

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Electrique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Génie électrique

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

Présenté par :

BERREGUI ABDELFETTAH

ABSA AMJED

Thème:

**Etude technicoéconomique d'une installation photovoltaïque pour
application dans la région de Ouargla**

Soumis au jury composé de :

M^f Bouhafis Ali

MAA

Président

UKM Ouargla

M^f Benbouza naima

MCB

Encadreur/rapporteur

UKM Ouargla

M^f Louazene Mohamed lakhdar

MCA

Examineur

UKM Ouargla

Année universitaire 2019/2020

Remerciement

Avant tout, nous remercions Dieu le Tout-puissant de nous avoir donné le souffle de vie, le courage, la volonté, la patience et la santé durant toutes ces années d'études et c'est grâce à lui que ce travail a pu être réalisé.

Nos vifs et sincères remerciements à notre encadreur Mme. BENBOUZA NAÏMA, vous nous avez bien guidés dans ce travail de recherche, en nous donnant inlassablement beaucoup de votre temps, votre enthousiasme à partager vos connaissances tout comme votre sens chaleureux du contact nous a beaucoup marqué. Soyez assuré de notre plus sincère gratitude et de notre profond respect.

Aux membres du jury, vous nous faites un grand honneur en acceptant de juger ce modeste travail, nous vous en remercions et vous témoignons notre profonde et respectueuse gratitude.

A tous les professeurs qui ont participé dans notre cursus et surtout à l'ensemble des enseignants de notre spécialité pour la qualité des cours qu'ils nous ont prodigués, et qui nous ont servi pour accomplir ce travail, nous vous remercions et vous témoignons nos sentiments les plus déférents.

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à ma mère et mon père symboles
d'affection et d'amour, qui ont sacrifié tout leur temps pour
mon bonheur et ma réussite qu'ils trouvent ici le témoignage
de ma profonde reconnaissance.*

*Ma très grande affection également à tous les membres de
ma famille Mes oncles et Mes tentes Mes cousins et cousines
qui m'ont soutenues durant toute la période de mes études.*

A tous mes amis et mes collègues et à tous ceux que J'aime.

SOMMAIRE

Sommaire.....	I
Liste des Figure.....	II
List des Tableaux.....	III
Introduction générale.....	1
Chapitre I :	
 Fondements des installations photovoltaïques	
 I.1.Introduction.....	3
 I.2. Principe de fonctionnement d'une installation photovoltaïque (PV).....	3
I.2.1. Technologie des cellules photovoltaïques.....	5
I.2.2. Le module photovoltaïque.....	10
I.2.3. Caractéristique d'une cellule photovoltaïque.....	12
 I.3. Application des systèmes photovoltaïques.....	14
I.3.1.Installation photovoltaïque raccordée au réseau.....	16
I.3.1.1Classification des centrales photovoltaïques connectées au réseau.....	17
I.3.1.2. Composition d'un système photovoltaïque raccordé réseau.....	18
I.3.2. Installations autonomes.....	19
 I.4. Options de consommation de l'énergie photovoltaïque	20
I.4.1. Exportation vers le réseau.....	20
I.4.1.1.Installation PV raccordée au réseau avec injection total de l'énergie produite.	21
I.4.2. L'autoconsommation	22
 I.5.Conclusion.....	22

SOMMAIRE

Chapitre II :

Conception d'une installation photovoltaïque

II.1. Introduction.....	23
II.2. Etude technique.....	23
II.2.1. Définition du besoin électrique.....	23
II.2.2. Evaluation du gisement solaire local.....	24
II.2.3. Orientation des modules PV.....	24
II.2.4. Angle d'inclinaison des modules PV	24
II.2.5. Calcul de la puissance crête des panneaux PV.....	26
II.2.6. Calcul du nombre total des modules.....	27
II.2.7. Dimensionnement de l'onduleur	27
II.2.7.1. La compatibilité en tension (Tension maximale admissible).....	28
II.2.7.2. La compatibilité en courant.....	29
II.2.7.3. La compatibilité en puissance.....	29
II.2.8. Choix de la batterie	29
II.2.8.1. Calcul de la tension.....	30
II.3. Etude économique	32
II.3.1. Evaluation du coût d'investissement initial.....	33
a. Le coût brut.....	33
b. Investissement initial.....	34
II.3.2. Coût sur la durée de vie.....	34
a. Coût de maintenance et remplacement des sous-systèmes.....	34
II.4. Conclusion.....	35

SOMMAIRE

Chapitre III :

Application des systèmes photovoltaïque dans la région d'Ouargla

III.1.	Introduction.....	36
III.2.	Présentation du site d'étude.....	36
III.2.1.	Rayonnement solaire	36
III.2.2.	Description du cas d'étude	38
III.2.3.	Profil de consommation du client BT dans le site d'étude.....	38
a.	Consommation annuelle d'un abonné basse tension.....	38
b.	Charge horaire d'un abonné basse tension.....	38
III.3.	Application des systèmes photovoltaïque.....	39
III.3.1.	Mini-centrale PV connecté au réseau électrique.....	39
III.3.1.1.	Dimensionnement de la mini-centrale PV.....	39
a.	Evaluation du besoin d'utilisateur.....	40
b.	Calcul de la puissance crête du générateur photovoltaïque	40
c.	Calcul du nombre de modules total.....	40
d.	Nombre de modules en série.....	41
e.	Nombre de modules en parallèle.....	41
III.3.1.2.	Résultats de simulation.....	41
III.4.	Evaluation économique.....	45
a.	Cout de l'alimentation par extension réseau électrique	45
b.	Calcul du cout d'investissement.....	45
III.5.	Evaluation écologique des différents systèmes étudiés.....	46
III.6.	Conclusion.....	46
	Conclusion générale.....	47

Liste des figures

Chapitre I

Figure (I.1): Installation photovoltaïque.....	3
Figure (I.2) : principe de fonctionnement photovoltaïque.....	4
Figure (I.3) : Cellules solaires monocristallines.....	6
Figure (I.4) : Cellules solaires polycristallines.....	7
Figure (I.5) : Cellules solaires amorphes.....	8
Figure (I.6) : Les cellules multi-jonctions.....	9
Figure (I.7) : Principe de la cellule à multi-jonction.....	9
Figure (I.8) : Photovoltaïque à concentration et Schéma de principe d'un concentrateur photovoltaïque.....	10
Figure (I.9) : Cellules flexibles.....	10
Figure (I.10): Module photovoltaïque.....	11
Figure (I.11) : Schéma synoptique d'un générateur PV.....	11
Figure (I.12) : Caractéristique courant – tension d'une cellule photovoltaïque.....	13
Figure (I.13) : Caractéristique puissance-tension.....	14
Figure (I.14) : Structure de la chaîne hybride (éolienne, photovoltaïque).....	14
Figure (I.15) : Caractéristiques du débit pour le pompage au fil du soleil et avec batterie... 15	
Figure (I.16) : Représente un système PV connecté au réseau électrique	17
Figure (I.17) : Les constituants d'un système PV.....	18
Figure (I.18) : Système photovoltaïque directement relié au réseau.....	20
Figure (I.19) : Système photovoltaïque relié au réseau avec batterie.....	20
Figure(I.20) : Schéma de principe de la configuration d'injection du surplus d'énergie.....	21
Figure (I.21) : Schéma de principe de la configuration d'injection totale d'énergie.....	22

Chapitre II

Figure (II.1): Définition de l'orientation d'un panneau photovoltaïque.....	24
Figure (II. 2): Angle d'inclinaison des modules photovoltaïques.....	25
Figure(II.3) : onduleur.....	28
Figure(II.4) : Câble de longueur L et section S.....	30
Figure(II.5) : Longueur L à considérer dans le cadre du calcul de la tension du parc de batteries.....	31

Liste des figures

Chapitre III

Figure(III.1) : Variation annuelle du rayonnement solaire site d'Ouargla.....	37
Figure(III.2) : Consommation annuelle d'un abonné BT.....	38
Figure(III.3) : Charge horaire d'un abonné basse tension.....	39
Figure(III.4) : Variation annuelle de l'énergie photovoltaïque produit.....	42
Figure(III.5) : Variation horaire de l'énergie photovoltaïque qui produite pour une journée d'hivers (cas mini centrale).....	43
Figure(III.6) : Variation horaire de l'énergie photovoltaïque qui produite pour une journée d'été (cas mini centrale).....	43

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau (I.1) : Rendement des différentes technologies.....	8
--	----------

Chapitre II

Tableau (II.1) : Choix de l'inclinaison.....	26
---	-----------

Tableau (II.2) : détermination la tension de stockage de la batterie.....	30
--	-----------

Chapitre III

Tableau (III.1) : Spécifications du site d'Ouargla.....	36
--	-----------

Tableau (III.2) : Valeurs de la température et du rayonnement solaire au site d'Ouargla...	37
---	-----------

Tableau (III.3) : valeurs des différentes énergies mis en jeux par le système PV global.....	42
---	-----------

Tableau (III.4) : Taux de production énergétique cas de la mini-centrale PV.....	44
---	-----------

Tableau (III.5) : taux de consommation de l'énergie cas de la mini-centrale PV.....	44
--	-----------

Tableau (III.6) : Taux de couverture du système PV cas de la mini-centrale PV.....	44
---	-----------

Tableau (III.7) : cout de l'extension du réseau.....	45
---	-----------

Tableau (III.8) : cout du matériel photovoltaïque.....	45
---	-----------

Tableau (III.9) : Cout total du système PV et de l'extension du réseau BT.....	45
---	-----------

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Depuis quelques années la communauté scientifique est concentrée sur la menace présumée la plus préoccupante pour l'avenir de la planète : le réchauffement climatique. Ce phénomène est la conséquence de l'augmentation des émissions de gaz effet de serre liées à l'activité humaine. [1]

La grande partie de l'énergie consommée par l'homme provient des combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel,...etc.) dont l'utilisation massive conduit l'épuisement de ses réserves et suppose une menace réelle à l'environnement, qui se manifeste, principalement à travers la pollution et le réchauffement global de la terre par effet de serre.

D'autre part, il y a inégalité extrême entre la distribution et la consommation de l'énergie. Beaucoup de populations, spécialement dans les zones rurales isolées des pays en voie de développement qui bénéficient d'un fort ensoleillement, sont confrontées à de grands problèmes pour satisfaire leurs besoins en énergie.

L'électricité photovoltaïque présente une option technique et économique intéressante pour des sites non raccordés au réseau de distribution centralisée. Lorsque les besoins à couvrir sont faibles où l'absence d'une maintenance lourde (diesel) constitue un avantage évident - les systèmes photovoltaïques trouvent leur pleine justification, en comparaison du service rendu.[2]

L'énergie photovoltaïque est une possibilité de développement efficace et durable. C'est pour cela que les recherches scientifiques se développent dans le sens de généraliser, améliorer et optimiser l'exploitation des systèmes solaires. L'optimisation des systèmes solaires est basée sur des critères de dimensionnement et de maximisation de la puissance générée pour avoir un bon rendement. [3]

L'objectif de ce travail est de faire une étude technico-économique d'un dimensionnement de système photovoltaïque pour l'alimentation d'une agglomération d'un ensemble d'habitations dans les environs de la ville d'Ouargla.

Au premier chapitre, nous présenterons les principales caractéristiques et les technologies des différents composants du système étudié et leur fonctionnement, ainsi que la mise en place du système.

Dans le second chapitre, nous nous intéresserons au dimensionnement et à la conception d'une installation photovoltaïque, à savoir les différents éléments constituant le générateur PV (panneaux solaires, batterie, régulateur, onduleur...).

INTRODUCTION GENERALE

Dans le troisième chapitre une étude technique par simulation numérique à l'aide du logiciel PV SYSYT d'une installation PV sera faite et qui sera complété par une évaluation économique qui sera comparé à la solution classique concernant l'alimentation du site par l'extension du réseau BT.

Enfin, on achèvera notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Fondements des installations photovoltaïques

I.1. Introduction :

L'énergie photovoltaïque résulte de la transformation directe de la lumière du soleil en énergie électrique aux moyens des cellules généralement à base de silicium cristallin qui reste la filière la plus avancée sur le plan technologiques et industriel, en effet le silicium est l'un des éléments les plus abondants sur terre sous forme de silice non toxique.

Pour définition le mot " photovoltaïque " vient de la grec " photo " qui signifie lumière et de "voltaïque" qui tire son origine du nom d'un physicien italien Alessandro Volta (1754 -1827) qui a beaucoup contribué à la découverte de l'électricité, alors le photovoltaïque signifie littérairement la lumière électricité [4, 5].

I.2. Principe de fonctionnement d'une installation photovoltaïque :

Le principe de fonctionnement d'une installation solaire photovoltaïque est relativement simple : il s'agit de convertir le rayonnement du soleil en électricité.



Figure (I.1): Installation photovoltaïque.

Cette opération repose sur un phénomène physique appelé *effet photovoltaïque*. Ce mécanisme a été découvert en 1839 par Antoine Becquerel mais il n'a été expliqué que près d'un siècle plus tard par Albert Einstein, ce qui lui a valu le Prix Nobel de physique en 1921. De façon très schématique,

L'effet photovoltaïque se manifeste quand un photon est absorbé dans un matériau composé de semi-conducteurs dopés p (positif) et n (négatif), dénommé comme jonction p-n (ou n-p). Sous l'effet de ce dopage, un champ électrique est présent dans le matériau de manière permanente (comme un aimant possède un champ magnétique permanent).

Quand un photon incident (grain de lumière) interagit avec les électrons du matériau, il cède son énergie à l'électron qui se retrouve libéré de sa bande de valence et subit donc le champ électrique intrinsèque. Sous l'effet de ce champ, l'électron migre vers la face supérieure laissant place à un trou qui migre en direction inverse. Des électrodes placées sur les faces supérieure et inférieure permettent de récolter les électrons et de leur faire réaliser un travail électrique pour rejoindre le trou de la face antérieure.

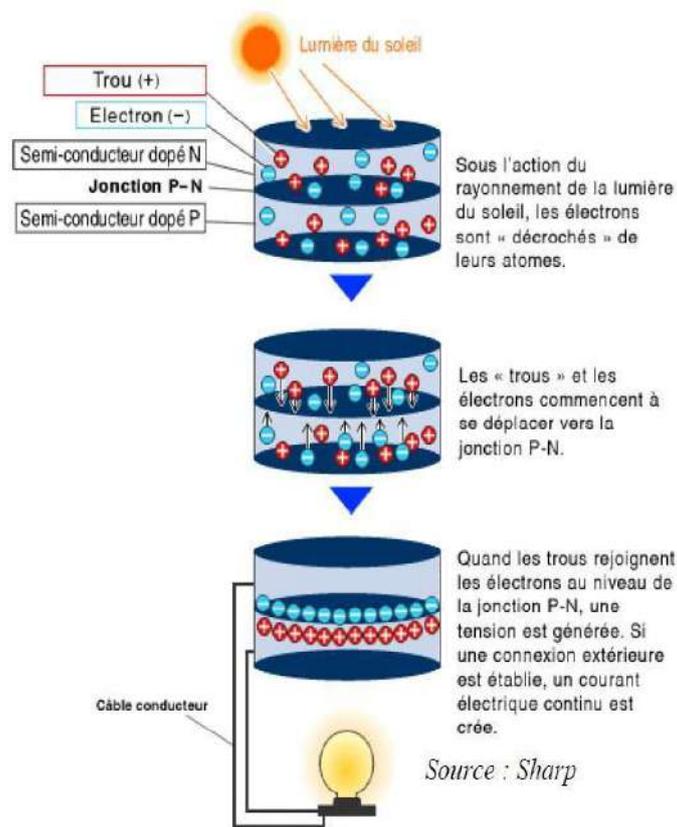


Figure (I.2) : principe de fonctionnement photovoltaïque.

