

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



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

**Mémoire de Fin d'Etudes
de MASTER ACADEMIQUE**
Domaine : **Sciences et Technologies**
Filière : **Electrotechnique**
Spécialité : **Réseaux Electriques**

Présenté par
BELABBAS Arezki
CHERIF Aghiles

Thème
**Dimensionnement d'une Centrale
Photovoltaïque Autonome de 16 kW**

Mémoire soutenu publiquement le 29/09/2016 devant le jury composé de :

Mr Mustapha ZAOUIA

Maître de conférences classe A, U.M.M.T.O, Président

Mr Hakim DENOUN

Maître de conférences classe A, U.M.M.T.O, Encadreur

Mr Nabil BENYAHIA

Maître de conférences classe B, U.M.M.T.O, Co - Encadreur

Mr Rabah KHALDI

Maître Assistant classe A, U.M.M.T.O, Examineur

Mr Arezki FEKIK

Doctorant, U.M.M.T.O, Examineur

Mr Hakim DJOUDI

Maître Assistant classe A, U.M.M.T.O, Examineur

Remerciement

Avant tout nous remercions notre dieu de nous avoir donné la force et le courage.

Nos vifs remerciements vont à l'encontre de notre encadreur Monsieur H. DENOUN et Co-encadreur N. BENYAHIA, pour leur grande disponibilité lors de nos différentes sollicitations et leurs précieux conseils pour l'élaboration de ce projet.

Nous remercions le président et les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous font en examinant notre travail

Enfin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration et la finalisation de ce mémoire.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À ma fabuleuse étoile ma très chère mère

À mon père : le plus bon de tous les pères

À mon frère Yanis

ET ma sœur Taous

À ma chère Karima

Et à toute ma famille en général.

Et enfin

À mon binôme Aghiles avec qui j'ai partagé ce travail.

*À tous mes amis : Mohamed, Kamal, Hilal, Kouceila, Amer... avec
qui j'ai partagé des moments précieux.*

Arezki

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À ma fabuleuse étoile ma très chère mère

À mon père : le plus bon de tous les pères

À mes frères et mes sœurs

Et à toute ma famille en général.

Et enfin

À mon binôme Arezki avec qui j'ai partagé ce travail.

À tous mes amis avec qui j'ai partagé des moments précieux.

Aghiles

Notation utilisées

Notations utilisées

A : Coût du Watt crête photovoltaïque (1200 DA) ;
a : Prix de module ;
B : Coût du kWh de la batterie (4000 DA) ;
b : Prix de la batterie ;
c : Vitesse de la lumière ;
 $C_{\text{Bat}}(t)$: Capacité nominale de la batterie ;
 C_S : Capacité de stockage de la batterie (kWh) ;
 C_T : Cout totale de l'installation de la station ;
 C_{T0} : Somme des coûts de tous les autres systèmes ;
E : Energie d'un photon ;
 E_{cons} : Energie électrique consommée ;
 $E_{\text{elect max}}$: Energie électrique maximale consommée ;
 E_{ens} : Energie d'ensoleillement ;
 $E_L(t)$: Energie totale demandée ;
 E_{min} : Energie électrique minimale consommée ;
 E_{prod} : Energie électrique produite ;
 E_{Tot} : Energie totale consommée par le site ;
 $E_{\text{unité}}$: Energie stockée par une unité de batterie ;
 f_d : Facteur de décharge de la batterie ;
g : l'ensoleillement ;
h : Constante de Planck ;
 I_{cc} : Courant court-circuit ;
 I_{max} : Courant maximal du régulateur ;
 I_{mpp} : Courant de puissance maximale ;
l : Longueur du conducteur ;
N : Nombre d'heures d'exposition aux conditions STC ;
 N_{Batterie} : Nombre de batteries ;
 N_{jours} : Nombre de jours d'autonomie ;
 N_{PV} : Nombre de panneaux photovoltaïques ;
nAh : Nombre d'Ampères heures ;
P : Puissance consommée ;

P : Puissance de l'onduleur ;
P_c : Puissance crête ;
P_{mpp} : Point de puissance maximale ;
Pr(%) : Indice de performance ;
R : Résistance ;
S : Section du conducteur ;
t : Temps d'utilisation ;
U : Tension du régulateur ;
V : Tension d'une batterie ;
V_{Bat} : Tension nominale de la batterie ;
V_{co} : Tension à vide ;
V_{mpp} : Tension de puissance maximale ;
λ : Longueur d'onde ;
ρ : Résistivité du cuivre, le matériau conducteur valant environ $\rho_{cu}=1,8 \cdot 10^{-8}$;
η_{Ond} : Rendement de l'onduleur exprimé en pourcentage ;
η_{Bat} : Rendement de la batterie exprimé en pourcentage ;

Listes des figures

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur l'énergie photovoltaïque et les dispositifs de stockage autonome

