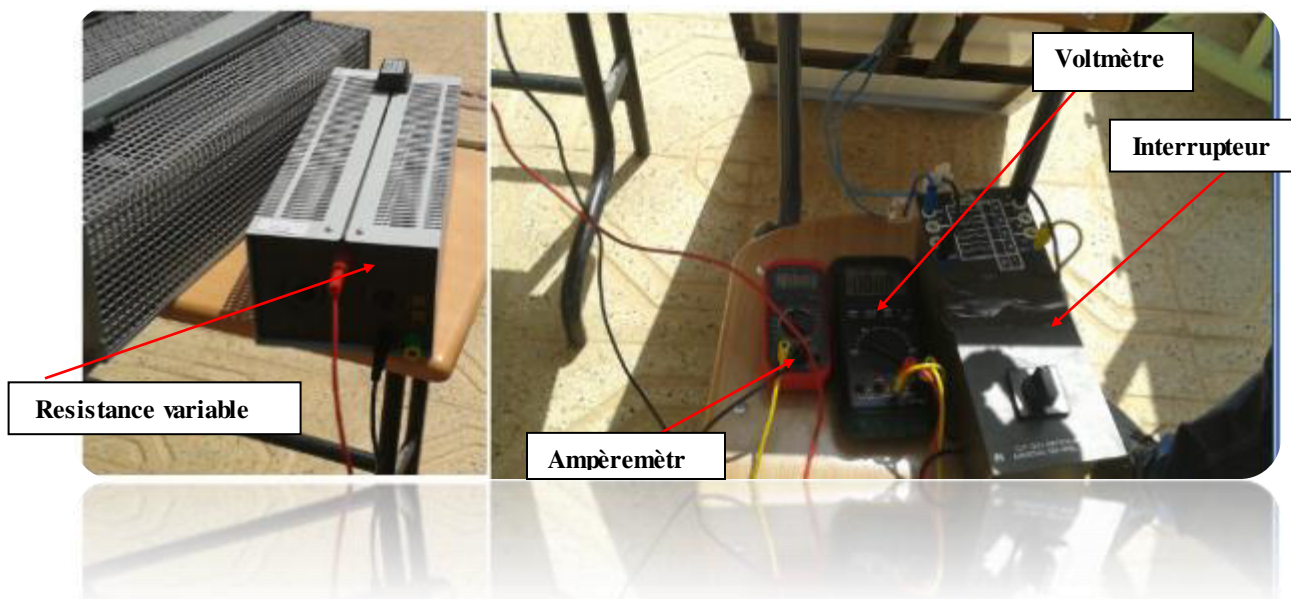


Figure 3.8:Expérience d'étude des caractéristiques  $I=f(V)$  de module photovoltaïque.

Le tableau suivant représente les résultats de cette expérience pour un éclairement  $E = 574$   $W/m^2$ . (CDER)

Courant(A)	Tension(V)
7,70	0.00
7.66	1.47
7.50	3.45
7.43	3.74
7.36	4.86
7.35	6.35
6.87	12.46
6.53	14.06
5.59	15.39
5.07	15.82
4.44	16.46
4.10	16.70
3.80	16.99
3.65	17.08
3.01	17.54
2.62	17.79
2.56	17.84

Tableau 3.6: Les valeurs du courant et de tension de cette expérience.

la figure ci-dessous représenté La caractéristiques  $I=f(V)$

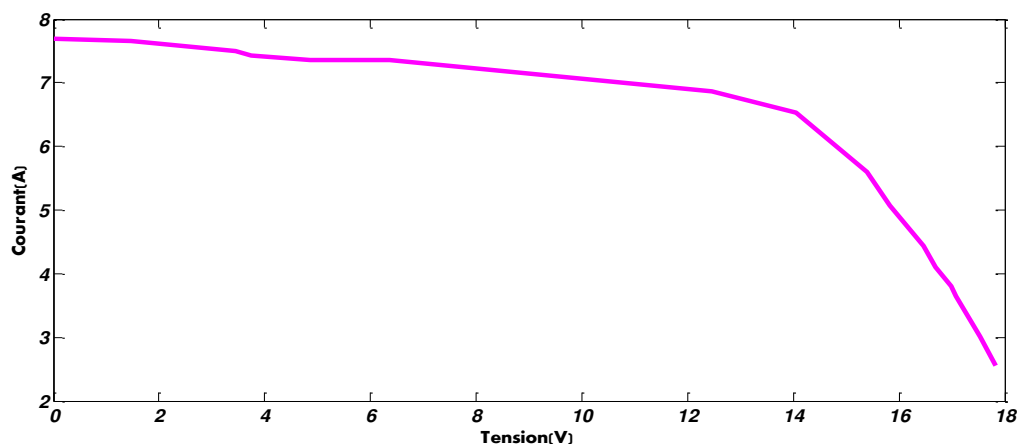


Figure 3.9:Caractéristique  $I=f(V)$  du module photovoltaïque étudiée.

### III.10.5.Evaluation du coefficient $C_p$

Pour les salissures (perte a), on prend généralement

- 0.9 à 0.95 en règle générale (perte de 5 à 10%)
- 0.95 à 1 pour des panneaux nettoyés régulièrement
- 0.8 à 0.9 pour des panneaux à l'horizontale et non nettoyés
- 0.92 plus pour les panneaux placés derrière un vitrage (la perte dans ce cas est de 4% de réflexion par face de vitrage, donc 8%).

Le coefficient  $C_p$  pourra varier entre 0,65 et 0,9 selon les cas.

Pour notre cas d'étude les salissures des modules ne seront pas un problème, les utilisateurs veilleront à leur propreté, on ne prendra que 5% de pertes de ce côté, et pour le rendement de la batterie on prendra une perte de 0.8.

Ce qui nous donne pour le calcul final du courant de charge du champ photovoltaïque, un coefficient de pertes en courant :  $C_p = 0,8 * 0,95 = 0,76$ .