Une cellule photovoltaïque est constituée d'un de ces matériaux, généralement du silicium, et conçue de telle façon que les électrons émis soient récupérés pour former un courant électrique. Les cellules sont assemblées pour créer un courant suffisamment élevé pour être exploité, cet assemblage de cellules est appelé module photovoltaïque ou, plus souvent, panneau solaire.

a. Les avantages:

- Énergie électrique non polluante à l'utilisation et s'inscrit dans le principe de développement durable.
- Source d'énergie renouvelable car inépuisable à l'échelle humaine.

- Utilisables dans les pays en voie de développement sans réseau électrique
- Important dans des sites isolés tels qu'en montagne où il n'est pas possible de se raccorder au réseau électrique national.

b. Les Inconvénients:

- Coût du photovoltaïque élevé car il est issu de la haute technologie.
- Coût dépendant de la puissance de crête.
- Le rendement actuel des cellules photovoltaïques reste assez faible (environ 10% pour le grand public) et donc ne délivre qu'une faible puissance.
- Marché très limité mais en développement.
- Production d'électricité ne se fait que le jour alors que la plus forte demande chez les particuliers se fait la nuit.
- Le stockage de l'électricité est quelque chose de très difficile avec les technologies actuelles (coût écologique des batteries très élevé).
- Durée de vie : 20 à 25 ans, après le silicium "cristallisé" rend inutilisable la cellule.
- Pollution à la fabrication : certaines études prétendent que l'énergie utilisée pour la fabrication des cellules n'est jamais rentabilisée durant les 20 années de production. Même en fin de vie, le recyclage des cellules pose des problèmes environnementaux.

I.2.1. Technologie des cellules photovoltaïques :

Il existe différents types de cellules solaires photovoltaïques, et chaque type de cellules à un rendement et un coût qui lui est propre. Cependant, quel que soit leur type, leur rendement reste assez faible : de 5 à 22% de l'énergie qu'elles reçoivent.

Les cellules solaires peuvent être réparties en trois groupes, selon le matériau de base utilisé :

- cellules monocristallines
- cellules polycristallines
- cellules à couches minces

Le groupe des cellules à couche mince compte les cellules amorphes au silicium et les cellules formées à partir d'autres matériaux, comme le tellure de cadmium (Cd Te), le di-séléniure de cuivre et d'indium (CIS) ou l'arséniure de gallium (Ga As). Dans la pratique, les cellules en silicium ont fini par s'imposer.

A. Cellules solaires monocristallines:

Des blocs de silicium sont formés à partir de fonte de silicium ultra-pure. Dans un monocristal, le réseau cristallin complet est agencé de manière uniforme. Le bloc de silicium est découpé en rondelles de 200 à 300 *mm* d'épaisseur, appelées galettes (en anglais *wafers*). Pour permettre un usage optimal de la surface du module solaire, les cellules rondes sont découpées en éléments carrés. D'habitude, les cellules présentent une longueur d'arrêtée 152 *mm* La fabrication est conclue par le dopage, l'application des surfaces de contact et de la couche anti réflexion.

Possédant un rendement variant entre 15 et 18 %, les cellules monocristallines fabriquées industriellement sont les cellules ayant actuellement le rendement le plus élevé. Cependant, leur fabrication requiert plus d'énergie et de temps que celle des cellules polycristallines.

Ces cellules souffrent néanmoins des inconvénients :

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



Figure (I.3) : Cellules solaires monocristallines [6].

B. Cellules solaires polycristallines :

Le matériau de base est du silicium ultra-pur qui est porté à fusion. Mais pour la fabrication de cellules solaires polycristallines, on ne cultive pas de monocristaux, mais la fonte de silicium est refroidie de façon contrôlée dans un moule carré.

Pendant le refroidissement, les cristaux s'orientent de manière irrégulière et forment la surface miroitante typique pour les cellules solaires polycristallines. Les blocs de silicium carrés sont découpés en galettes de 200 à 300 *mm* d'épaisseur. La fabrication est conclue par le dopage, l'application des surfaces de contact et de la couche anti réflexion. La couche anti-réflexion offre à la cellule solaire sa surface bleue typique, car le bleu réfléchit le moins de lumière et en absorbe la plus grosse quantité. Les cellules solaires polycristallines présentent un rendement entre 13 et 16 %.

Les cellules polycristallines sont caractérisées par :

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

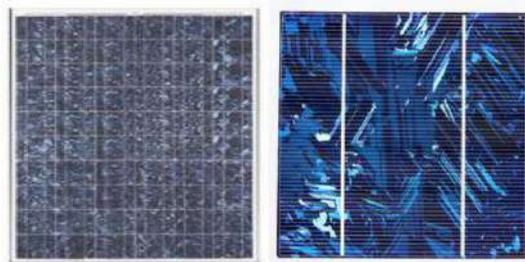


Figure (I.4) : Cellules solaires polycristallines [6].

C. Cellules solaires amorphes:

Le terme amorphe vient du grec (a : sans, morphe : forme) et signifie qui n'a pas de forme. En physique, on appelle amorphes les éléments dont les atomes présentent des formes irrégulières. Si les atomes ont une structure ordonnée, on les appelle des cristaux.

Pour la fabrication de cellules solaires amorphes, on applique le silicium sur un matériau support, comme par exemple le verre. L'épaisseur du silicium s'élève alors à environ 0,5 à 2 μm . Ainsi, non seulement la quantité de silicium requise est-elle assez faible, mais le découpage fastidieux des blocs de silicium n'est-il pas nécessaire. Le degré de rendement des cellules solaires amorphes se situe seulement à 6-8 % [6].

Les inconvénients :

- Coût de production bien plus bas.
- Rendement de seulement 5 % par module et 14% au laboratoire.
- Fonctionne sous de très faible éclairément.

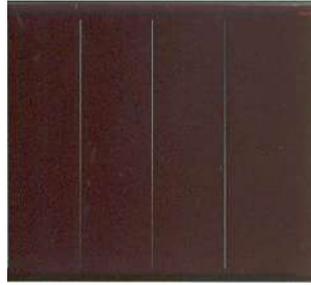


Figure (I.5) : Cellules solaires amorphes [6].

Grâce à la technologie des nouveaux matériaux tel que le tellure de cadmium (Cd Te), l'arséniure de gallium (Ga As) ainsi que le diséléniure de cuivre et d'indium (CIS) ont permis d'obtenir des photopiles ayant des rendements 38 % au laboratoire [7]

Matériau de base	Rendement en %	Surface en m^2
Cellule monocristalline	15-18	7-9
Cellule polycristalline	13-16	8-9
Cellule amorphe	6-8	13-20
Cellule Audiséniure de cuivre et d'indium	10-12	9-11

Tableau (I.1) : Rendement des différentes technologies.

D. Les cellules multi-jonctions à haut rendement :

Aujourd'hui, la plupart des cellules photovoltaïques inorganiques sont constituées d'une simple jonction PN. Dans cette jonction, seuls les photons dont l'énergie est égale ou supérieure à la bande interdite du matériau (notée E_g en eV) sont capables de créer des paires électron-trou. En d'autres termes, la réponse photovoltaïque d'une cellule simple jonction est limitée à l'énergie du photon. Seule la proportion du spectre solaire dont l'énergie des photons est supérieure au gap d'absorption du matériau est utile, l'énergie des photons plus faible n'est donc pas utilisable. D'autre part, même si l'énergie des photons est suffisante, la probabilité de rencontrer un électron est faible. Ainsi, la plupart des photons traversent le matériau sans avoir transféré leur énergie. Une première réponse pour limiter les pertes est connue de longue date du point de vue technologique, il

suffit d'utiliser des systèmes à plusieurs niveaux, en empilant des jonctions possédant des gaps décroissants, (Fig. I.7). Ainsi il est possible d'exploiter le spectre solaire dans sa quasi-totalité avec des rendements de conversion très importants.



Figure (I.6) : Les cellules multi-jonctions [8].

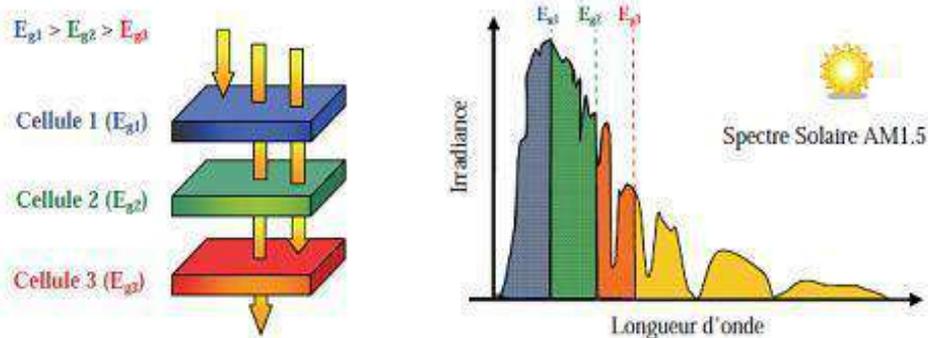


Figure (I.7) : Principe de la cellule à multi-jonction.

E. Autres types de cellules :

Il existe d'autres types de technologies photovoltaïques actuellement commercialisées ou encore à l'étude, les principales étant :

1. Photovoltaïque à concentration :

Certaines cellules sont destinées à fonctionner avec des rayons solaires concentrés. Elles sont alors placées à l'intérieur d'un collecteur qui concentre la lumière du soleil sur les cellules au moyen d'une lentille. L'idée est d'utiliser le moins possible de matériau photovoltaïque semi-conducteur, et le plus possible de la lumière du soleil. Leur rendement se situe entre 20 et 30%.

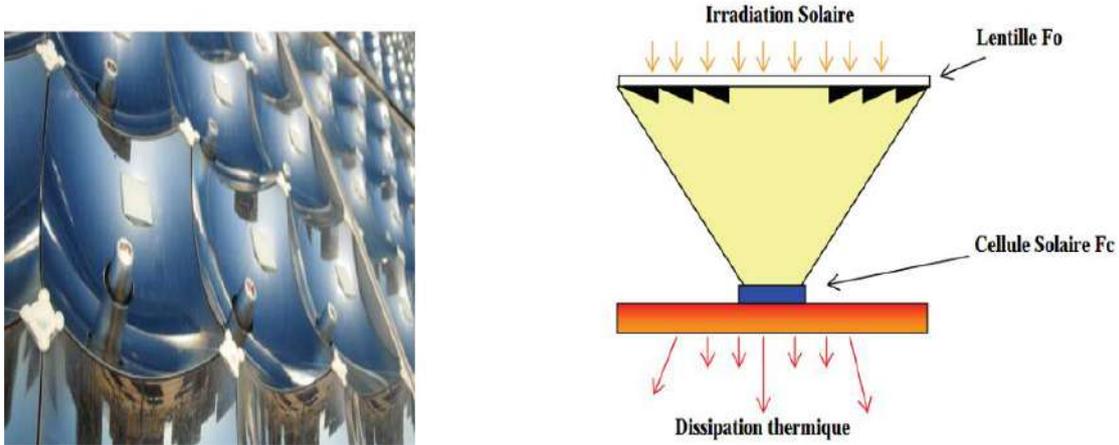


Figure (I.8) : Photovoltaïque à concentration et Schéma de principe d'un concentrateur photovoltaïque [9].

2. Cellules flexibles :

Basées sur un processus de production similaire à celui des couches minces, ces cellules sont constituées d'un dépôt de matière active sur un plastique fin, rendant le tout flexible. Cela ouvre la voie à une série d'applications, en particulier pour l'intégration aux bâtiments (toiture) et pour les applications domestiques.

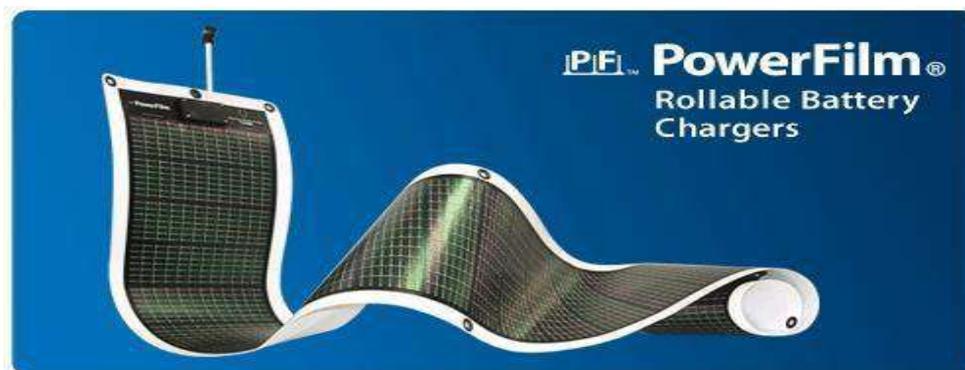


Figure (I.9) : Cellules flexibles [6].

I.2.2. Le module photovoltaïque :

Pour produire plus de puissance, les cellules solaires sont assemblées pour former un module figure (I.10). 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. Ces cellules sont protégées de l'humidité par encapsulation dans un polymère EVA (éthylène-vinyl- acétate) figure (I.10) et protégé sur la surface avant d'un verre, trempé à haute transmission et de bonne résistance mécanique, et sur la surface arrière d'une ou de polyéthylène [10].



Figure (I.10): Module photovoltaïque.

Actuellement la puissance d'un module est de quelques watts crêtes à quelques dizaines de watts crêtes. Pour obtenir des puissances supérieures, il est nécessaire d'associer en série- parallèle des modules Figure (I-10) pour avoir un générateur PV. Pour des déséquilibres importants dus à l'occultation d'une ou plusieurs cellules, les modules peuvent être amenés à travailler en récepteur. Pour remédier à ces problèmes, des diodes peuvent être placées en parallèle et en série avec les modules [11, 12, 13, 14].

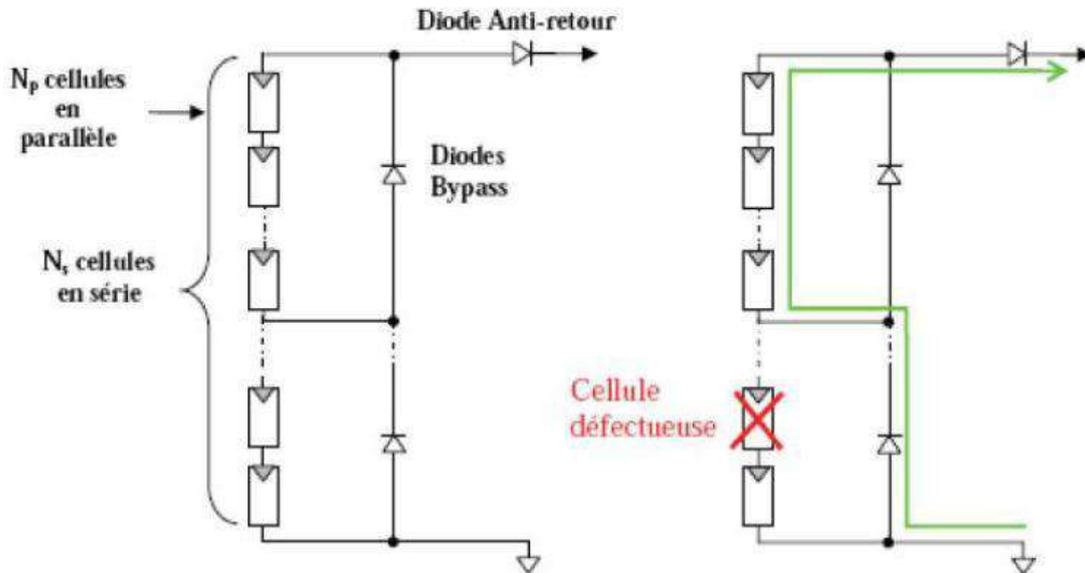


Figure (I.11) : Schéma synoptique d'un générateur PV

- **Les diodes en série:**

Pour empêcher la batterie de se décharger la nuit dans les cellules PV ou pour empêcher une série de modules contenant un module défaillant ou masqué de devenir réceptrice du

courant fourni par les autres séries, qui ont alors une tension plus élevée qu'elle, une diode est intégrée dans chaque série. On l'appelle aussi diode anti-retour et elle est située en série avec les modules.