Figure I.1 : Rayonnement solaire au sol.....	22
Figure I.2 : la carte d'éclairement solaire de l'Algérie.....	23
Figure I.3 : Les coordonnées terrestres.....	24
Figure I.4 : Tracé de l'horizon dans le diagramme hauteur Azimut du soleil.....	25
Figure I.5 : Caractéristiques électriques d'une cellule solaire.....	27
Figure I.6 : Effet de l'ensoleillement sur la puissance générée par la cellule.....	28
Figure I.7 : Effet de la température sur la puissance générée par la cellule.....	28
Figure I.8 : Schéma d'un système photovoltaïque autonome.....	30
Figure I.9 : Module PV en groupement série - parallèle des cellules.....	31
Figure I.10 : Schéma synoptique d'un générateur PV.....	32
Figure I.11 : Niveau de charge des batteries.....	33
Figure I.12 : Caractéristique charge et décharge d'une batterie.....	34
Figure I.13 : La profondeur de décharge de batterie.....	35
Figure I.14 : Schéma de principe d'un régulateur de charge.....	40
Figure I.15 : Régulateur parallèle.....	40
Figure I.16 : Régulateur série.....	41
Figure I.17 : Courbes caractéristiques d'un module photovoltaïque.....	43
Figure I.18 : Filtrage de la tension par l'inductance de sortie.....	43
Figure I.19 : Schéma d'un système photovoltaïque connecté au réseau de distribution électrique.....	47
Figure I.20 : Schéma d'un système photovoltaïque autonome.....	48

Chapitre II : Méthodes de dimensionnement d'une station photovoltaïque autonome

Figure II.1 : Diagramme simplifié du dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome.....	53
Figure II.2 : Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau.....	55
Figure II.3 : Tracé du nombre de modules en fonction du nombre de batteries pour une LPSP donnée.....	62

Chapitre III : Dimensionnement de la station photovoltaïque autonome de 16 kW

Figure III.1 : Situation géographique de Bouzeguène.....	74
Figure III.2 : données météorologiques de Bouzeguène.....	75
Figure III.3 : Ligne d'horizon en fonction de l'angle d'inclinaison des panneaux.....	76
Figure III.4 : trajectoire de soleil à Bouzeguène.....	76
Figure III.5 : Détermination d'angle d'inclinaison de plan incliné fixe pour notre site.....	77
Figure III.6 : Détermination d'angle d'inclinaison de plan incliné avec deux axes.....	77
Figure III.7 : Pré-dimensionnement de l'énergie de l'utilisation quotidienne en utilisant le logiciel PVSYST.....	78
Figure III.8 : Résultats obtenues à l'aide du logiciel PVSYST.....	79
Figure III.9 : image schématique d'un système photovoltaïque.....	79
Figure III.10 : Énergie solaire disponible.....	80
Figure III.11 : Schéma d'entrée Daily / sortie.....	81
Figure III.12 : Les besoins énergétique et l'énergie fournie à l'utilisateur.....	82
Figure III.13 : Diagramme de perte.....	83
Figure III.14 : Diagramme de la production normalisée.....	84

Sommaire

Sommaire

<i>Introduction générale</i>	18
<i>Chapitre I : Généralités sur l'énergie photovoltaïque autonome et les dispositifs de stockage</i>	
I.1 Introduction	21
I.2 L'énergie solaire	21
I.2.1 Le rayonnement solaire	21
I.2.2 Gisement solaire disponible à la surface de la terre	22
I.2.3 Paramètres de position	23
I.2.4 Trajectoire du soleil	24
I.3 L'énergie photovoltaïque	26
I.3.1 La cellule photovoltaïque	26
I.3.1.1 Le principe de fonctionnement d'une cellule solaire	26
I.3.1.2 Caractéristiques électriques d'une cellule	27
I.4.1 Effet du niveau d'éclairement sur le module photovoltaïque	28
I.4.2 Effet de la température des cellules sur le module photovoltaïque	28
I.5 Les centrales solaires	29
I.5.1 Les composants du système photovoltaïque autonome	30
I.5.1.a Générateur photovoltaïque	30
I.5.1.b Stockage de l'énergie	33
I.5.1.c Régulation	39
I.5.1.d Convertisseur Continu-Alternatif	41
I.5.1.e La charge	44

I.6 Installation du générateur PV.....	44
I.6.1 Orientation et inclinaison du générateur PV.....	44
I.6.2 Le masque.....	44
I.6.3 Montage des modules en rangs parallèles.....	45
I.6.4 Fixation des modules.....	45
I.6.5 Installation des batteries de stockage.....	45
I.7 Idée sur le coût du système.....	46
I.8 Les type de systèmes photovoltaïques.....	47
I.8.1 Système photovoltaïque raccordé au réseau.....	47
I.8.2 Systèmes photovoltaïque autonome.....	47
I.8.2.a Systèmes autonomes sans stockage.....	47
I.8.2.b Systèmes autonomes avec stockage	48
I.9 Conclusion.....	49
 <i>Chapitre II : Méthodes de dimensionnement d'une station photovoltaïque autonome</i>	
II.1. Introduction.....	51
II.2. Présentation des paramètres d'entrée intervenants dans le dimensionnement.....	51
II.3 Les étapes de dimensionnement.....	54
II.3.1 Consommation énergétique.....	54
II.3.1.a Les besoins énergétiques des applications.....	54
II.3.2 Energie solaire récupérable.....	55
II.3.2.a Orientation et inclinaison des modules.....	55
II.3.3 Définition des modules photovoltaïques.....	56

II.3.3.a Calcul de la puissance crête du système.....	56
II.3.3.b Calcul le nombre de panneaux photovoltaïques.....	56
II.3.3.c Production électrique d'un module en une journée.....	56
II.3.4 Dimensionnement du stockage.....	56
II.3.5 Le dimensionnement de son régulateur.....	57
II.3.6 Dimensionnement de l'onduleur.....	58
II.3.7 Le dimensionnement des câbles électriques photovoltaïques.....	59
III.3.8 Choix des sections de câble.....	59
III.3.9 Coût d'installation de la station photovoltaïque.....	59
II.4 Dimensionnement par l'application de la méthode LPSP.....	60
II.5 Conclusion.....	62