Pour les systèmes avec parc de batteries, le coefficient k est en général compris entre 0,55 et 0,75. La valeur approchée que l'on utilise dans le système avec batteries est souvent de 0,65. [15]

### III.10.6. Détermination d'un nombre de module

Le nombre total des modules est donnée par l'équation:

$$N_m = N_s \times N_p \quad (3.3)$$

Avec :

$N_m$  : nombre de modules.

$N_s$  : nombre de modules en série (nombre de ligne).

$N_p$  : nombre de modules en parallèle (nombre de colonne).

Selon les données précédent, Tableau 3.3 l'énergie demandé journalier est estimé à 14610 W/h/j.

En prenant  $H = 5.6 \text{ kw/m}^2$  et  $K = 0.65$

La puissance demandé dans ce cas est estimé à :

$$P_{\text{Prod}} = \frac{E_{\text{cons}}}{H \cdot K} = \frac{14610}{5.6 \cdot 0.65} = 4013.73 \text{ W}$$

Donc le nombre de module a utilisé est, avec la puissance crête est de 85 W

$$N_{\text{module}} = \frac{P_{\text{Prod}}}{P_c} = \frac{4013.73}{85} = 47.22 \approx 48 \text{ modules.}$$

### III.10.7. Détermination du nombre de modules en série

En rappelant que notre système est travaillé sous 48V, donc on aura le nombre des modules en série suivant :[4]

$V_{\text{Ch}}$ : la tension nominale de la charge.

$V_m$ : la tension nominale du module.

$$N_s = \frac{V_{\text{ch}}}{V_m} = \frac{48}{17.14} = 2.8 \approx 3 \text{ modules.}$$

### III.10.8. Détermination du nombre de modules en parallèle

Pour fournir la puissance demandé, on complète notre calcul par la détermination du

$$\text{nombre de module en parallèle : } N_p = \frac{N_m}{N_s} = \frac{48}{3} = 16 \text{ modules.}$$

### III.11 Dimensionnement du système de stockage (batteries - étape 4)

Le rôle des batteries est de stockée le surplus d'énergie produit par le champ photovoltaïque, et de la restituer lorsque le champ photovoltaïque n'est plus capable d'alimenter les équipements électrique.

Le dimensionnement de la batterie consiste à effectuer deux choix :

- Choix de la tension de la batterie.

- Choix de la capacité de la batterie.

Le montage des batteries se fait en série pour augmenter la tension ou en parallèle pour augmenter la capacité. [15].

### III.11.1.Choix du type de batterie

L'utilisation d'une batterie va permettre de palier aux problèmes des variations climatiques, sur une échelle allant de quelques minutes à quelques jours. Un certain nombre de paramètres entre en jeu dans le choix de la batterie. Ils sont aussi bien d'ordre technique qu'économique. Il faut également noter que la batterie est le composant le moins durable d'un système photovoltaïque. Il faudra donc le remplacer avant les panneaux. [15]

### III.11.2.Profondeur de charge

Une batterie ne doit pas être déchargée en dessous d'un certain seuil sinon on risque de l'endommager. Une batterie pleine à 70% est à une profondeur de décharge de 30% (PD = 0,3).

En pratique, en absence de problème de basses températures, et pour un usage normal, on appliquera un coefficient PD = 0.7 à 0.8 selon les modèles de batteries : plutôt 0.7 pour les batteries qui supportent un faible nombre de cycles et plutôt 0.8 pour les batteries à fort nombre de cycles. Si la batterie doit cycliser davantage, on pourra diminuer PD pour disposer d'une durée de vie supérieure. Au contraire, si la batterie a très peu de probabilité de se décharger on pourra prendre PD = 0.9 et même 1.[14]

### III.11.3.Effet de la température

Si l'application est amenée à fonctionner à basse température, ce sera la principale cause de réduction de capacité, car les réactions de charge et de décharge de l'accumulateur sont ralenties par le froid.

Pour déterminer la réduction de capacité qui en résulte, on aura besoin de courbes de décharge à différentes températures fournies par le constructeur de la batterie. En fonction de la température minimale que le système peut accepter, on va déterminer sur ces courbes le coefficient réducteur de capacité par la température RT. [14]

### III.11.4.Autonomie sans apport solaire

On appelle nombre de jours d'autonomie sans apport solaire, Nja, la durée de quelques jours pendant laquelle la batterie peut alimenter seule l'installation à toute période de l'année

c'est en partie des données météorologiques du lieu que dépend la détermination du nombre de jours d'autonomie de la batterie. [14]

### III.11.5. Calcul de la capacité batterie

La capacité nominale d'une batterie est donnée généralement pour une décharge en (notée  $C_U$ ) à la température de 25°C. [15]

La capacité nominale pour un fonctionnement de  $N_j$  jours et un besoin électrique journalier  $B_j$  est de :

$$C_U = \frac{E_j \times N_j}{V_B \times P_d} \quad (3.4)$$

Avec :

$C_U$  : capacité utile de la batterie (Ah)

$N_j$  : nombre de jours d'autonomie sans apport solaire

$E_j$  : besoin journalier (Ah).

$V_B$  : Tension du système

$P_d$  : Profondeur de charge.

### III.11.7. Caractéristique de la batterie

Notre installation travaille avec des batteries de **100Ah/12V**, en tenant en compte du coefficient de profondeur de décharge **PD = 0.7** et la réduction de la température **RT = 0.95**, le nombre d'autonomie de cette batterie égal à **16h**. Voir Annexe [D]

$$C_U = \frac{14610 \times 0.66}{48 \times 0.7} = 286.98 \text{ AH}$$

### III.11.8. Calculer le nombre de batterie

Le dimensionnement de la batterie consiste à calculer le nombre de batterie nécessaires pour un système PV permettant de s'affranchir des variations climatiques temporaires. Cela dépend principalement des jours d'autonomie souhaitée, la profondeur maximale de décharge de la batterie et la température atmosphérique. [11]

L'équation (3.6) présente le calcul des nombre de batteries qui doit connecter en parallèle pour atteindre les ampères heures requis par le système

$$N_{bP} = \frac{C_T}{C_n} \quad (3.6)$$



$N_{bp}$ : la nombre de batterie parallèle

$CT$ : la capacité totale de banc de batteries nécessaires (Ah)

$C_n$ : la capacité nominale d'une unité de batterie (Ah)