- **Les diodes en parallèle :**

Au sein d'une série un module qui ne peut plus produire d'énergie (masque, défaillance), doit être protégé pour ne pas devenir récepteur et s'endommager irrémédiablement ; des diodes sont donc placées en parallèle sur chacun des modules du générateur. Elles permettent de dévier le courant produit par les autres modules de la série et sont placées en parallèle avec les modules [12, 15, 16].

- **Caractéristiques d'un module PV [17]:**

- La puissance de crête, P_c : Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards (25°C et un éclairement de 1000 W/m²).
- La caractéristique I/V : Courbe représentant le courant I débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.
- Courant de court-circuit, I_{cc} : Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairement " plein soleil ".
- Point de fonctionnement optimum, (U_m , I_m) : Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil, $P_m = U_m * I_m$.
- Rendement : Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.
- Facteur de forme : Rapport entre la puissance optimale P_m et la puissance maximale que peut avoir la cellule : $V_{oc} * I_{cc}$.

I.2.3. Caractéristiques d'une cellule photovoltaïque :

- **Caractéristique courant – tension (I-V) d'une cellule photovoltaïque :**

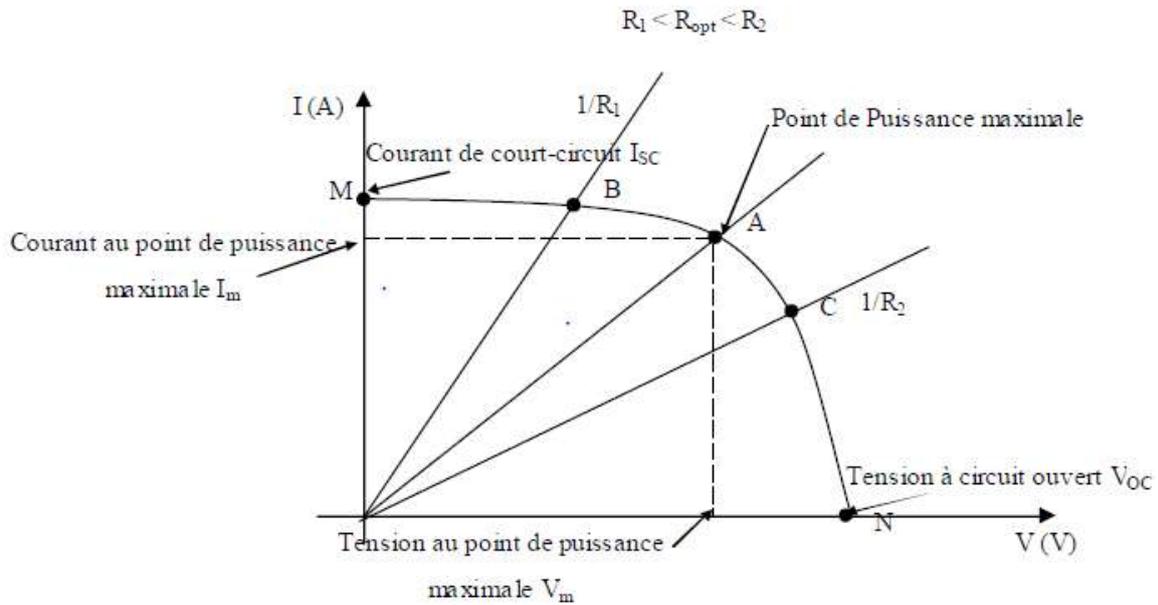


Figure (I.12) : Caractéristique courant – tension d’une cellule photovoltaïque.

Comme nous le voyons sur la figure (1-12), la cellule solaire PV est caractérisée par la courbe $I(V)$ non linéaire qui dépend particulièrement des conditions d’ensoleillement et de température. Cette courbe nous informe sur trois points importants : [18]

- Le point de fonctionnement optimal PPM (la puissance maximale de la cellule).
- Le point du courant maximal (I_{SC}). Il se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées. Il est appelé courant de court-circuit (I_{SC}).
- Le point de la tension maximale de la cellule (V_{OC}), (environ 0.6 V) pour un courant nul. Cette tension est nommée tension de circuit ouvert (V_{OC}).

- **Caractéristique puissance-tension (P-V) :**

La puissance crête d’une cellule PV, notée W_c (Watt crête) ou W_p (Watt peak) représente la puissance électrique maximum délivrée dans les conditions suivantes dites conditions standard : [18] - éclairement solaire de $1 \text{ kW} / \text{m}^2$; - température de la cellule PV égale à $+ 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

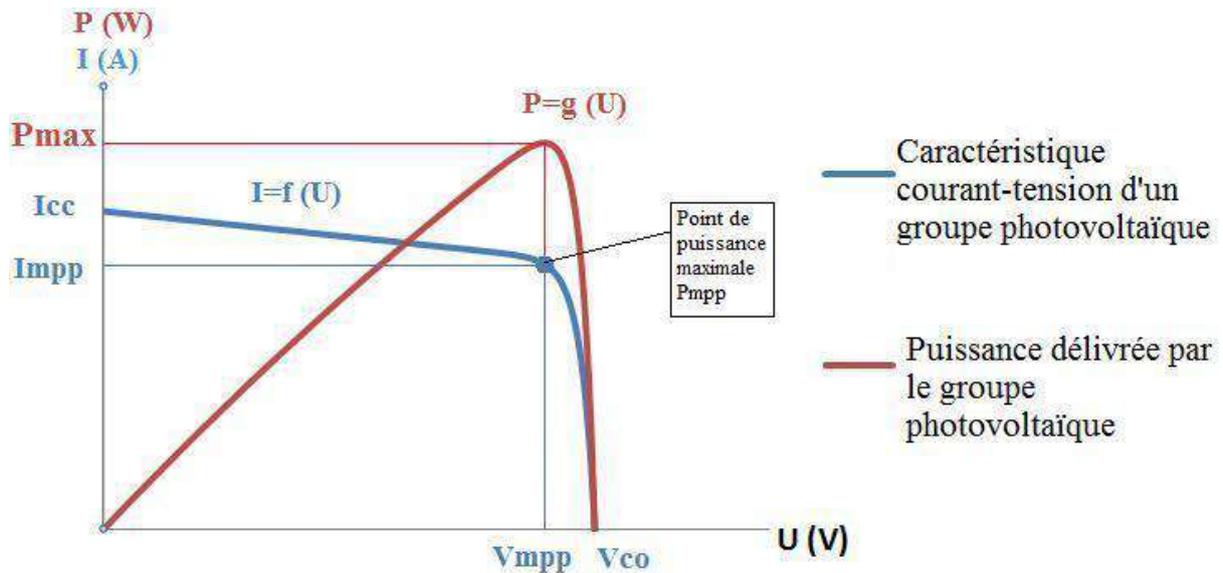


Figure (I.13) : Caractéristique puissance-tension.

I.3. Application des systèmes photovoltaïques :

- **Electrification hybride (photovoltaïque-éolienne) :**

Ce système hybride de production d'énergie électrique est celui qui combine et exploite deux sources d'énergies renouvelables (photovoltaïque, éolienne) pour la production de l'énergie, comme représenter sur la figure (I.14).

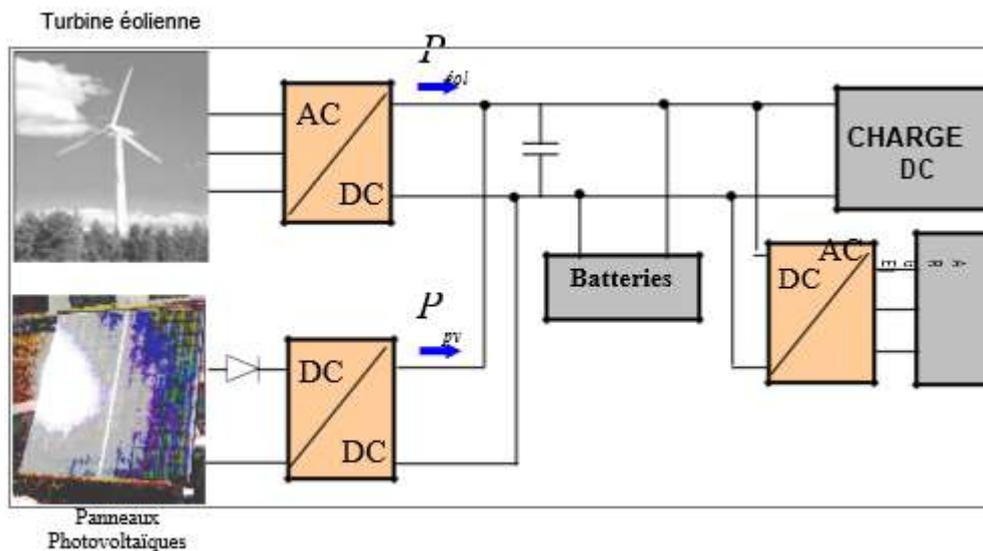


Figure (I.14) : Structure de la chaîne hybride (éolienne, photovoltaïque).

Le système hybride comprend, un sous-système photovoltaïque avec un convertisseur DC/DC qui permet de rattraper à chaque fois le point de puissance maximale. Une turbine éolienne qui assure la conversion de l'énergie du vent en électricité. Les deux

sources d'énergie sont reliées à un bus continu. Le stockage est assuré par des batteries. La charge à alimenter peut-être continu ou alternative branchée à travers un onduleur.

- **Le pompage photovoltaïque:**

Pour être ramenées en surface, les eaux souterraines ont besoin d'être pompées. Par conséquent, la nécessité d'une pompe et donc d'une source fiable d'énergie comme le photovoltaïque s'impose.

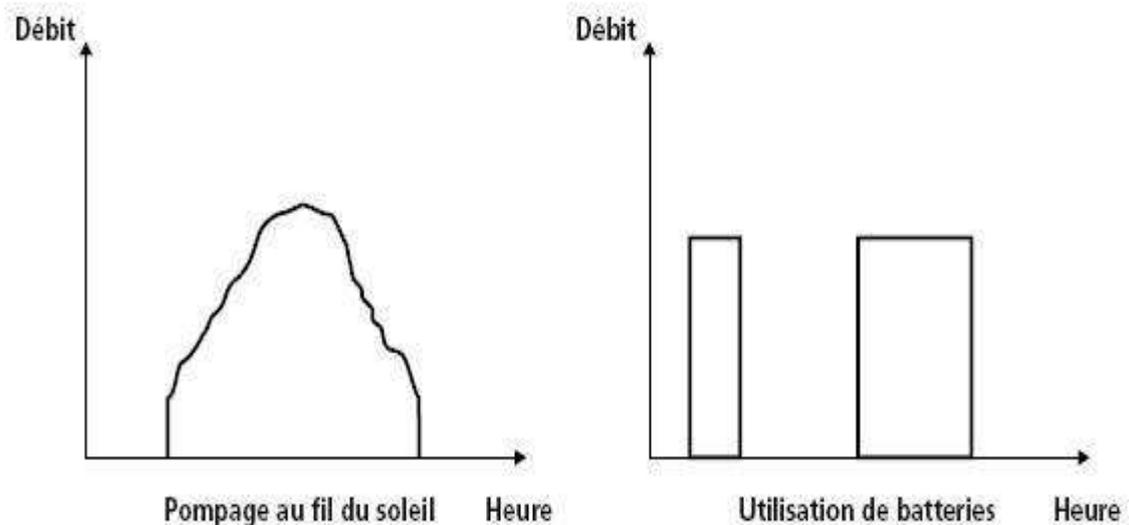


Figure (I.15) : Caractéristiques du débit pour le pompage au fil du soleil et avec batterie.

- **Le pompage au fil du soleil :**

Le stockage se fait de manière hydraulique, l'eau étant pompée, lorsqu'il y a suffisamment d'ensoleillement, dans un réservoir au-dessus du sol. Elle est ensuite distribuée par gravité au besoin.

- Permet d'avoir un système photovoltaïque plus simple, plus fiable.
- Moins coûteux qu'un système avec batterie.

- **Le pompage avec batterie :** permet de s'affranchir des aléas du soleil et des problèmes d'adaptation entre générateur photovoltaïque et motopompe.

- Le débit de pompage peut se faire à la demande, lorsque les utilisateurs en ont besoin, ou permettre un pompage régulier durant toute la journée.
- L'utilisation d'un réservoir de stockage pour l'eau sera nécessaire afin de pouvoir fournir à la demande d'eau.
- L'utilisation de batteries comporte davantage de composants qui influent sur la fiabilité et le coût global du système.

- **Le chauffe-eau solaire :**

Produire de l'eau chaude, chaque jour, grâce à l'action de la lumière du soleil et la stocker pour la journée et la nuit dans un réservoir étanche et isolé (le ballon), c'est le principe fondamental du chauffe-eau solaire. Pour cela on utilise des panneaux sur lesquels, la source primaire d'énergie, le soleil, va rayonner et faire élever la température du liquide qui circule dans ce qu'on appelle, l'absorbeur. Lorsque le fluide est plus chaud que l'eau stockée dans le ballon, le fluide va se mettre à circuler et ainsi transmettre l'énergie emmagasinée.

- **La climatisation solaire :**

La climatisation solaire désigne l'ensemble des moyens de production de froid en utilisant comme ressource énergétique primaire l'énergie solaire afin de refroidir un bâtiment. La climatisation s'effectue soit en récupérant l'énergie électrique produite par les panneaux photovoltaïques soit la chaleur solaire récupérée grâce à des capteurs solaires thermiques,

- **Dessalement de l'eau de mer :**

Une des solutions pour pallier le manque d'eau potable sont les stations de dessalement. C'est un processus qui permet de supprimer le sel de l'eau salée ou saumâtre pour le rendre potable.

I.3.1 Installation photovoltaïque raccordée au réseau :

Un système photovoltaïque connecté au réseau, est un système raccordé directement au réseau électrique à l'aide de convertisseurs. Ce type de système offre beaucoup de facilités pour le (producteur/consommateur) puisque c'est le réseau qui se charge du maintien de l'équilibre entre la production et la consommation d'électricité.

