

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes De MASTER PROFESSIONNEL

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electrotechnique

Spécialité : ELECTROTECHNIQUE INDUSTRIELLE

Présenté par :

Hichem DAHMANI

Mohamed BOUZAIA

Thème

Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque dédié à une habitation.

Mémoire soutenu publiquement le 06 juillet 2017 devant le jury composé de :

Mr DJOUDI Hakim

Maître assistant classe-A-, UMMTO, Président.

Mr AISSOU Saïd

Maître de conférences classe -B-, UMMTO, Examineur.

Mr FEKIK Arezki

Doctorant, UMMTO, Examineur.

Mr ZIANE Djamel

Maître des conférences classe-B-, UMMTO, Promoteur.

Mr MEZZAI Nabil

Maître des conférences classe-B-, UMMTO, Co-promoteur.

Promotion 2016 /2017

Remerciements.

. Nous tenons tout d'abord à remercier DIEU le Tout Puissant et Miséricordieux, qui nous A Donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

*Nous remercions tout particulièrement notre promoteur **Mr ZIANE Djamel**, qui a proposé et dirigé ce travail pour ses précieux conseils, orientations, patience qui ont constitué un apport considérable sans lesquels ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à ses hautes qualités humaines.*

*Nos vifs remerciements s'adressent aussi à notre Copromoteur **Mr MEZZAI Nabil** pour son aide et ses encouragements*

Nous remercions également les membres du jury qui ont fait l'honneur de bien vouloir examiner ce travail

Nos vifs remerciements vont également du fond du cœur à tous nos enseignants durant notre formation universitaire, à tous nos amis

À toute la promotion ETH Professionnel



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents

*A mes frères : LOUNES, LARBI, MHIDIN,
YOUVA et MON JUMENT MOHAND OU
MHAND*

*A mes sœurs : FARIDA, MARIEM et SES
deux enfants SAMI et LINA, FARIZA,
WARDA et RAHMA*

A mon cher camarade : MOHAMED

*A tous Mes Amis intimes : RAFIK,
MEZIANE, IDIR, KADER, GHILLES,
SOUAD et CHAFIA*



HICHEM



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents

*A mon frère SAMIR et sa femme et son bébé
AMIR*

A mon frère HAMID

*A mes sœurs SOUAD et NAÏMA et leurs
enfants*

A mon cher camarade Hichem

A tous mes amis intimes

A tous mes copains de la chambre de F5

*A tous mes amis de la promotion
professionnelle*



Mohamed

Table des matières

Table des matières

Remerciements	
Tables des matières	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Energies renouvelables	3
Introduction.....	3
I-énergies renouvelables	3
I-1- Energie hydraulique	3
I-1-1- Avantages et Inconvénients de l'énergie hydraulique	4
I-2- Energie éolienne	4
I-2-1- Avantages et Inconvénients de l'énergie éolienne	5
I-3- La biomasse	6
I-3-1- Le bois énergie	6
1-3-2- Le biogaz	7
1-3-3- Les biocarburants	7
I-4- Energie géothermique.....	8
I-5- Energie solaire	9
I-5-1- Energie solaire thermique	9
I-5-2- Energie photovoltaïque	9
II- cellule photovoltaïque	10
II-1-Description de la cellule	12
II-2- Principe de fonctionnement.....	12
II-3- Types de cellules	12
II-3-1- cellule au silicium monocristallin	13
II-3-2-cellule au silicium poly cristallin	13

Table des matières

II-3-2 cellule au silicium amorphe	14
II-4- Schéma équivalent électrique d'une cellule photovoltaïque	15
II-5- Caractéristique d'une cellule Photovoltaïque	16
II-5-1- Paramètres influant sur la caractéristique $I = f(V)$	16
II-5-1-1- Influence de l'ensoleillement	17
II-5-1-2- Influence de la température	17
II-6- Association des cellules photovoltaïques	18
II-6-1- Association série	18
II-6-2- Association parallèle	19
III- systèmes photovoltaïques	20
III-1- système autonome	20
III-2- système raccordé au réseau	21
III-3- système hybride	21
VI- Avantages et Inconvénients de l'énergie photovoltaïque	22
Conclusion	23
Chapitre II : Description d'un système photovoltaïque autonome	24
Introduction	24
I- Implantation de modules photovoltaïques	24
I-1- Inclinaison	24
I-2- Orientation	25
I-3- Angle d'incidence « β »	26
II- Panneaux photovoltaïques	28
II-1- Panneaux photovoltaïques fixés	28
II-2- Panneaux photovoltaïques orientables	28
II-3- Panneaux photovoltaïques mobiles	28

Table des matières

III-Description des éléments d'une installation photo voltaïque	28
III-1- Générateur photo voltaïque	30
III-2- Convertisseur continu-continu DC / DC (ou régulateur)	30
III-2-1- Hacheur série (dévolteur)	31
III-2-2- Hacheur parallèle (survolteur)	32
III-2-3- Techniques de commande MPPT	33
III-2-3-1-Méthode perturbation et observation	33
III-2-3-2-Méthode de l'incrémentation de la conductance	34
III-2-3-3-Méthode à référence fixe	35
III-2-3-4-Méthode circuit ouvert	35
III-2-3-5- Méthode de court-circuit	36
III-4- Etage de stockage	36
III-4-1- Les batteries au plomb-acide	36
III-4-1-1-batterie au Nickel-cadmium	37
III-4-1-2- Batterie au Lithium-ion	37
III-5-Convertisseur continu-alternatif DC / AC (ou onduleur)	38
III-5- 1-Définition	38
III-5-2- Classification des onduleurs	38
III-5-3- Principe de fonctionnement des onduleurs	39
III-6- Consommateurs DC et AC	42
VI-Méthodologie de dimensionnement d'un système photo voltaïque	42
VI-1- Evaluation de la consommation	42
VI-2-Dimensionnement du générateur photo voltaïque	43
VI-3-Dimensionnement de la batterie	46
VI-4-Dimensionnement du régulateur	47
VI-5-Dimensionnement de l'onduleur	47

Table des matières

Conclusion.....	48
Chapitre III : dimensionnement du système photovoltaïque	49
Introduction	49
I-Localisation du site	49
II-Description de l'habitation étudiée.....	50
III- Dimensionnement énergétique du système photovoltaïque autonome	50
III-1- Ensoleillement	51
III-2- Estimation des besoins énergétiques.....	51
III-3- Répartition de la consommation d'énergie électrique dans le foyer.....	53
III-4- Profils de consommation d'énergie électrique.....	54
III-5- Caractéristiques du système PV.....	58
III-6- Dimensionnement du générateur	58
III-6-1- Caractéristiques du panneau photovoltaïque SHARP NTR5E3E.....	58
III-6-2- Calcul de la puissance crête de générateur photovoltaïque	59
III-6-3- Le nombre du modules photovoltaïques	60
III-6-4- Répartition des modules photovoltaïques	60
III-6-5- Caractéristique de générateur photovoltaïque	61
III--6-6- L'orientation et l'inclinaison des modules photovoltaïques	61
III-7- Dimensionnement des batteries	61
III-7-1- Calcul de la capacité utile.....	62
III-7-2- Nombre de batteries	63
III-7-3- Répartition des batteries	63
III-8- Le choix du régulateur	64
III-9- Le choix du l'onduleur.....	65
III-5- Le coût d'estimation	65

Table des matières

III-5-1- Le coût de l'installation photovoltaïque.....	65
III-5-2- Le coût de la consommation électrique.....	66
Conclusion.....	69
Conclusion générale.....	70
Références bibliographiques	

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau (II-1) : Inclinaison en fonction de latitude	25
Tableau (II-2) : choix de la tension du fonctionnement.....	44
Tableau (III-1) : Estimation des besoins électriques journaliers.	52
Tableau (III-2) : Répartition de la consommation électrique.	53
Tableau (III-3) : Répartition de la consommation électrique trimestrielle.	56
Tableau (III-4) : Consommation horaire de la maison étudiée pendant la période d'automne.	57
Tableau (III-5) : Caractéristiques du panneau photo voltaïque SHARP NTR5E3E.	58
Tableau (III-6) : Caractéristiques de la batterie choisie.	62
Tableau (III-7) : Estimation du coût de l'installation photo voltaïque de notre habitation.	65
Tableau (III-8) : Estimation du coût annuel de la consommation d'électricité de notre habitation.	67
Tableau (III-9) : coût de l'extension de la ligne basse tension.	68

Liste des figures

Liste des figures

Figure (I-1):moulin à eau.	4
Figure (I-2) : Moulins à vent.	5
Figure (I-3) : biomasse solide.....	6
Figure (I-4) : biogaz.	7
Figure (I-5) : biocarburant	7
Figure (I-6) : la géothermie.	8
Figure (I-7) : Système photovoltaïque.	10
Figure (I-8) : cellule photovoltaïque.	11
Figure (I-9) : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.	12
Figure (I-10) : La cellule au silicium monocristallin.	13
Figure (I-11) : La cellule au silicium poly cristallin.	14
Figure (I-12) : Cellule au silicium amorphe.....	14
Figure (I-13) : Schéma équivalent réel d'une cellule photovoltaïque.	15
Figure (I-14) : Caractéristique (I-V) d'une cellule solaire, à l'obscurité et sous éclairement..	16
Figure (I-15) : influence de l'ensoleillement sur la caractéristique $I=f(V)$	17
Figure (I-16) : influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$	18
Figure (I-17) : groupement de cellules PV en série (N_s).	19
Figure (I-18) : groupement (N_p) de cellules en parallèle.....	19
Figure (I-19) : Système photovoltaïque autonome avec batterie.	20
Figure (I-20) : Système photovoltaïque raccordé au réseau.....	21
Figure (I-21) : Système photovoltaïque hybride.	22
Figure (II- 1) : Angle d'inclinaison des modules photovoltaïques	25
Figure (II- 2) : Orientation du panneau photovoltaïque :a)- Système fixe ;b)- Système orientable, suivant les deux axes.	26
Figure (II- 3) : Angle d'incidence sur un module photovoltaïque	26

Liste des figures

Figure (II-4) : Le rendement des modules photovoltaïques en fonction de l'angle d'incidence de l'angle d'incidence	27
Figure (II-5) : les composants d'un système photovoltaïque autonome.	29
Figure (II- 6) : Convertisseur DC/DC	30
Figure (II-7) : Schéma de principe d'un hacheur série.....	31
Figure (II-8) : Schéma de principe d'un hacheur parallèle	32
Figure (II-9) : Organigramme de l'algorithme de la commande perturbation et observation (P&O).....	34
Figure (II-10) :a)-Etat des interrupteurs pendant l'intervalle $[0, T/2]$;b)-Signal de sortie de la tension V_s pendant l'intervalle $[0, T/2]$	39
Figure (II-11) :a)- Etat des interrupteurs pendant l'intervalle $[T/2, T]$;b)- Signal de sortie de la tension V_s pendant l'intervalle $[T/2, T]$	40
Figure (II-12) : Signal de sortie de la tension V_s pendant l'intervalle $[0, T/2]$	40
Figure (II-13):Schéma de montage d'un onduleur triphasé en pont.	41
Figure (III-1) : Température mesurés.....	49
Figure (III-2) : Vue en plan de la maison étudiée.	50
Figure (III-3) : Ensoleillement mesuré.....	51
Figure (III-4) : Répartition de la consommation électrique.	53
Figure (III-5) : Profil de consommation journalière pour l'automne.	54
Figure (III-6) : Profil de consommation journalière pour l'hiver.....	54
Figure (III-7) : profil de consommation journalière pour le printemps.....	55
Figure (III-8) : Profil de consommation journalière pour l'été.	55
Figure (III-9) : Répartition des modules photovoltaïques.....	60
Figure (III-10) : Répartition des batteries.....	64

Symboles et abréviations

Symboles et abréviations

A : L'indice d'ensoleillement correspondant à la zone géographique est égal à 1.3.

AC : Courant alternatif (A).

B : Coefficient correspondant à la saison d'utilisation est égale à 3.

C : Capacité de la batterie de stockage (Wh).

C_e : Capacité d'un élément de batterie en (Ah).

DC : Courant continu (A).

ddp : Différence de potentiel (V).

E_{AC} : Energie consommée en alternatif (Wh/jour).

E_C : Énergie totale consommée par jour (Wh/jour).

E_{DC} : Energie consommée en continu par jour (Wh/jour).

EDS : Société de distribution de l'électricité.

f : La fréquence (Hz).

I_{cc} : Courant de court-circuit (A).

IGBT : Le transistor bipolaire à grille isolée.

I_{Od} : Courant de la saturation de la diode (A).

I_{ph} : Photo-courant (A).

I_s : Courant de sortie de régulateur en (A).

K : Constante de Boltzmann ($K=1.38.10^{-23}$ (SI)).

K : Facteur de courant dépendant des caractéristiques d'une cellule PV, il est entre 85 et 92%.

MPPT: Maximum power point Tracking.

MOSFET : Transistor à effet de champ à structure métal-oxyde-semi-conducteur.

N_{bp} : Nombre de batterie en parallèle.

N_{bs} : Nombre de batterie en série.

N_j : Nombre de jour d'autonomie.

N_m : Nombre de module total.

Symboles et abréviations

N_p : Nombre de cellule photovoltaïque en parallèle.

N_P : Nombre de module en parallèle.

N_s : Nombre de cellule photovoltaïque en série.

N_{ms} : Nombre de modules en série.

PV : Photovoltaïque.

P&O : Méthode perturbation et observation.

P_{cm} : La puissance crête du module photovoltaïque.

P_c : La puissance crête du champ photovoltaïque (W_C).

P_f : Profondeur de décharge en (%).

P : Puissance totale des récepteurs (W).

q : Charge de l'électron ($q=1.602.10^{-19}$ C).

R_S : Résistance série (Ω).

R_{Sh} : Résistance shunt (Ω).

T_j : Température de la cellule ($^{\circ}K$).

V : La tension délivré par le panneau photovoltaïque.

φ : Latitude ($^{\circ}$).

β : Angle d'incidence ($^{\circ}$).

R : Rendement en (%).

S_m : La surface d'un seul module en m^2 .

S_t : La surface total du générateur PV en m^2 .

TVA : Taxe sur la valeur ajoutée

T : La période de commutation (S).

U : Tension de fonctionnement de l'installation photovoltaïque (V).

U_b : Tension de la batterie (V).

V_{CO} : La tension en circuit ouvert (V).

V_{OP} : La tension optimale (V).

V_n : Tension nominale de module photovoltaïque (V).

Symboles et abréviations

α : Le rapport cyclique.

\emptyset : Latitude ($^{\circ}$).

η_{ond} : Rendement de l'onduleur (%).

η_{hach} : Rendement du hacheur(%).

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

L'utilisation des énergies renouvelables n'est pas du tout nouvelle, depuis la préhistoire, l'être humain utilisait de nombreuses sources d'énergies pour couvrir ses besoins énergétiques, notamment de maîtrise du feu à celle de l'électricité. Avec les avancées technologiques, le besoin en énergie est devenu plus que nécessaire au développement de l'humanité. Avec la forte demande énergétique, l'homme a fait apparaître des moyens de production d'énergie pour satisfaire ses besoins en termes de confort personnel.

Actuellement, à l'échelle mondiale la seule énergie que l'homme utilise quotidiennement est l'énergie fossile, d'origine organique (le pétrole, le charbon et le gaz naturel) provient de l'énergie de fusion nucléaire dans le soleil [1]. Ce type de consommation n'est pas neutre sur l'impact environnemental, et leur utilisation provoque des problèmes majeurs. Tout d'abord avec la forte demande d'énergie, l'homme se retrouvera face à un grand manque d'énergie puisque ces dernières sont épuisables à l'échelle du temps humain. Puis l'être humain sera confronté au réchauffement planétaire qui est dû au rejet massif du gaz à effet de serre (les hydrocarbures et le charbon par exemple).

Donc, pour lutter contre tout ça, il est impératif de faire remplacer ces énergies fossiles par d'autres énergies appelées « énergies propres et renouvelables », soit pour l'homme c-à-dire une énergie durable, soit pour l'environnement c-à-dire non polluante. Elle est produite à l'aide des ressources renouvelables, ces ressources sont nombreuses, la plupart d'elles peuvent être tirées directement ou indirectement du soleil [2]. Parmi les sources d'énergies renouvelables, on compte le vent, la biomasse, la géothermie, les flux marins et océaniques, le solaire photovoltaïque (PV), etc. Ce dernier est une source très puissante.

L'énergie solaire photovoltaïque convertit directement le rayonnement lumineux en électricité, au moyen des modules photovoltaïques composés de cellules solaires ou photopiles qui réalisent cette transformation d'énergie [1]. Les systèmes photovoltaïques ne contiennent aucune pièce mobile. Ils sont fiables, requièrent peu d'entretien, silencieuses et ne produisent aucune émission de polluants. Avant chaque projet de réalisation photovoltaïque, le dimensionnement du système est nécessaire.

Après une brève introduction, le présent travail s'articule autour de trois chapitres :

Introduction générale

Dans le premier chapitre, nous tentons de présenter en général ces énergies renouvelables et en particulier l'énergie photovoltaïque en focalisant d'abord sur la cellule photovoltaïque : historique, définition, principe de fonctionnement, technologies, ...etc. Puis on passe aux différents types de systèmes photovoltaïques existants. On termine ce chapitre en donnant quelques avantages et inconvénients sur les installations photovoltaïques.

Le deuxième chapitre a pour but de fournir un maximum d'information concernant les panneaux photovoltaïques, à savoir l'implantation et ses différents types possibles. Ensuite on va définir le système photovoltaïque autonome élément par élément. Pour finir, une méthode de dimensionnement des systèmes PV autonomes est aussi détaillée.

Le troisième chapitre consiste d'abord, à dimensionner une installation photovoltaïque adaptée pour une maison plain-pied composée de deux chambres, salon, cuisine et salle d'eau. Sise dans une région isolée dans la wilaya de Bejaïa. Ensuite, on fera Une étude technico-économique en comparant le cout de l'installation photovoltaïque avec une alimentation par réseau SDE comprenant l'extension du réseau et la consommation sur une durée de 25 ans qui correspond à la durée de l'investissement de notre solution proposée en système PV.

Enfin, nous terminons ce travail par une conclusion générale Pour donner le résultat de notre étude et comparaison afin de permettre aux habitants des régions éloignées de mieux choisir la solution la plus adaptée à leurs situation.

Chapitre I : Energies renouvelables

Introduction

Le système énergétique est l'ensemble des opérations effectuées sur l'énergie, toutes les énergies primaires qui le constituent peuvent produire de l'énergie électrique, c'est pourquoi cette dernière est définie par le carrefour des énergies, Parmi ces énergies primaires, on s'intéresse uniquement aux énergies renouvelables dont on trouve l'énergie solaire où l'énergie photovoltaïque est notre travail de recherche [5]. Il fournit directement ou indirectement toute l'énergie nécessaire à la vie sur terre [5].

Par définition, les énergies renouvelables sont des énergies non seulement gratuites et inépuisables, mais également propres, respectueuses de l'environnement [1]. Les énergies renouvelables qui nous permettent de produire de l'électricité sont :

- ❖ L'énergie hydraulique.
- ❖ L'énergie éolienne.
- ❖ La biomasse.
- ❖ L'énergie géothermique.
- ❖ L'énergie solaire.

I-énergies renouvelables

I-1- Energie hydraulique

Depuis des milliers d'années, l'homme a compris comment exploiter l'énergie hydraulique au travers des moulins à eau pour moulinier de grain et fabriquer de l'huile d'olive [5]. L'hydroélectricité est l'électricité produite par l'énergie hydraulique d'un cours d'eau ou d'un réservoir.