Chapitre III : Dimensionnement de la station photovoltaïque autonome de 16 kW

III.1. Introduction.....	64
III.2. Identification du site.....	64
III.3. Evaluation du besoin énergétique du site.....	64
III.4. Etude du cas A : Etude d'une maison alimentée par un seul champ.....	65
III.4.1 Evaluation du besoin énergétique.....	65
III.4.1.a Calcul le nombre de panneaux.....	65
III.4.1.b. Dimensionnement du système de stockage.....	66
III.4.1.c. Dimensionnement du régulateur.....	67
III.4.1.d. Dimensionnement de l'onduleur.....	67

III.4.1.e. Choix des cables.....	67
III.4.1.f. La surface du champ photovoltaïque.....	69
III.5. Etude du site alimenté par un seul champ.....	69
III.5.1 Evaluation du besoin énergétique.....	69
III.5.1.a. Calcul le nombre de panneaux.....	69
III.5.1.b. Dimensionnement du système de stockage.....	70
III.5.1.c. Dimensionnement du régulateur.....	71
III.5.1.d. Dimensionnement de l'onduleur.....	71
III.5.1.e. Choix des cables.....	72
III.5.1.f. La surface du champ photovoltaïque.....	73
III.6. Simulation et les résultats avec logiciel PVSYSYTEM.....	74
III.6.1. Introduction.....	74
III.6.2. Données de site.....	74
III.6.2.a. Situation géographique.....	74
III.6.2.b. Données météorologiques.....	75
III.6.3. Paramètres du soleil.....	75
III.6.3.a. Hauteur du soleil.....	75
III.6.4. Orientation.....	77
III.6.4.a. Orientation plan incliné fixe (18°).....	77
III.6.4.b. Orientation avec suiveur deux axes.....	77
III.6.5. Estimation de la consommation des charges électriques pour le site.....	78
III.6.6. Les résultats obtenus a l'aide du logiciel PVSYST.....	79

III.6.7. Dimensionnement l'ensemble du système.....	79
III.7. Résultats de la simulation et discussion.....	80
III.7.1 L'énergie solaire disponible.....	80
III.7.2 Entrée / Schéma de sortie.....	81
III.7.3. Diagramme du besoin énergétique et l'énergie fournie a l'utilisateur.....	82
III.7.4. Les pertes.....	83
III.7.5. Production normalisé.....	84
III.7.6 Résultats des paramètres de simulation.....	85
III.7.7 Tableau des résultats obtenus par les deux méthodes de calcul.....	88
III.8. Conclusion.....	89
<i>Conclusion générale.....</i>	<i>91</i>
<i>Références bibliographiques.....</i>	<i>93</i>
Annexes.....	96

Introduction générale

La plus grande partie de l'énergie consommée actuellement provient de l'utilisation des combustibles fossiles comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou encore l'énergie nucléaire. Ces ressources deviennent de plus en plus rares, pendant que les demandes énergétiques du monde s'élèvent continuellement, il est estimé que les réserves mondiales, seront épuisées vers 2030 si la consommation n'est pas radicalement modifiée, et au maximum vers 2100 si des efforts sont produits sur la production et la consommation. Etant donné que cette forme d'énergie couvre une grosse partie de la production énergétique actuelle, il s'avère nécessaire de trouver une autre solution pour prendre le relais, la contrainte imposée est d'utiliser une source d'énergie économique et peu polluante car la protection de l'environnement est devenue un point important. À ce sujet, Les énergies renouvelables, comme l'énergie solaire photovoltaïque, éolienne ou hydraulique, ... apparaissent comme des énergies inépuisables et facilement exploitables. Si l'on prend l'exemple du soleil, une surface de 145000km² (4% de la surface des déserts arides) de panneaux photovoltaïques (PV) suffirait à couvrir la totalité des besoins énergétiques mondiaux .D'autre part, il y a inégalité extrême de la distribution de la consommation de l'énergie [6].

Beaucoup de populations, spécialement dans les zones rurales isolées des pays en voie de développement qui bénéficient d'un fort ensoleillement, sont confrontées à de grands problèmes pour satisfaire leurs besoins en énergie. L'énergie solaire photovoltaïque (PV) de par ses caractéristiques de modularité qui permet de l'adapter à des besoins énergétiques divers, autonomie, fiabilité et viabilité sur le plan économique, permet d'apporter de réelles solutions telles que l'éclairage public et domestique, le pompage d'eau pour la consommation et l'irrigation, le balisage, ...etc.

La conversion photovoltaïque est l'un des modes les plus intéressants d'utilisation de l'énergie solaire. Elle permet d'obtenir de l'électricité de façon directe et autonome à l'aide d'un matériel fiable et de durée de vie relativement élevée, permettant une maintenance réduite. Initialement liée à la conquête spatiale où elle a prouvé ses qualités technologiques, la Conversion photovoltaïque de l'énergie solaire, dans les pays développés ou en voie de développement qui bénéficient d'un fort ensoleillement, a jusqu'à présent trouvée ses débouchés préférentiels dans des installations en sites isolés, de petites et moyennes puissances. Pour améliorer la connaissance de ces systèmes, plusieurs voies sont possibles. L'expérimentation en vraie grandeur peut apporter des réponses aux questions posées, mais cette solution est longue et coûteuse à mettre en œuvre, et ne permet pas de généraliser les résultats. L'autre voie fait appel à la modélisation et à des programmes de simulation sur Ordinateur permettant de traiter un grand nombre de cas en un temps et avec un coût très réduit.