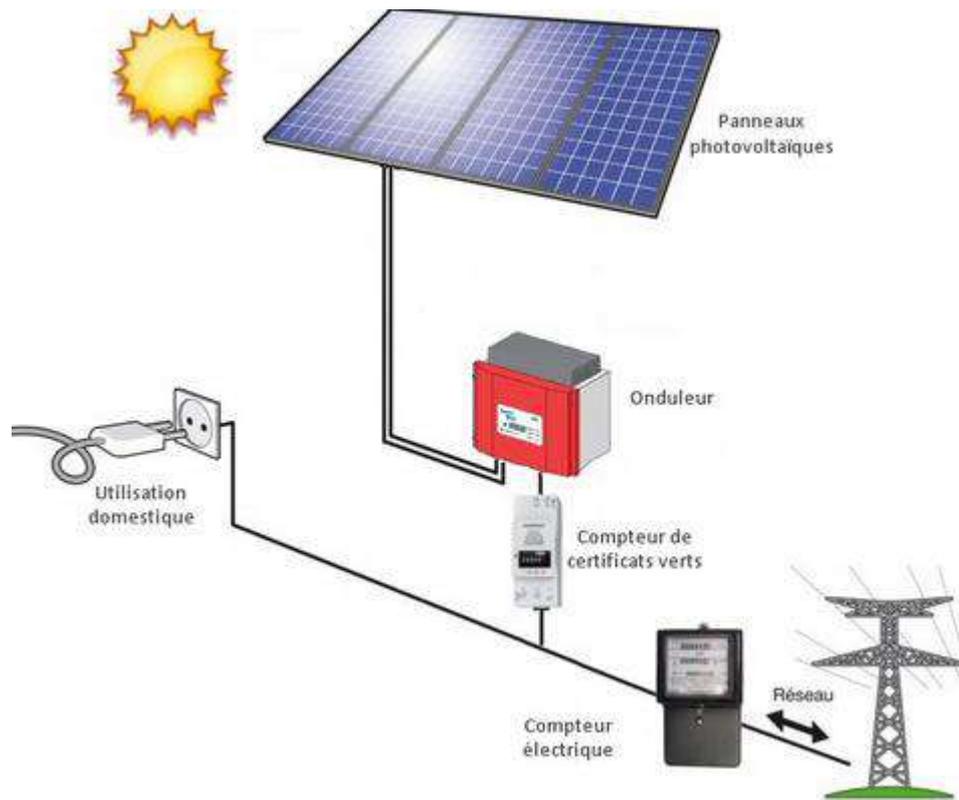


Figure (I.16) : représente un système PV connecté au réseau électrique.

I.3.1.1 Classification des centrales photovoltaïques connectées au réseau :

Une première classification des (CPCR) en fonction de leur taille peut être faite de la manière suivante :

a. Centrales de petite taille ($P_w=1$ à 10 KW) :

Pour des applications sur les toits de maisons individuelles ou d'institutions publiques telles que les écoles, parkings, ... Elles se connectent au réseau basse tension [19].

b. Centrales de taille moyenne ($P_w=10$ à 100 KW) :

Ce type de système peut se trouver installé et intégré sur un édifice, sur un toit ou une façade. Il peut être connecté à la basse ou à la moyenne tension du réseau de distribution électrique selon sa taille [19].

c. Centrales de grande taille (P_w500 KW) :

Ce sont des systèmes centralisés et sont des propriétés de compagnies d'électricité. On peut également classer ces systèmes selon qu'ils soient munis de batteries de stockage ou non [19].

I.3.1.2. Composition d'un système photovoltaïque raccordé réseau :

Un système PV est un ensemble complet d'équipements PV pour transformer la lumière du soleil en électricité, généralement il se compose de cinq éléments principaux : le générateur PV, la batterie, le régulateur, le convertisseur et la charge.

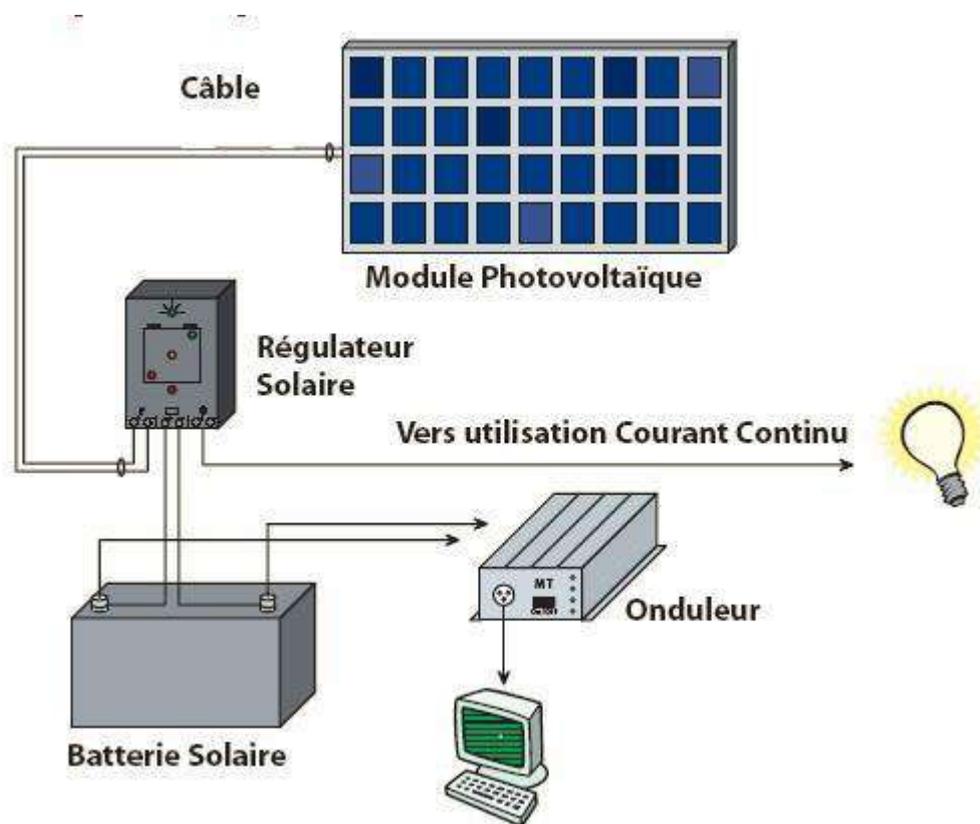


Figure (I.17) : Les constituants d'un système PV.

1. Le panneau PV :

L'ensemble de cellules photovoltaïques reliées entre elles constitue le module ou le panneau PV, ce dernier est chargé de capter les rayons solaires et les convertir en électricité.

2. La batterie solaire :

Elle est chargée de stocker le courant produit par le panneau pour assurer l'autonomie du système, sa durée de vie est définie par nombre de cycle (charge-décharge), elle se caractérise par :

- Ampérage en Ampère heure (Ah).
- Voltage en Volt.

3. Le régulateur (contrôleur de charge) :

Les régulateurs sont mis en place dans le souci d'assurer une longévité de système de stockage, donc de minimiser le coût d'installation.

En effet, un régulateur est chargé de :

- Contrôler la surcharge et la décharge de la batterie.
- Assurer l'optimisation du système du point de vue énergétique où il constitue un nœud de transfert d'énergie entre le module, le stockage et l'utilisation.

Pour fonctionner, un régulateur a besoin d'un indicateur qui l'informe sur l'état de charge des batteries. Il doit maintenir l'état de charge des batteries entre deux seuils : un seuil haut et un autre bas. Le choix des seuils dépend des caractéristiques des batteries et des conditions d'utilisation. Un régulateur est défini par : Ampérage en Ampère et Voltage en Volt. [20]

4. Le convertisseur d'énergie (onduleur) :

Il est chargé de convertir le courant continue développé par le solaire, vers un courant alternatif, et de voltage de branchement (12 V, 24 V...48V) vers 220 V, il est défini par : le voltage de branchement en volt et la puissance nominale à développer en watt.

5. La charge :

Elle représente l'ensemble des fonctions assurées par divers appareils reliés au système photovoltaïque. Vu les contraintes sur le rendement énergétique des systèmes photovoltaïque, il est importé de définir les critères sur lesquels s'appuiera un choix des charges à utiliser : charge continue ou alternative.

I.3.2. Installations autonomes :

Selon le besoin, les systèmes autonomes alimentent un ou plusieurs consommateurs situés dans des zones isolées du réseau électrique. Ils sont indépendants du réseau et dépendent uniquement de l'énergie solaire pour répondre à la demande d'électricité.

Les systèmes PV autonomes sont installés là où ils constituent la source d'énergie électrique la plus économique. On peut classer ces systèmes en deux catégories :

- **Systèmes avec accumulateurs :**

L'excédent de l'énergie produite est stocké dans des batteries. Le schéma synoptique de la figure suivante décrit ce système.

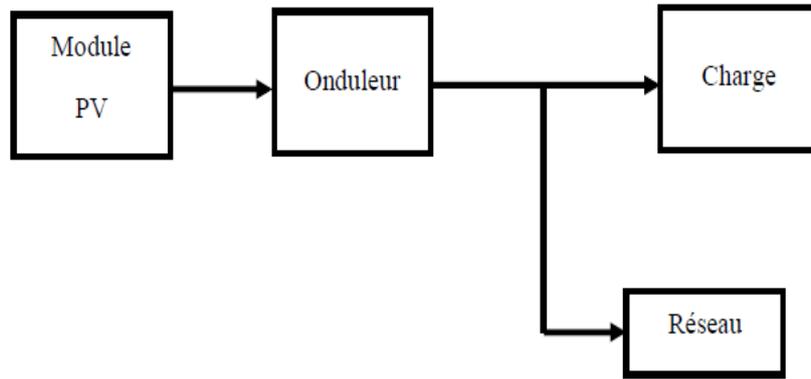


Figure (I.18) : Système photovoltaïque directement relié au réseau.

L'absence des batteries est un point positif, car celle-ci augmente le coût de système photovoltaïque. En plus elle doit être entretenue et changée après quelques années.

- **Systèmes photovoltaïques relié au réseau avec batterie :**

Le système peut fournir de l'énergie au réseau et prélever l'énergie d'appoint nécessaire au réseau. Le schéma d'un système PV relié au réseau avec batterie est le suivant.

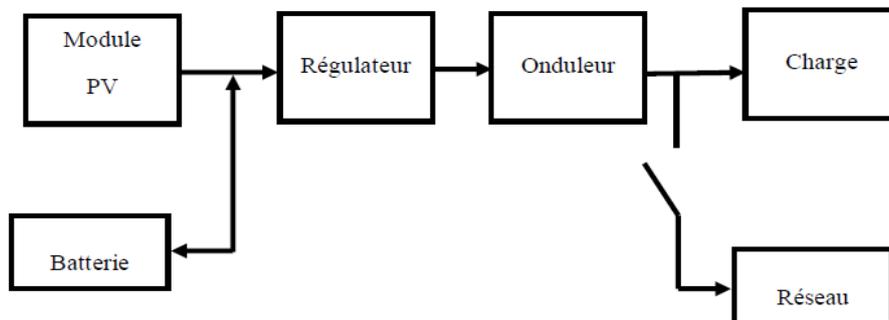


Figure (I.19) : Système photovoltaïque relié au réseau avec batterie.

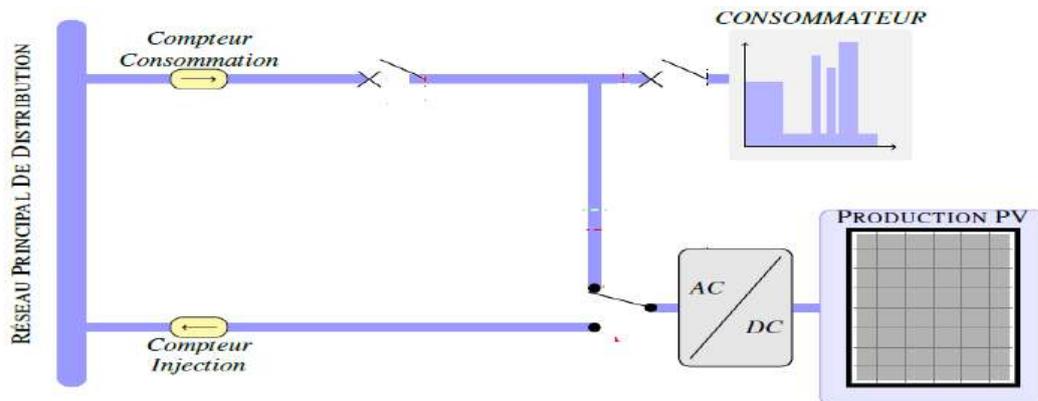
L'énergie est fournie par le module PV à la charge, l'excédent est stocké dans les batteries, dans le cas de décharge ou de surcharge de la batterie, on utilisera le réseau pour prélever ou délivrer l'énergie. [21]

I.4. Options de consommation de l'énergie photovoltaïque :

I.4.1. Exportation vers le réseau :

Une partie de la production est injectée au réseau lorsque la production dépasse la consommation, le client soutire aussi du réseau le manque. Cette installation est équipée de deux compteurs, l'un mesurant l'énergie soutirée du réseau lorsque la consommation excède la production (compteur de consommation), l'autre mesurant l'énergie injectée dans le réseau.

(compteur d'injection). Ce principe exclut le compteur réversible comme est indiqué sur la figure (I.20).



Figure(I.20) : Schéma de principe de la configuration d'injection du surplus d'énergie.

I.4.1.1. Installation PV raccordée au réseau avec injection totale de l'énergie produite :

Le générateur de production d'origine photovoltaïque est raccordé au réseau par l'intermédiaire d'un point de livraison distinct du point de livraison utilisé pour les besoins de soutirage du producteur. Comparé à l'achat des excédents, ce type de raccordement conduit le plus souvent à des modifications plus importantes de l'installation par le gestionnaire du réseau. Le producteur injecte au réseau la totalité d'énergie produite et soutire du réseau la totalité d'énergie nécessaire à sa consommation. La séparation entre les deux points de livraison consommation et injection (production) conduit donc à étoiler le branchement en deux parties,

Avec cependant une seule liaison au réseau BT. Le branchement production comporte deux compteurs montés en tête bêche (production et consommation des dispositifs de la chaîne PV), voir figure (I.21).

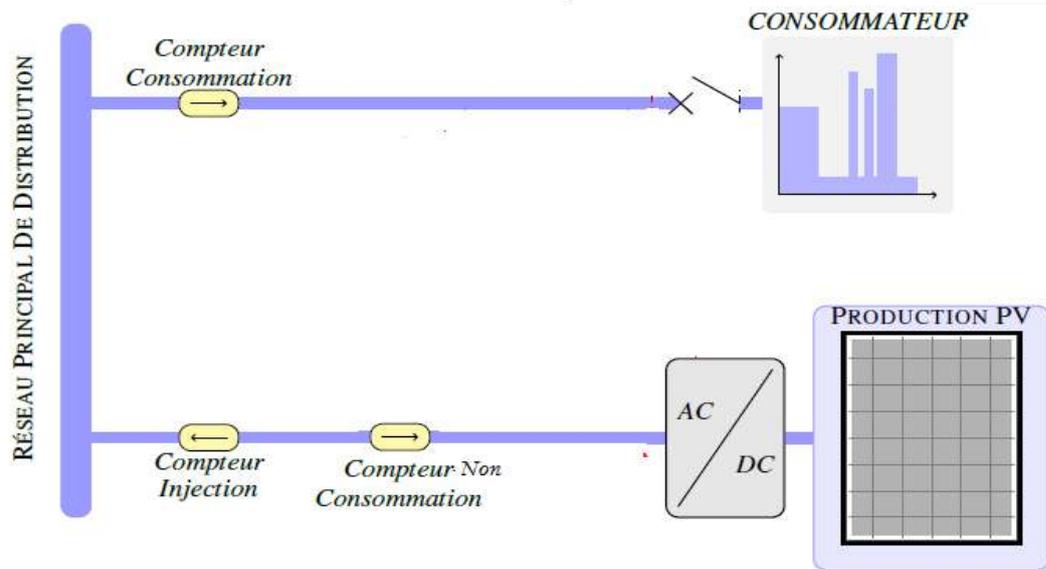


Figure (I.21) : Schéma de principe de la configuration d'injection totale d'énergie.