L'exploitation de l'énergie potentielle de pesanteur de l'eau des rivières, des lacs et des fleuves, fait appel à la création de l'énergie électrique. En fonctionnement, la force de l'eau qui est due, soit à la hauteur de chute, soit au débit, entraîne une turbine qui entraîne elle-même un alternateur produisant de l'électricité [6].



Figure (I-1): moulin à eau.

I-1-1- Avantages et Inconvénients de l'énergie hydraulique [7]

❖ **Avantage**

- ✓ Inépuisable et très peu polluante, la seule solution se produit lors de la construction de ces gigantesques centrales.
- ✓ L'hydroélectricité est fiable ; c.-à-dire présente moins de perturbation en termes de puissance électrique.

❖ **Inconvénients**

- ✓ Outre que les sites potentiels se situent généralement en montagne entraînant des surcoûts importants de construction, le nombre de ces sites est limité.
- ✓ De plus ce système implique parfois de noyer des vallées entières de terre cultivable, où les hommes vivent bien souvent depuis des générations.
- ✓ On ne peut jamais garantir le risque 0 de rupture des barrages, en particulier lors de conditions météorologiques exceptionnelles.

I-2- Energie éolienne

Depuis très longtemps, l'homme a compris comment exploiter l'énergie éolienne à travers des moulins pour la navigation et de moulin le grain [4].

Chapitre I : Energies renouvelables

Les rayons solaires provoquent une différence de chauffe de l'atmosphère, à son tour crée le mouvement de masses d'air et au moyen d'un rotor et de pales, y aura lieu de l'énergie cinétique qui est l'origine de l'énergie produite, l'électricité par exemple. L'installation des éoliennes peut se faire, soit sur terre, soit en mer dans des endroits où la vitesse du vent est élevée et constante [3]. Autrement dit, l'énergie éolienne se base sur le principe de la dynamo et d'une hélice- à-dire elle produit de l'électricité à partir de la force du vent [2]. L'énergie produit par ces éoliennes, dépend des conditions atmosphériques (le vent), donc pour assurer la continuité de service, on fait appel au système de stockage, soit par la transformation de l'énergie électrique en énergie électrochimique dans des batteries, et on la retransformée en électricité, ou bien sous forme d'air comprimé qui est utilisé comme combustible par la turbine à gaz [5].



Figure (I-2) : Moulins à vent.

I-2-1- Avantages et Inconvénients de l'énergie éolienne [5]

❖ Avantage

- ✓ Renouvelable, inépuisable et gratuite ;
- ✓ Elle ne produit pas de gaz à effet de serre lors de la production ;
- ✓ Recyclable (acier, béton) et facilement démontable.

❖ Inconvénients

- ✓ On ne peut produire de l'énergie que dans les régions où la vitesse du vent est élevée ;
- ✓ Les puissances unitaires sont très faibles ;
- ✓ Elle peut être la cause de perturbations de la réception des ondes électromagnétiques.

I-3- La biomasse

Le terme de la biomasse recouvre la production de matière organique résultant de la photosynthèse [1]. L'électricité produite par cette énergie est dû à l'utilisation, soit des végétaux cultivés, soit des déchets organiques provenant de la consommation domestique, de l'industrie ou de l'agriculture [6]. Il se peut que la quantité d'énergie consommée lors du transport sur une longue distance, dépasse celle transportée [3]. Des différents types sont à considérer

I-3-1- Le bois énergie

Il se trouve que des quantités naturelles de carbone contenues dans des arbres qui sont en croissance d'absorption, c'est pourquoi le bois est aussi une énergie renouvelable [2]. Il y a deux manières de produire de l'électricité à partir du bois : soit par combustion, soit par dégazéification [5].



Figure (I-3) : biomasse solide.

Chapitre I : Energies renouvelables

1-3-2- Le biogaz

Il est produit de la méthanisation des déchets. Sa combustion produit de la chaleur qu'on l'utilise pour assurer le processus de fermentation, ou bien pour produire de l'électricité. On peut aussi les produire à la fois par la cogénération [2] [5].



Figure (I-4) : biogaz.

1-3-3- Les biocarburants

Ils sont issus à partir des plantes cultivées, dont on trouve l'éthanol et le biodiesel.



Figure (I-5) : biocarburant

I-4- Energie géothermique

Le terme géothermique se partage en deux mots chez les grecs, le premier est "Gé" signifie la terre, le deuxième est "thermos" signifie la chaleur [1]. Le soleil émet un rayonnement électromagnétique sous forme d'une puissance de $3,9 \cdot 10^{26}$ W au-dessus de l'atmosphère, mais que $1,76 \cdot 10^{17}$ W de puissance reçue dans l'espace [5]. Cette énergie peut être dissipée en surface sous forme des volcans [1], ou bien exploitée dans plusieurs applications, notamment dans les chauffages si la température est plus basse et pour produire de l'électricité si la température est supérieure à 150° C [5]. L'avantage de cette énergie est qu'elle ne dépend pas des conditions atmosphériques [1].

Actuellement, tous les sites de production de l'électricité d'origine géothermique, utilisent un réservoir «humide», constitué d'une roche chaude poreuse imprégnée d'eau [5].

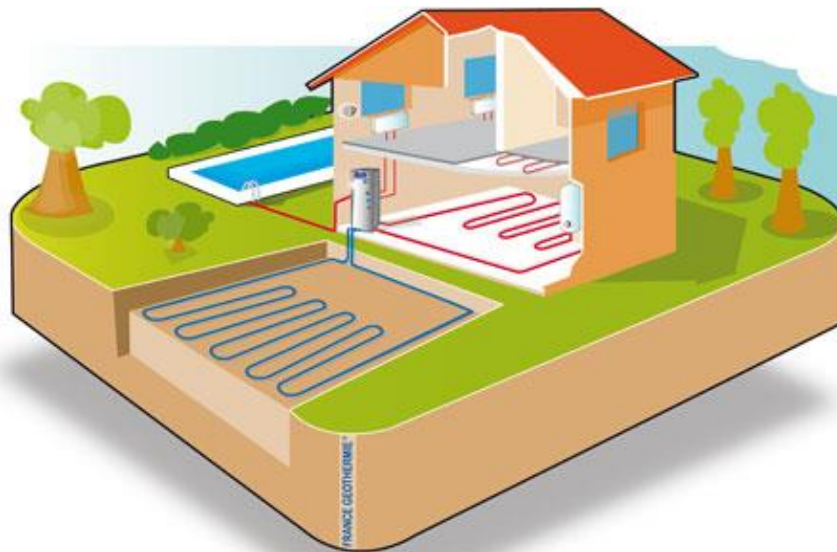


Figure (I-6) : la géothermie.

I-5- Energie solaire

Le soleil produit de l'énergie grâce aux radiations des fusions qui se traduisent : en premier lieu par la perte de masse du soleil, et en deuxième lieu par l'émission d'un rayonnement électromagnétique d'une puissance totale de $3,9.10^{26}$ W, que la terre reçoit uniquement 20% du globe [5]. En point de vue technologique, on distingue deux principales technologies de conversion de la lumière du soleil en électricité : les cellules photovoltaïques (énergie photovoltaïque) et les systèmes générateurs thermo-solaires (énergie solaire thermique) [3].

I-5-1- Energie solaire thermique [3] [5]

La production de l'énergie électrique dans des centrales solaires thermiques, nécessite une température élevée. En fonctionnement : les concentrateurs, comme leurs noms l'indiquent, concentrent les rayonnements solaires en donnant des températures élevées (chaleurs), qui vont être la cause de la vaporisation de l'eau. Cette vapeur entraîne une turbine en donnant une énergie mécanique que l'alternateur la transforme en électricité.

I-5-2- Energie photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque base sur l'effet photoélectrique [1]. Les cellules photovoltaïques converties directement l'énergie solaire en énergie électrique en donnant un courant continue. Ce courant peut être utilisé, soit sous sa forme directe pour alimenter des appareils prévus à cet effet, ou bien sous sa forme indirecte donc alternatif par l'intermédiaire d'un onduleur [1] [3].

L'énergie photovoltaïque répond à tous types d'installation électrique, dans le cas d'une installation autonome, le système productif (système PV) est en association avec un système de stockage (généralement sont des batteries en plomb). On parle aussi de la réinjection de l'énergie produite dans les réseaux électriques, c'est dans le cas où la puissance est en excès [3] [6].

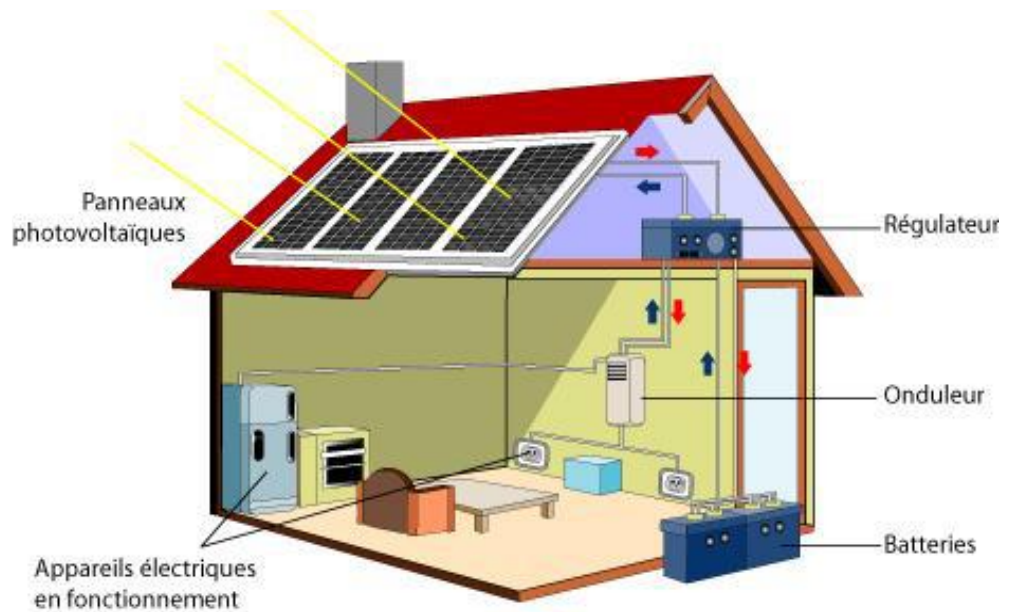


Figure (I-7) : Système photovoltaïque.

II- cellule photovoltaïque [8]

❖ Historique [9]

C'est en **1839** que le physicien français Edmond Becquerel découvre l'effet photovoltaïque.

1973 : la première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'université de Delaware.

1875 : Werner Von Siemens expose devant l'académie de la science de Berlin. Un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs.

1954 : trois chercheurs américains mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale cherche des solutions nouvelles pour alimenter ces satellites.

1958 : une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules photovoltaïques sont construits à l'université de Delaware.

1983 : en Australie la première voiture alimentée par l'énergie photovoltaïque parcourt une distance 4000 km.

Chapitre I : Energies renouvelables

Année 80 : exploitation des systèmes photovoltaïques pour l'électrification et le pompage d'eau dans les zones isolées.

Fin des années 90 : exploitation de photovoltaïques pour la production de l'électricité injectée au réseau dans plusieurs pays développés (allemand, japon...).

Année 2000 : réalisation des centrales photovoltaïques ayant des puissances de dizaines de MW.

II-1-Description de la cellule

La cellule photovoltaïque ou photopile, est un dispositif qui permet de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. Elle est constituée d'un matériau semi-conducteur qui permet de produire du courant électrique lorsqu'il est exposé à la lumière. Cette transformation est basée sur les trois mécanismes suivants :

- Absorption des photons par le matériau constituant le dispositif.
- Conversion de l'énergie du photon en énergie électrique, ce qui permet de créer une paire "électron/trou" dans le matériau semi-conducteur.
- Collecte des particules générées dans le dispositif.

Les cellules photovoltaïques sont des composants électroniques de type semi-conducteur à base de silicium. Ce semi-conducteur génère une tension faible de l'ordre de 0.5 à 0.6V lorsqu'il est soumis à la lumière du soleil (voir la figure ci-contre).

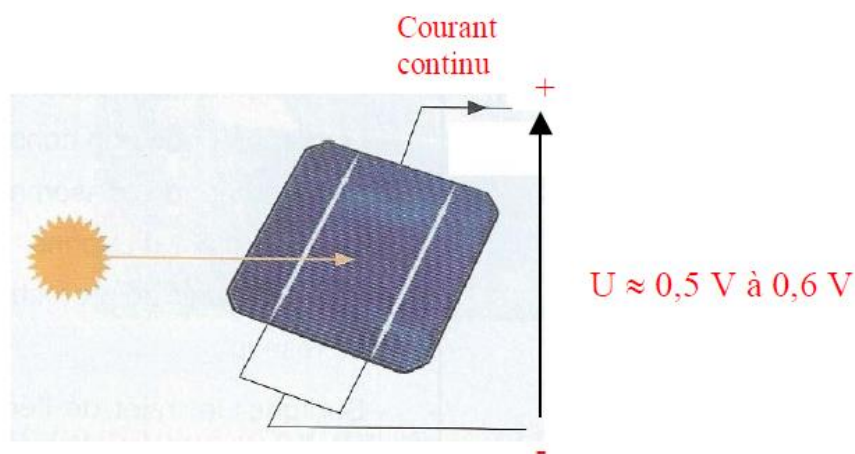


Figure (I-8) : cellule photovoltaïque.

II-2- Principe de fonctionnement

La cellule photovoltaïque est réalisée à partir de deux couches de silicium, l'une est dopée en bore (P), chargée positivement, l'autre en phosphore (N), chargée négativement, créant une jonction P-N avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, c-à-dire elles transmettent leurs énergies aux atomes de la jonction (P-N), de tel sorte qu'elles libèrent des charges électriques de signes opposés en créant une différence de potentiel (ddp), qu'on peut la mesurer entre la connexion des bornes positives et négatives de la cellule. La figure ci-contre représente le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.

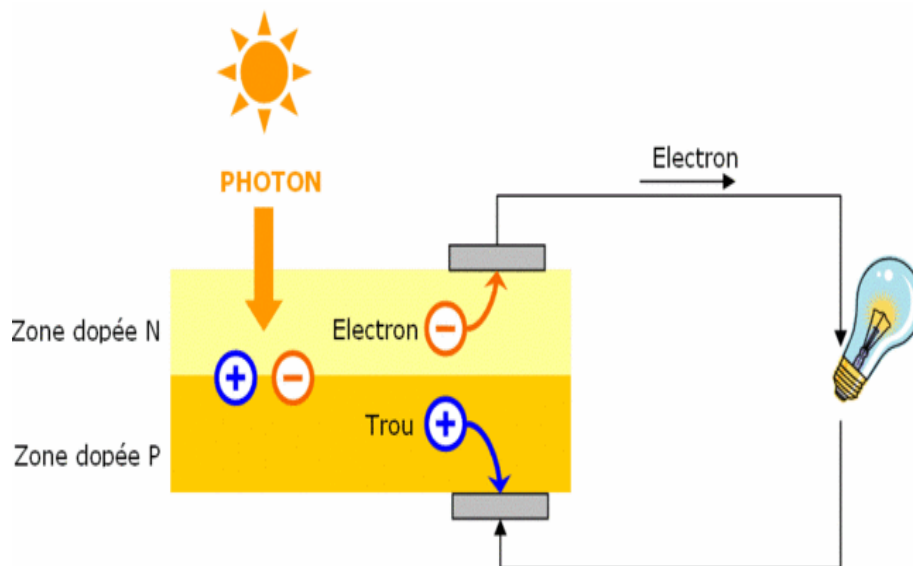


Figure (I-9) : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.

II-3- Types de cellules

Il existe généralement trois types de cellules photovoltaïques :

II-3-1- cellule au silicium monocristallin [4]

Lors de refroidissement lentement et d'une façon maîtrisée, le silicium se solidifie en ne formant qu'un seul cristal, d'où le nom monocristallin.

Chapitre I : Energies renouvelables

Les cellules monocristallines sont repérables par leur forme pentagonale, ils sont en général arrondis de couleur uniforme noire. Le rendement de silicium monocristallin est plus élevé, compris entre 12 et 18%. Mais il est plus couteux que le poly-cristallin et sa durée de vie compris entre 20 et 30 ans.

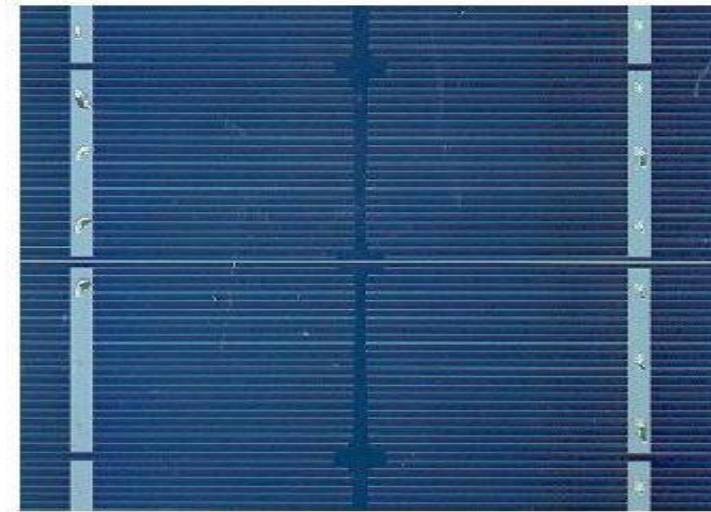


Figure (I-10) : La cellule au silicium monocristallin.

II-3-2-cellule au silicium poly cristallin [4]

Il utilise parfois des chutes de lingots monocristallins issus de l'équarrissage pour former les barreaux, puis en refond ces chutes. Le lingot obtenu subit un refroidissement forcé ce qui formée plusieurs cristaux. Ce qui crée une structure poly cristallin à gros grains. Les cellules poly cristallin sont de forme carrée et de différent niveau de luminosité de bleu, le silicium poly cristallin à un rendement compris entre 11 et 15%, et sa durée de vie est comprise entre 20 et 30 ans. Généralement utilisé pour les toits et les génératrices.



Figure (I-11) : La cellule au silicium poly cristallin.

II-3-2 cellule au silicium amorphe [4]

Sont de forme carré et de différent de luminosité de noir, son rendement est faible compris entre 6 à 8% qui est dû à la désorganisation de la matière qui est engendrée par la difficulté de déplacement des charges générées. Le coût de production est plus bas et sa durée de vie est faible. Le silicium amorphe possède un processus d'absorption des photons mieux que celui de silicium cristallin, il fonction même au temps couvert et faible de luminosité. Principalement utilisé sur les appareils électroniques comme les calculatrices, les montres... etc.

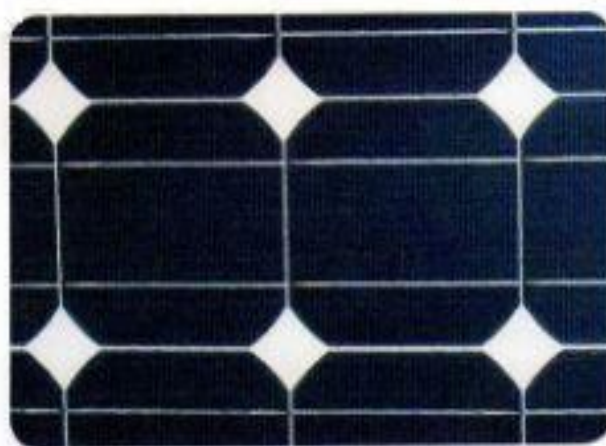


Figure (I-12) : Cellule au silicium amorphe.