L'équation (3.5) présente le calcul des nombre de batteries qui doit connecter en série pour atteindre la tentions requis par le système

$$N_{bs} = \frac{V_n}{V_{bat}} \quad (3.7)$$

Avec :

$N_{bs}$ : le nombre de batterie série

$V_n$ : la tentions du système DC (Volt)

$V_{bat}$ : la tentions des batteries (Volt)

Le nombre total des batteries est obtenu en multipliant Le nombre total des batteries en série  $N_{BS}$  et Le nombre total des batteries en parallèle  $N_{BP}$ , comme indiqué par l'équation suivant: [2]

$$N_{BTOT} = N_{BS} \times N_{BP} \quad (3.8)$$

### III.11.9.Détermination d'un nombre de batterie en série

Selon la capacité demandée, le  $N_{bs}$  de batteries en séries est donnée par :

$$N_{BS} = \frac{48}{12} = 4 \text{ Batteries}$$

### III.11.10.Détermination du nombre de batterie en parallèle

$$N_{BP} = \frac{286.98}{100} = 2.8 \approx 3 \text{ Batteries}$$

Les équations (3.6), (3.7) permettent de calculer le nombre des batteries en série  $N_{bs}$  en parallèle  $N_{BP}$ :

$$N_{BTOT} = N_{bs} \times N_{bp} = 3 * 4 = 12 \text{ Batteries}$$

### III.12 Dimensionnement du régulateur (Etape 5)

#### III.12.1. Choix d'un régulateur

Un régulateur de charge fait en sorte que la batterie soit bien chargée et la protège contre la surcharge, mais il ne gère pas les problèmes de décharge éventuels. Ce type de régulateur est donc généralement suffisant dans les cas où il n'y a pas de risque de décharge accidentelle.

Un régulateur charge-décharge est très souvent requis pour les applications domestiques, car les utilisateurs peuvent dépasser les consommations prévues. Il est alors utile de couper l'utilisation d'une partie au moins des récepteurs pour permettre à la batterie de se recharger.

Le choix de la technologie du régulateur, shunt, série ou MPPT, est d'abord guidé par la puissance du système photovoltaïque et par le type de batterie à charger. Le régulateur shunt qui dissipe la puissance des panneaux en cas de surcharge de la batterie est mieux adapté aux petits systèmes et le régulateur série aux plus gros systèmes.

#### III.12.2. Critères de choix

Ilya 2 éléments principaux à prendre en compte :

- la tension entre les panneaux et les batteries : le régulateur doit pouvoir accepter cette tension (en général 12V, 24V ou 48V).
- l'intensité maximale du régulateur : l'intensité du régulateur (en ampères, A) doit être supérieure à l'intensité de court-circuit du ou des panneaux solaire auquel il est connecté. Une marge de sécurité de 10% à 20% n'est pas inutile. Donc le régulateur utilisé dans ce système est : Régulateur solaire STECA POWER TAROM 4110 48V 110A. Voir Annexe [B]

### III.13 Dimensionnement de l'onduleur (Etape 6)

Lorsque l'application contient d'appareils fonctionnant en alternatif (AC), il faut convertir l'électricité continue que produisent les capteurs photovoltaïques en électricité alternative utilisable par ces appareils.

Le dimensionnement d'un onduleur se base sur la somme des puissances maximales de chaque équipement à connecter au courant alternatif, et se fait en fonction de plusieurs critères:

- ✓ **Tension d'entrée** : elle est égale à celle de la batterie ou du régulateur.
- ✓ **Tension de sortie**: en Algérie nous utilisons du 220 VAC, 50Hz
- ✓ **Puissance nominale** : Puissance nominale de l'onduleur (VA), définie d'après les besoins exprimés .Elle tient compte du nombre d'équipements, et de leurs puissances.

Pond: puissance de transformation

Put: puissance totale de charge

$P_{ond} = P_{ut} + 10\% P_{ut}$

$P_{ond} = 2641 + 264.1 = 2905.1 \text{ w}$

Donc l'onduleur utilisé dans l'installation domestique est CONVERTESUR PUR SIN 3000W  
Voire Annexe (C).

MODEL	Caractéristique de convertisseur		
Puissance nominale	3000W		
Puissance au Pic	6000W		
Fréquence	50Hz		
Forme d'onde	Onde sinusoïdale pur		
Tension de entrée DC	DC12v	DC24v	DC48v
Tension de sortie AC	220VAC ou 230VAC ou 240VAC		
Taille de Produit	2.4/2.8		
Poids	7.65/9kg		

Tableau 3.7: Caractéristique du convertisseur (onduleur).

### III.14 Câblage (Etape 7)

Pour assurer le transport de l'énergie des modules jusqu'au régulateur de charge, on ne peut pas utiliser n'importe quel câble électrique. Les câbles solaires sont étudiés pour résister aux conditions spéciales liées à leur utilisation. Ils sont les seuls à pouvoir assurer une longue durée de vie (supérieure à 30 ans) tout en minimisant les pertes d'énergie. Les câbles ordinaires, même s'ils sont conçus pour un usage extérieur, ne supportent pas aussi bien les variations de température (pouvant aller de  $-20^{\circ}\text{C}$  à  $80^{\circ}\text{C}$  à proximité des modules), ainsi que l'exposition aux rayons ultra-violet et à l'ozone. Tout cela en restant souples et maniables. Ils sont équipés dans la majorité des cas d'une double isolation et ne possèdent pas de substances inflammables ou toxiques (halogène) ce qui accroît leur sécurité. [15]

#### III.14.1. Choix des sections de câble

Les pertes en puissance se produisant lors du fonctionnement dans un conducteur reliant deux composants, est égale au produit de la résistance du conducteur par le courant au carré le courant au carré traversant le conducteur :

En prenant :

l1 : longueur du câble entre les panneaux et le régulateur est : 15m

l2 : longueur du câble entre le régulateur et l'onduleur est : 10 m et longueur du câble entre le régulateur et batterie est : 10m.

l3 : longueur du câble entre la charge et l'onduleur est : 8m

Le guide de l'UTE C15-712 relatif aux installations photovoltaïques indiquent que la chute de tension dans la partie DC devra être inférieure à 3%, idéalement 1%. [14]

De batterie à régulateur de charge	<1%
De batterie à onduleur	<1%
De module solaire PV à régulateur de charge	<3%
D'onduleur à charges	<5%

Tableau 3.8 : Chutes de tension maximale acceptable (suggestions).