I.4.2. L'autoconsommation :

Consommation locale de l'électricité photovoltaïque produite d'un point de vue physique, l'autoconsommation ne présente aucune différence avec la revente totale. Les centrales sont dans les deux cas raccordés au réseau public et l'électricité prend toujours le chemin le plus court. L'autoconsommation existe uniquement à travers le point de raccordement de cette centrale et son positionnement par rapport aux compteurs. Dans le cadre de l'autoconsommation, la centrale est raccordée sur le réseau côté propriétaire, donc en aval du compteur de consommation. La production est donc assimilée à une charge négative et vient diminuer la demande de puissance au réseau public. En ce sens cette technique permet alors de diminuer la consommation en provenance du réseau public et donc les factures associées. [22]

I.5. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté le principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par la cellule photovoltaïque, les principales caractéristiques et les technologiques des éléments constitutifs d'un générateur PV, ainsi que les différentes configurations des systèmes photovoltaïques et leurs applications.

Chapitre II

Conception d'une installation photovoltaïque

II.1. Introduction :

La conception et le dimensionnement d'une installation photovoltaïque précis est en réalité un processus relativement complexe car il y a de nombreux paramètres à prendre en considération, une certaine dose d'impondérable (la météorologie), et surtout de multiples interactions entre les choix. Par exemple, la consommation du régulateur de charge, de l'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... Donc la conception d'un système photovoltaïque présente les méthodes de dimensionnement optimales pour la production d'énergie électrique

II.2. Etude technique :

II.2.1. Définition des besoins électrique :

La définition du besoin électrique est un travail préalable important impactant le dimensionnement du champ photovoltaïque et du parc de batteries. Une sous-estimation du besoin électrique provoquera des défauts de fonctionnement (coupure électrique, vieillissement prématuré des batteries), alors que sa surévaluation aura pour effet d'augmenter considérablement le coût de l'installation. Cette partie dresse un inventaire des appareils consommateurs d'électricité, et fournit une méthode de calcul des besoins électriques [23].

Cette méthode consiste à calculer l'énergie électrique journalière [E] consommée par les usagers. Ainsi, les besoins électriques s'exprimeront en Wh/jour (ou kWh/jour). L'énergie totale moyenne nécessaire chaque jour E (Wh/j) est la somme des consommations énergétiques des divers équipements constituant le système à étudier.

Elle est donnée par la loi suivante [24] :

$$E = \sum_i E_i \quad (\text{II.1})$$

Pour les équipements qui ne sont pas utilisés quotidiennement et pour tous les équipements à forte consommation, partez de la durée du cycle de fonctionnement de la tâche. Ainsi, la consommation de chaque équipement peut être calculée comme suit :

$$E_i = P_i \times T_i \quad (\text{II.2})$$

$$L'energie journalière consommée d'un équipement (Wh/j) = La puissance de cet équipement (W) \times le temps d'utilisation (h) \quad (II.3)$$

II.2.2. Evaluation du gisement solaire local :

Comme pour toutes les applications de l'énergie solaire, une bonne connaissance du gisement solaire est nécessaire pour l'étude des systèmes photovoltaïque.

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaire les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). [25]

II.2.3. Orientation des modules PV:

La position des modules photovoltaïques par rapport au soleil influe directement sur leur production énergétique. Il est très important de bien les placer pour les utiliser au maximum de leur possibilité.

On appelle orientation le point cardinal vers le quel est tournée la face active du panneau (sud, nord, sud-ouest,...).

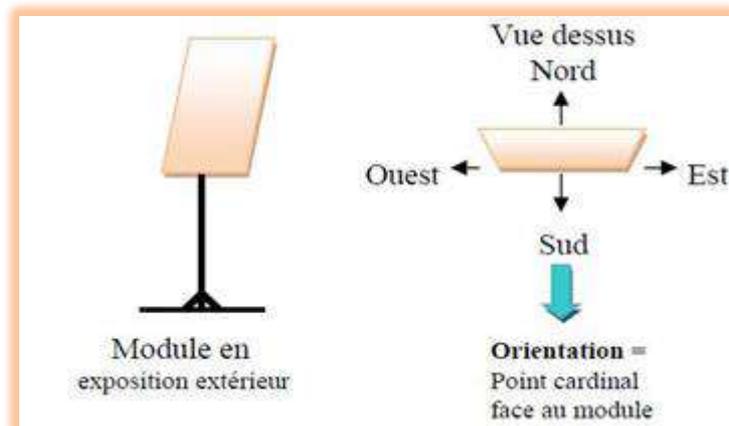


Figure (II.1): Définition de l'orientation d'un panneau photovoltaïque.

Les panneaux sont toujours orientés vers l'équateur :

- Orientation *vers le sud* dans l'hémisphère *Nord*.
- Orientation *vers le nord* dans l'hémisphère *Sud*.

II.2.4. Angle d'inclinaison des modules PV

L'angle d'inclinaison correspond à l'angle formé par le plan du module solaire par rapport à l'horizontale.

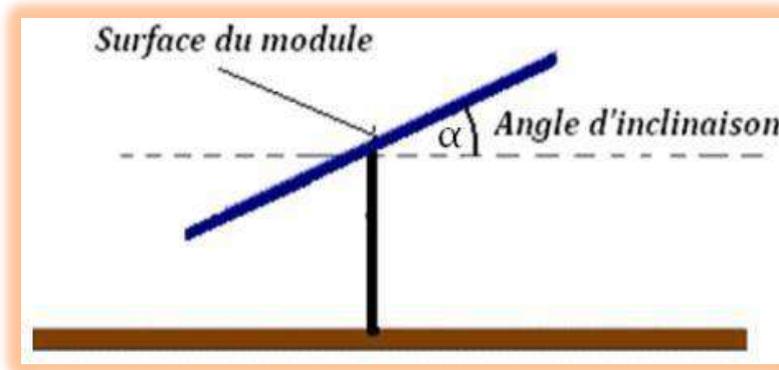


Figure (II. 2): Angle d'inclinaison des modules photovoltaïques.

Elle se comporte en degrés pour que les modules produisent un maximum d'énergie, il faut que les surfaces soient perpendiculaires aux rayons solaires, or le soleil d'une saison à l'autre n'a pas la même inclinaison ; selon les saisons, à midi, il est plus au moins plus haut dans le ciel. On doit donc incliner les modules pour qu'ils soient face au soleil.

L'inclinaison(i) des panneaux est donnée par la relation suivante :

$$i = \varphi - \sin^{-1}\left[0.4 \times \sin\left(360 \times \frac{N}{365}\right)\right] \quad (\text{II.4})$$

Avec :

φ =latitude de lieu

N = Le nombre de jours entre l'équinoxe de printemps (21 mars de chaque année) et le jour considéré, (de signe négatif vers la saison froide).

On peut concevoir de trois façons de collecter l'énergie solaire à l'aide des panneaux photovoltaïques.

La première méthode consiste à orienter ce dernier perpendiculairement aux rayons solaire à l'aide d'un système de poursuite automatique du soleil.

Une idée serait de changer manuellement l'orientation des panneaux à chaque saison, vers une direction où l'intensité du rayonnement sera maximale. Cette façon d'utiliser des panneaux solaire nécessite l'intervention du personnel à des moments précis de l'année.

La manière la plus élégante de se servir des panneaux solaire avec une orientation une fois pour toute, vers une direction pour laquelle l'énergie totale collecté dans l'année

est maximale(en tenant compte de l'écart entre le maximum et le minimum d'énergie reçu par les modules).

Un autre type de choix de l'inclinaison est d'utiliser le tableau (II.1) ci- dessous, qui indique la relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux solaire [26].

Latitude (φ)	Inclinaison (α)
$\varphi < 10^\circ$	$\alpha = 10^\circ$
$10^\circ < \varphi < 30^\circ$	$\alpha = \varphi$
$30^\circ < \varphi < 40^\circ$	$\alpha = \varphi + 10^\circ$
$\varphi > 40^\circ$	$\alpha = \varphi + 15^\circ$

Tableau (II.1) : Choix de l'inclinaison.

II.2.5. Calcul de la puissance crête des panneaux PV :

La puissance d'un module photovoltaïque est exprimée en Watt-crête. Le nombre de Watt-crête d'un panneau solaire correspond au nombre de Watt que ce panneau fournit lorsqu'il est utilisé dans des conditions standards(STC).

La puissance crête total de champ photovoltaïque, dépend de l'irradiation quotidienne du lieu d'utilisation, elle donnée par :

$$P_{ch} = \frac{E_c}{K \times I_r} \quad (\text{II.5})$$

Avec :

P_{ch} : la puissance crête de champ PV.

I_r : Irradiation moyenne mensuelle reçue par le capteur photovoltaïque correspondant au moins le plus défavorable (Wh/m².j).

E_c : Energie consommée (Wh).

K : Le Coefficient correcteur.

Le coefficient k tient compte des facteurs suivant :

- l'incertitude météorologique
- l'inclinaison non corrigé des modules suivant la saison
- le vieillissement et la poussière des modules

- le rendement des cycles de charge et de décharge de la batterie (80 à 90%)
- le rendement du chargeur et de l'onduleur (de 90 à 95%)
- les pertes dans les câbles et connexions

En générale sa valeur théorique est comprise entre (0.55 et 0.75). Mais en pratique la valeur souvent utilisée dans les calculs du système avec batterie est $k=0.65$.

II.2.6. Calcul du nombre total des modules PV :

- Le nombre des modules photovoltaïques est calculé en fonction des caractéristiques du module choisi et de la puissance crête du générateur par l'équation suivante :

$$Nm = \frac{Pch}{Pc} \quad (\text{II.6})$$

Avec :

Pch : puissance crête de l'installation

Pc : puissance crête unitaire

- Le nombre de modules connectés en série est égale à :

$$Nm, s = \frac{Vch}{Vn} \quad (\text{II.7})$$

Avec :

Vch : Tension de générateur PV

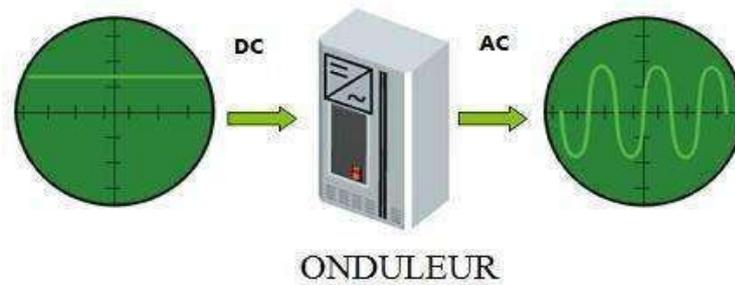
Vn : Tension nominal unitaire

- Le nombre de modules connectés en parallèle est égale à :

$$Nm, p = \frac{Nm}{Nm, s} \quad (\text{II.8})$$

II.2.7. Dimensionnement de l'onduleur :

Au sein d'un système PV, l'onduleur occupe une place importante, il permet la transformation du Courant continu délivré par les panneaux en courant alternatif compatible avec les paramètres du réseau de distribution.



Figure(II.3) : onduleur.

Le dimensionnement des onduleurs repose sur trois critères :

- * La comptabilité en tension
- * La compatibilité en courant
- * La compatibilité en puissance

II.2.7.1. La compatibilité en tension (Tension maximale admissible) :

Un onduleur est caractérisé par une tension d'entrée maximale admissible U_{max} . Si la tension délivrée par les modules PV est supérieure à U_{max} , l'onduleur choisi risque d'être endommagé. Ce dépassement est, par ailleurs, la seule cause d'endommagement définitif de l'onduleur.

La valeur de U_{max} permet de déterminer le nombre maximum de modules en série pour une branche. Cela dépend de la tension délivrée par les modules PV. Dans le calcul d'un dimensionnement, on considère que la tension délivrée par un module est sa tension à vide notée U_{co} . La formule suivante permet de déterminer le nombre maximum de modules PV en série si et seulement si l'onduleur est branché directement avec la sortie du PV :

$$N = \text{Ent} \left(\frac{U_{max}}{1,15 \times U_{co}} \right) \quad (\text{II.9})$$

Avec :

N : Nombre maximum de modules PV en série

Ent : Partie entière de la fraction

U_{max} : Tension d'entrée maximale admissible

U_{co} : Tension à vide d'un module

1,15 : Coefficient de sécurité imposé par la norme UTE C15-712

II.2.7.2. La compatibilité en courant :

Un onduleur est caractérisé par un courant maximal admissible en entrée. Le courant débité par le groupe PV ne devra pas dépasser la valeur du courant maximal admissible I_{max} par l'onduleur. Lors du dimensionnement, le courant délivré par la chaîne PV est égale au courant de court-circuit des modules PV, noté I_{cc} et indiqué sur la fiche technique des modules PV, il détermine le nombre des branche de module en parallèle.

II.2.7.3. La compatibilité en puissance :

Les onduleurs sont également caractérisés par une puissance maximale admissible. Il faut veiller à ce que la puissance du groupe PV ne dépasse pas la puissance maximale admissible en entrée. Étant donné que la puissance délivrée par le groupe PV varie en fonction de la luminosité et de la température, on prendra en compte la puissance crête des modules pour le calcul de dimensionnement. Il faudra alors s'assurer que la somme des puissances crêtes de tous les modules du groupe PV (P_{ch}) soit inférieure à la puissance maximale admissible par l'onduleur (P_o). Idéalement, la puissance délivrée par le groupe PV doit être sensiblement égale à la puissance maximale admissible de l'onduleur. La détermination de la configuration « champ photovoltaïque/onduleur » permet de proposer pour chaque puissance considérée, une installation qui valorise au mieux sa production énergétique. Il est en effet important de respecter la relation admettant le fait que la puissance d'onduleur soit comprise entre [0.7 fois et 1.2 fois] la puissance crête du champ.

$$0.7 < \frac{P_o}{P_{ch}} < 1.2 \quad (\text{II.10})$$

Avec :

P_o : la puissance maximale de l'onduleur

P_{ch} : la puissance crête de champ PV

II.2.8. Choix de la batterie :

Les batteries sont souvent intégrées au générateur photovoltaïque, elles permettent le stockage de l'électricité pour les systèmes isolés, et restitue la nuit ou les journées nuageuse cette électricité accumulée durant la journée. Il existe différents types de batteries, on peut citer:

- La batterie plomb acide
- La batterie nickel cadmium

- La batterie sodium chlorure de nickel
- La batterie lithium-ion
- La batterie zinc air

II.2.8.1. Calcul de la tension :

Ensuite, il faut déterminer la tension de stockage de l'énergie solaire : 12V, 24V ou 48V. La règle pour cela est assez simple : plus vous utilisez d'énergie, plus vous devez utiliser une tension élevée, afin de diminuer les déperditions d'énergie, qui surviennent quand l'énergie est transportée ou stockée. On peut conseiller les trois cas de figures suivants:

Puissance de l'installation Photovoltaïque	Tension recommandée
De 0 à 800 Wc	12V
De 800 à 1600 Wc	24V
Au-dessus de 1600 Wc	48V

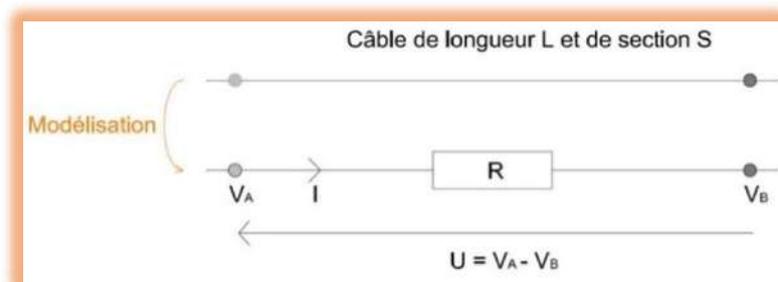
Tableau (II.2) : détermination la tension de stockage de la batterie.