II-4- Schéma équivalent électrique d'une cellule photovoltaïque

Le fonctionnement d'une cellule solaire peut être modélisé par le circuit équivalent électrique ci-dessous. Le cas d'une cellule photovoltaïque idéale comporte une source de courant qui modélise le courant généré par les photons, et une diode en parallèle qui modélise la jonction PN. Pour envisager les cas réel, on ajoute deux résistances, l'une en série notée « R_s » modélisant les pertes résistives au sein de la photopile, l'autre en parallèle (shunt) notée « R_{sh} » qui modélise les courants de fuites qui court-circuitent la jonction.

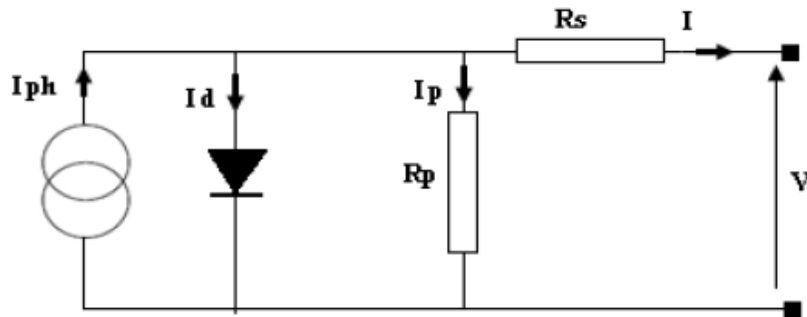


Figure (I-13) : Schéma équivalent réel d'une cellule photovoltaïque.

L'équation reliant le courant délivré par un module photovoltaïque et la tension à ces bornes est donnée par :

$$I = I_{ph} - I_{od} \cdot \left(e^{\frac{q \cdot (V + R_s \cdot I)}{K \cdot T_j}} - 1 \right) - \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad \text{Eq (I-1)}$$

$$I_d = I_{od} \cdot \left(e^{\frac{q \cdot (V + R_s \cdot I)}{K \cdot T_j}} - 1 \right) \quad \text{Eq (I-2)}$$

Avec :

- I_{ph} : photo-courant ou courant généré par l'éclairement (A).
- I_{od} : Courant de la saturation de la diode (A).
- R_s : Résistance série (Ω).
- R_{sh} : Résistance shunt (Ω).

- K : constante de Boltzmann ($K=1.38.10^{-23}$ (SI)).
- q : charge de l'électron ($q=1.602.10^{-19}$ C).
- T_j : Température de la cellule ($^{\circ}$ K).

II-5- Caractéristique d'une cellule Photovoltaïque

Les différents paramètres d'une cellule PV sont définis à partir de la caractéristique "courant-tension", comme la montre la figure ci-dessous. Le comportement de la cellule dans l'obscurité est semblable à celui d'une diode. C'est par sous éclairement que les paramètres de la cellule se déterminent.

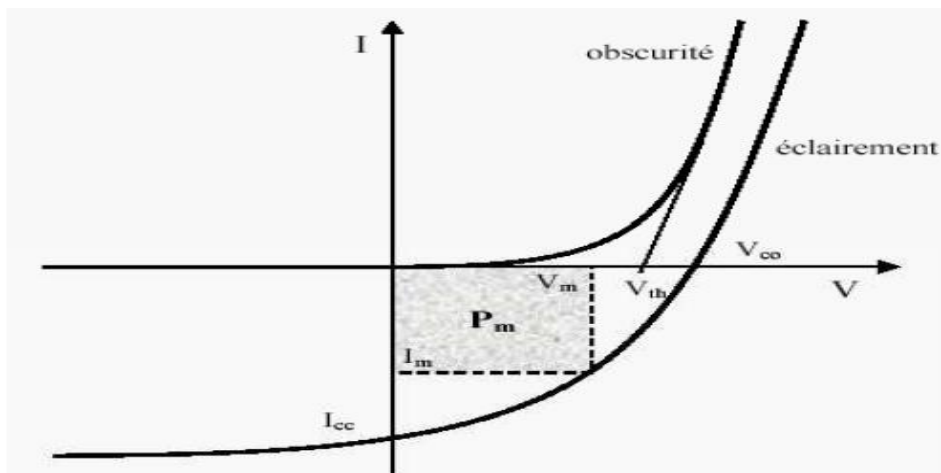


Figure (I-14) : Caractéristique (I-V) d'une cellule solaire, à l'obscurité et sous éclairement.

On remarque que la courbe d'éclairage de la cellule est décalée par rapport à celle de l'obscurité d'une valeur de I_{cc} (courant de court-circuit). Cela signifie que la lumière génère un courant constant que la cellule est à sa disposition.

II-5-1- Paramètres influant sur la caractéristique $I = f(V)$

Le comportement électrique d'une cellule photovoltaïque dépend du flux solaire et de la température.

II-5-1-1-Influence de l'ensoleillement

Elévation de l'ensoleillement provoque une augmentation de pair électron-trou, donc le courant solaire augmente lorsque l'ensoleillement est important, et d'autre part la tension augment légèrement selon l'élévation de l'ensoleillement. Dans ce cas le courant solaire est proportionnel à la variation de l'ensoleillement. L'influence de l'éclairement sur la caractéristique courant-tension de la cellule solaire est donnée par la figure suivant :

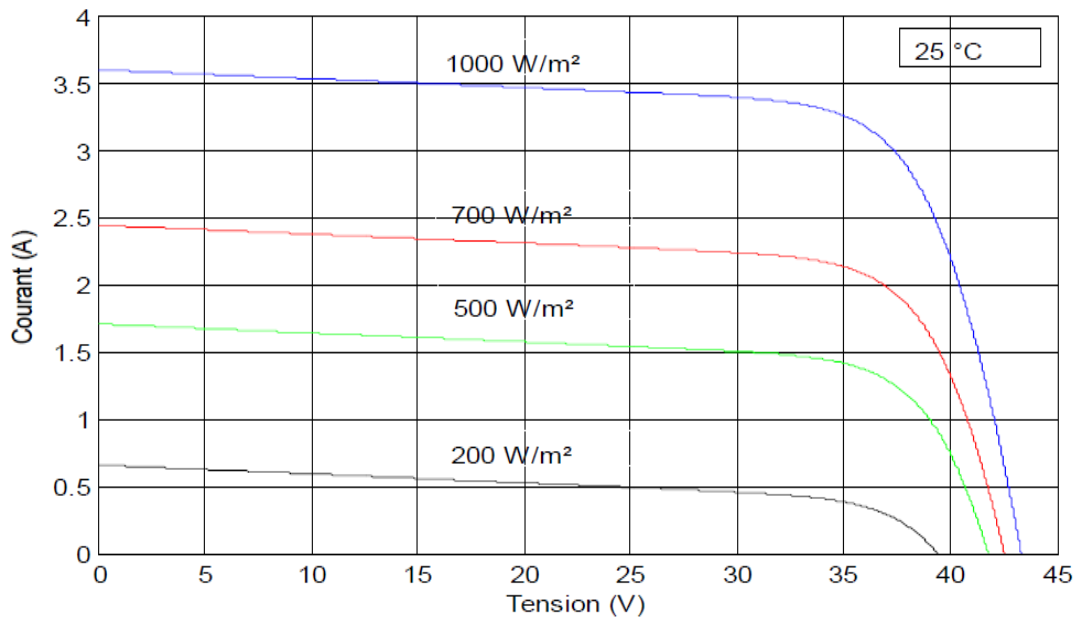


Figure (I-15) : influence de l'ensoleillement sur la caractéristique $I=f(V)$.

II-5-1-2-Influence de la température

Une élévation de la température provoque une diminution de la tension, ainsi qu'une légère élévation du courant. La température a une influence non négligeable sur le rendement d'une cellule photovoltaïque. L'influence de la température sur la caractéristique courant-tension de la cellule solaire est donnée par la figure suivante :

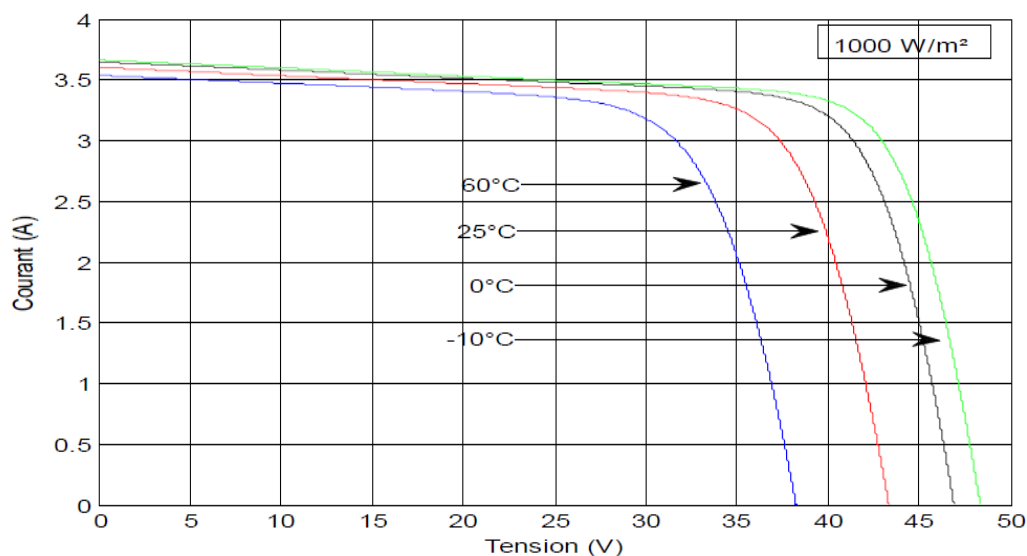


Figure (I-16) : influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$.

II-6- Association des cellules photovoltaïques

II-6-1-Association série

Le but de l'association en série des cellules photovoltaïques (N_s) est de faire intensifier la tension générée et donc la puissance. Les cellules sont traversées par le même courant, et la caractéristique résultante de la tension est obtenue par l'addition des tensions élémentaires de chaque cellule.

Parfois la mise en série des cellules photovoltaïques peut être dangereuse lorsque l'une d'entre elles se trouve à l'ombre, la mauvaise circulation d'intensité créée par les autres modules intensifie la tension aux bornes de cette cellule ombrée, ce qui provoque l'échauffement. Pour lutter contre ce problème et protéger la cellule ombrée, on place des diodes by-pass en antiparallèle sur 18 ou 24 cellules dans le but de court-circuiter les cellules ombrées [12].

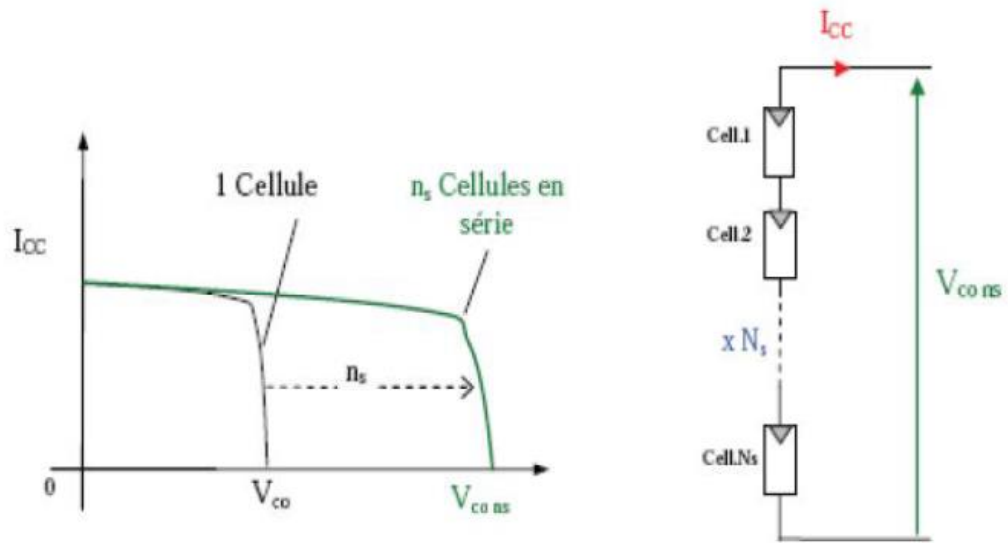


Figure (I-17): groupement de cellules PV en série (N_s).

II-6-2-Association parallèle

La figure ci-contre montre que la mise en parallèle de (N_p) de cellule photovoltaïque est possible et permet d'accroître le courant de sortie de générateur. Non seulement non les cellules soumis à la même tension mais également le courant résultant est obtenue par l'addition des courant.

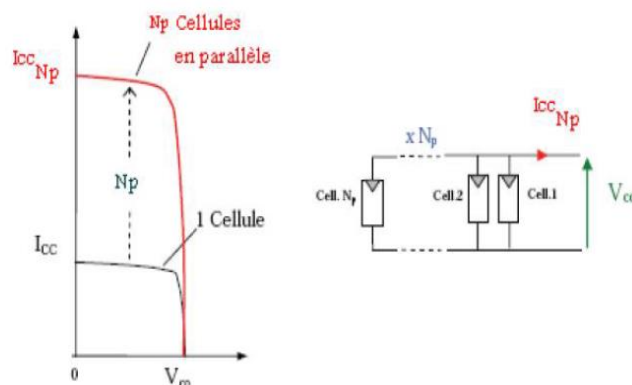


Figure (I-18) : groupement (N_p) de cellules en parallèle.

Chapitre I : Energies renouvelables

Pour avoir un courant de sortie d'un générateur plus élevée, il faut utiliser des cellules de grande surface et de meilleur rendement, ou bien faire appel à ce mode de groupement. Pour réaliser cela d'une manier optimale, il faut que les cellules sont issus de la même technologie et soumis à la même condition de fonctionnement [8].

III-systèmes photovoltaïques

Trois types de système photovoltaïque sont à considérer :

III-1-système autonome [10]

Un système est dit «autonome», lorsqu'il ne dépend que d'une seule source d'énergie, comme le cas du système photovoltaïque autonome qui est sous l'énergie solaire uniquement. Il est utilisé fréquemment dans les endroits isolées, par exemple dans des chalets où leurs raccordement au réseau de distribution est très loin. L'énergie solaire n'est disponible que le jour, et dans le but d'adapter la production à la demande, ce système nécessite des éléments de stockages, donc des accumulateurs.

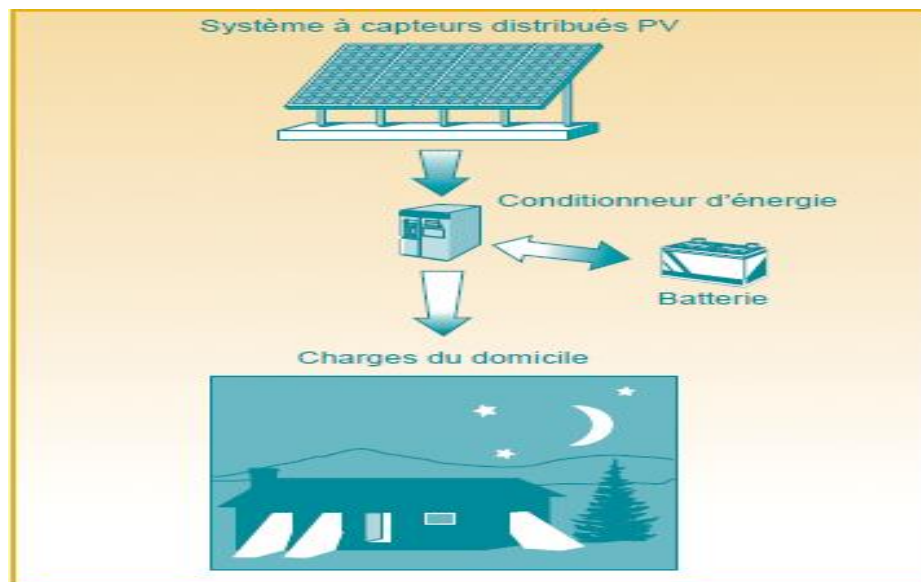


Figure (I-19) : Système photovoltaïque autonome avec batterie.

III-2-système raccordé au réseau [11]

Dans ce cas de système, on parle plus de stockage d'énergie, donc elle est injectée totalement dans le réseau électrique. Qui dit pas de stockage d'énergie, dit absence de batteries d'accumulateurs ce qui diminue le coût d'installation, donc réduire la complexité du fonctionnement, et c'est pour quoi en terme d'investissement et de fonctionnement est le plus avantageux. Un tel système s'installe sur un site raccordé au réseau, généralement sur les habitations ou les entreprises qui souhaitent recourir à une forme d'énergie renouvelable et qui bénéficient d'un bon ensoleillement.

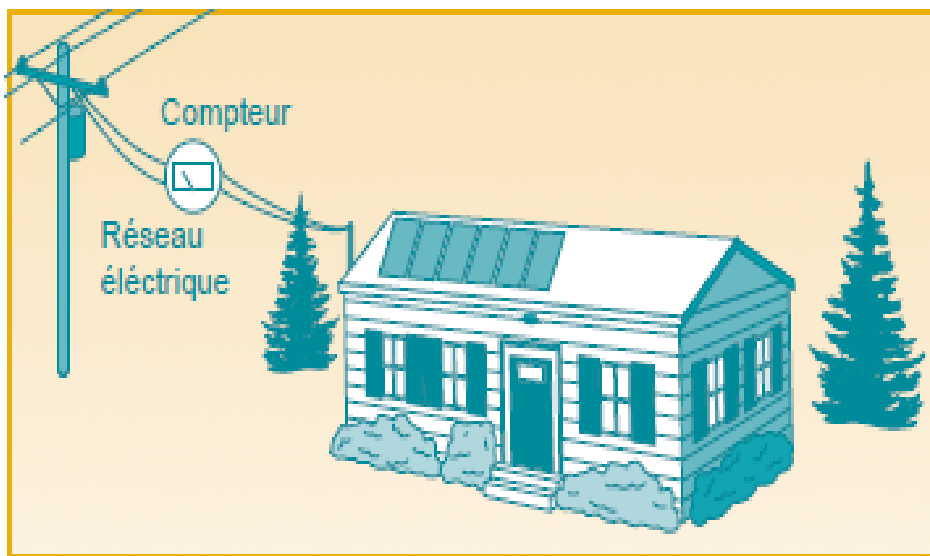


Figure (I-20) : Système photovoltaïque raccordé au réseau.

III-3-système hybride [11]

Comme leur nom indique, il s'agit de l'association de deux types d'énergies différentes au minimum, dont l'une d'elles est celles du photovoltaïque. Il comporte des batteries d'accumulateurs de stockage d'énergie. Cette autre source peut être un groupe électrogène ou bien une éolienne. Lorsqu'il s'agit des périodes nuageuses ou bien les accumulateurs sont faibles, c'est le groupe électrogène qui va s'occuper de la tâche. Si ces périodes sont venteuses, c'est l'éolienne qui prend la relève et charge ces accumulateurs. Un tel système peut convenir dans le cas d'une résidence ou d'un immeuble commercial non connecté au réseau, la plupart des systèmes.