Cependant, si on veut utiliser et concevoir un système d'alimentation PV autonome, il est impératif de prévoir un dispositif de stockage de l'énergie électrique selon les cas et les besoins.

L'installation d'un système photovoltaïque sur un site isolé, requière un parc de batteries solaires, indispensable pour stocker l'énergie produite et la délivrer la nuit et quand l'ensoleillement n'est pas suffisant pour alimenter la charge.

L'objectif de ce travail est donc l'étude et la simulation permettant de dimensionner un système photovoltaïque autonome de 16 kW. Ce mémoire est partagé en trois chapitres :

Le premier chapitre sera consacré à la présentation du système photovoltaïque autonome, ainsi que ses différents composants et leur principe de fonctionnement, et les dispositifs de stockage.

Le deuxième chapitre a pour but de présenter une méthode de dimensionnement, son principe, ensuite accomplir le travail demandé par le biais de celle-ci.

Enfin, dans le chapitre 3, nous présenterons une méthode de dimensionnement de la centrale photovoltaïque réalisée grâce au logiciel de calcul PVSYST dans le but de savoir tous les détails de notre centrale ainsi que les résultats obtenus et l'interprétation de ces résultats.

Enfin, nous terminerons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Généralités sur l'énergie photovoltaïque autonome et les dispositifs de stockage

I.1 Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque. Dans ce chapitre on a présenté une étude descriptive générale des systèmes photovoltaïques, leurs compositions, et les critères de choix d'un système photovoltaïques [1].

I.2 L'énergie solaire

La distance de la terre au soleil est de 149598000 km de la terre et la vitesse de la lumière est d'un peu plus de 300000 km/h, les rayons du soleil mettent donc environ 8 minutes à nous parvenir. La constante solaire est la densité d'énergie solaire qui atteint la frontière externe de l'atmosphère faisant face au soleil. Sa valeur est communément prise égale à 1360W/m². Au niveau du sol, la densité d'énergie solaire est réduite à 1000 W/ m² à cause de l'absorption dans l'atmosphère. Albert Einstein a découvert en travaillant sur l'effet photoélectrique que la lumière n'avait pas qu'un caractère ondulatoire, mais que son énergie est portée par des particules, les photons [2].

L'énergie d'un photon étant donnée par la relation :

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (I.1)$$

I.2.1 Le rayonnement solaire

La rotation et l'inclinaison de la terre provoquent une variation de l'énergie disponible en fonction de la latitude en un point donné. De plus, les nuages, le brouillard, les particules atmosphériques et les phénomènes météorologiques entraînent des variations quotidiennes qui augmentent, ou diminuent, le rayonnement solaire reçu par un système photovoltaïque.

On distingue pour cela :

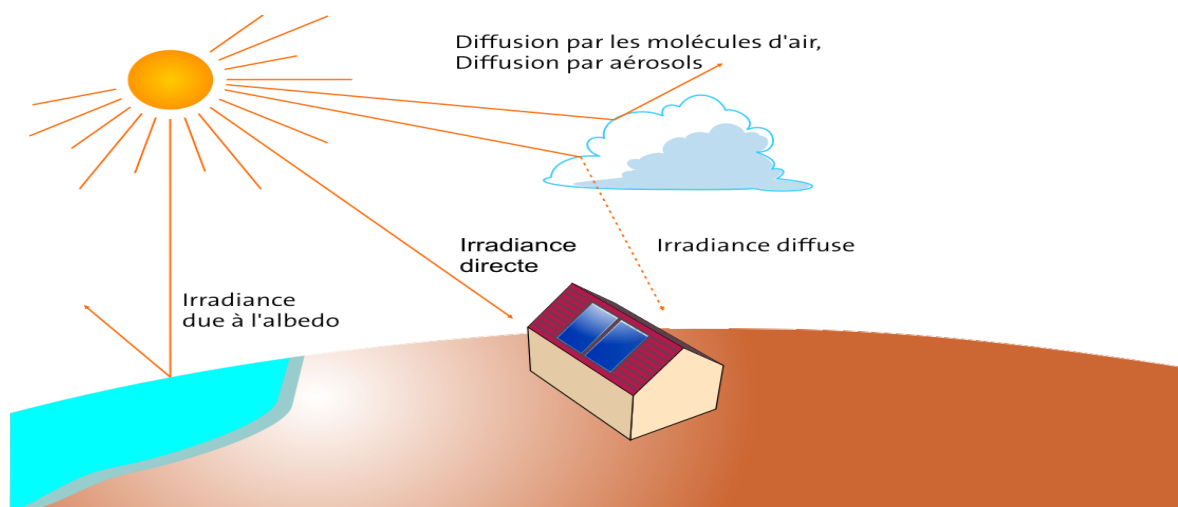


Image I.1 : Le rayonnement solaire [4]

✚ Le rayonnement direct

Les rayons du soleil atteignent le sol terrestre sans subir de modification de leur trajectoire initiale. Les rayons restent parallèles.

✚ Le rayonnement diffus

En traversant l'atmosphère, les rayons du soleil rencontrent des obstacles tels que les nuages, la poussière, etc... Ces obstacles ont pour effet de rediriger les rayons du soleil parallèles (à l'origine) en une multitude de faisceaux dans toutes les directions.