Le calcul de la tension du parc de batteries repose sur 2 contraintes :

- minimiser la chute de tension dans les câbles (contrainte de performance),
- éviter les échauffements des câbles (contrainte de sécurité).

La 1ère contrainte consiste à minimiser la chute de tension dans les câbles. En effet, un câble se comporte, dans la pratique, comme une résistance électrique ce qui induit une chute de tension entre les 2 extrémités.

Notons ϵ la chute de tension, en %. Il convient qu'elle ne soit pas trop importante entre le lieu où est générée la tension (le parc de batteries) et le lieu où est délivrée cette tension (régulateur). Or, cette chute de tension dépend des paramètres suivants:



Figure(II.4) : Câble de longueur L et section S.

Avec :

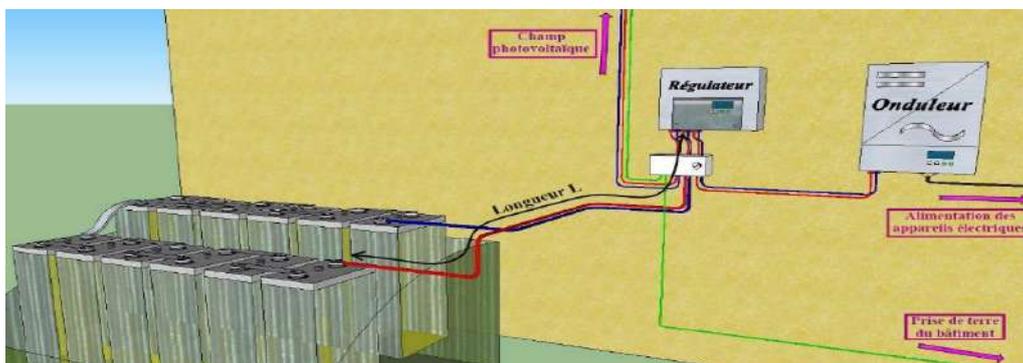
- **U** : tension au départ des câbles, en l'occurrence dans ce cas précis, la tension du parc de batteries U_{bat} .
- **ρ** : résistivité du matériau conducteur (cuivre ou aluminium) dans les conditions de température d'exploitation, exprimée en ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$).
- **$\rho = 1.851 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$** pour un conducteur en cuivre
- **$\rho = 2.941 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$** pour un conducteur en aluminium
- **L** : Longueur des câbles, exprimée en (m).
- **P** : est la puissance électrique traversant les câbles, exprimée en (W).
- **S** : Section des câbles, exprimée en (mm^2).

On peut alors démontrer que la chute de tension s'exprime de la façon suivante :

$$\varepsilon = \frac{\rho \times L \times I}{S \times U_{bat}} \quad (\text{II.11})$$

On peut, par suite, extraire la formule permettant d'exprimer la tension de la batterie :

$$U_{\text{batterie}} = \frac{\rho \times 2 \times L \times I}{S \times \varepsilon} \quad (\text{II.12})$$



Figure(II.5) : Longueur L à considérer dans le cadre du calcul de la tension du parc de batteries.

Donc :

$$V_{\text{batt}} = V_{\text{batt, unitaire}} \times N_{\text{batt, série}} \quad (\text{II.13})$$

$V_{\text{batt.u}}$: tension de batterie unitaire (V).

Analyse de cette formule:

- Le facteur 2 permet de prendre en compte les distances allé et retour du câble.
- Plus la longueur L est importante, plus la tension du parc de batterie ne doit être élevée. On privilégiera donc une forte proximité entre le parc de batteries et l'onduleur. Notons que le régulateur ne devra néanmoins pas se situer à moins de 50 cm du parc de batteries pour des raisons de sécurité.
- En augmentant la section des câbles, on peut se permettre de diminuer la tension du parc de batteries.

Dimensionnement du parc batteries :

Pour réaliser le dimensionnement de la batterie, on procède de la façon suivante :

$$C = \frac{Ec \times N}{D \times U} \quad (\text{II.14})$$

Etape 1 : On calcule l'énergie consommée (E_c) par les différents récepteurs

Etape 2 : On détermine le nombre de jour d'autonomie nécessaire

Etape 3 : On détermine la profondeur de décharge acceptable pour le type de batterie utilisée

Etape 4 : On calcule la capacité (C) de la batterie en appliquant la formule ci-dessous :

C : capacité de la batterie en Ampère-heure (Ah)

E_c : énergie consommée par jour (Wh/j)

N : nombre de jour d'autonomie

D : décharge maximale admissible (0,8 pour les batteries au plomb)

U : tension de la batterie (V)

II.3. Etude économique :

L'intervalle de temps considéré par l'étude économique est le cycle de vie (Life Cycle Savings: (LCS), c'est la durée de fonctionnement des modules au-delà des 80% de la

puissance nominale, c'est-à-dire 25 ans.

II.3.1. Evaluation du coût d'investissement initial :

Pour le calcul du prix de revient de l'installation, on fait la somme des prix de chaque équipement ou accessoire utilisé, et cela quand on terminera le dimensionnement du système pour savoir le nombre de modules et celui des batteries ainsi que les divers appareillages intervenant lors de la mise en place de l'installation.

a. Le cout brut :

- **Coût des modules PV:**

Le coût total des modules est donné par :

$$C_{\text{mod}} = N_{\text{mod}} \times P_{\text{mod}} \times \text{coût de Wc} \quad (\text{II.15})$$

Où :

N_{mod} : est le nombre de modules.

P_{mod} : est la puissance d'un module.

- **Coût des onduleurs :**

Le coût total des onduleurs est donné par :

$$C_{\text{ond}} = N_{\text{branche}} \times P_{\text{ond}} \times \text{coût de Wc} \quad (\text{II.16})$$

Où :

N_{branche} : est le nombre des onduleurs.

P_{ond} : est la puissance d'un onduleur.

- **Coût total de la centrale :**

Le coût global de la centrale PV, est la somme de tous les coûts fixes mentionnés précédemment :

$$C_{\text{totale}} = C_{\text{mod}} + C_{\text{ond}} + C_{\text{batteries}} + \text{BOS} \quad (\text{II.17})$$

C_{mod} : Coût des modules PV

C_{ond} : Coût des onduleurs

$C_{\text{batteries}}$: Coût des batteries

BOS : Les coûts annexes (comme par exemple transport, la planification, aux études d'ingénierie et au montage de l'installation...)

L'analyse économique qui permettra de déterminer le coût total du projet et le temps de retour sur investissement est faite sur la base des hypothèses suivantes :

- Coût de maintenance et d'exploitation est pris égal à 5% de l'investissement initial.
- La main d'œuvre est pris égale à 10% de l'investissement initial.
- Coût d'investissement initial.
- Le coût de remplacement des équipements.

$$\begin{aligned} \text{Coût total} = & \text{Investissement initial} + \text{Coût d'Exp \& maintenance} \\ & + \text{Main oeuvre} + \text{Coût de remplacement} \end{aligned} \quad (\text{II.18})$$

b. Investissement initial:

L'investissement initial permet à l'utilisateur de savoir quel est le prix qu'il va devoir payer lors de l'installation de son système. Aussi, d'autres informations très importantes constituent des critères de choix, à savoir :

- Le coût du système photovoltaïque sur sa durée de vie.
- Le coût de l'énergie consommée par l'utilisateur sur toute sa durée.

II.3.2. Cout sur la durée de vie :

Les composants photovoltaïques nécessiteront des opérations de maintenance et surtout des pour s'assurer du bon fonctionnement du système.

a. Coût de maintenance et remplacement des sous-systèmes :

Le coût sur la durée de vie du système est fonction de l'investissement initial, du coût annuel d'entretien et de maintenance et du coût de remplacement éventuel de certains sous-systèmes.

$$C_{\text{vie}} = I_0 + C_{\text{ent/main}} + C_{\text{rempl}} \quad (\text{II.19})$$

Avec :

$C_{\text{ent/main}}$: coût annuel d'entretien et de maintenance.

C_{rempl} : coût de remplacement éventuel de certains sous-systèmes

Le prix d'installation d'un panneau solaire est le poste principal dans l'investissement photovoltaïque. Ce coût a considérablement baissé ces dernières années.

II.4. Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents éléments constituant le système d'installation photovoltaïque. Ainsi, le dimensionnement de chaque élément de la chaîne photovoltaïque et nous avons donné la méthodologie de l'étude technique et économique de chaque élément de cette installation PV pour atteindre la bonne performance par l'utilisation des paramètres favorables, De plus, le calcul des coûts de maintenance et l'investissement de toute l'installation.

Chapitre III
Application des systèmes
photovoltaïque dans la région
d'Ouargla

III.1. Introduction

Lorsque la demande électrique augmente ou les consommateurs sont très loin du poste de distribution électrique, il arrive fréquemment qu'une dégradation de la qualité d'énergie survienne et des chutes de tension non admissibles apparaissent chez les usagers. L'extension des réseaux aux zones rurales ou la construction de nouveaux réseaux sur des sites isolés rencontrent des contraintes économiques importantes. La production photovoltaïque peut contribuer au renforcement des bouts de ligne électrique. En effet lorsque le maximum de la charge appelée est en phase avec l'ensoleillement, l'installation de modules photovoltaïques sur les toits et les façades des bâtiments ou le placement d'une centrale photovoltaïque connectée au réseau à l'endroit du déficit, permet d'écrêter les pointes. L'application qui sera présentée dans ce chapitre consiste à l'étude de l'alimentation d'un groupe d'habitations situé à la fin d'un bout de ligne électrique basse tension dans la région d'Ouargla. Pour faciliter le choix des composants du système photovoltaïque et leur dimensionnement on a utilisé le logiciel PVSYST.

III.2. Présentation du site d'étude

La région d'Ouargla se situe à Sud-Est de l'Algérie, elle a une superficie de 211.980 km². Elle a les spécifications suivantes tableau (III.1) :

Latitude	31°.57N
Longitude	5°.24E
Altitude	141 m
Albédo	0.35
Heures d'ensoleillement	3256.2 heures/an

Tableau (III.1) : Spécifications du site d'Ouargla.

III.2.1. Rayonnement solaire

Les données météorologiques du site d'Ouargla sont illustrées dans le tableau (III.2) et sur la figure (III.1) :

meteo for Ouargla - Synthetically generated data from monthly values.

Plane: tilt 30°, azimuth 0°, Albedo 0.20

Interval beginning	GlobHor kWh/m ² /mth	GlobInc (Perez model) kWh/m ² /mth	T Amb °C
January	122.7	196.5	11.1
February	133.7	187.9	13.7
March	189.7	229.5	19.2
April	217.4	229.1	22.8
May	243.9	230.4	28.5
June	241.7	218.2	32.9
July	242.2	224.8	36.8
August	223.6	226.6	35.7
September	174.9	199.2	30.1
October	156.1	206.3	24.9
November	124.4	189.0	16.6
December	110.8	183.9	12.5
Year	2181.0	2521.3	23.8

Tableau (III.2) : Valeurs de la température et du rayonnement solaire au site d'Ouargla.

Où :

- GlobHor : rayonnement global horizontal (kWh/m²).
- GlobInc : rayonnement global sur plan capteur (kWh/m²).
- T Amb : température ambiante (°).

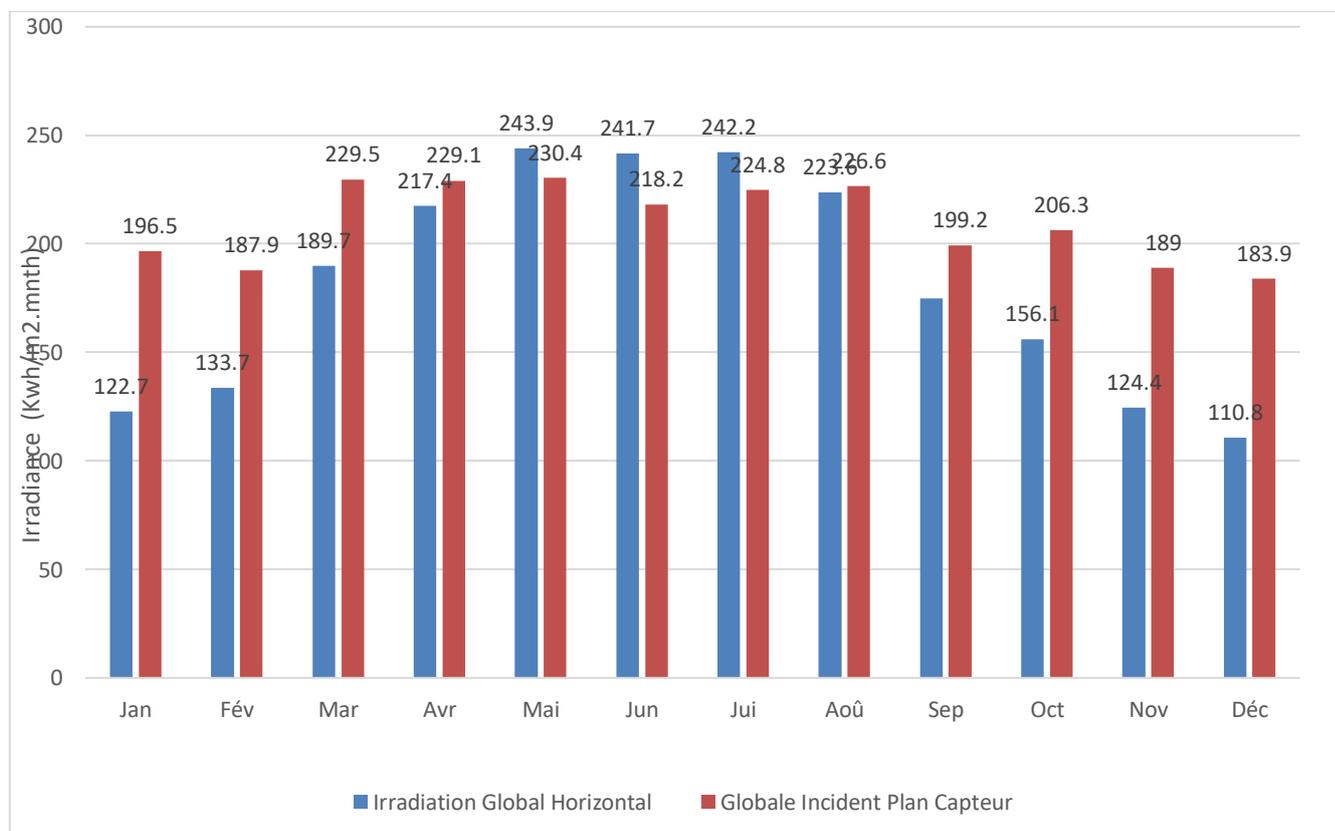


Figure (III.1) : Variation annuelle du rayonnement solaire site d'Ouargla.