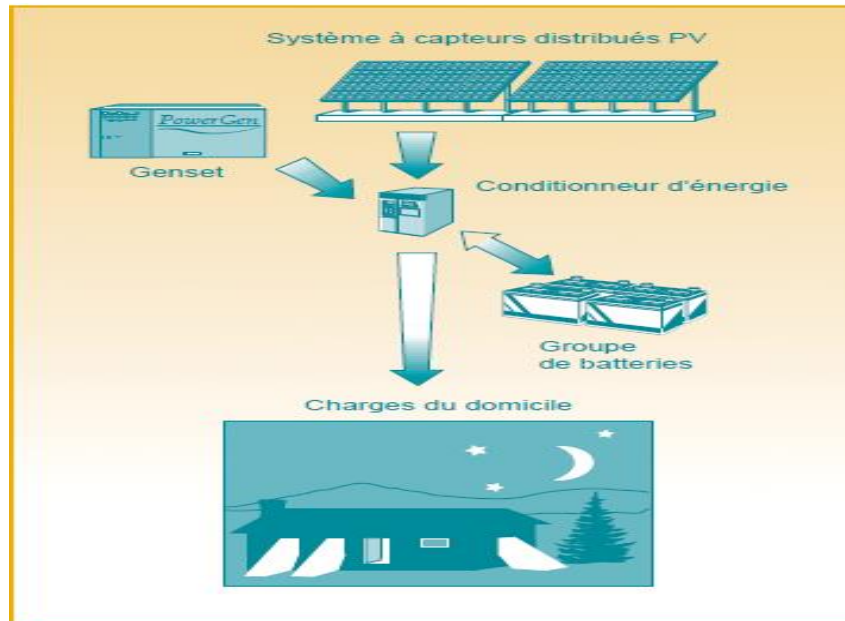


Figure (I-21) : Système photovoltaïque hybride.

VI-Avantages et Inconvénients de l'énergie photovoltaïque [8]

➤ **Avantage :**

- Renouvelable, inépuisable et pas toxique.
- Ils sont extrêmement fiables.
- La durée de vie des panneaux photovoltaïques est très longue (25 ans).
- L'énergie solaire est disponible partout.

➤ **Inconvénients :**

- L'énergie est en fonction de l'ensoleillement.
- La pollution qui est engendrée lors de la fabrication des panneaux photovoltaïques.
- Le coût de production est très élevé.
- Faible rendement de conversion.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons définis les différentes sortes d'énergies renouvelables d'une manière générale puis nous avons développés de manière particulière l'énergie photovoltaïque car cette dernière présente une vraie alternative par rapport aux énergies fossiles. En plus de l'inépuisabilité de l'énergie photovoltaïque, c'est une énergie qui n'émet pas de gaz à effet de serre, donc qui respecte et protège notre environnement.

Avant d'installer un tel système photovoltaïque autonome, premièrement savoir de quoi est constitué, donc faire une étude sur sa conception. Deuxièmement est le dimensionné de manière pertinente.

***Chapitre II : Description d'un système
photovoltaïque autonome***

Introduction

Le bon choix du matériel, nécessite un bon dimensionnement,garantit un fonctionnement optimal d'une installation photovoltaïque. Le coût d'une installation est très élevé, donc le dimensionnement, il faut utiliser des consommateurs de plus haut rendement, en faisant une étude d'identification précise sur les besoins en énergie électrique de l'utilisateur, dans le but d'économiser la taille du générateur et de l'accumulateur.

En premier temps, la mise en évidence des facteurs influant sur la production d'énergie et les différents types de panneaux photovoltaïques sera l'objet de notre recherche. Ensuite, nous décrivons les éléments constituant l'installation photovoltaïque, ainsi que la méthode de dimensionnement de ces derniers.

I- Implantation des modules photovoltaïques

Pour une installation photovoltaïque, la production en quantité de la puissance reste toujours l'étape la plus intéressante. Donc il faut profiter au maximum de ces modules, en les exposantsd'une manière à produire la puissance maximale. Pour une meilleure optimisation de la production d'énergie, trois critères sont à considérer : L'inclinaison, l'orientation des modules photovoltaïquesainsi que l'angle d'incidence.

I-1- L'inclinaison

La valeur d'inclinaison correspond à l'angle formé par le plan du sol et le plan des panneaux, donc pour avoir un maximum d'électricité, il faut que ces derniers soient perpendiculaires aux rayons du soleil [13]. De fait que le soleil est en fonction de l'heure de la journée de la saison, il est impossible de réaliser cette inclinaison et pour lutter contre ça, on se serve des systèmes capables de suivre la trajectoire du soleil [14].

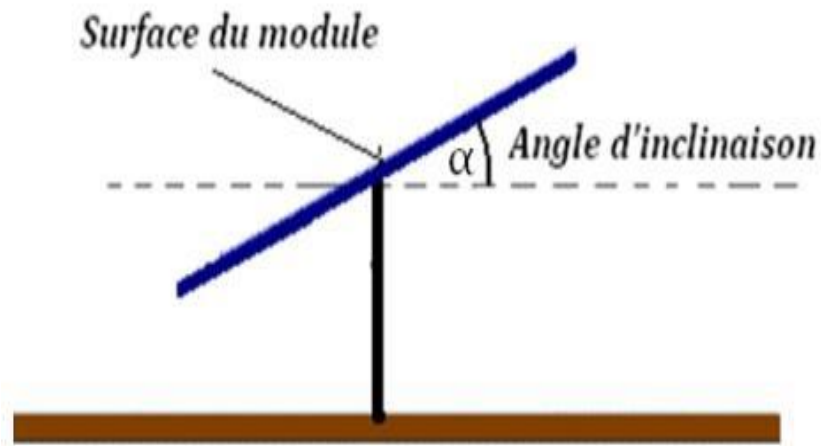


Figure (II-1) : Angle d'inclinaison des modules photovoltaïques [14].

Le tableau suivant, nous permettrons d'avoir une inclinaison optimale en fonction de latitude.

Utilisation annuelle	
Latitude α [°]	Inclinaison β [°]
$\alpha < 10$	$\beta = 10$
$10 < \alpha < 30$	$\beta = \alpha$
$30 < \alpha < 40$	$\beta = 10 + \alpha$
$\alpha > 40$	$\beta = 15 + \alpha$

Tableau (II-1) : Inclinaison en fonction de latitude [13].

I-2- L'orientation [13]

Le soleil se lève à l'est et se couche à l'ouest. Et l'Algérie se situe dans l'hémisphère nord à une altitude de 36 ° environ, le soleil au zénith est donc vers le sud. C'est pourquoi le soleil est plus intense au sud qu'aux autres directions.

Chapitre II : Description d'un système photovoltaïque autonome

Cette partie est relativement simple pour que ces panneaux soient plus productifs, ils devront être bien orientés, c.-à-d. plein sud dans l'hémisphère nord. Une orientation est appelé aussi « Azimut », elle est correspond à l'angle que fait la projection du soleil sur le plan horizontal avec la direction du sud.

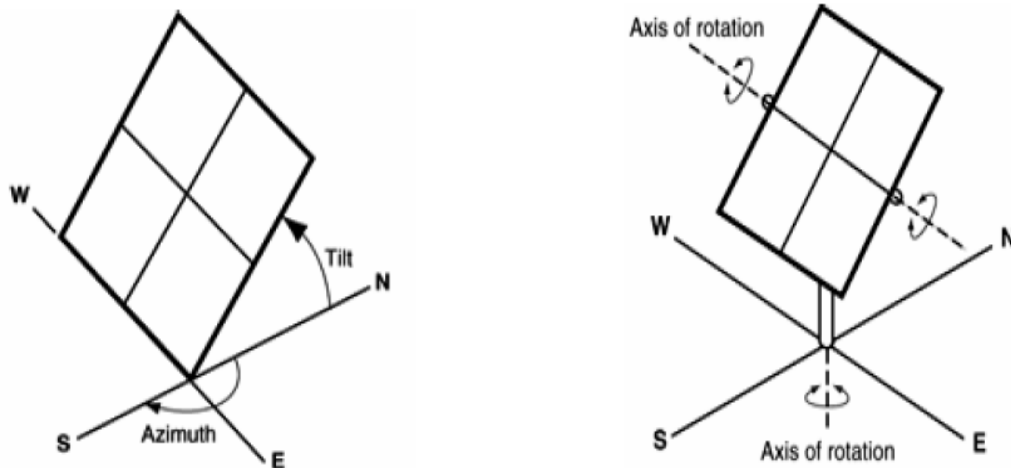


Figure (II- 2) : Orientation du panneau photovoltaïque : a)- Système fixe ; b)- Système orientable, suivant les deux axes [13].

I-3- Angle d'incidence « β »

C'est l'angle formé entre le panneau photovoltaïque et les rayons du soleil (voir la figure ci-contre).

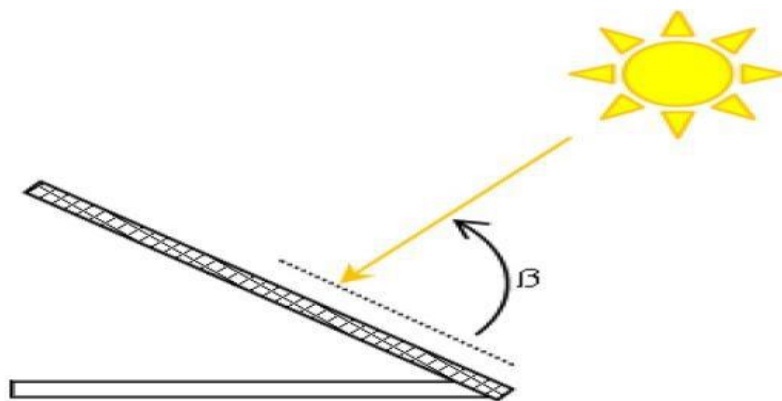


Figure (II-3) : Angle d'incidence sur un module photovoltaïque [14].

Chapitre II : Description d'un système photovoltaïque autonome

Selon l'équation (1), cet angle a un impact sur le rendement des panneaux photovoltaïques c.-à-dire que si la valeur de l'angle d'incidence est différente de 90 ° qui correspond à la valeur optimale de soleil, la surface des panneaux exposée aux rayons du soleil va diminuer, donc la puissance délivrée va être chutée, et donc diminution du rendement.

$$R = 100 \cdot \sin(\beta) \quad \text{Eq (II-1)}$$

Avec :

- **R** : le rendement en (%).
- **β** : L'angle d'incidence en degré.

La figure suivante représente l'évolution de rendement en fonction de l'angle d'incidence :

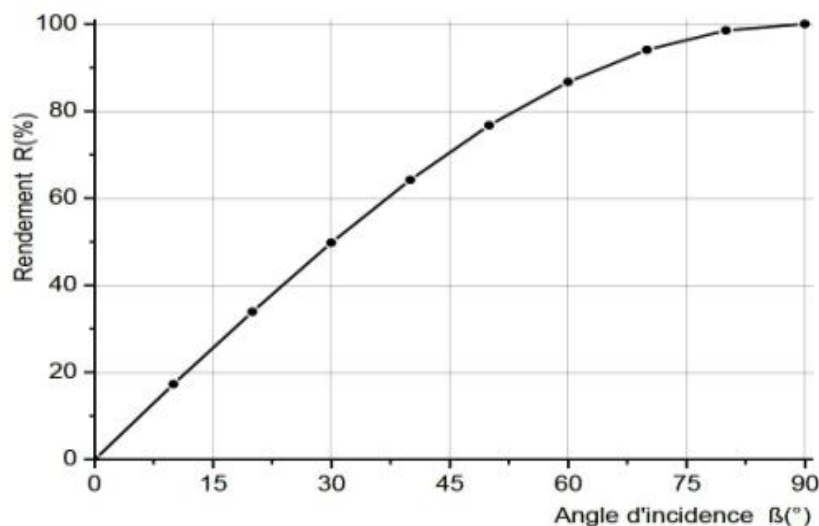


Figure (II-4) : Le rendement des modules photovoltaïques en fonction de l'angle d'incidence [14].

II- Panneaux photovoltaïques [15]

II-1- Panneaux photovoltaïques fixés

Ces panneaux sont en position fixe tout au long de l'année. Avoir un panneau fixe, signifie que l'azimut et l'inclinaison sont fixes. Pour obtenir un rendement optimal, il faut que l'orientation soit au sud et l'inclinaison est d'environ de 35° . En d'hors de cette position la valeur de la diminution du rendement peut être calculée en multipliant la valeur du rendement obtenu en position optimale avec le facteur de correction pour l'orientation et l'inclinaison choisie.

II-2-Panneaux photovoltaïques orientables

Ces panneaux sont utilisés généralement au sol ou bien sur les toits plats. Du fait que le soleil est en fonction de l'heure de la journée et de la saison, l'utilisation de ces panneaux permettent d'avoir une inclinaison pour chaque mois d'une manière très facile. Avec celle-ci la maximisation de la production en électricité est aussi possible en orientant les panneaux photovoltaïques d'une façon à avoir une inclinaison optimale.

II-3-Panneaux photovoltaïques mobiles

Grâce à ce type de panneau, le suivi de la trajectoire du soleil est possible et facile. Pour réaliser cela, il faut : en premier temps de régler l'azimut en faisant une orientation horizontale, la rotation verticale a pour but de régler l'inclinaison de ses panneaux.

III-Description des éléments d'une installation photovoltaïque

Le photovoltaïque autonome, non raccordé aux réseaux de répond aux besoins en électricité de ceux qui : trop éloignés, n'ont pas l'accès aux réseaux de distribution. Cette énergie électrique va faire fonctionner des consommateurs, soit en DC, soit en AC au moyen d'un ensemble de dispositifs. Les composants constituant un système photovoltaïque en site isolé sont les suivants :

- **Générateur photovoltaïque** : source du système, les panneaux solaires produisent de l'énergie électrique à partir de la lumière solaire.

Chapitre II : Description d'un système photovoltaïque autonome

- **Convertisseur continu-continu DC / DC (ou régulateur) :** stabilise l'énergie délivrée par le module solaire. Cette énergie est stockable au moyen des batteries et utilisable dans des applications en DC (DC = direct courant).
- **Etage de stockage :** les batteries stockent l'énergie d'élivrée par le module solaire pendant la journée et la restituée pendant la nuit.
- **Convertisseur continu-alternatif DC / AC (ou onduleur) :** transforme l'énergie disponible DC dans les batteries en énergie alternative pour alimenter les charges fonctionnant avec un courant alternatif.
- **Consommateur DC et AC :** En fonction des applications, 12/24V pour les applications DC.

La figure suivante présente les différents composants d'un système photovoltaïque autonome :

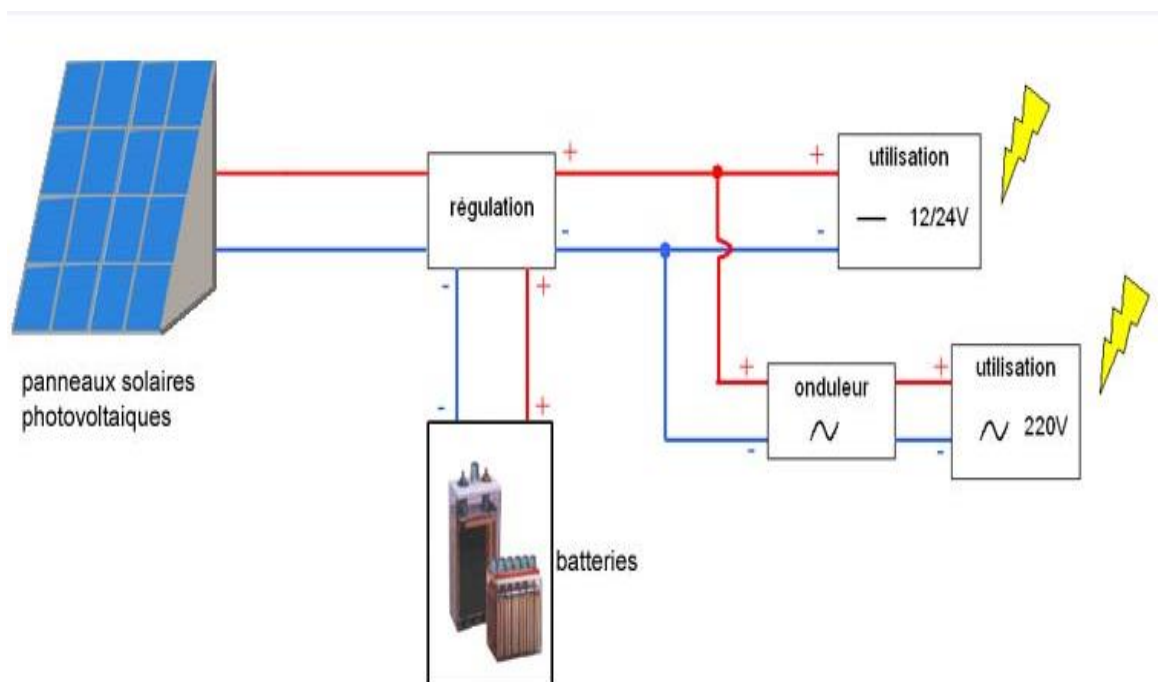


Figure (II-5) : les composants d'un système photovoltaïque autonome.

III-1- Générateur photovoltaïque

Comme leur nom indique, les générateurs d'énergie génèrent et donc produisent de l'énergie électrique. Les panneaux solaires photovoltaïques sont constitués d'un ensemble de cellules reliées entre elle électriquement elle-même constitués de matériaux semi-conducteurs qui conduisent moyennement l'électricité. Ils convertissent l'énergie lumineuse du soleil en électricité, sous forme de courant continu. La puissance des panneaux est exprimée en Watt. On parle souvent de Watt-crête : il s'agit de la puissance que les panneaux vont produire dans des conditions standards [16] [17].

III-2- Convertisseur continu-continu DC / DC (ou régulateur)

Les hacheurs sont des convertisseurs statiques d'énergie électrique de type continu-continu, permettant de générer une source de tension continue variable à partir d'une source de tension continue fixe, c-à-dire ils varient d'une façon périodique la valeur de la tension d'une source constante [18]. Ils permettent d'augmenter ou d'abaisser la tension délivrée par le générateur photovoltaïque, c'est pourquoi on les considère comme un transformateur des grandeurs électrique.

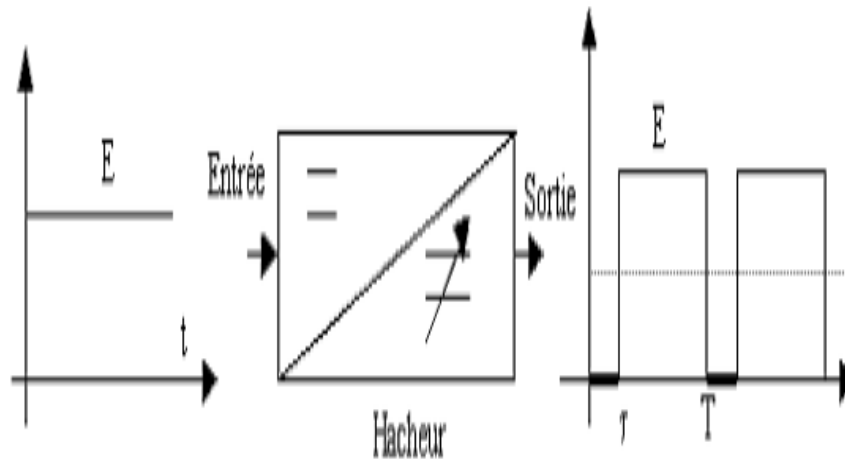


Figure (II- 6) : Convertisseur DC/DC [19].

Chapitre II : Description d'un système photovoltaïque autonome

Pratiquement, dans une installation photovoltaïque autonome, un hacheur est aussi impératif pour gérer la charge et la décharge de la batterie qui est l'un des éléments les plus fragiles. Il assure principalement deux fonctions :

- La protection des batteries contre les surcharges et les décharges profondes.
- L'optimisation du transport d'énergie du champ photovoltaïque à l'utilisation.