✚ Le rayonnement réfléchi

C'est le résultat de la réflexion des rayons lumineux sur une surface réfléchissante (par exemple, la neige en montagne). Cette réflexion dépend de l'albédo (pouvoir réfléchissant) de la surface concernée [3].

I.2.2 Gisement solaire disponible à la surface de la terre

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée [4].

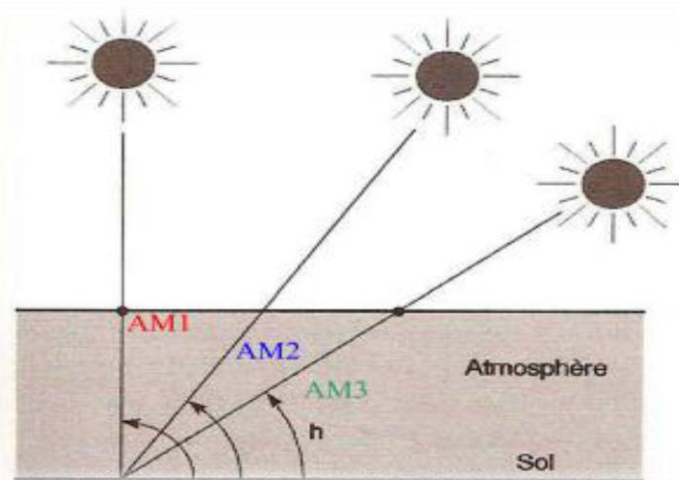


Figure I.1 : Rayonnement solaire au sol [4]

Le gisement solaire en Algérie

Pour saisir la portée des énergies renouvelables en Algérie et les enjeux considérables et inépuisables existant de ces énergies non encore exploitées à savoir le gisement solaire exceptionnel qui couvre une superficie de 2381745 Km² L'Algérie est l'un des pays qui ont une diversité de sites du à son grand secteur, où le rayonnement de la région près de la mer est influencé par les saisons. Les zones du nord de l'Algérie sont à ciel - couvert plus que ceux du sud.

Les régions Sahariens reçoivent une quantité plus grande d'énergie mais sont caractérisées par une température de l'air plus élevée. En raison de cette diversité dans le climat, l'ensoleillement moyen global au plan horizontal reçu varie entre 4,5 et 7.5 kWh/m². En tenant compte de cette diversité, l'Algérie peut être divisée en 8 zones climatiques qui ont approximativement un ensoleillement homogène comme indiqué sur la figure I.2 :

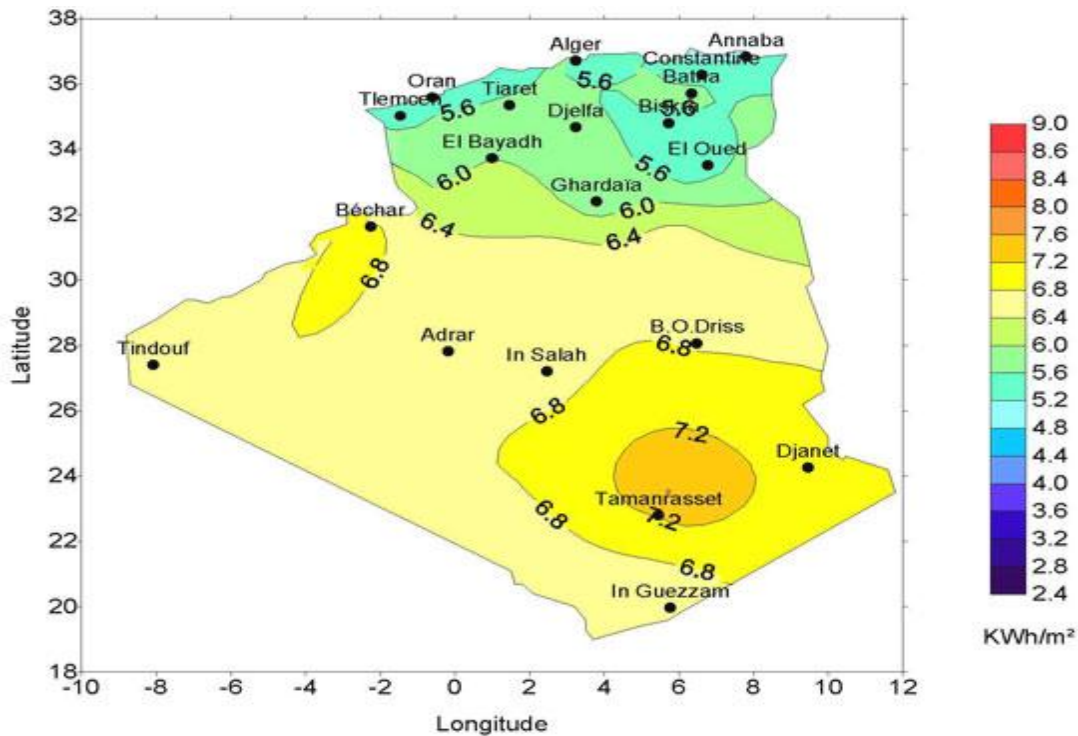


Figure I.2 la carte d'éclairement solaire de l'Algérie [4]

I.2.3 Paramètres de position

L'équateur est une ligne fictive de séparation entre l'hémisphère nord et l'hémisphère sud, définie par un plan perpendiculaire à l'axe des pôles. Le méridien est le plan du lieu passant par l'axe des pôles.