III.2.2. Description du cas d'étude

Pour notre étude nous avons choisi un groupe de 15 habitations situés à la fin d'un bout de ligne électrique dans les environs de la ville d'Ouargla de longueur totale de 2.25 km du réseau BT et alimenté par un poste de distribution MT/BT

III.2.3. Profil de consommation du client BT dans le site d'étude

a. Consommation annuelle d'un abonné basse tension

L'évolution de la consommation annuelle d'un abonné BT dépend des conditions climatologiques de la région. La figure (III.2) présente l'évolution de la consommation annuelle pour la région d'Ouargla à Sud-Est Algérien. L'histogramme montre la nette augmentation de la consommation électrique durant la période d'été à cause de l'utilisation de la climatisation électrique.

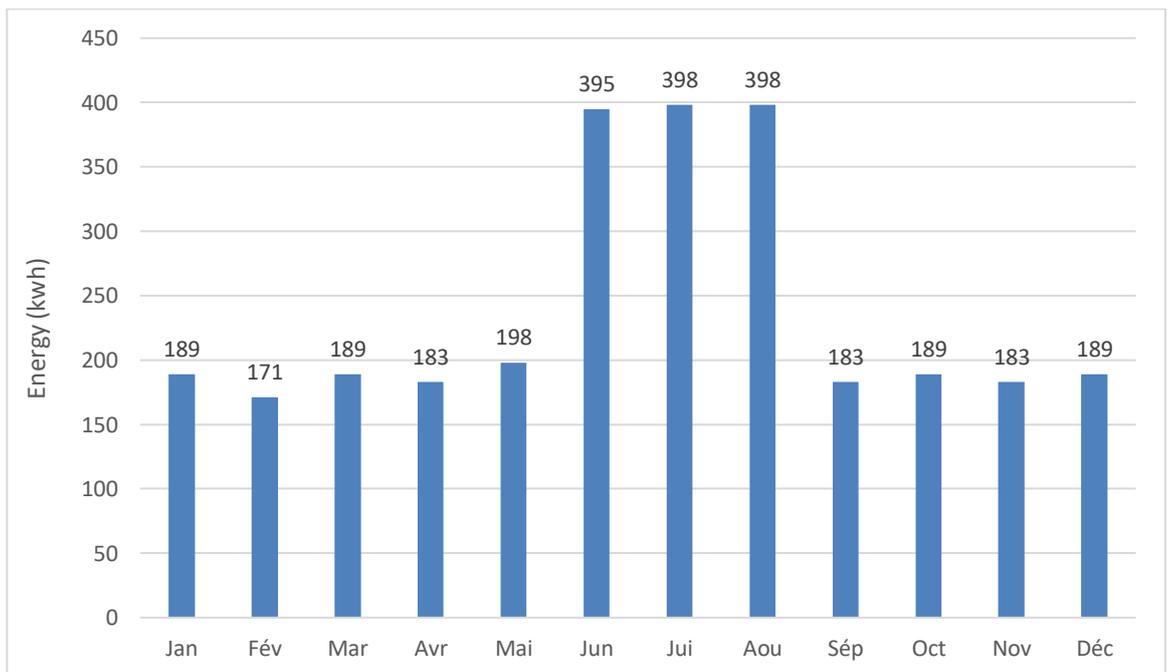


Figure (III. 2) : Consommation annuelle d'un abonné BT.

b. Charge horaire d'un abonné basse tension

La figure (III.3) présente la courbe de charge horaire d'un abonné basse tension pour un jour d'été et un jour d'hiver dans laquelle est illustrée la variation du profil de charge qui est marquée par une pointe de 1.4 kW entre 11 h et 16 h.

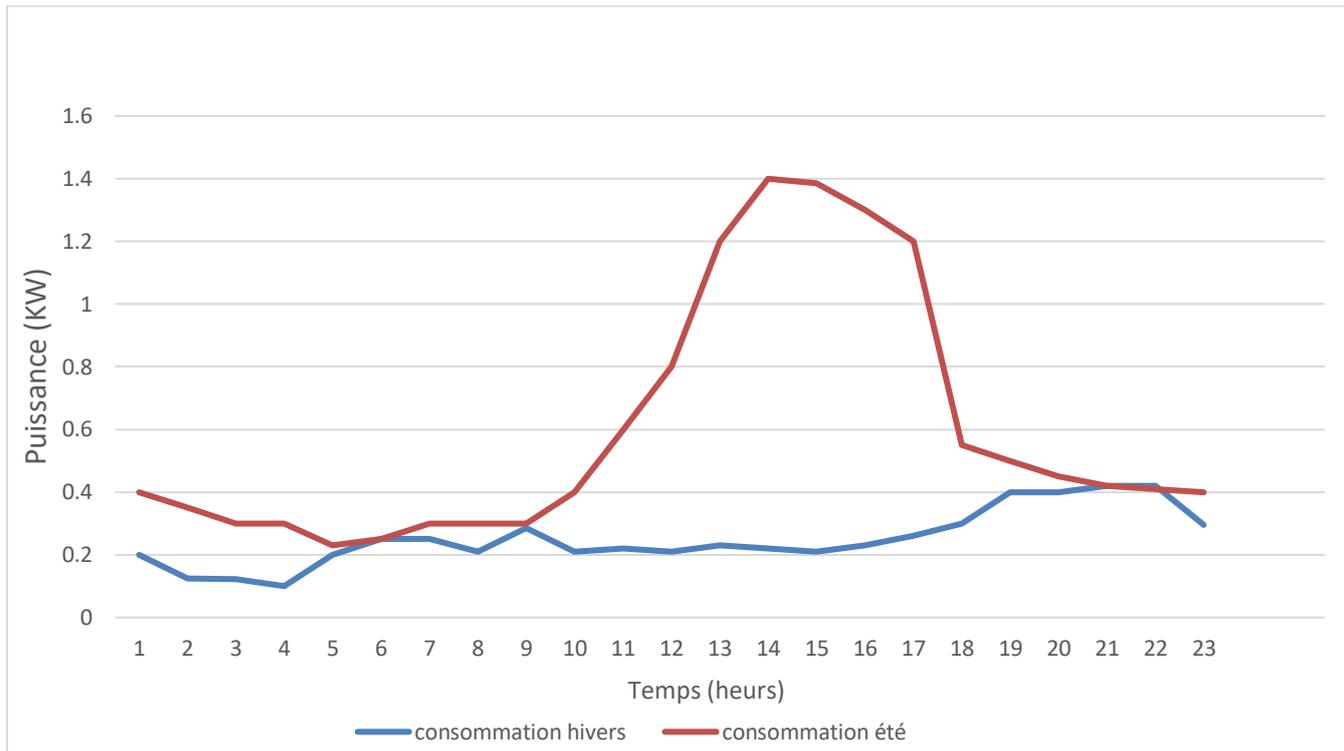


Figure (III.3) : Charge horaire d'un abonné basse tension.

D'après les données de la consommation annuelle et journalière on remarque que la demande de charge est plus importante dans la période estivale (juin, juillet et août). Notre étude sera faite sur cette période. Le mois le plus défavorable, pour cette période, pour le rayonnement solaire est le mois de juillet.

On peut calculer l'énergie journalière E_{elec} consommée par l'habitation comme suit :

$$E_{elec} = \frac{398}{31} = 12.83 \text{ kWh/jour} \quad (\text{III.1})$$

III.3. Application du système photovoltaïque

III.3.1. Mini-centrale photovoltaïque connecté au réseau électrique

L'application consiste à la conception d'une mini-centrale photovoltaïque pour pouvoir alimenter globalement les 15 abonnés situés à la fin du bout de ligne électrique BT.

III.3.1.1. Dimensionnement de la mini-centrale PV

a. Evaluation du besoin d'utilisateur

Le besoin des 15 utilisateurs peut être calculé par le produit du besoin d'un utilisateur par 15 ;

$$E_{\text{cons}} = 15 \times 12.83 = 192.45 \text{ kWh} \quad (\text{III.2})$$

b. Calcul de la puissance crête du générateur photovoltaïque

La puissance du générateur photovoltaïque est donnée par :

$$P_c = \frac{E_{\text{cons}} \cdot P_i}{E_i \times K} \quad (\text{III.3})$$

E_{cons} : énergie journalière consommée par les 15 abonnés égale à 192.45 kWh/jour

P_i (kW/m²): la puissance radiative dans les conditions standard de test (conditions STC),
 $P_i = 1 \text{ kW/m}^2$.

E_i (kWh/j/m²) : l'irradiation solaire journalière la plus faible de la période étudiée égale à :

$$E_i = \frac{218.2}{31} = 7.03 \text{ kWh/m}^2/\text{j} \quad (\text{III.4})$$

6.91 kWh/j/m².PR : le ratio de performance de l'installation photovoltaïque, égale à 0.75

$$P_c = \frac{192.45}{7.03 \times 0.75} = 36.45 \text{ kWc} \quad (\text{III.5})$$

Le générateur photovoltaïque aura une puissance crête de 37 kWc.

Les panneaux solaires utilisés sont de types Si-mono modèle LG 250 S1C-G3 avec une puissance crête = 250W.

On a choisi l'onduleur Solis 4KUS avec une puissance de 40kWc et une tension de fonctionnement de 300V-820V.

c. Calcul du nombre de modules total

$$N_t = \frac{P_c}{P_{\text{mod}}} = \frac{37000}{250} = 148 \quad (\text{III.6})$$

d. Nombre de modules en série

Le nombre de modules en série dépend de la tension de fonctionnement de l'onduleur.

$$N_{s\text{max}} = \frac{V_{\text{mppt max}}}{V_{\text{mpp}} * 1.15} = \frac{820}{29.8 * 1.15} = 23.92 \quad (\text{III.7})$$

$$N_{s\text{min}} = \frac{V_{\text{mppt min}}}{V_{\text{mpp}} * 0.85} = \frac{300}{29.8 * 0.85} = 11.84 \quad (\text{III.8})$$

e. Nombre de modules en parallèle

$$\text{nbre de chaine en parallele} = \frac{I_{\text{max ond}}}{I_{\text{cc}} \times 1.25} = \frac{90}{9 \times 1.25} = 8 \quad (\text{III.9})$$

$N_p = 8$ chaines

On prendra $N_s = 20$ modules vue que l'onduleur a une puissance de 40kW.

D'où le champ PV aura une puissance crête :

$$P_c = 8 \times 20 \times 250 = 40 \text{ KWc}$$

III.3.1.2. Résultats de simulation

Le tableau (III.3) présente le bilan énergétique mis en jeu par le système étudié :

E load : c'est la quantité d'énergie nécessaire au besoin de l'utilisateur pour chaque mois de l'année. Le besoin annuel total est de 42748 kWh.

E Avail : c'est l'énergie disponible c'est-à-dire produite par le système photovoltaïque pour chaque mois de l'année. L'énergie annuelle disponible totale est de 64244kWh.

E User : c'est l'énergie utilisée par le consommateur pour chaque mois de l'année. l'énergie utilisée annuelle totale est de 19343 kWh.

E Grid : c'est l'énergie injectée au réseau pour chaque mois de l'année. L'énergie annuelle totale injectée au réseau est de 44901 kWh.

La partie en énergie du besoin de l'utilisateur non satisfaite par le système photovoltaïque est assurée par le réseau électrique, elle est estimée à 23405 kWh /an.

2
Customised table

	E Avail kWh	E Load kWh	E User kWh	E_Grid kWh
Janvier	3680	2842	895	2785
Février	3774	2567	906	2868
Mars	5371	2842	1164	4207
Avril	5882	2750	1226	4656
Mai	6525	2842	1380	5145
Juin	7071	5778	3188	3883
Juillet	7437	5971	3276	4161
Août	6717	5971	3173	3544
Septembre	5618	2750	1184	4434
Octobre	4877	2842	1128	3749
Novembre	3834	2750	907	2927
Décembre	3457	2842	915	2542
Année	64244	42748	19343	44901

Tableau (III.3) : valeurs des différentes énergies mis en jeux par le système PV global.

L'histogramme de la figure (III.4) montre la variation des portions des différentes énergies tout au long de l'année

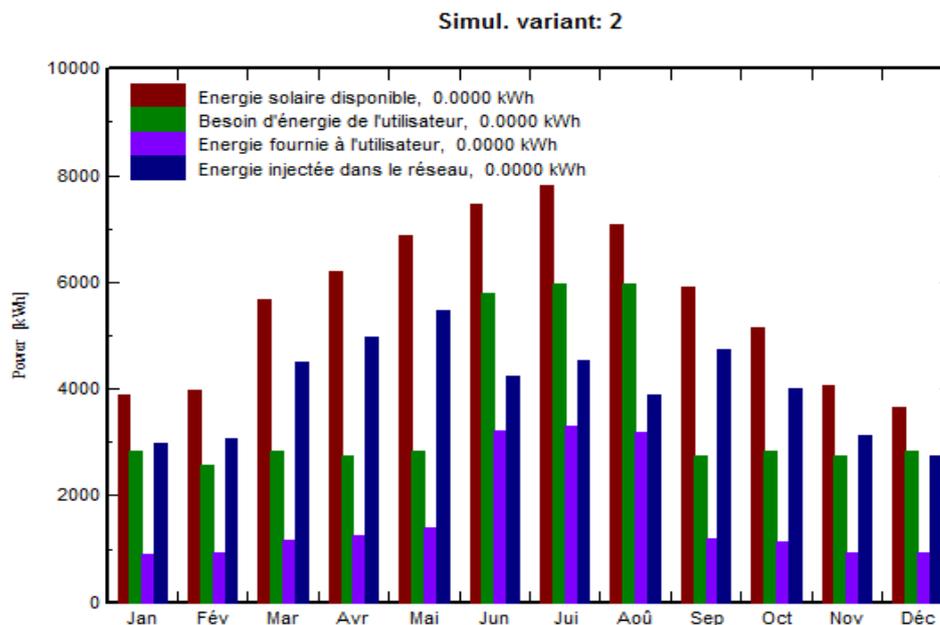


Figure (III.4) : Variation annuelle de l'énergie photovoltaïque produite.

Les figures (III.5) et (III.6) illustrent la variation horaire des différentes énergies pour une journée d'été et une journée d'hivers.

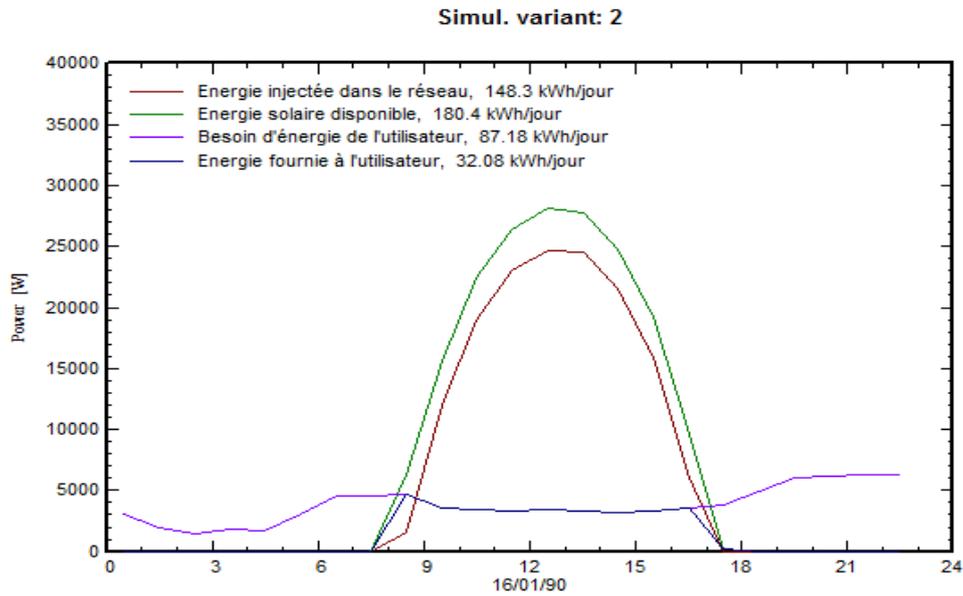


Figure (III.5) : Variation horaire de l'énergie photovoltaïque produite pour une journée d'hivers (cas mini centrale).