III-2-1 Hacheur série (dévolteur)

Dans ce hacheur, la tension moyenne de sortie est inférieure à celle de l'entrée d'où l'appellation « dévolteur ». Il comporte deux interrupteurs, l'un à amorçage et à blocage commandés noté K1, l'autre à blocage et amorçage spontanés noté K2. Si on considère K1 est un transistor, donc pendant le fonctionnement du hacheur, il sera commuté à une fréquence constante " f " avec un temps de fermeture = αT , et un temps d'ouverture = $(1-\alpha) T$, où :

T : Est la période de commutation qui est égale à $1 / f$.

α : Le rapport cyclique du commutateur qui est compris entre 0 et 1.

La figure ci-dessous illustre le schéma de principe d'un hacheur série :

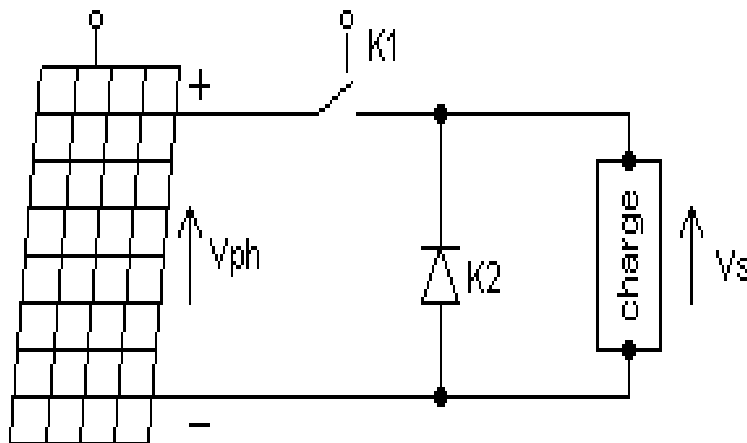


Figure (II-7) : Schéma de principe d'un hacheur série.

Chapitre II : Description d'un système photovoltaïque autonome

Les interrupteurs K1 et K2 sont complémentaires :

- K1 fermé, K2 ouvert : $V_s = V_{ph}$,
- K1 ouvert, K2 fermé : $V_s = 0$,

$$V_{ph} = \alpha * V_s \quad \text{Eq (II-2)}$$

Quand on fait varier α de 0 à 1, V_s variée de 0 à V_{ph} .

III-2-2- Hacheur parallèle (survolteur)

Dans ce hacheur, la tension moyenne de sortie est supérieure à celle de l'entrée d'où l'appellation « survolteur ». Il comporte une inductance, et deux interrupteurs, l'un à amorçage et à blocage commandés noté K1, l'autre à blocage et amorçage spontanés noté K2.

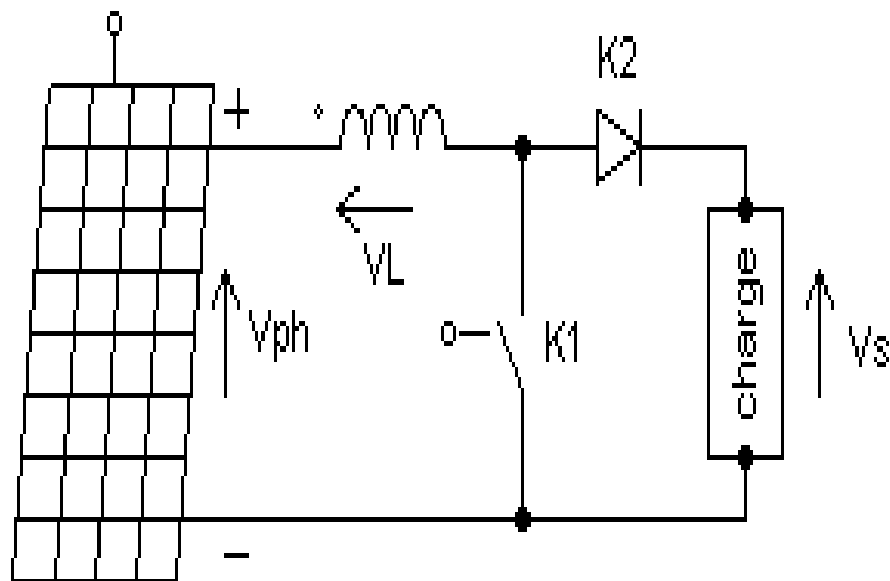


Figure (II-8) : Schéma de principe d'un hacheur parallèle.

Chapitre II : Description d'un système photovoltaïque autonome

La tension moyenne aux bornes de l'inductance est toujours nulle, donc en fonctionnement :

- $t \in [0, T]$: K1 fermé, K2 ouvert : $V_L = V_{ph}$
- $t \in [\alpha T, T]$: K1 ouvert, K2 fermé : $V_L = V_{ph} - V_s$

$$V_L = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} V_{ph} dt + \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T (V_{ph} - V_s) dt$$

$$0 = \alpha * V_{ph} + (V_{ph} - V_s) * (1 - \alpha)$$

$$\frac{V_s}{V_{ph}} = \frac{1}{1 - \alpha} \quad \text{Eq (II-3)}$$

D'après la dernière équation, on voit que la tension de sortie V_s est toujours supérieure à celle d'entrée V_{ph} avec : " α " varie de 0 à 1.

III-2-3- Techniques de commande MPPT [20]

Le terme MPPT signifie en anglais "Maximum power point Tracking", cette technique de commande permet le fonctionnement optimal du système photovoltaïque. Le principe de cette commande est basé sur la variation automatique du rapport cyclique α en l'amenant à la valeur optimale de manière à maximiser la puissance délivrée par le panneau photovoltaïque. Y a plusieurs techniques de commande MPPT, parmi ces techniques on cite :

III-2-3-1-Méthode de perturbation et observation [21]

La méthode observation et perturbation (P&O) est la plus utilisée dans le milieu industriel, car son algorithme est facile à implémenter, il permet de déterminer le point de puissance maximum pour un ensoleillement et une température ou un niveau de dégradation des caractéristiques. Ce processus fonctionne par une perturbation de système, en augmentant ou en diminuant la tension de fonctionnement du module ou en agissant directement sur le rapport cyclique, et observer son effet sur la puissance délivrée par le générateur photovoltaïque.

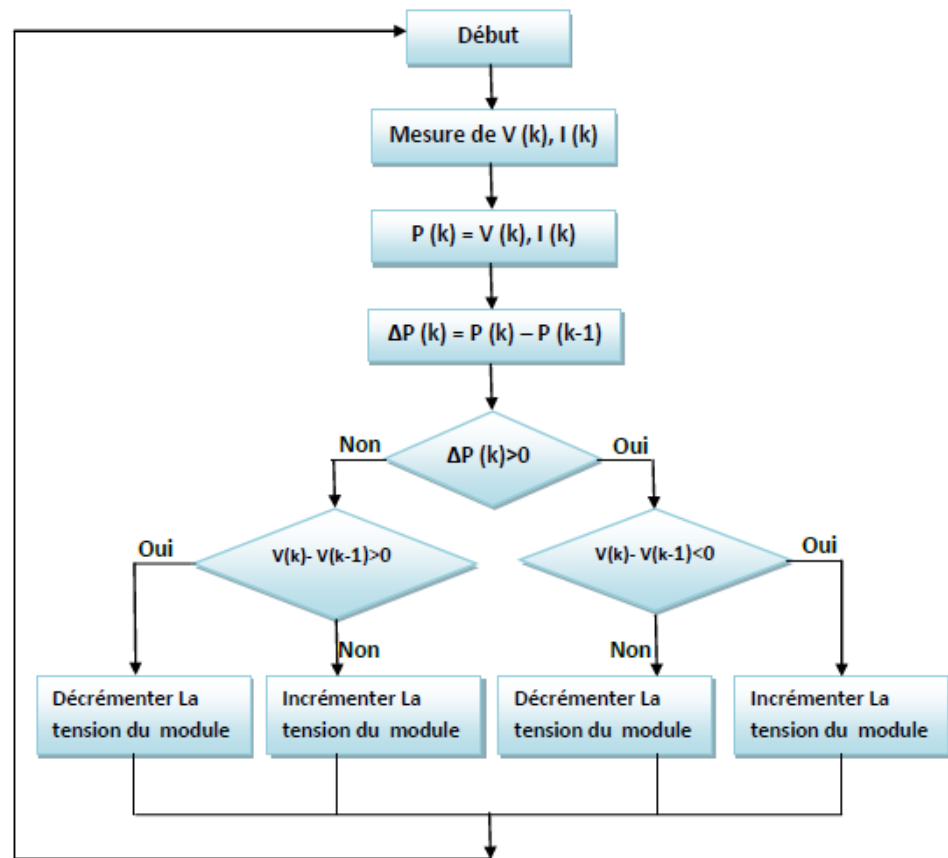


Figure (II-9) : Organigramme de l'algorithme de la commande perturbation et observation (P&O).

L'utilisation de ses algorithmes engendre des inconvénients à savoir :

- L'oscillation autour du point de puissance maximum dans les conditions de fonctionnement normal.
- La mauvaise convergence de l'algorithme dans le cas de variation brusque de la température ou de l'ensoleillement.

III-2-3-2-Méthode de l'incrément de la conductance [21]

Cette méthode s'intéresse directement à la variation de la puissance en fonction de la tension. La déduction de la position du point de fonctionnement par rapport au point de puissance maximum, nécessite la connaissance de la valeur de l'inductance $G=I/V$ et l'incrément de la conductance $dG=dI/dV$ et l'évaluation de ces deux grandeurs.

III-2-3-3-Méthode à référence fixe [22]

Cette méthode de régulation est utilisée dans des applications où les conditions climatiques sont stables, elle suppose que la variation de la température et de l'éclairement des modules photovoltaïques n'influence pas sur la tension optimale, ainsi que la tension de référence constitue une approximation adéquate au point de fonctionnement optimal.

Cette technique présente certains inconvénients qui sont :

- Elle ne localise pas le point de puissance maximal mais elle fait travailler les modules photovoltaïques à son voisinage.
- Elle néglige l'influence de la température et de l'éclairement sur les modules photovoltaïques.
- elle ne prend pas en compte les dérives des caractéristiques des modules photovoltaïques dus aux paramètres extérieures (vieillessement, vent, poussière, ...).

III-2-3-4-Méthode circuit ouvert [22]

Cette méthode se base sur l'utilisation d'une cellule photovoltaïque comme consigne étalon, cette cellule est utilisée pour mesurer la tension en circuit ouvert qui permettra de déterminer la tension de référence. Pour déterminer le point de fonctionnement correspondant au point de puissance maximum en fonction de la tension V_{CO} , on trace le graphe $V_{OP}=f(V_{CO})$ tel que :

$$V_{OP} = 0.7.V_{CO} + 0.328 \quad \text{Eq (II-4)}$$

Cette technique présente un certain nombre d'inconvénients qui sont :

- Dépendance totale de la cellule étalon qui peut subir des modifications et des anomalies.
- Non prise en compte de dérives de caractéristiques des modules photovoltaïques.
- La tension V_{OP} représente 75 à 95% de la tension V_{CO} , donc la linéarisation réduit la précision.

III-2-3-5-Méthode de court-circuit [22]

Cette méthode permet d'approcher le point de fonctionnement optimal. Elle se base sur la relation linéaire entre le courant de court-circuit et le courant optimal, cette relation est la suivante :

$$I_{OP} = K * I_{CC} \quad \text{Eq (II-5)}$$

Avec :

K :facteur de courant dépendant des caractéristiques d'une cellule PV, il est compris entre 85 et 92%.

Cette technique présente certains inconvénients qui sont :

- N'est pas vraiment linéaire, car le courant de court-circuit vaut de 85 à 95% du courant optimal.
- Non prise en compte des caractéristiques de générateur PV dues aux paramètres extérieurs.
- Pertes d'énergie pendant le temps de court-circuit nécessaire pour la mesure de la référence.

III-4- Etage de stockage

La batterie est utilisée pour emmagasiner l'énergie électrique excédentaire produite par les panneaux photovoltaïques, cette énergie est stockée sous forme chimique. Cela au but d'assurer la continuité de fonctionnement en absence de la lumière (la nuit ou mauvais temps).Il existe plusieurs types de stockage, mais pour les systèmes photovoltaïques, trois types de batteries sont fréquemment utilisés :

III-4-1-batteries au plomb-acide

La batterie au plomb acide est constituée d'un ensemble d'éléments de 2 Volt connectés en série pour obtenir la tension d'utilisation désirée. Ces éléments sont composés d'un ensemble de couple électrodes positive et négative, isolée par un séparateur microporeux, destiné à éviter le court-circuit tout en laissant circuler les ions [23].

Chapitre II : Description d'un système photovoltaïque autonome

Ce type de batterie présente un certain nombre de caractères :

- La tension aux bornes d'un accumulateur au plomb est de voisinage de 2V, mais à l'état de charge en condition normale de fonctionnement est variée entre 1.7V et 2.4V.
- Le rendement énergétique varie entre 70% et 80%.
- Son coût est relativement faible.
- L'autodécharge est variée selon la variation de la température.
- La capacité est dépend de nombre de plaque de chaque polarité, leur surface, ainsi la quantité d'acide disponible dans l'électrolyte.
- Pendant la charge l'accumulateur est un récepteur, et lors de la décharge la force électromotrice varie en fonction de temps.

III-4-2- La batterie au Nickel-cadmium [24]

Les accumulateurs cadmium-nickel sont réalisés à partir de deux électrodes (hydroxyde de Nickel et Cadmium) immergés dans une solution de potasse. Ce type d'accumulateur est plus cher mais aussi très résistant aux surcharges et aux décharges, la tension de ce type varie entre 1.15V et 1.45V par élément avec une valeur nominale 1.2V.

Ce type de batterie présente un certain nombre de caractères :

- Ils sont très robustes est moins lourds que les accumulateurs au plomb.
- Le rendement énergétique est de l'ordre 70%.
- Ils peuvent fonctionner sur une grande plage de température.
- L'autodécharge est plus élevée que celui des accumulateurs au plomb (>15%).
- Leur coût est plus élevé et les écarts de la tension entre la charge et la décharge est plus important.

III-4-3- Batterie au Lithium-ion [24]

Une batterie au lithium-ion est composée de plusieurs cellules connectées en série et en parallèle en fonction de la tension et des exigences de l'appareil. Généralement, elle est utilisée dans les applications à basse puissance (l'ordinateur portable, tablettes, les téléphones portables).

Chapitre II : Description d'un système photovoltaïque autonome

Elle se caractérise par une grande capacité massique (150 Wh/Kg), et sa tension présente une grande amplitude de variation 2.5V à 3.7V, faible masse volumique, et une bonne stabilité en température, son coût est plus élevé (10 fois plus élevé que la batterie au plomb).

III-5- Convertisseur continu-alternatif DC / AC (ou onduleur)

III-5-1- Définition

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la transformation d'énergie électrique de forme continue (DC) à la forme alternative (AC) [16]. Les cellules photovoltaïques produisent un courant continu (CC), et les accumulateurs stockent ainsi l'électricité en courant continu. Toutes fois la plupart des appareils exigent un courant alternatif (AC). Ainsi il faut ajouter un onduleur pour transformer le courant continu de faible tension, en courant alternatif à tension plus élevée. Cette conversion d'énergie se réalise au moyen d'un dispositif de commande [25].

II-5-2-Classification des onduleurs

Il existe plusieurs schémas d'onduleurs, ces derniers sont classés en fonction de modes de commutation de leurs interrupteurs [26]. Parmi de nombreux domaines d'emplois, on trouve principalement deux catégories d'onduleurs :

A) - Onduleur autonome

Un onduleur autonome sert à convertir une puissance continue en puissance alternative. Ce convertisseur génère leur propre fréquence et leur propre forme d'onde de la tension alternative. Il est constitué d'un ensemble d'interrupteurs de puissance (MOSFET, IGBT, thyristors...), qui sont pilotés par différents types de commande afin d'avoir à la sortie, des tensions et des courants proche de la sinusoïde [27].

B) - Onduleur non autonome

Les onduleurs non autonomes sont des convertisseurs dont la fréquence et la forme d'onde de la tension de sortie sont imposées par le réseau alternatif qu'ils alimentent.

III-5-3- Principe de fonctionnement des onduleurs

A) - Onduleur monophasé

Cet onduleur est constitué de deux bras de deux interrupteurs pour chacun. Chaque interrupteur comporte deux semi-conducteurs en antiparallèle. Le principe de fonctionnement d'un onduleur monophasé est illustré par la figure ci-dessous :

- $t \in [0, T/2]$:

$$\begin{cases} K1, K4 \text{ sont fermés} \\ K2, K3 \text{ sont ouverts} \end{cases} \Rightarrow V_s = V$$



Figure (II-10) : a)-Etat des interrupteurs ; b)- Signal de sortie de la tension V_s pendant l'intervalle $[0, T/2]$.

- $t \in [T/2, T]$:

$$\begin{cases} K2, K3 \text{ sont fermés} \\ K1, K4 \text{ sont ouverts} \end{cases} \Rightarrow V_s = -V$$

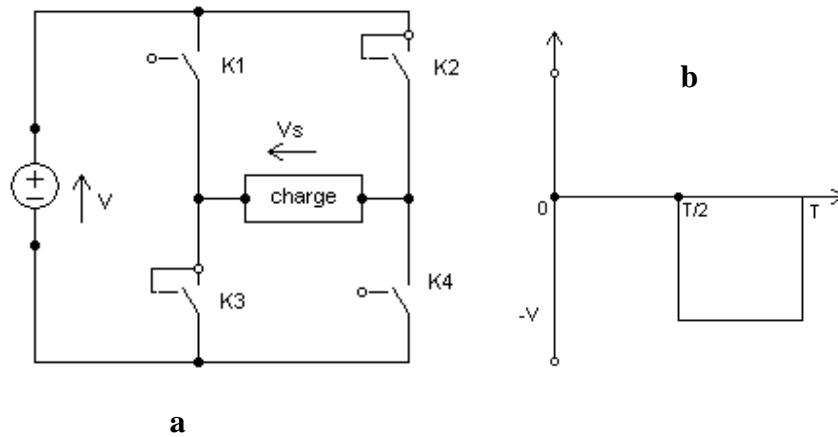


Figure (II-11) : a)-Etat des interrupteurs ; b)-Signal de sortie de la tension V_s pendant l'intervalle $[T/2, T]$.

Le signal de sortie de la tension sur une période complète est celui de la figure suivante :

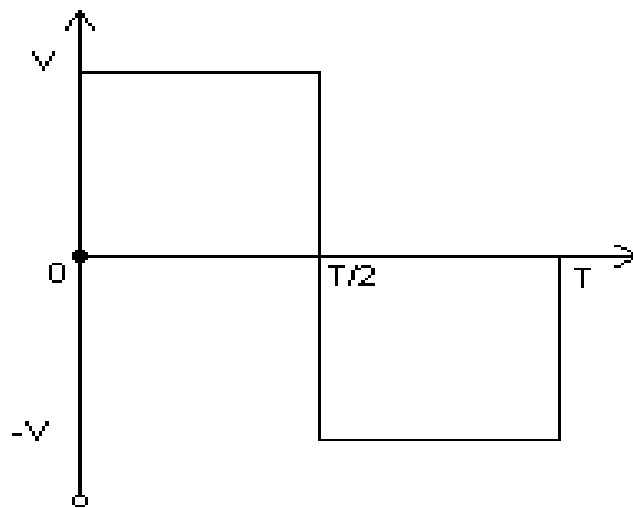


Figure (II-12) : Signal de sortie de la tension V_s pendant toute le période de 0 à $T/2$.