Tout point de la sphère terrestre peut être séparé par deux coordonnées, appelés coordonnées terrestres, à savoir sa latitude " φ ", qui est positive dans l'hémisphère nord, elle est négative dans l'hémisphère sud, et sa longitude " L ", positive à l'ouest, négative à l'est. La méridienne origine, servant à la mesure de la longitude est celui de Greenwich [5].

- ✚ **La latitude** : est une coordonnée géographique présentée par une valeur angulaire, expression de la position d'un point sur la terre au nord ou au sud de l'équateur qui est le plan de référence.
- ✚ **La longitude** : est une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire, expression de positionnement est ou ouest d'un point sur la terre, la longitude de référence sur terre est le méridien de Greenwich.

Les coordonnées de la ville de Tizi-Ouzou sont :[20]

La latitude : $\varphi = 36,42^\circ$ Nord.

La longitude : $L = 4,08^\circ$ Est

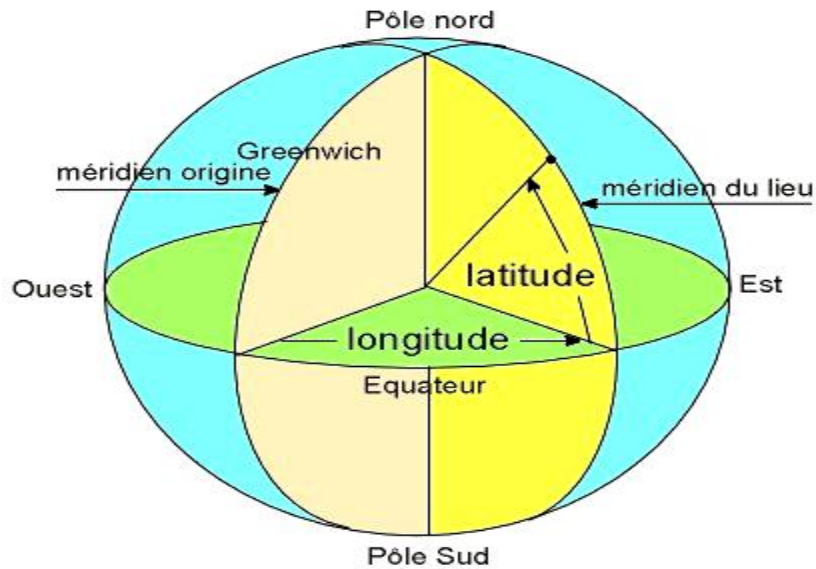


Figure I.3 : Les coordonnées terrestres [4]

I.2.4 Trajectoire du soleil

Pour produire un maximum d'électricité, un module photovoltaïque doit être positionné de façon perpendiculaire aux rayons du soleil. Ceci est très généralement impossible à obtenir car la position du soleil varie constamment en fonction de la journée et la période de l'année, donc il est nécessaire de décrire la trajectoire du soleil apparente qui dépend de l'altitude et la longitude de ce Point de la surface terrestre [20].

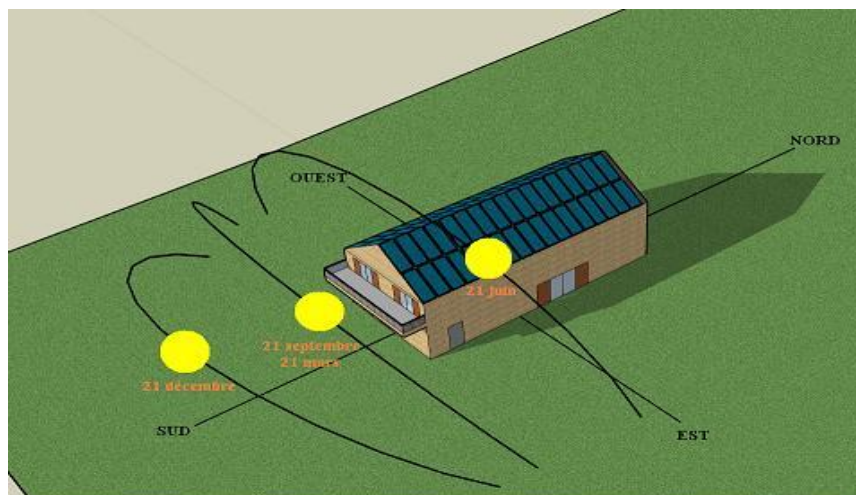
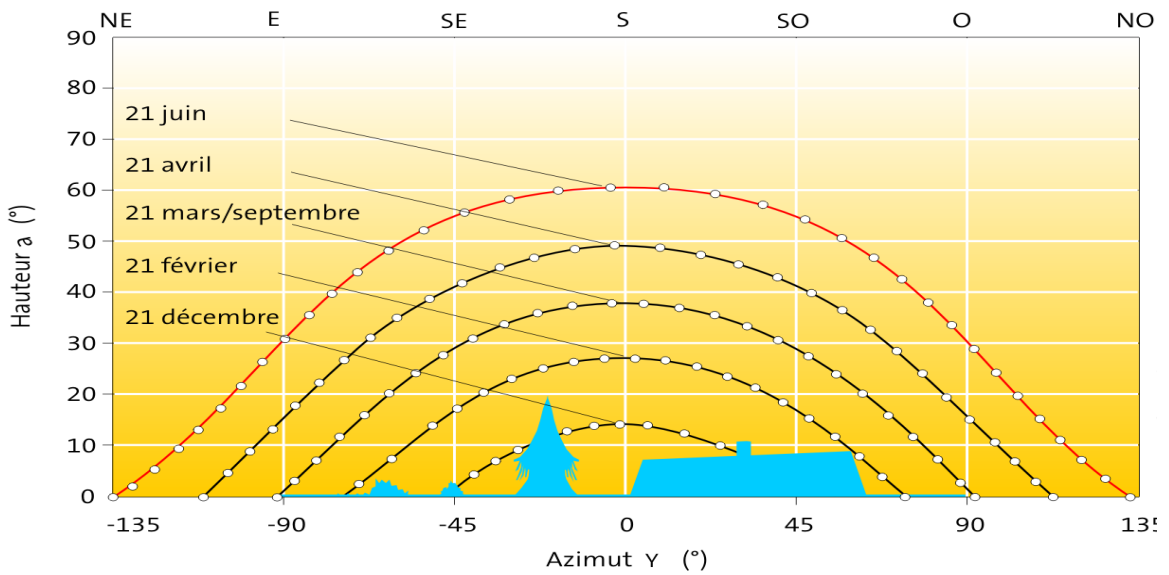