### III.14.2. Calcul de la section de câble

R : résistance du câble ( $\Omega$ )

$\rho = 1.7 \cdot 10^{-8}$  ohm. Mètres pour le cuivre

**Calcul de courant de sortie de GPV :**

$$I = N_p \times I_{op} = 16 \times 5.01 = 80.16 \text{ A}$$

❖ **Détermine section de conducteur entre le panneau au le régulateur:**

$$\Delta U = 48 \times 0,03 = 1.44 \text{ V} \text{ donc } R \text{ max de la ligne } R = \Delta U / I = 1.44 / 80.16 = 0,017 \Omega$$

$$S = (\rho \cdot L) / R = (1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 15) / 0,017 = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ soit un câble d'une section de } 15 \text{ mm}^2.$$

❖ **Détermine section de conducteur entre le régulateur au l'onduleur:**

$$\Delta U = 48 \times 0,05 = 2.4 \text{ V} \text{ donc } R \text{ max de la ligne } R = \Delta U / I = 2.4 / 80.16 = 0,029 \Omega$$

$$S = (\rho \cdot L) / R = (1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 10) / 0,029 = 5.8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Soit un conducteur d'une section minimale de 5.8 mm<sup>2</sup> (section normalisée 6 mm<sup>2</sup>)

❖ **Détermination section de conducteur entre le charge au l'onduleur soit:**

$$\Delta U = 48 \times 0,05 = 2.4 \text{ V} \text{ donc } R \text{ max de la ligne } R = \Delta U / I = 2.4 / 80.16 = 0,029 \Omega$$

$$S = (\rho \cdot L) / R = (1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 8) / 0,029 = 4.6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Soit un conducteur d'une section minimale de 4.6 mm<sup>2</sup> (section normalisée 6mm<sup>2</sup>).

### III.15 Analyse du coût du système (Etape 8)

Le tableau ci-dessous présente les coûts estimatifs globaux du système.

Désignation	Quantité	Prix	Montant	Garantie
Panneau 85W mono 17.14 V	48	13000.00	624000.00	25
Batteries 12V/100Ah	12	22000.00	264000.00	10
Onduleur 3 kW	1	50000.00	50000.00	25
Régulateurs 110A	1	20000.00	20000.00	25
Accessoire		100000.00	100000.00	25
Investissement Total		399000.00	1058000.00	

Tableaux 3.9: Coûts estimatifs globaux annuels du système.

D'après les résultats obtenus de calcul, on remarque que le champ photovoltaïque présente environ 58 % de coût total du système et 40% pour les batteries.

### III.16 Éléments du système PV autonome

Notre système étudié est composé de 5 éléments principaux :

- ✚ un champ de panneaux photovoltaïques
- ✚ un système de stockage de l'électricité
- ✚ un régulateur
- ✚ un onduleur
- ✚ La charge



Figure 3.10: Schéma synoptique du système PV autonome.

### III.17 Conclusion

Nous avons procédé au dimensionnement d'un système autonome pour un site isolé demandant une puissance de 3kw.

Ce chapitre est consacré essentiellement au dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome pour sites isolés.

Notre conclusion porte sur deux volets:

Les équipements principaux utilisés dans cette installation sont: panneaux solaires, batteries de stockages, régulateur de charge, convertisseur du courant (onduleur)

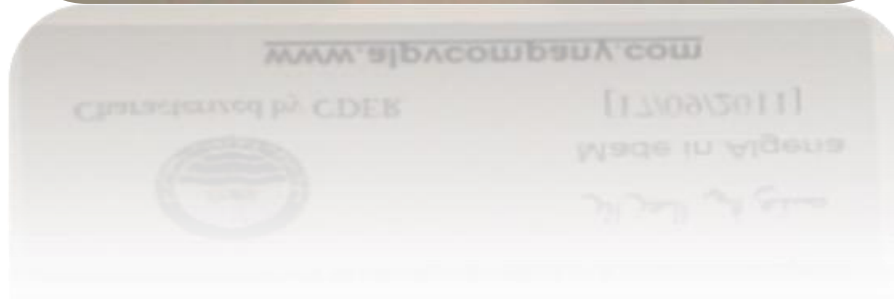
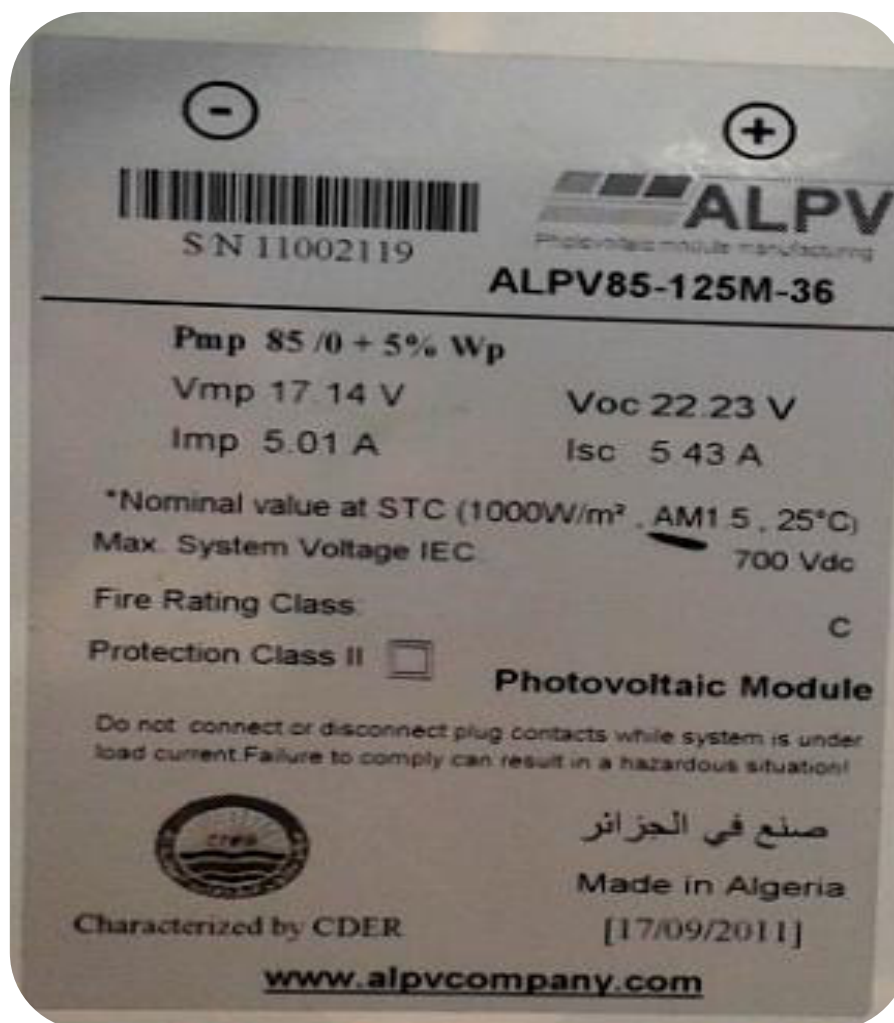
Le coût: on a adopté une méthode simplifiée pour le calcul du coût d'une installation photovoltaïque selon le modèle suivant:

$CT = CGPV + CB + CReg + Cond + CA$  est de 1058000.00 DA.

Le choix de ces composants devra être effectué suivant une méthodologie bien précise.

## Annexe

## [A] Module Photovoltaïque:



## [B] Régulateur de charge

### Steca Power Tarom

2070, 2140, 4055, 4110, 4140

Spécialement conçu pour les applications industrielles et les applications en plein air, le Steca Power Tarom est livré dans un boîtier IP 65 en acier à revêtement par poudre.

Ce régulateur de charge solaire permet de réguler les systèmes d'une puissance maximale de 8 400 Wc sur trois niveaux de tension (12 V, 24 V, 48 V). Le Steca Power Tarom utilise la technologie des régulateurs Steca Tarom. Plusieurs régulateurs de cette série peuvent être montés en parallèle sur un bus DC classique et fonctionner dans un système maison solaire simple ou un système hybride. Ceci permet d'atteindre une puissance de plus de 20 kWc.

#### Caractéristiques du produit

- Régulateur hybride
- Détermination de l'état de charge par le Steca Atoric (SOC)
- Sélection automatique de tension
- Régulation MLI
- Technologie de charge à plusieurs niveaux
- Déconnexion de consommateurs en fonction du système SOC
- Reconnexion automatique du consommateur
- Compensation de température
- Mise à la terre positive ou négative à l'une des bornes
- Enregistreur de données intégré
- Fonction éclairage nocturne avec le Steca PA 15
- Auto-vérification
- Charge d'entretien mensuelle
- Compteur d'énergie intégré

#### Fonctions de protection électroniques

#### Interfaces

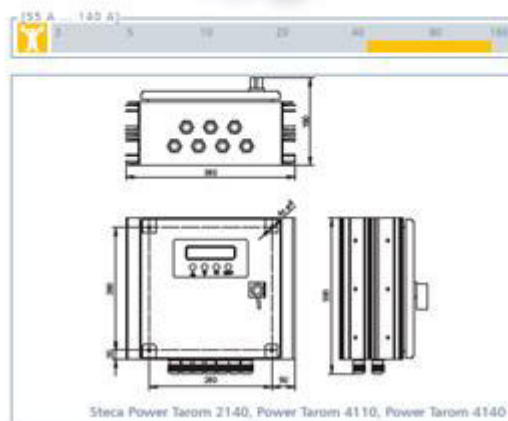
- Interface RJ45

#### Options

- Sonde de température externe (contenues dans la livraison)
- Contact d'alarme
- Surveillance d'installation via Steca PA CAB1 Tarcom

#### Certificats

- Approuvé par la Banque mondiale pour le Népal
- Conforme à une utilisation dans des zones tropicales (DIN IEC 68 section 2-30)
- Conforme aux normes européennes (CE)
- Fabriqué en Allemagne
- Développé en Allemagne
- Fabriqué selon les normes ISO 9001 et ISO 14001



Steca PA Tarcom  
Enregistreur de données et  
Steca PA CAB1 Tarcom  
Câble de données



Steca PA HS200  
Shunt



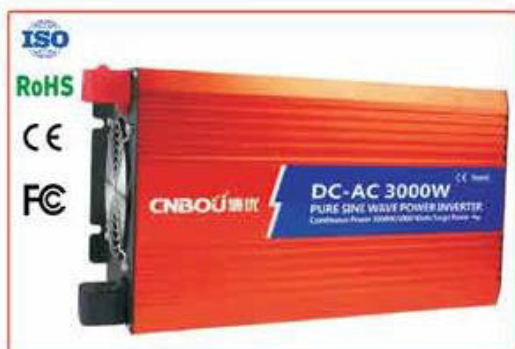
Steca PA 15  
Commande à distance



## [C] Convertisseur PUR SIN 3000W

## CONVERTISSEUR PUR SIN 3000W

Dowel

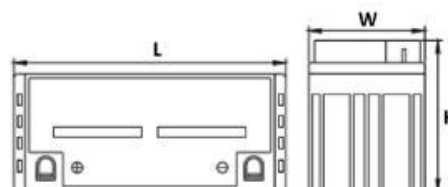


MODEL	B12P3K-2	B24P3K-2	B48P3K-2
Puissance nominale	3000W		
Puissance au Pic	6000W		
Fréquence	50HZ ± 0.5HZ ou 60HZ ± 0.5HZ		
Forme d'onde	onde sinusoïdale pure		
Efficacité du système	plus haut 94%		
Tension d'entrée DC	DC12V	DC24V	DV48V
Tension de sortie AC	220VAC ou 230VAC ou 240VAC ± 5%		
Plage de tension d'entrée DC	10-15.5V	20-31V	40-61V
Alarme batterie basse	10.5 ± 0.5V	21 ± 0.5V	42 ± 1V
Arrêt batterie basse	10 ± 0.5V	20 ± 0.5V	40 ± 1V
Protection	Tension de batterie trop basse		
	Surcharge		
	Température trop élevée		
	Court-circuit en sortie		
	Court-circuit en entrée		
Température de fonctionnement	-10°C - +50°C		
Taille de produit	366x200x145 mm		
Poids	7.65/9 kg		
Garantie	2 ans		