B) Onduleur triphasé en pont

Cet onduleur est constitué de trois bras de deux interrupteurs pour chacun. Chaque interrupteur comporte deux semi-conducteurs en antiparallèle. En régime nominal, l'onduleur triphasé doit être capable de délivrer un système triphasé équilibré de tension [28]. Le schéma structural de ce convertisseur est illustré par la figure suivante :

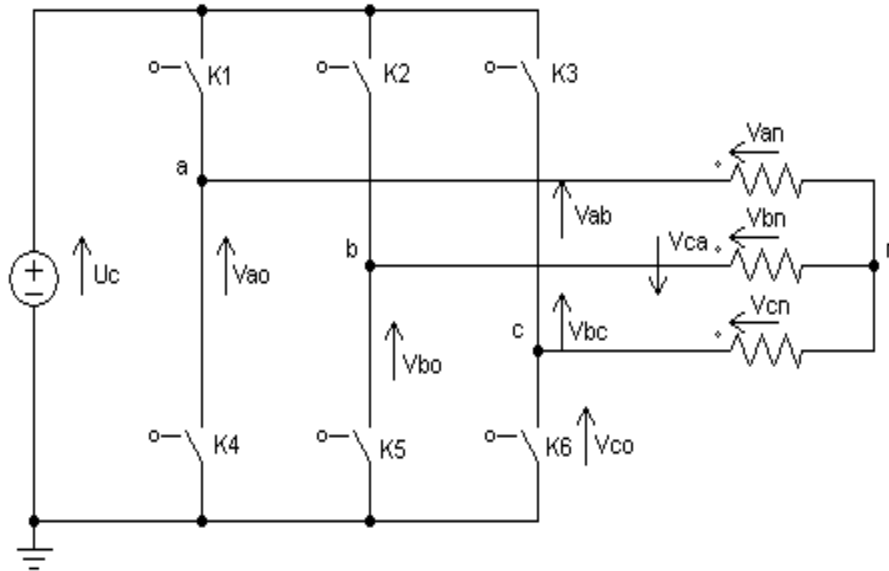


Figure (II-13) : Schéma de montage d'un onduleur triphasé en pont.

Pour assurer la continuité des courants alternatifs à la sortie, les interrupteurs de puissance d'un bras d'onduleur doivent être contrôlés de manière complémentaire, c-à-dire Si l'interrupteur K1 est fermé, K4 doit être ouvert et vis-versa.

Les différents types de tension sont donnés par les équations suivantes :

$$\begin{cases} V_{ab} = V_{ao} + V_{ob} = V_{ao} - V_{bo} \\ V_{bc} = V_{bo} + V_{co} = V_{bo} - V_{oc} \\ V_{ca} = V_{co} + V_{ao} = V_{co} - V_{oa} \end{cases} \quad \text{Eq (II-6)}$$

Et :

$$\begin{cases} V_{ao} = V_{an} + V_{no} \Rightarrow V_{an} = V_{ao} - V_{no} \\ V_{bo} = V_{bn} + V_{no} \Rightarrow V_{bn} = V_{bo} - V_{no} \\ V_{co} = V_{cn} + V_{no} \Rightarrow V_{cn} = V_{co} - V_{no} \end{cases} \quad \text{Eq (II-7)}$$

Avec :

- Vab, Vbc, Vca : sont des tensions composées.
- Vao, Vbo, Vco : sont des tensions simples.

III-6- Consommateurs DC et AC

Les charges sont de types résistives et inductives. Les charges résistives sont limitées aux lampes à basse consommation, les chauffe-eau...etc. Les machines électriques sont les principaux consommateurs de puissance réactive. Il existe deux types de consommateurs, des consommateurs en courant continu et en courant alternatif. Il est plus avantageux d'avoir des équipements fonctionnant en courant continu que d'avoir un consommateur en 220 V qui nécessite un onduleur, un taux de 10% d'environ de son énergie transforme en chaleur.

IV-Méthodologie de dimensionnement d'un système photovoltaïque [29][30]

La partie la plus complexe dans un système photovoltaïque est le dimensionnement, donc pour le faire d'une manière pertinente, on se sert d'une méthode simple qui nous facilite un peu la tâche. Cette méthode nécessite la succession des étapes suivantes :

- Détermination des besoins énergétiques des différents équipements électriques.
- La connaissance des ressources solaires locales (énergie solaire disponible de site par unité de surface).
- Calcul de nombre et la surface des modules photovoltaïques en fonction des ressources solaires répondant aux besoins de l'utilisateur.
- Étude des caractéristiques des autres composants de l'installation solaire (capacité des batteries de stockage, la puissance de l'onduleur ...).

Un bon choix de matériel pour cette installation, associé à un dimensionnement approprié garantit la continuité de fonctionnement de l'installation.

IV-1- Evaluation de la consommation

L'évaluation de la charge fait par la détermination de la puissance ainsi que le temps d'utilisation journalier (elle peut être continue ou bien périodique) qui constituent l'installation.

Chapitre II : Description d'un système photovoltaïque autonome

Pour un bon dimensionnement, il faut alors se renseigner sur la consommation de chaque appareil utilisé et choisir les appareils dont la consommation est la plus faible possible, afin de réduire ses dépenses en électricité tout en gardant un bon niveau de confort.

La consommation totale quotidienne nécessaire pour l'installation en (Wh/jour) est donnée par la formule suivante :

$$E_C = E_{DC} + \frac{E_{AC}}{\eta_{ond} * \eta_{hach}} \quad \text{Eq (II-8)}$$

- E_C : Énergie totale consommée par jour (Wh/jour).
- η_{ond} : Rendement de l'onduleur.
- η_{hach} : Rendement du hacheur.
- E_{DC} : énergie consommée en continu par jour (Wh/jour), est donnée par la formule suivante :

Eq (II-9)

$$E_{DC} = \Sigma P_{DC} * t$$

E_{AC} : énergie consommée en alternatif par jour (Wh/jour) est donnée par la formule suivante :

$$E_{AC} = \Sigma P_{AC} * t \quad \text{Eq (II-10)}$$

IV-2- Dimensionnement du générateur photovoltaïque

Cette étape consiste à calculer le nombre de modules photovoltaïques nécessaire pour alimenter les besoins électriques, donc pour cela on fait :

❖ Estimation de la puissance crête du champ photovoltaïque :

La puissance crête de champ photovoltaïque dépend de la consommation quotidienne journalière et de l'indice d'ensoleillement correspondant à la zone géographique où le système PV est installé, ainsi de coefficient correspondant la saison d'utilisation.

Chapitre II : Description d'un système photovoltaïque autonome

$$P_c = \frac{E_c}{a*b} \quad \text{Eq (II-11)}$$

P_c : la puissance crête du champ photovoltaïque (W_C).

a : l'indice d'ensoleillement correspondant à la zone géographique.

b : coefficient correspondant à la saison d'utilisation.

E_C : énergie consommée journalière (Wh/jr).

❖ Détermination de la tension de fonctionnement :

La puissance en watt crête	La tension de fonctionnement en Volt
$W_C \leq 500$	12 V
$500 \leq W_C \leq 2000$	24 V
$2000 \leq W_C \leq 10000$	48 V
Plus de 10000	Plus de 48 V

Tableau II- 3 : le choix de la tension du fonctionnement.

❖ Détermination du nombre de module photovoltaïque :

✓ Le nombre de module total :

$$N_m = \frac{P_c}{P_{cm}} \quad \text{Eq (II-12)}$$

- **N_m** : nombre de module total.
- **P_c** : La puissance crête de champ photovoltaïque.
- **P_{cm}** : La puissance crête du module photovoltaïque.

Chapitre II : Description d'un système photovoltaïque autonome

❖ Nombre de modules connectés en série :

$$N_{ms} = \frac{V_c}{V_n} \quad \text{Eq (II-13)}$$

- ❖ N_s : Nombre de modules en série.
- ❖ V_c : Tension de fonctionnement de l'installation photovoltaïque (V).
- ❖ V_n : Tension nominale de module photovoltaïque (V).

❖ Nombre de module connecté en parallèle :

$$N_p = \frac{N_m}{N_{ms}} \quad \text{Eq (II-14)}$$

- N_p : nombre de module en parallèle.
- N_m : nombre de module total.
- N_{ms} : nombre de module en série.

❖ Calcul de la puissance du générateur (W_C) :

La puissance crête délivrée par le générateur est :

$$P_C = N_m * P_{cm} \quad \text{Eq (II-15)}$$

- P_c : La puissance crête de champ photovoltaïque.
- N_m : nombre de module total.
- P_{cm} : La puissance crête du module photovoltaïque.

❖ Calcul de la surface total du générateur :

La surface totale occupée par le champ est :

$$S_t = N_m * S_m \quad \text{Eq (II-16)}$$

- S_m : La surface d'un seul module en m^2 .

IV-3- Dimensionnement de la batterie

❖ Capacité de la batterie :

On utilise les batteries pendant les jours de mauvais éclairage pour assurer la continuité de l'alimentation. La capacité d'une batterie est dépend de l'énergie consommé en watt heure (E_c), de nombre de jour d'autonomie (N_j), et ainsi de la tension de fonctionnement de l'installation (U).

La capacité de la batterie de stockage en (Ah) est donnée par la formule suivante :

$$C = \frac{E_c * N_j}{P_f * \eta_{bat}} \quad \text{Eq (II-17)}$$

- **C** : Capacité de la batterie en (Wh).
- **P_f** : Profondeur de décharge en (%).
- **η_{bat}** : Rendement de la batterie en (%).
- **N_j** : Autonomie en jours.
- **E_c** : L'énergie consommée (Wh).

❖ Détermination de la capacité utile :

$$C_u = \frac{C}{U} \quad \text{Eq (II-18)}$$

U : la tension de l'installation en (V).

❖ Détermination du nombre de batterie en série :

$$N_{bs} = \frac{U}{U_b} \quad \text{Eq (II-19)}$$

U_b : Tension de la batterie en (V).

❖ **Détermination du nombre batterie en parallèle :**

$$N_{bp} = \frac{C_u}{C_e} \quad \text{Eq (II-20)}$$

C_e :Capacité d'un élément de batterie en (Ah).

IV-4- Dimensionnement du régulateur

Le dimensionnement de régulateur se fait à partir des paramètres suivants :

- ❖ **Tension nominale** : c'est la tension de champs photovoltaïque.
- ❖ **Courant d'entrée** : c'est le courant de charge maximal que les modules susceptibles de débiter. Ce courant doit supporter par le régulateur.
- ❖ **Courant de sortie** : le courant de sortie de régulateur, doit être supérieur à la valeur maximale que peuvent tirer le récepteur, ce courant es donnée par la formule suivante :

$$I_s = 1,5 * \frac{P}{V_{ch}} \quad \text{Eq (II-21)}$$

P : la puissance totale des récepteurs lorsqu'ils fonctionnent tous au maximum de leurs puissance de fonctionnement en Watt.

IV-5-Dimensionnement de l'onduleur

Dans notre cas, on utilise un onduleur autonome monophasé. Il permet de convertir l'électricité continue produite par les panneaux photovoltaïques en électricité alternatif, au but d'alimenter des appareils fonctionnant en alternatif.

Le dimensionnement de l'onduleur se base sur la somme des puissances maximales de différents équipements fonctionnant en courant alternatif et dépend aussi de :

Chapitre II : Description d'un système photovoltaïque autonome

- ❖ **Tension d'entrée** : elle est égale à celle de la batterie ou de régulateur.

- ❖ **Tension de sortie** : en Algérie nous utilisons 220 VAC, 50 HZ.

- ❖ **Puissance nominale** : cette puissance est définie d'après les besoins énergétiques.

Conclusion

L'objectif principal de toutes les installations photovoltaïques autonomes est d'avoir une meilleure optimisation en les dimensionnant de manière à fournir de l'énergie dans les conditions les plus défavorables. Afin d'aboutir à ce objectif, nous avons définis en premier lieu les différents types de panneaux photovoltaïques et les facteurs influant sur leurs production et en deuxième lieu, les éléments constituant l'installation photovoltaïque autonome à savoir, les générateurs photovoltaïques, les batteries, les consommateurs et les convertisseurs entre les générateurs et les consommateurs. Nous avons exposé les types de convertisseurs à savoir DC / DC et DC / AC. Pour ce finir, nous avons proposé une méthode de dimensionnement des composants d'un système photovoltaïque autonome.

Chapitre III :
Dimensionnement du système
photovoltaïque

Introduction

Après avoir décrit dans le chapitre précédent la méthode de dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome, nous allons dans ce dernier chapitre dimensionner une installation photovoltaïque pour une habitation sise dans une région éloignée dans la wilaya de Bejaïa. Ce chapitre est divisé en deux parties. Dans la première partie, nous présentons d'abord brièvement le site de Bejaïa et l'habitation étudiée. Ensuite, nous définissons la consommation et la répartition électrique journalière. Enfin le dimensionnement du système photovoltaïque autonome qui doit répondre aux besoins énergétique de notre habitation.

La deuxième partie sera une étude économique dans laquelle nous allons effectuer une comparaison entre le coût d'une consommation trimestrielle d'une installation PV et celle alimentée par la SDE.

I-Localisation du site

La ville de Bejaïa est située à 181 Km de la capitale Alger, à une latitude de $36^{\circ} 45' N$, une longitude de $5^{\circ} 05' E$ et une altitude de 86 m, elle s'étend sur une superficie de 120.2Km^2 .

La figure ci-contre représente la température mesurée pendant le mois de septembre en fonction du temps (jours) de la région de Bejaia.

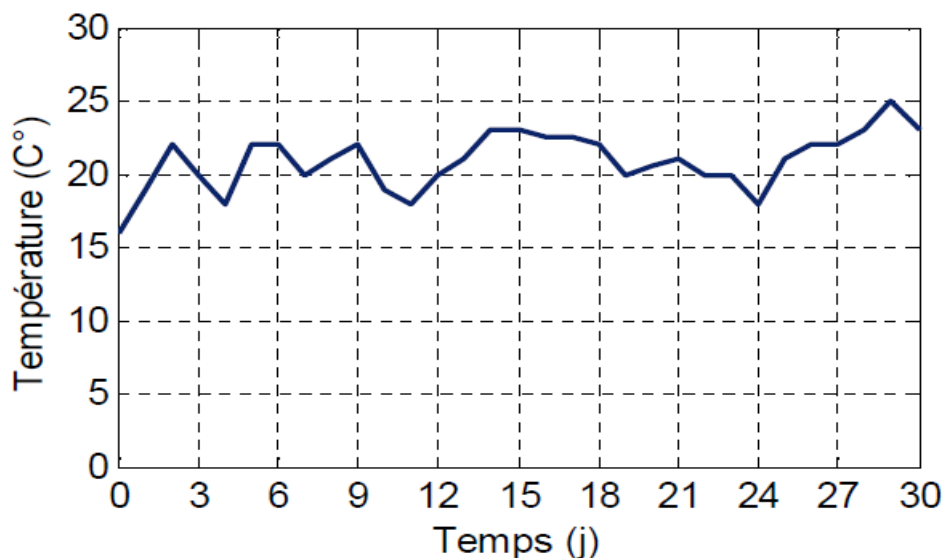


Figure (III-1) : Température mesurée.

II-Description de l'habitation étudiée

L'habitation choisie pour faire l'objet de notre étude est une Maison plain-pied sise dans la Wilaya de Bejaïa dont le plan architectural est illustré par la figure ci-dessous. Elle est occupée par une famille algérienne composée de deux parents et leurs trois enfants.

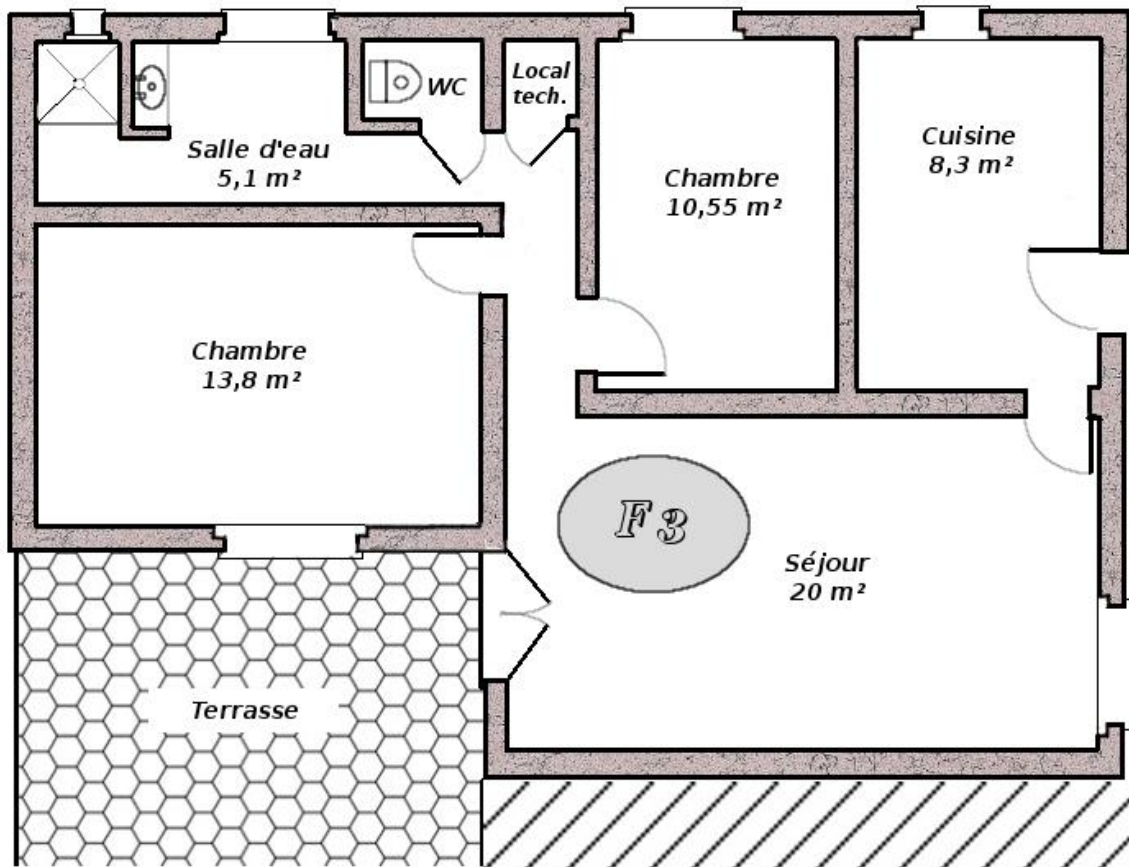


Figure (III-2) : Vue en plan de la maison étudiée.

III- Dimensionnement énergétique du système photovoltaïque autonome

L'ensoleillement et la demande énergétique sont les deux critères essentiels pour faire l'étude de dimensionnement.

III-1- Ensoleillement

La source de notre système étant le solaire, donc il est important d'avoir un profil d'ensoleillement du site.

La figure III-3 représente l'ensoleillement mesuré dans le site étudié pendant le mois de septembre en fonction du temps (jours).