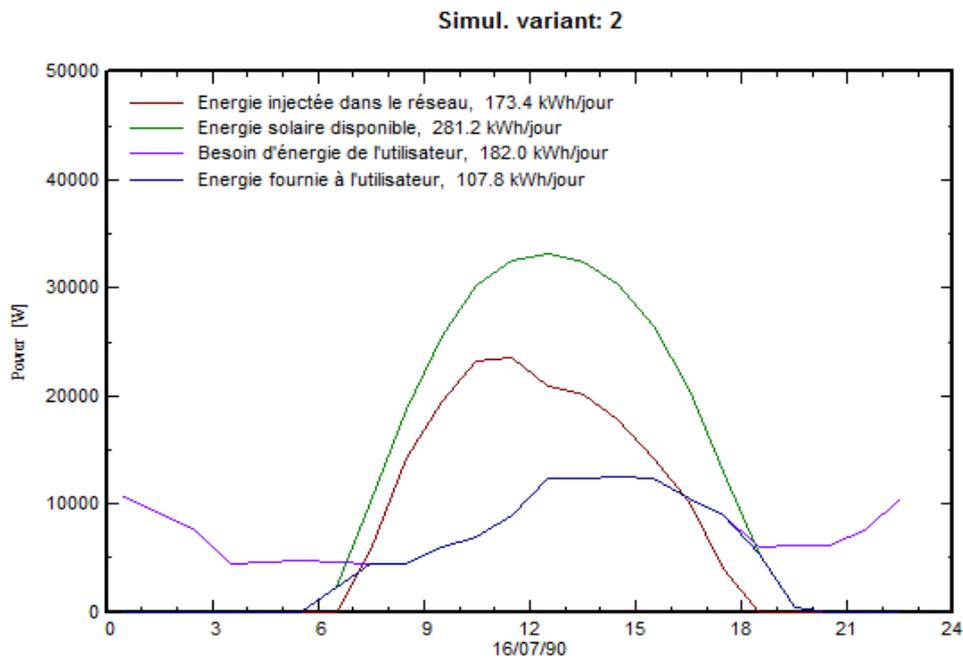


Figure (III.6) : Variation horaire de l'énergie photovoltaïque produite pour une journée d'été (cas mini centrale).

Les tableaux (III.4), (III.5) et (III.6) présentent les taux de chaque type d'énergie mis en jeux par La mini-centrale PV installée. On distingue trois variables :

- **Energie produite** : Le système PV contribue à la production avec 73.29 % de l'énergie totale produite et le réseau électrique avec 26.7 %
- **Energie consommée** : L'utilisateur consomme 48.77 % de l'énergie totale consommée et le réseau électrique bénéficie de 51.23 % qui y est injectée.
- **Taux de couverture PV** : le système PV installé permet la couverture de 45.24 % des besoins de l'utilisateur. Le reste qui est 54.75 % est assuré par le réseau électrique

Production	kWh/an	Taux (%)
Système PV	64244	73.29
Energie soutirée au réseau électrique	23405	26.7

Tableau (III.4) : Taux de production énergétique cas de la mini-centrale PV.

Consommation	kWh/an	Taux (%)
Consommée par l'utilisateur	42748	48.77
Energie PV Injecté au Réseau électrique	44901	51.23

Tableau (III.5) : taux de consommation de l'énergie cas de la mini-centrale PV.

Couverture des besoins de l'utilisateur	kWh/an	Taux (%)
Système PV	19343	45.24
Réseau électrique	23405	54.75

Tableau (III.6) : Taux de couverture du système PV cas de la mini-centrale PV.

Cette mini-centrale photovoltaïque peut être plus efficace par l'ajout d'un système de stockage.

III.4. Evaluation économique

L'étude technique des systèmes photovoltaïque doit être toujours complétée par une évaluation économique permettant de calculer le cout du système qui sera comparé au cout de la solution classique concernant l'extension du réseau électrique.

a. Cout de l'alimentation par extension réseau électrique

Le tableau (III.7) présente l'évaluation du cout de l'alimentation par extension du réseau électrique.

Cout MT(DA/km)		Cout BT(DA/km)		Cout transformateur (DA/unité)		Cout disjoncteur (DA/unité)		Cout total (DA)
1 km	2.25	1km	0.8	1 unité	01	1 unité	01	12640000
3000000	6750000	1950000	1560000	580000	580000	250000	250000	

Tableau (III.7) : cout de l'extension du réseau.

b. Calcul du cout d'investissement

Les prix de l'équipement des systèmes photovoltaïques, selon les entreprises nationales, sont donnés dans le tableau (III.8).

Désignation	Prix
Module PV cristallin	100 DA/Wc
Support des modules	5000 DA/ unite
Enclose des modules	5000 DA/unite
Armoire de commande	30000 DA
Câbles et divers	100000 DA
Onduleur	33 DA/Wc
Régulateur	9000 DA
Batteries	180000 DA
Cout du fonctionnement annuel (entretien de 4 visites par ans)	200000 DA

Tableau (III.8) : cout du matériel photovoltaïque.

Le tableau (III.9) présente l'évaluation du cout de l'investissement initial de la mini-centrale photovoltaïque étudiée et le prix total de l'extension du réseau électrique.

	Mini-centrale PV	Alimentation par réseau
Investissement (DA)	7250000	12640000

Tableau (III.9) : Cout total du système PV et de l'extension du réseau BT.

Discussion des résultats :

- D'après les couts calculés des différents systèmes on voit que la solution d'une mini-centrale photovoltaïque est le plus économique en comparaison avec le cout de l'extension du réseau électrique

III.5. Evaluation écologique des différents systèmes étudiés

Ecologiquement on peut déterminer l'effet de la production d'énergie photovoltaïque sur l'environnement par le calcul de la quantité de CO₂ évité dans l'atmosphère terrestre qui est estimée à 629.948 tonnes d'après l'évaluation faite à l'aide du logiciel PVSYST.

III.6. Conclusion

Les résultats de simulation de l'application des installations PV dans la région d'Ouargla ont montré que cette région est très favorable pour les projets photovoltaïques.

L'étude économique a montré que la fourniture de l'énergie nécessaire aux besoins des abonnés situés à la fin du bout de ligne par les systèmes PV est plus économique et beaucoup moins chère que l'extension du réseau électrique.

Du point de vue environnement, ces systèmes PV permettent de fournir de l'énergie propre vue la quantité considérable d'émission CO₂ évitée dans l'atmosphère.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Notre travail consiste en une étude de l'électrification d'une agglomération d'un ensemble d'habitation d'un village avec de l'énergie solaire photovoltaïque (PV) dans la region de Ouargla.

En premier lieu nous avons présenté les systèmes photovoltaïques et leurs caractéristiques principales, leurs différents composants principaux. Ensuite nous avons présenté les différents paramètres et équations permettant de réaliser la conception d'une installation photovoltaïque pour un site précis. Enfin nous avons réalisé une estimation du générateur PV , basé sur le profil de consommation et l'apport énergétique du lieu. La mise en œuvre de cette méthode a été effectuée à l'aide du logiciel PVSYST. Ce logiciel répond correctement aux choix des composants constituant notre installation,

Les résultats de dimensionnement sont conditionnés par les paramètres de base (Irradiation solaire, température ambiante et profil de consommation), afin d'aboutir à une meilleure optimisation des installations PV qui demeure l'objectif principal de tout installateur du système PV. L'étude technique a été complétée par une évaluation économique et écologique de l'installation photovoltaïque.

En conclusion on peut dire que l'étude technico-économique du système photovoltaïque a montré que la filière photovoltaïque se présente comme un investissement intéressant qui peut jouer un rôle très important pour résoudre le problème de l'électrification des sites isolés ou loin du réseau électrique. Elle permet non seulement d'économiser de l'énergie mais aussi de la revendre et réaliser ainsi un bon bénéfice pour couvrir les besoins de base en électricité, puisque près d'un tiers de la population mondiale vit sans accès à l'électricité principalement dans les pays en voie de développement.

D'après l'évaluation économique et écologique effectuée, on peut en conclure que le photovoltaïque représente une solution réelle de remplacement des énergies fossiles par une énergie verte, performante et lucrative.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] : A. Zerga : ‘Optimisation du rendement d’une cellule solaire à base de silicium monocristallin de type n+p’, Mémoire de Magistère Tlemcen- Génie électrique 1998.
- [2] : M. BOUKLI-HACEN «Conception et réalisation d’un générateur photovoltaïque muni d’un convertisseur MPPT pour une meilleure gestion énergétique »; thèse de magister ; Université ABOU BAKER BELKAID –Tlemcen ,2011.
- [3] : Pompage photovoltaïque «guide à l’intention des ingénieurs et techniciens, Institut de L’énergie et de l’environnement de la francophonie » ; Université d’OTTAWA.
- [4] : C. Bernard « station solaire autonome pour l’alimentation station pompage » l’archive ouverte pluridisciplinaire HAL 2006].
- [5] : A. Hammidat Hadj arab et M.T BOUKADOUM « performance et cout des systèmes de pompage PV en ALGERIE » (2005).
- [6] : Philippe Guibert : «TP Energie Solaire » Université pierre et marie curie : Master Energétique et Environnement.
- [7] : N.HOUCINE ; Etude de gestion d’une mini-centrale solaire et mise au point d’un dispositif automatique de mesures, contrôle et régulation de l’énergie électrique. Thèse de Doctorat.Université de la science et de la technologie d’Oran Mohammed Boudiaf, Juin 2016.
- [8] : Site internet :
http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Le_photovolta%C3%AFque_sous_concentration
- [10]: M .BELHADJ ; Modélisation D’un Système De Captage Photovoltaïque Autonome Mémoire de Magister ; Centre Universitaire De Bechar ; 2008.
- [11]: M. BENGHANEM. Etude de la performance des systèmes photovoltaïque autonomes Travaillant à poste fixe. Thèse de Doctorat, U.S.T.H.B, avril 1999.
- [12]: B. EQUER. Energie solaire photovoltaïque. Volume I – Physique et technologie de la conversion photovoltaïque. CNRS. Edition ellipses, 1993.
- [13]: M. BURESCH. Photovoltaic energy systems. McGraw-Hill U.S.A, 1983.
- [14]: F. Lasnier, T. G. Ang, « Photovoltaic Engineering Handbook », IOP Publishing Ltd.1980.ISBN 0-85274-311-4.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [15]: E. BUCHET. Etude du dimensionnement et développement d'un logiciel d'aide à la conception de système de production d'énergie utilisant la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire, Thèse de Doctorat, Faculté de Science et Technique de Saint-Jérôme, d'Aix Marseille, juillet 1988.
- [16]: A. HADJ ARAB. Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque de faible puissance, Thèse de magister, H.C.R, décembre 1989.
- [17]: www.solarelectripower.org.
- [18]: F. Lasnier, T. G. Ang, « Photovoltaic Engineering Handbook », IOP Publishing Ltd. 1980.ISBN 0-85274-311-4.
- [19]: F. Bouchtouche cherfa «Etude et réalisation d'une centrale photovoltaïque connectée au réseau de distribution électrique BT». Mémoire de magister, Ecole National Polytechnique Elharach, 2004.
- [20]: GOAR Noureddine, MAHMOUDI Abdelkader, " Réalisation d'un convertisseur DC/DC dans une chaine de conversion d'énergie photovoltaïque ", Mémoire de Master, Université Larbi Ben M'Hidi - Oum El Bouaghi, Juin 2017.
- [21]: GUEDAOURIA H., " Dimensionnement d'un système photovoltaïque pour alimenter le laboratoire LPDS au sien de l'université de Béchar ", Mémoire de Master, Université Tahri Mohammed Bechar, 2017.
- [22]: H.Yotto « Etude et conception d'une mini centrale PV » mémoire fin d'études Master 2 IE Bénin 2011
- [23]: <http://www.photovoltaique.guidenr.fr/cours-photovoltaique-autonome>
[1/cours_photovoltaique-autonome.php](http://cours_photovoltaique-autonome.php).
- [24]: FOGELMAN & Régis MONTLOIN, « Installations Photovoltaïques dans l'habitat isolé » livre édité par: EDISUD, 1983.
- [25]: Pierre VANGELUWE «Solaire photovoltaïque » Power green- solaire développement durable, Génie électrique, 2005.
- [26]: Benmahrez, B., F. Oudihat. Etude et dimensionnement d'une alimentation solaire pour les locaux administratifs de la société IFRI. Mémoire d'ingénieur, Université de Bejaia, (2010).

Résumé

Résumé :

Ce travail a pour but l'étude technico-économique d'une installation photovoltaïque qui alimente un groupe d'habitations situé à la fin d'un bout de ligne électrique basse tension dans la région de Ouargla au Sud Algérien.

En se basant sur les paramètres réels du site, nous proposons une méthode de conception de l'installation à l'aide du logiciel PVSYST. Nous avons déterminé le dimensionnement des différents composants du système PV. Une comparaison économique est faite entre le système PV et la solution classique concernant l'extension du réseau électrique BT pour l'alimentation du site ainsi qu'une évaluation écologique déterminant la quantité de CO₂ évité à travers l'utilisation des systèmes PV.

Mots clé : Système photovoltaïque, Dimensionnement du système photovoltaïque, évaluation économique.

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو دراسة الطبيعة الفنية والاقتصادية لمنشأة كهروضوئية تزود مجموعة من المساكن الواقعة في نهاية خط كهرباء منخفض الجهد في منطقة ورقلة جنوب الجزائر.

بناءً على إعدادات الموقع الفعلية ، نقدم طريقة لتصميم المنشأة باستخدام برنامج PVSYST. لقد حددنا حجم المكونات المختلفة لنظام كهروضوئية. يتم إجراء مقارنة اقتصادية بين النظام كهروضوئي والحل التقليدي فيما يتعلق بتوسيع الشبكة الكهربائية ذات الجهد المنخفض لتزويد الموقع بالإضافة إلى تقييم بيئي يحدد كمية ثاني أكسيد الكربون التي يتم تجنبها من خلال استخدام الأنظمة كهروضوئية.

الكلمات المفتاحية: النظام كهروضوئي ، تحجيم النظام كهروضوئي ، التقييم الاقتصادي.

Abstract:

The aim of this work is to study the technical and economic nature of a photovoltaic installation that supplies a group of dwellings located at the end of a low voltage power line in the region of Ouargla in southern Algeria.

Based on actual site settings, we provide a method for designing the facility using PVSYST software. We determined the sizing of the various components of the PV system. An economic comparison is made between the PV system and the conventional solution concerning the extension of the LV electrical network to supply the site as well as an ecological assessment determining the amount of CO₂ avoided through the use of PV systems.

Keywords: Photovoltaic system, Sizing of the photovoltaic system, economic evaluation.