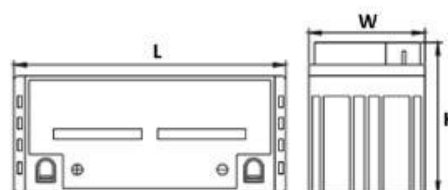
## [D] Batterie Solaire



## BATTERIES



Référence	RA12-100
Tension nominale	12V
Capacité nominale	100Ah@10hr-rate to 1.80V per cell @25 °C
Résistance interne	Approx. 5mΩ
Max. Courant de décharge	1000 A (5 sec)
Température de fonctionnement	Décharge: -20 °C ~ 60 °C Charge: 0 °C ~ 50 °C Stockage: -20 °C ~ 60 °C
Poids	Approx. 30.0 Kg
Dimension (L*W*H)	328*172*222 mm
Garantie	1 an



Référence	RA12-120
Tension nominale	12V
Capacité nominale	120Ah@10hr-rate to 1.80V per cell @25 °C
Résistance interne	Approx. 4mΩ
Max. Courant de décharge	1200 A (5 sec)
Température de fonctionnement	Décharge: -20 °C ~ 60 °C Charge: 0 °C ~ 50 °C Stockage: -20 °C ~ 60 °C
Poids	Approx. 35.0 Kg
Dimension (L*W*H)	407*177*225 mm
Garantie	1 an

**[E] Insolation dans la région d'El oued Souf durant 1996/2005.**

Année	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1996	213.7	217.0	273.9	278.8	312.5	369.1	374.7	337.8	259.2	292.2	240.4	246.4
1997	214.5	245.2	317.8	259.8	321.8	314.8	344.1	318.4	263.5	281.9	244.0	233.5
1998	242.4	257.8	295.2	302.2	336.8	354.1	392.2	353.5	276.1	275.0	258.1	259.5
1999	183.8	257.7	302.2	313.0	337.1	328.0	365.4	313.5	256.8	276.3	210.3	227.4
2000	275.5	279.5	282.9	297.1	284.9	367.8	379.1	362.6	293.4	235.8	247.0	224.1
2001	257.9	265.5	290.1	302.6	296.0	368.0	346.1	348.9	262.3	267.3	214.5	223.2
2002	255.4	258.7	272.6	269.0	302.0	345.0	277.4	289.1	283.8	289.0	213.8	251.2
2003	216.2	234.5	261.8	289.0	304.5	369.7	355.5	355.0	292.9	208.3	230.5	233.4
2004	258.5	227.9	239.4	304.0	318.0	323.9	369.0	298.1	287.1	231.6	233.6	204.6
2005	247.6	235.9	232.6	278.4	329.5	324.0	321.0	339.2	266.7	269.0	239.6	203.9

### Abréviation et Symboles

PV: Photovoltaïque.

GPV: Générateur photovoltaïque.

STC: Standard Test Conditions.

P<sub>c</sub>: Puissance crête.

MPPT: Maximum Power Point Tracking.

DC: Courant Continu (Direct Current)

AC: Courant Alternatif (Alternating Current).

P<sub>max</sub>: Puissance crête maximale.

V<sub>mp</sub>: Tension à Puissance Max.

I<sub>mp</sub> : Courant à Puissance Max .

V<sub>co</sub>: Tension en Circuit Ouvert.

I<sub>cc</sub>: Courant de Court-Circuit.

V<sub>dc</sub>: Tension Maximale System.

E : Energie électrique en Wh/j.

P : Puissance Electrique en W.

T: Temps d'utilisation en Heure par Jour (h/j).

B<sub>j</sub> : besoin journalière en Wh/j.

H : moyenne annuelle de flux globale d'irradiation solaire pour la région considérée.

(KWh/m<sup>2</sup>.jour). C<sub>p</sub> : Coefficient de Pertes en Courant.

N<sub>m</sub> : Nombre de Modules

N<sub>s</sub> : Nombre de Modules en Série (nombre de ligne).

$N_p$  : Nombre de Modules en Parallèle (nombre de colonne).

$V_{ch}$  : la Tension Nominale de la charge.

$V_m$  : la Tension Nominale du Module.

$C_u$  : Capacité utile de la Batterie (Ah) .

$N_{ja}$  : Nombre de jours d'autonomie sans apport Solaire.

$C_{20}$  : Capacité nominale (Ah).

$N_{ja}$  : Nombre de jours d'autonomie sans apport Solaire (jours).

$B_j$  : Besoin journalier (Ah/jour).

$PD$  : Profondeur de Décharge Maximale Autorisée .

$RT$  : coefficient réducteur de la température.

$N_{bs}$ : la Nombre de Batterie Série

$V_n$ : la Tentions du Système DC (Volt)

$V_{bat}$ : la Tentions de la Batteries (Volt)

Liste des Figure

**CHAPITER I : Généralités sur les énergies renouvelables**

Figure1.1:Répartition des sources primaires d'énergie dans le monde (2013). ....	4
Figure 1.2:Consommation d'énergie des pays développés (2009). ....	5
Figure.1.3: Bilan des réalisations par wilaya en Algérie (2007). ....	7
Figure 1.4: Solaire thermodynamique.....	9
Figure 1.5: Tour solaire.....	9
Figure 1.6.a: Champ solaire.....	9
Figure 1.6.b: Panneaux solaires.....	9
Figure 1.7: Deux exemples sur l'utilisation de la géothermique.....	11
Figure 1.8: Exemple des sources d'énergie biomasse.....	12
Figure 1.9: Exemple du principe d'une centrale hydraulique. ....	13
Figure 1.10: Parc de production hydroélectrique en Algérie (2007). ....	14
Figure 1.11: Usine marémotrice de Rance-France 240MW. ....	14
Figure 1.12: Les trois utilisations de l'énergie éolienne. ....	16