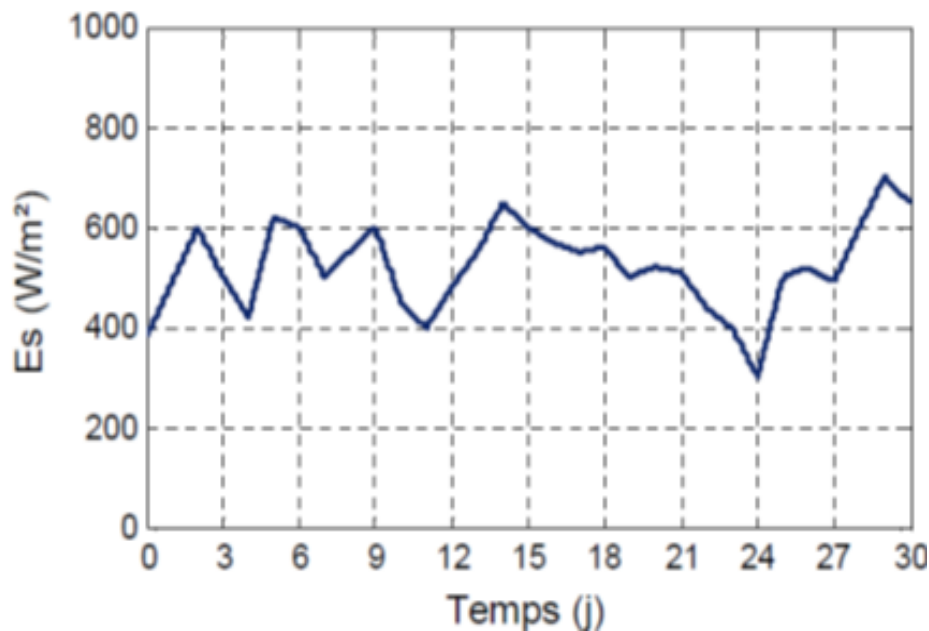


Figure (III-3) : Ensoleillement mesuré.

III-2- Estimation des besoins énergétiques

Nous proposons d'estimer la consommation électrique journalière de cette maison qui se compose de deux chambres, un salon, une cuisine, un couloir, une salle d'eau, un WC et une terrasse. Les équipements de cette installation peuvent fonctionner soit en continu comme les LED et les pompes à eau, soit en alternatif. Dans notre cas on utilisera uniquement les équipements fonctionnant en alternatif.

Le tableau III-1 représente le nombre et le type des charges et leurs consommations électriques.

Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque

Eléments	Equipement	Nombre	Consommation (W)	Durée d'utilisation (h/jour)	Besoin énergétique (Wh/jour)
Salon	Lustre	1	72	4	288
	Télé LED	1	120	3	360
	Démo	1	25	3	75
Chambre 1	Lampe	1	12	3	36
	Télévision	1	101	2	202
	Démo	1	25	2	50
	Chargeur téléphone	2	5	2	20
	Fer à repassé	1	1900	1/10	190
	Sèche cheveux	1	600	1/6	100
Chambre 2	Lampe	1	12	3	36
	PC portable	1	30	4	120
	Ordinateur de bureautique	1	150	2	300
	Modem	1	6.5	12	78
Cuisine	Lampe	1	12	5	60
	Four électrique	1	1300	1/2	750
	Réfrigérateur	1	220	12	2640
	Mixeur	1	200	1/8	25
	Micro-onde	1	1800	1/6	300
	Poste radio	1	50	1	50
couloir	Lampe	2	12	4	96
	Climatiseur	1	1000	2	2000
Salle de bain	Lampe	1	12	2	24
	Lave-linge	1	1300	1/4	325
	Chauffe d'eau	1	2500	1/3	833.33
WC	Lampe	1	12	1	12

Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque

Local Tech	Lampe	1	12	1/4	3
La terrasse	Lampe	2	12	3	72
extérieur	Pompe à eau	1	370	1/4	92.5

Tableau (III-1) : Estimation des besoins électriques journaliers.

III-3- Répartition de la consommation d'énergie électrique dans le foyer

La répartition de la consommation électrique de la maison étudiée est représentée par le tableau III-2 et la figure III-4.

besoins électriques	Consommation en (w)
Eclairage	192
Audio-visuel	517.5
Froid	3720
Electroménager	7100
Outillage	370
Total	11899.5

Tableau (III-2) : Répartition de la consommation électrique.

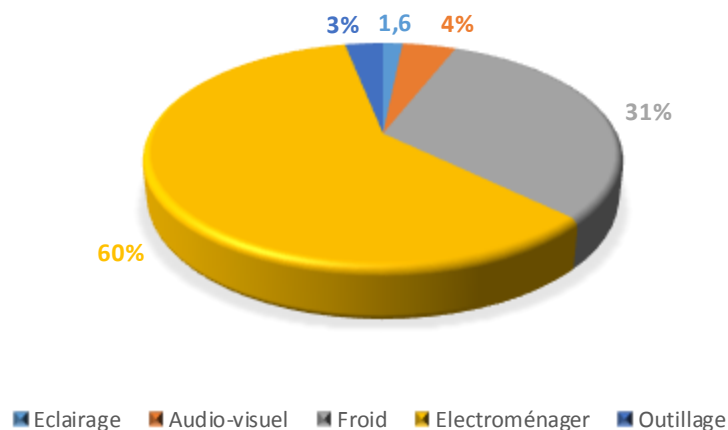


Figure (III-4) : Répartition de la consommation électrique.

Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque

III-4- Profils de consommation d'énergie électrique

Les figures suivantes représentent la consommation d'énergie électrique pendant une journée dans chaque saison.

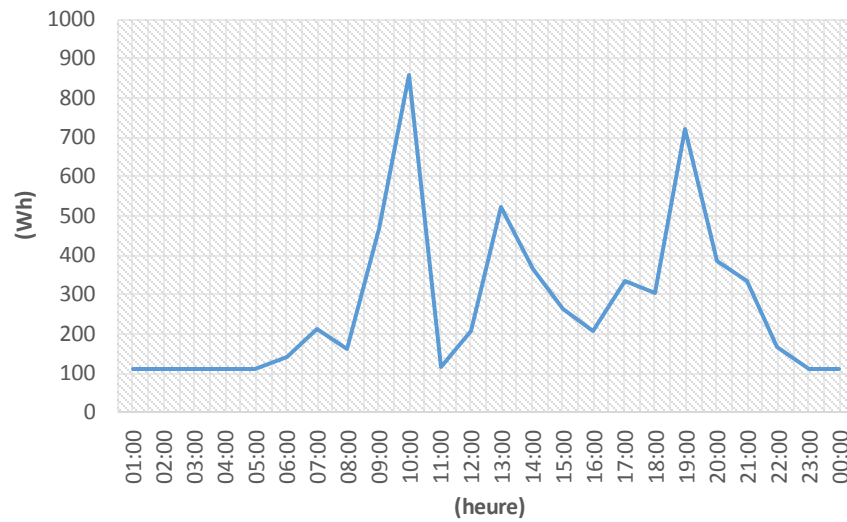


Figure (III-5) : Profil de consommation journalière pour l'automne.

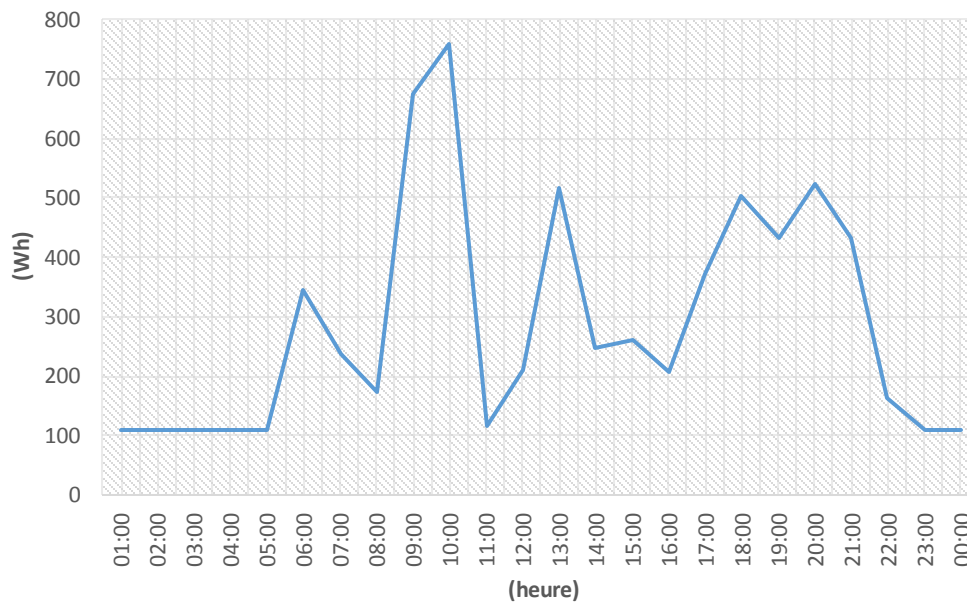


Figure (III-6) : Profil de consommation journalière pour l'hiver.

Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque

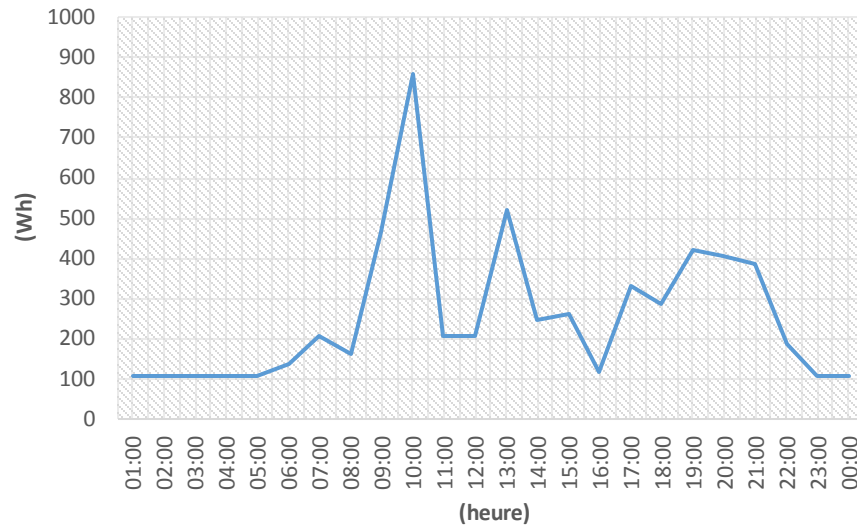


Figure (III-7) : profil de consommation journalière pour le printemps.

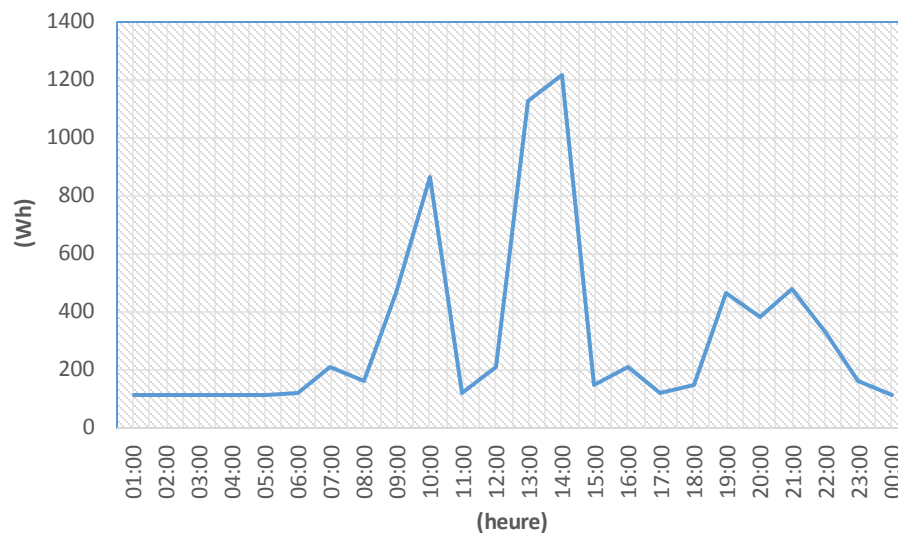


Figure (III-8) : Profil de consommation journalière pour l'été.

D'après les profils ainsi fait, on peut tirer une consommation trimestrielle qui est représentée par le tableau suivant :

Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque

Saison	Consommation journalière (Wh/jour)	Consommation trimestrielle (Wh/trimestre)
Eté	7549	679410
Automne	6528.26	587543.4
Hiver	6763.15	608683.5
printemps	6183.16	556484.4
	Total	2432121.3

Tableau (III-3) : Répartition de la consommation électrique trimestrielle.

On s'est servi de la consommation horaire de la maison étudiée pour faire les profils représentés précédemment.

Le tableau suivant qui représente la consommation horaire de la maison étudiée pendant la période d'été.

▪ **Nomenclature :**

L1 : lustre au salon

L5 : lampe à la cuisine

R : réfrigérateur

L2 : lampe à la chambre 1

L6 : lampe au WC

P : pompe à eau

L3 : lampe à la chambre 2

L7 : lampe à la salle de bain

P1 : poste radio

L4 : lampe au couloir

L8 : lampe à la terrasse

F1 : four électrique

C1 : Climatiseur

M2 : mixeur

F : fer à repasser

M : micro-onde

M1 : lave-linge

C2 : chargeur portable

PC : PC portable

PC1 : ordinateur bureautique

Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque

heurs	Equipements	Energie Consommation (Wh)
01 :00	R	110
02 :00	R	110
03 :00	R	110
04 :00	R	110
05 :00	R	110
06 :00	R+L1+L2+L6+L7	118
07 :00	R+L5+M	206
08 :00	R+P1	160
09 :00	R+M1+M2+L7	464
10 :00	R+F1	860
11 :00	R+Modem	116.5
12 :00	R+P+ Modem	209
13 :00	R+C1+ modem+L7	1122.5
14 :00	R +C1+ Modem +F	1216.5
15 :00	R + PC+ Modem	146.5
16 :00	R+M+ Modem	206.5
17 :00	R+L6+L7+ Modem	120.5
18 :00	R+PC+Modem	146.5
19 :00	R+L1+L4+Télé LED+ Démo +PC1 +Modem	459.5
20 :00	R+L1+L4+L5+L6+L7+L8+P+C2+Télé LED +Démo +Modem+C2	381.5
21 :00	R+L2+L3+L4+L8+Télé+Démo+Modem+C2+PC1	474.5
22 :00	R+L2+L3+L5+L7+PC +Télé +Démo +Modem+C2	322.5
23 :00	R+L3+PC+ Modem	158.5
00 :00	R	110

Tableau (III-4) : Consommation horaire de la maison étudiée pendant la période d'été.

Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque

III-5- Caractéristiques du système PV

On peut résumer les caractéristiques de notre système photovoltaïque comme suit :

- La puissance consommée : 8799.5W.
- Energie totale consommée : $E_t = 7541 \text{ Wh/jour}$.
- L'autonomie du système : une journée.

III-6- Dimensionnement du générateur

III-6-1- Caractéristiques du panneau photovoltaïque SHARP NTR5E3E

Paramètres	Valeurs
Puissance maximum du panneau P_{cm}	175W
La tension nominale U	24V
Courant au point de puissance maximal I_{mpp}	4.95A
Tension au point de puissance maximal V_{mpp}	35.4V
Courant de court-circuit I_{cc}	5.55A
tension en circuit ouvert V_{oc}	44.4V
Nombre de cellules photovoltaïques	72
Poids	17 Kg
Taille	150 cm * 72 cm

Tableau (III-5) : Caractéristiques du panneau photovoltaïque SHARP NTR5E3E.

Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque

III-6-2- Calcul de la puissance crête de générateur photovoltaïque

Après l'estimation de l'énergie journalière consommée par la charge E_C , on peut calculer la puissance crête du générateur, qui donnée par la formule suivante :

$$P_c = \frac{E_C}{a*b} \quad \text{Eq (III-1)}$$

Dans notre installation, tous les équipements fonctionnent en alternatif, donc E_C est égal :

$$E_C = \frac{E_{AC}}{\eta_{ond} * \eta_{hach}} \quad \text{Eq (III-2)}$$

$$E_C = 8728.17 \text{ Wh/jour}$$

- E_{AC} : l'énergie consommée en alternatif.
- E_C : la consommation moyenne quotidienne.
- a : l'indice d'ensoleillement correspondant à la zone géographique, pour notre casa $a = 1.3$.
- b : coefficient correspondant à la saison d'utilisation, on a choisi l'été donc $b = 5$.
- η_{ond} : Rendement du l'onduleur, on prend comme valeur **0.93**.
- η_{hach} : Rendement du hacheur, on prend comme valeur **0.93**.

Donc on trouve :

$$P_c = 1342.79 \text{ W}_C$$

Pour compenser les pertes de charges dans les câbles et les connexions d'utilisation d'un convertisseur, on ajoute une marge de sécurité de 10% à 20%, et pour notre application on ajoute **10%**, donc on aura :

$$P_c = 1477.07 \text{ W}_C$$

Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque

III-6-3- Le nombre de modules photovoltaïques

Le nombre du module du générateur est :

$$N_m = \frac{P_c}{P_{cm}} \quad \text{Eq (III-3)}$$

$$N_m = 8.44$$

$$N_m = 9 \text{ modules}$$

- N_m : nombre de module total.
- P_c : La puissance crête de champ photovoltaïque.
- P_{cm} : La puissance crête du module photovoltaïque.

III-6-4- Répartition des modules photovoltaïques

On dispose d'une centrale qui constitué d'un seul champ de 9 modules connectés en parallèle. Le schéma ci-dessous représente la répartition de ces modules.

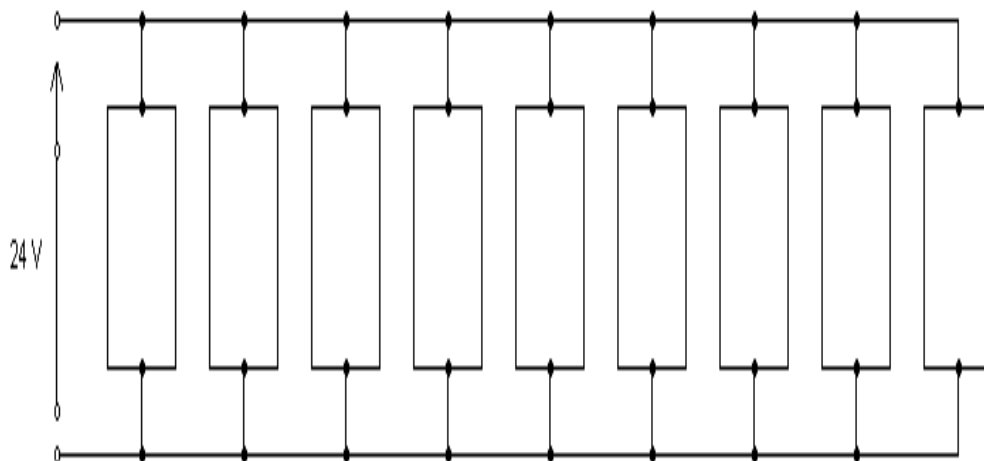


Figure (III-9) : Répartition des modules photovoltaïques.

Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque

III-6-5- Caractéristique de générateur photovoltaïque

- La puissance crête de champ est donnée par :

$$P_C = N_m * P_{cm} \quad \text{Eq (III-4)}$$

$$P_c = 9 * 175$$

$$P_c = 1575 \text{ Wc}$$

- La surface occupée par le générateur photovoltaïque :

La surface qu'occupe le module SHARP NTR5E3E vaut **1.08 m²**.

Donc :

$$S_t = 9 * 1.08$$

$$S_t = 9.72 \text{ m}^2$$

III--6-6- L'orientation et l'inclinaison des modules photovoltaïques

Latitude du site vaut $36^{\circ} 45'$, donc l'inclinaison sera égale à $36^{\circ} + 10^{\circ}$ (selon le Tableau (II-1)), et comme on est dans l'hémisphère Nord, l'orientation sera vers le Sud.

III-7- Dimensionnement des batteries

Dans notre installation on va choisir les accumulateurs au plomb acide, car ces derniers caractérisent par des avantages différents aux autres accumulateurs, qu'on peut résumer :

- Son coût est relativement faible.

Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque

- Son rendement est varié entre 75% et 80%.
- Peu d'entretien.
- Une bonne tenue aux températures externes.

Les paramètres de la batterie choisie sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Batterie au plomb-acide	Paramètres
Tension	12V
Capacité minimale	110 Ah
Rendement	80%
Profondeur de décharge	30%

Tableau (III-6) : Caractéristiques de la batterie choisie.