Image I.2 : Position de la terre par rapport au soleil en différents mois de l'année [20]

Azimut : l'azimut (parfois orthographié azimuth) est l'angle dans le plan horizontal entre la direction d'un objet et une direction de référence. Le terme est issu de l'espagnol "acimut". Cette référence peut être le nord géographique ou magnétique. L'azimut est mesuré depuis le nord en degré de 0° (inclus) à 360° (exclus) dans le sens rétrograde (sens des aiguilles d'une montre) : ainsi l'est est au 90°, le sud au 180° et l'ouest 270°.

La figure suivante trace les trajectoires décrites par le soleil pour un lieu donné. On peut lire la hauteur et l'azimut du soleil pour un instant quelconque de l'année :



Trajectoire du soleil à Bouzeguène site, (Lat. 36.3°N, long. 4.3°E, alt. 1094 m)

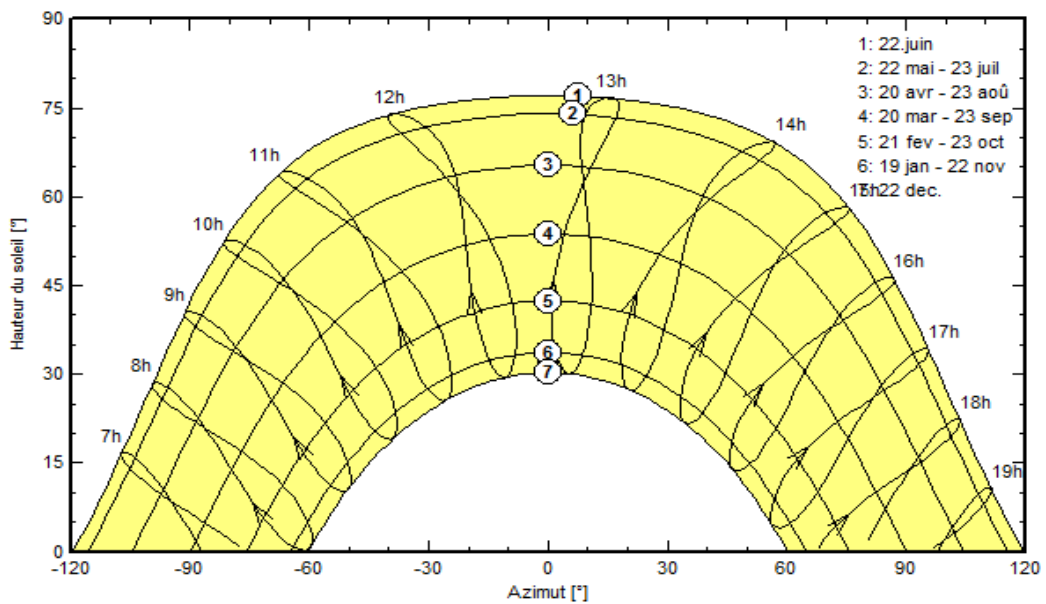


Figure I.4 : Tracé de l'horizon dans le diagramme hauteur Azimut du soleil

I.3 L'énergie photovoltaïque

Le terme " photovoltaïque " est venu du grec ancien, composé de deux mots : " photo " qui veut dire : lumière, et de " volta" qui est le nom de famille du physicien italien "Alessandro Volta" qui inventa la pile électrique en 1800 et donna son nom à l'unité de mesure de la tension électrique (le Volt).

L'effet photovoltaïque, découvert en 1839 par le français Antoine-César Becquerel, désigne la capacité que possèdent certains matériaux, notamment les semi-conducteurs, à convertir directement les différentes composantes de la lumière du soleil (et non sa chaleur) en électricité.

L'énergie solaire photovoltaïque convertit directement le rayonnement lumineux (solaire ou autre) en électricité. Elle utilise pour ce faire des modules photovoltaïques composés de cellules solaires ou de photopiles qui réalisent cette transformation d'énergie [6].

I.3.1 La cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque ou photopile est le plus petit élément dans une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériau semi-conducteur qui est le silicium en général, et transforme l'énergie lumineuse en énergie électrique [6].