**CHAPITER II: Généralités sur les système PV**

Figure 2.1: Structure d'une cellule photovoltaïque. .... 19

Figure 2.2:Caractéristiques I (V) sous obscurité et sous éclairment d'une cellule photovoltaïque.....21

Figure 2.3: Effet de la température sur la caractéristique I(V) ..... 22

Figure 2.4:Evolution du courant de court-circuit et de la tension du circuit ouvert avec la température.....22

Figure 2.5:Evolution de la caractéristique courant- tension avec l'énergie reçue. .... 23

Figure 2.6: Notion de cellule, panneau et générateur photovoltaïque. .... 24

Figure 2.7:Schéma électrique équivalent d'un générateur photovoltaïque. .... 24

Figure.2.8: Caractéristiques I(V) d'une cellule et d'une association de 3 branches. .... 25

Figure.2.9:Caractéristique courant- tension et puissance-tension du générateur photovoltaïque. .... 26

Figure 2.10: Cellules placées en parallèle. .... 27

Figure 2.11:Cellules placées en parallèle. .... 27

Figure 2.12:Cellules placées en série. .... 28

Figure 2.13: Évaluation de la caractéristique courant- tension avec le nombre de cellules en série.....29

Figure 2.14:Répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol terrestre. .... 31

Figure 2.15:Composantes de rayonnement global d'une surface incliné. .... 33

**Chapitre III : Dimensionnement d'un système PV autonome**

Figure 3.1: Insolation dans la région Oued Souf.....36

Figure 3.2: Diagramme simplifié du dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome.  
.....38

Figure 3.3 :Exemple de structure d'un système PV autonome.....39

Figure 3.4: Les appareils de consommation d'électricité à la maison.....41

Figure 3.5: Irradiation solaire globale reçue sur plan incliné à la latitude du lieu: moyenne  
annuelle.....43

Figure 3.6: représente du module photovoltaïque étudiée.....44

Figure 3.7: Montage électrique pour relever la caractéristiques  $I=f(V)$  de module  
photovoltaïque.....45

Figure 3.8: Expérience d'étude des caractéristiques  $I=f(V)$  de module  
photovoltaïque.....46

Figure 3.9 :Caractéristique  $I=f(V)$  du module photovoltaïque étudiée.....47

Figure 3.10: Schéma synoptique du système PV autonome.....56



**Liste des Tableaux**

**CHAPITER I : Généralités sur les énergies renouvelables**

Tableau 1.1: La production et la consommation de l'énergie des pays industrialisés (2004).....6

Tableau 1.2: Potentiel solaire en Algérie.....10

**CHAPITER II: Généralités sur les système PV**

Tableau 2.1: La distribution de spectre en énergie.....30

Tableau 2.2: les compositions de l'atmosphère.....31

**Chapitre III : Dimensionnement d'un système PV autonome**

Tableau 3.1: Répartition de la superficie de la zone d'étude par commune (en km).....36

Tableau 3.2: Stations de l'énergie solaire dans la région d'El oued Souf.....37

Tableau 3.3: Estimation des besoins énergétiques journaliers.....41

Tableau 3.4: représente les paramètres électriques module solaire.....44

Tableau 3.5: Tension recommandée pour le système photovoltaïque.....45

Tableau 3.6: Les valeurs du courant et de tension de cette expérience.....46

Tableau 3.7: Caractéristique du convertisseur (onduleur).....53

Tableau 3.8 : Chutes de tension maximale acceptable (suggestions).....54

Tableaux 3.9: Coûts estimatifs globaux annuels du système.....55

### Référence Bibliographique

- [1] **Boufrioua Abderaouf**, Étude de Système Photovoltaïque par Régulateur Logique Flou et Algorithme Génétique Centre Universitaire El-Oued 2010.
- [2] [http :// www.lie.ucl.ac.be / multimédia /IEEE / FR / réalisations / Energie Renouvelables](http://www.lie.ucl.ac.be/multimédia/IEEE/FR/réalisations/Energie%20Renouvelables)
- [3] **Ragouta Mohammed Seghir**, Mémoire de Master Dimensionnement des Systèmes de Pompage PV de la zone Oued-Souf Université de BATNA 2013.
- [4] **BENAOUADJ Mahdi**, Mémoire de Magister CONTROLE D'UNE SOURCE HYBRIDE BATTERIES/SUPER CONDENSATEURS, RECHARGÉE PAR L'ÉNERGIE PHOTOVOLTAÏQUE, POUR TRACTION ÉLECTRIQUE « VÉHICULE HYBRIDE » Université d'El-Oued.
- [5] **Alain Ricaud**, Gisement-solaire, Master Energies Renouvelables, Université de CERGY-PONTOISE, Jan-2011.
- [6] **A.Z.Mohamed, M.N.Eskander and F.A.Ghali**, Fuzzy logic control based maximum power point tracking of a wind energy system, Renewable Energy 23, pp: 236-244, 2001
- [7] **DAHMRIMOURAD**, optimisation de l'ensemble onduleur, moteur et pompe branche sur un générateur PV, Université Mentouri de Constantine ,2007
- [8] [Http : www.lie.ucl.ac.be](http://www.lie.ucl.ac.be), " le pompage photovoltaïque " IEPF/Université d'Ottawa/ EIER/ CREPA, 1998.
- [9] **RACHID ABABOU**, Élément d'hydrologie souterraine, version V.6-1, Toulouse, France, janvier 2007.
- [10] **Bekkari W, Saker S**, Etude comparative des systèmes de pompage photovoltaïque, mémoire d'ingénieur, Université de Biskra, 2006
- [11] **BOUDEN Djamila**, Optimisation d'un système d'énergie photovoltaïque application au pompage, Université Mentouri de Constantine, 2007
- [12] **Mohamed Djarallah**, Contribution l'étude des systèmes photovoltaïques résidentiels couplés aux réseaux électriques. Université de BATNA, 2008.
- [13] **Hamani Nadjette**, Modélisation du flux solaire incident et de la température de sortie dans un capteur solaire à eau avec effet de concentration du rayonnement solaire incident, Université de Biskra, 2009.