III-7-1- Calcul de la capacité utile

$$C_u = \frac{C}{U} \quad \text{Eq (III-5)}$$

Avec

$$C = \frac{E_c * N_j}{P_f * \eta_{bat}} \quad \text{Eq (III-6)}$$

Donc :

$$C = 36367.37 \text{ Wh}$$

Après le calcul on trouve :

$$C_u = 1515.30 \text{ Ah}$$

Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque

- C_u : Capacité utile de la batterie en (Wh).
- C : Capacité de la batterie en (Wh).
- U : La tension de fonctionnement en (V).
- P_f : Profondeur de décharge en (%).
- η_{bat} : Rendement de la batterie en (%).
- N_j : Autonomie en jours.
- E_C : L'énergie consommée (Wh).

III-7-2- Nombre de batteries

Le nombre total de batterie nécessaire pour stocker l'énergie est :

$$N_t = \frac{C_u}{C_e} \quad \text{Eq (III-7)}$$

Donc :

$$N_t = 13.77 \approx 14 \text{ batterie.}$$

- N_t : Nombre de batteries total.
- C_e : Capacité d'un élément de batterie.

III-7-3- Répartition des batteries

En associant les 14 batteries en série-parallèle : la mise en série nous permet de multiplier les tensions, et la mise en parallèle c'est pour augmenter la capacité.

Les batteries sont réparties en 2 blocs, placés en série et chacun à 12 V à ces bornes. Chaque bloque comporte 7 batterie en parallèle. La figure ci-dessous la répartition des 14 batteries.

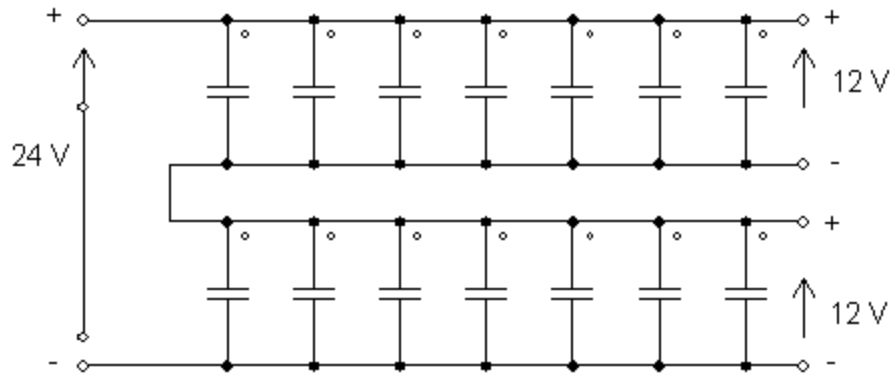


Figure (III-10) : Répartition des batteries.

III-8- Le choix du régulateur

Le régulateur à utiliser est choisi selon la tension de charge de l'installation qui vaut 24 V, et le courant maximum I_{max} qui se calcule comme suit :

$$I_{max} = \frac{P_c}{U} \quad \text{Eq (III-8)}$$

$$I_{max} = \frac{1575}{24} = 65.62 \text{ A}$$

Le régulateur choisi doit supporter cette valeur de courant, et comme c'est le type de régulateur qui convient est indispensable dans le marché algérien, on propose alors d'utiliser un régulateur en parallèle pour chaque bloc de batterie. Ce régulateur a les caractéristiques suivantes :

- ❖ Le courant nominal de charge : 40A.
- ❖ Température de fonctionnement : -20°C - +45°C.
- ❖ Tension de fonctionnement : 12/24V.

Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque

III-9- Le choix du l'onduleur

L'onduleur à utiliser est choisi selon :

- La tension d'entrée qui correspond à la tension du système mise en place ($U = 24 \text{ V}$), et la puissance consommée qui vaut 8799.5 W .
- La tension de sortie qui correspond à la tension d'alimentation des charges AC. Notre installation à besoin de $220/230 \text{ V}$ pour son fonctionnement normal.

Vu l'indisponibilité de ce type d'onduleur, alors on suppose d'utiliser un seul onduleur dont les caractéristiques sont les suivantes :

- ❖ Tension de sortie : $\pm 3\%$: 230 VAC .
- ❖ Tension d'entrée : 24 V .
- ❖ Puissance nominale : 2000 W .
- ❖ Puissance maximale : 4000 W .
- ❖ Fréquence : 50Hz .
- ❖ Distorsion harmonique (HTD) : $< 3\%$.

III-5- Le coût d'estimation

III-5-1- Le coût de l'installation photovoltaïque

composants	Prix d'unité DA	Nombre utilisé	Coût DA
Module	20. 000, 00	9	180. 000, 00
Régulateur	17. 200, 00	2	34. 400, 00
Batterie	24. 100, 00	14	337. 400, 00
Onduleur	61. 300, 00	1	61.300,00
		Total	655.100, 00

Tableau (III-7) : Estimation du coût de l'installation photovoltaïque de notre habitation.

Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque

III-5-2- Le coût de la consommation électrique

Actuellement, la SDE facture la consommation trimestrielle comme suit :

Les premiers 125 Kilowatt heure (KWh) sont facturés à 1.779 DA le KWh par trimestre. La deuxième tranche est relative aux consommations comprises entre 125 et 250 KWh/trimestre. Le prix est toujours de 4.179 DA le KWh. Les tranches 3 et 4 sont celles dont la consommation est comprise respectivement entre 250 et 1000 KWh/trimestre et plus de 1000 KWh/trimestre. Pour celles-ci, les prix seront désormais de 4.812 et 5.48 DA le KWh.

Pour bien comprendre comment calculer le coût de votre consommation électrique trimestrielle, on prend comme exemple, la consommation pendant la saison d'été qui vaut 679.41 KWh. Le calcul du coût de cette consommation se fait en trois tranches :

❖ Tranche 1 :

$$125 \text{ KWh} \times 1.779 \text{ DA} = \mathbf{222.375 \text{ DA}}$$

La TVA sur la première tranche est de 07%

$$\mathbf{222.375 \times 0.07 = 15.566 \text{ DA}}$$

❖ Tranche 2 :

$$(250 - 125) \text{ KWh} \times 4.179 \text{ DA} = \mathbf{522.375 \text{ DA}}$$

La TVA sur la deuxième tranche est de 19%

$$\mathbf{522.375 \times 0.19 = 99.251 \text{ DA}}$$

❖ Tranche 3 :

$$(679.41 - 250) \text{ KWh} \times 4.812 \text{ DA} = \mathbf{2066.12 \text{ DA}}$$

La TVA sur la troisième tranche est de 19%

$$\mathbf{2066.12 \times 0.19 = 392.562 \text{ DA}}$$

Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque

Le coût total de la consommation vaut :

$$222.375 + 15.566 + 522.375 + 99.521 + 2066.12 + 392.562 = \mathbf{3318.24 \text{ DA}}$$

En ajoutant les taxes :

- Droit fixe 100.00 DA
- Taxe d'habitation 75.00 DA
- Timbre 60.00 DA

Alors le montant total à payer est de **3553, 24 DA**

Pour les autres saisons, la procédure de calcul est la même de celle d'été. Le coût de la première et la deuxième tranche est le même de celui d'été, juste la troisième tranche qui diffère car la consommation dans chaque saison est différente.

Le tableau ci-dessous représente le coût annuel de la consommation d'électricité.

Saison	Consommation (KWh)	Coût (DA)
Eté	679.410	3 553.24
Automne	587.543	3 027.01
Hiver	608.683	3 147.89
Printemps	556.484	2 849. 55
Total		12 577.69

Tableau (III-8) : Estimation du coût annuel de la consommation d'électricité de notre habitation.

Comme la durée de vie moyenne d'une installation photovoltaïque est de 25 ans, alors le calcul du coût de consommation énergétique pour une même durée est de : **314442.25 DA.**

$$\text{Coût total de consommation} = 12\,577.69 \times 25 = \mathbf{314\,442.25 \text{ DA}}$$

Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque

Pour pouvoir faire une comparaison entre le coût de l'installation du système photovoltaïque avec le coût d'une installation par la société SDE, il faut rajouter au coût total de consommation le coût de l'extension de la ligne basse tension qui s'éloigne de 500 mètres par rapport à la maison à alimenter. En se référant aux prix de la société nous avons calculés le prix de l'extension comme suit :

Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
Raccordement réseau BT/ Aérien	Km	0.500	2 795 000.00	1 397 500.00
Participation client 65%				908 375.00
Réalisation branchement 2 fils	U	1	5 652.18	5 652.18
Coffret compteur	U	1	1 563.18	1 563.18
Fourniture et pose Disjoncteur 2P	U	1	1 956.52	1 956.52
Frais généraux 15%				137 632.03
TVA 19%				200 483.99
Montant Total en TTC				1 255 662.91

Tableau (III-9) : coût de l'extension de la ligne basse tension.

Le montant total de l'extension du réseau est de **1 255 662.91 DA**, pour retrouver le montant global de l'investissement en choisissant le réseau SDE, il faut additionner le coût total de consommation avec le montant total de l'extension.

$$\text{Montant de la Facture} = 314\,442.25 + 1\,255\,662.91 = \mathbf{1\,570\,105.16\ DA}$$

L'étude faite sur 25 ans pour les deux projets d'investissement indique que le coût de l'installation d'un système photovoltaïque autonome revient moins cher, soit un montant de 655 100 DA, que le coût de raccordement au réseau SDE additionné au coût de la consommation sur la même durée d'investissement, pour un montant de 1 570 105,16 DA. Il est alors recommandé ; pour les régions isolées ; d'investir davantage dans les panneaux solaires pour plusieurs raisons à savoir :

Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque

- Le coût économique de projet d'installation jugée moins important que le coût proposé par la SDE ;
- Absence de coupure ce qui est fréquent chez SDE ;
- Consommation gratuite après l'installation ;
- Possibilité de bénéficier d'énergie même dans des endroits complètement isolés ;
- Rapidité de réalisation du projet contrairement au projet de SDE dont la procédure administrative est de plus en plus retardée.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réalisé le dimensionnement d'une habitation plain-pied sise dans la wilaya de Bejaïa. Pour ce faire, nous avons d'abord estimé l'énergie électrique afin d'élaborer des profils pour chaque saison permettant de déterminer la consommation journalière la plus élevée sur laquelle le dimensionnement est élaboré, ensuite, nous avons fait une comparaison économique entre le coût de cette installation PV et celle alimentée par la société SDE.

Le coût de l'installation photovoltaïque est moins couteux comparé à celui de la société SDE, nous concluons, ainsi, que le système photovoltaïque est fiable, rentable avec un coût raisonnable par rapport à une installation conventionnelle.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre travail a été consacré à l'étude et dimensionnement d'une installation en énergie photovoltaïque d'une habitation isolée de 500 mètres par rapport au réseau électrique de la SDE.

Nous avons commencé par énoncer des généralités concernant les énergies renouvelables en se focalisant sur l'énergie photovoltaïque, nous nous sommes intéressés aux celles photovoltaïques : leurs principes de fonctionnement et leurs différents types.

Le deuxième chapitre avait pour thème la description d'un système PV autonome. Ainsi, nous avons cité les facteurs influant sur le bon rendement d'un panneau photovoltaïque, à savoir l'inclinaison, l'orientation et l'angle d'incidence. D'autre part, nous avons défini les éléments constituant ce système qu'on souhaite étudier, nous avons détaillé sur le générateur PV, le convertisseur DC/DC qui n'est autre que le hacheur, le convertisseur DC/AC qui est l'onduleur et la charge qui peut être de type alternatif ou continu. La dernière étape de ce chapitre a été consacrée à dimensionner d'une manière générale le système PV pour une habitation.

Dans le dernier chapitre, nous avons élaboré une étude sur une habitation située dans une région isolée dans la wilaya de Bejaia, ainsi nous avons fait tout d'abord une estimation d'énergie électrique afin d'élaborer des profils pour chaque saison. Les profils ainsi fait nous ont permis d'estimer la consommation la plus élevée sur laquelle nous avons entamé le dimensionnement. Enfin, nous avons fait une étude économique dans laquelle nous allons effectuer une comparaison entre le coût de cette installation PV et le coût de la consommation d'électricité selon le réseau SDE.

La comparaison ainsi faite, nous pouvons conclure que malgré que la quantité d'énergie photovoltaïque produite dépend de plusieurs paramètres comme la température et l'éclairement, le système photovoltaïque reste très prometteur et intéressant pour les sites isolés par rapport à une installation effectuée par la société SDE. Le coût de l'installation photovoltaïque est moins couteux si on le compare au coût du réseau SDE.

Conclusion générale

Perspective :

Notre avenir énergétique doit être basé sur des énergies non polluantes ayant des ressources importantes. Il faut chercher des solutions énergétiques alternatives et durables répondant à la diminution de la consommation des énergies fossiles, par conséquent, la diminution des émissions à effet de serre. Nous souhaitons ajouter un suiveur à notre champ photovoltaïque afin de maximiser la puissance extraite tout au long de la journée.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] : **Bernard Wiesenfeld**, " Promesses et réalités des énergies renouvelables ", edp Sciences, 2013.
- [2] : **LeonFreris, David Infield**, " Les énergies renouvelables pour la production d'électricité ", Paris Dunod, 2009.
- [3] : **MATALLAH Sorya**, " Dimensionnement et simulation d'un système photovoltaïque pour alimenter un habitat dans la wilaya d'Ouargla ", mémoire de master en énergie renouvelable, Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou, juin 2015.
- [4] : **SoualmiaAdel**, " Intégration de la Production Décentralisée dans un Système de Pompage Photovoltaïque ", thèse de Magister en Electronique, Université Constantine1, 2014.
- [5] : **Serge Baillargeon**, " Energie hydraulique : Les avantages & inconvénients ", septembre 2015.
- [6] : **J.-L. L'apôtre, P. Plouviez**, " Les énergies renouvelables : le photovoltaïque et l'éolien ", CAP, Bac Pro elec, Bac ST12D, Edition Casteilla, 2012.
- [7] : **Thierry Gallauziauxet DAVID Fedullo**, " Le grand livre de l'électricité ", édition EYROLLES 2010.
- [8] : **HELALI Kamilia**, " Etude d'une cellule photovoltaïque : étude comparative ", mémoire de master en électrotechnique, UMMTO, 2012.
- [9] : **Rachid El Mokni, Néji AMAIMIA**, " Installation & maintenance des systèmes PV ", formation sur les systèmes photovoltaïques, Chambre Syndicale Nationale des Energies Renouvelables, 2011.
- [10] : **Mr Piekarz**, " Energie solaire photovoltaïque ", cours terminale Bac pro, lycée professionnel Jean Caillaud de Ruelle sur Touvre, 2013.
- [11] : **Pierre Teisseire**, " Dimensionner un parc de batterie ", Acded Marigot – Haïti, Novembre 2003.
- [12] : **Anne Labouret. Michel Viloz**, " énergie solaire photovoltaïque ", DUNOD, 2^{ème} édition, Paris 2003, 2005.
- [13] : **M^{elle} BRIHMAT Fouzia**, " Etude conceptuelle d'un système de conditionnement de puissance pour une centrale hybride PV/éolienne ", mémoire de magister en électrotechnique, option entraînements électriques, UMMTO, 2012.

Références bibliographiques

- [14] :**M. Adouane, M. Haddadi, N. Benamrane, K. Touafek, A. Khelifa, I. Tabet**, " Evaluation de l'influence de l'inclinaison des modules photovoltaïques sur la production d'énergie d'un système hybride ", revue des énergies renouvelables SIENR'14 Ghardaïa 2014.
- [15] : **M^{elle}AMARA Karima**, " Contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque de puissance (1MW) interconnectée au réseau de distribution électrique moyenne tension ", mémoire de magister en électronique, option microélectronique, UMMTO, 2015.
- [16] : **OWEIS EL MELKI Marielle, SALHAB Miled, SOUEID Tania**, " Système de contrôle d'alimentation : EDL-générateur –photovoltaïque pour alimentation domestique ", pour obtenir le titre de l'ingénieur de l'université de liban –branche II, 2013.
- [17] : **TouilNacer Eddine, Ghenbazi Slimane**, " Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque ", mémoire de master en réseaux électriques, Université Echahid Hama Lakhder d'El-Oued, 2015.
- [18] : **MISSOUM Mohammed**, " Contribution de l'énergie photovoltaïque dans la performance énergétique de l'habitat à haute qualité énergétique en Algérie ", mémoire de magister en génie mécanique, option énergies renouvelables, université Hassiba BENBOUALI de Chlef, 2011.
- [19] : **MEDDAH Mohamed**, " Synthèse des convertisseurs statiques DC/DC/AC pour les systèmes photovoltaïques : étude et simulation ", thèse de magister en génie électrique, université de science et de technologies d'Oran.
- [20] : **H Abbes, H Abid, K Loukil, A Toumi, M Abid**, " Etude comparative de cinq algorithmes de commande MPPT pour un système PV " revue des énergies renouvelables vol. 17 N°3 ,2014.
- [21] : **SLAMA Fateh**, " Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique " mémoire magister, université de Ferhat Abbas, Stif.
- [22] : **TAHAR Tafticht**, " Analyse et commande d'un système hybride photovoltaïque éolien ", thèse en génie électrique, université de Québec, 2006.
- [23] : **BENCHERIF Mohamed**, " Modélisation des paramètres d'une batterie plomb-acide, et son intégration dans un système photovoltaïque autonome ", mémoire de master en physique, université Abou Bekr BELKAID, Tlemcen, 2015.
- [24] : **Alain Ricaud**, " Systèmes photovoltaïques ", polytech' Savoie 5eme année, Ecole d'ingénieurs, oct. 2011.

Références bibliographiques

- [25] : **J.Bonal, G.Seguir,** " Entraînement à vitesse variable ", Edition TECH & DOC, LAVOISIER, paris 1998.
- [26] : **Khaled Saidoun, M. Simoussi,** " Commande MLI d'un onduleur multi-niveaux ", Mémoire de Master en ETH, UMMTO 2015.
- [27] : **OURABI Lassaad,** " Les convertisseurs continus/alternatifs ", ISET de Bizerte.
- [28] : **Henri Foch, François Forest, Thierry Meynard,** Techniques d'ingénieur, " Onduleurs de tensions ".
- [29] : **M^{elle} Trahi Fatiha,** " Prédiction de l'irradiation solaire globale pour la région de Tizi-Ouzou par les réseaux de neurones artificiels ", mémoire de magister en électronique, option télé-détection, UMMTO, 2011.
- [30] : **M^{elle} HENNOUS Chahrazet, M^{elle} AIT-ALLALA Kahina,** " dimensionnement et installation d'un système photovoltaïque (application à la F.G.E.I) ", mémoire de fin d'études en communication-contrôle, UMMTO 2008/2009.

Résumé :

Une puissance maximale que pour des valeurs particuliers du courant et de tension. En effet, la caractéristique $I(V)$ de générateur dépend de l'éclairement solaire et de la température. A cause de cette fluctuation, on intercale souvent entre le générateur et la charge un ou plusieurs convertisseurs statiques commandés permettant de poursuivre le point de puissance maximale.

Ces commandes, sont connues sous le nom MPPT (maximum power point Tracking) associée au hacheur.

Le bon choix du matériel nécessite un bon dimensionnement et garantit un fonctionnement optimal d'une installation PV.

Pour une même consommation d'énergie électrique, le coût d'une installation PV pour le site isolé est moins cher par rapport à celui de raccordement au réseau électrique de la SDE.

Mots clé : Photovoltaïque, Maximum Power Point Tracking, générateur photovoltaïque, énergie solaire, cellule photovoltaïque, installation photovoltaïque, taxe sur la valeur ajoutée.