[14] **Daifi Mohamed Amine**, Mémoire de Master Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome en site isolé au sud du pays ville de Biskra Université de Biskra 2015.

[15] **Djenidi Karim**, Mémoire de Master Etude d'un système photovoltaïque autonome Université De Biskra 2013.

**Sommaire**

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

**Chapitre I : Généralités sur les énergies renouvelables**

I.1 Introduction.....	3
I.2 Répartition des sources primaires d'énergie dans le monde .....	3
I.3Energies renouvelables .....	4
I.3.1.Qu'est-ce qu'une énergie ? .....	4
I.3.2.Définition .....	4
I.3.3.Classement des sources d'énergie .....	5
I.3.4.L'énergie renouvelable dans le monde. ....	5
I.3.5.Les énergies renouvelables en Algérie.....	6
I.4 Principales énergies renouvelables .....	8
I.4.1.Energies solaire.....	8
I.4.1.2.Energie solaire en Algérie .....	10
I.4.2.Energie géothermique .....	10
I.4.2.1.Définition.....	10
I.4.2.2- Energie géothermique en Algérie.....	11
I.4.3.Biomasse .....	12
I.4.3.1.Définition.....	12
I.4.3.2.La Biomasse en Algérie.....	13
I.4.4.Hydroélectrique.....	13
I.4.4.1.Définition.....	13
I.4.4.2.Energie Hydraulique en Algérie.....	14
I.4.5.Energie des vagues (marémotrice).....	14
I.4.5.1.Définition.....	14
I.4.6 Energie éolienne.....	15

I.4.6.1 Définition.....	15
I.4.6.2.Energie éolienne en Algérie.....	16
I.5 Conclusion .....	17

## Chapitre II : Généralités sur les système PV

II.1 Introduction .....	18
II.2 Historique .....	18
II.3 Cellule solaire.....	18
II.3.1.Structure et Principe de fonctionnement.....	19
II.3.2.Influence de la température et du rayonnement.....	21
II.3.2.1.Influence de la température.....	21
II.3.2.2.Influence du rayonnement.....	22
II.4 Le panneau solaire.....	23
II.5 Le générateur photovoltaïque .....	23
II.6 Modèle électrique du générateur photovoltaïque .....	24
II.6.1.Schéma électrique équivalent .....	24
II.6.2.Caractéristiques courant – tension .....	25
II.6.3.Caractéristiques puissance – tension .....	26
II.7 Association des générateurs photovoltaïques.....	26
II.7.1.Association en parallèle.....	26
II.7.2. Association en série .....	27
II.8 Le rayonnement solaire .....	29
II.8.1.Le soleil : .....	29
II.8.2.Le spectre du rayonnement solaire : .....	29
II.9 Les rayonnements solaires hors l'atmosphère : .....	30

II.9.1.L'atmosphère terrestre :.....	30
II.9.2.La structure verticale l'atmosphère :.....	30
II.9.3. Les compositions de l'atmosphère : .....	31
II.10 Les rayonnements solaires arrivant au sol :.....	32
II.10.1.Rayonnement solaire direct :.....	32
II.10.2.Rayonnement solaire diffus : .....	32
II.10.3.Rayonnement global : .....	32
II.11 Avantages et inconvénient de L'énergie solaire photovoltaïque .....	33
II.12 Conclusion.....	34

### **Chapitre III : Dimensionnement d'un système PV autonome**

III.1 Introduction.....	35
III.2 Géographie de l'aire d'étude [7].....	35
III.4 Insolation.....	36
III.5 Stations de l'énergie solaire proposées pour l'investissement privé à wilayad'El oued...	37
III.6 Dimensionnement d'un système PV autonome .....	37
III.6.1 Démarches à suivre .....	37
III.7 Systèmes autonomes .....	39
III.8 Evaluation du besoin énergétique journalier de l'installation (Etape 1) .....	39
III.8.1. Tension des récepteurs .....	39
III.8.2. Besoins de l'application en énergie .....	40
III.8.3. Détermination des besoins énergétiques journaliers de l'habitat considéré .....	40
III.8.4.Besoin journalier .....	42
III.9 Energie solaire journalière récupérée en Algérie(Etape 2) .....	43
III.10 Définition des modules photovoltaïque (étape3) .....	43
III.10.1.Dimensionnementd'un module photovoltaïque .....	43

---

III.10.3.Calcul pratique de la puissance photovoltaïque .....	44
III.10.4.Caractéristique I(V) du module solaire .....	45
III.10.5.Evaluation du coefficient $C_p$ .....	47
III.10.6.Détermination d'un nombre de module .....	48
III.10.7.Détermination du nombre de modules en série .....	48
III.10.8.Détermination du nombre de modules en parallèle.....	48
III.11 Dimensionnement du système de stockage (batteries - étape 4).....	48
III.11.1.Choix du type de batterie.....	49
III.11.2.Profondeur de charge.....	49
III.11.3.Effet de la température .....	49
III.11.4.Autonomie sans apport solaire .....	49
III.11.5.Calcul de la capacité batterie.....	50
III.11.6.Calcul de la capacité avec les coefficients de réduction.....	50
III.11.7.Caractéristique de la batterie .....	50
III.11.8.Calculer le nombre de batterie.....	51
III.11.9.Détermination d'un nombre de batterie en série .....	51
III.11.10.Détermination du nombre de batterie en parallèle .....	52
III.12 Dimensionnement du régulateur (Etape 5).....	52
III.12.1.Choix d'un régulateur .....	52
III.12.2.Critères de choix.....	52
III.13 Dimensionnement de l'onduleur (Etape 6) .....	53
III.14 Câblage.....	53
III.14.1.Choix des sections de câble.....	54
III.14.2.Calcul de la section de câble.....	54
III.15 Analyse du coût du système .....	55
III.16 Éléments du système PV autonome .....	55
III.17 Conclusion.....	56

Conclusion générale.....57