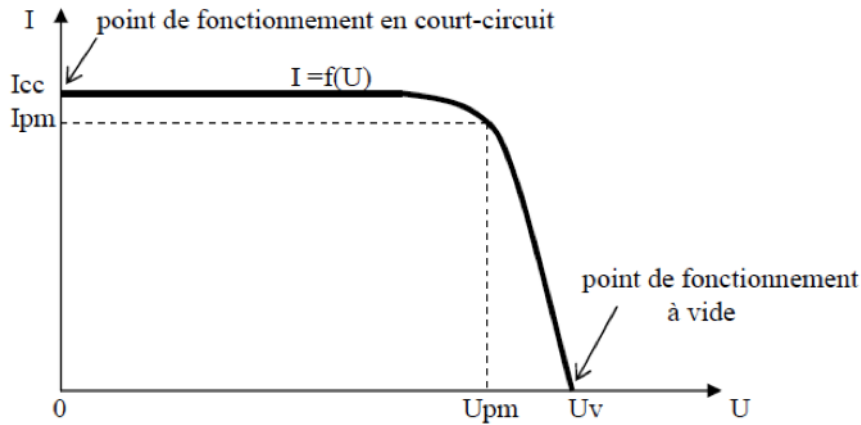
I.3.1.1 Le principe de fonctionnement d'une cellule solaire

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière, donc transformation de l'énergie solaire en énergie électrique. Cette conversion est basée sur les trois mécanismes suivant :

- Absorption des photons (dont l'énergie est supérieure au gap) par le matériau constituant le dispositif.
- Conversion de l'énergie du photon en énergie électrique, ce qui correspond à la création des paires électron/trou dans le matériau semi-conducteur.
- Collecte des particules générées dans le dispositif [6].

I.3.1.2 Caractéristiques électriques d'un module photovoltaïque :

1. Caractéristiques Courant / Tension ($g=1000W/m^2$ et $T=25C^\circ$)



2. Caractéristiques Puissance / Tension ($g=1000W/m^2$ et $T=25C^\circ$)

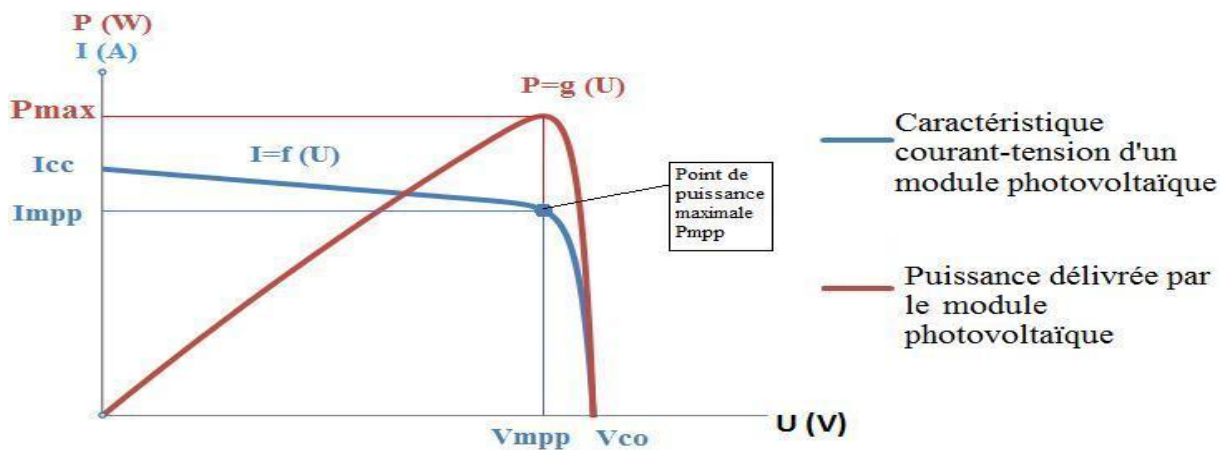
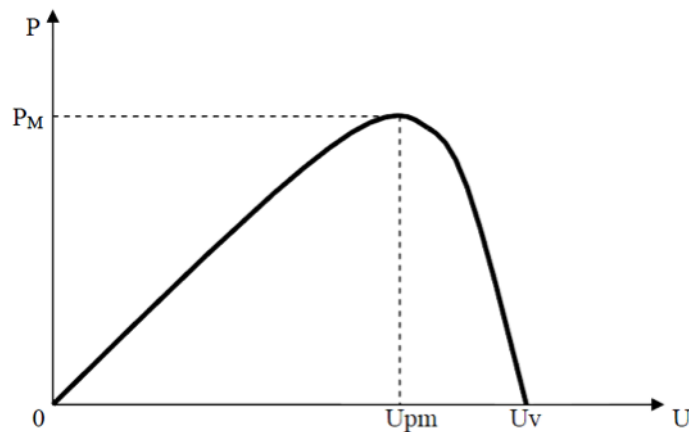


Figure I.5 : Caractéristiques électriques courant/tension et puissance/tension [6]

I.4.1 Effet du niveau d'éclairement sur le module photovoltaïque

L'éclairement correspond à l'intensité lumineuse captée par le module photovoltaïque, et se mesure en W/m^2 . La nuit, l'éclairement est nul ($0 W/m^2$). L'éclairement varie au cours de la journée entre 0 et $1000 W/m^2$ (valeur maximum), en fonction de la saison. L'éclairement a une nette incidence sur la valeur de I_{cc} . Lorsque l'éclairement double, I_{cc} double aussi. L'éclairement a très peu d'incidence sur la tension à vide V_{co} [7].

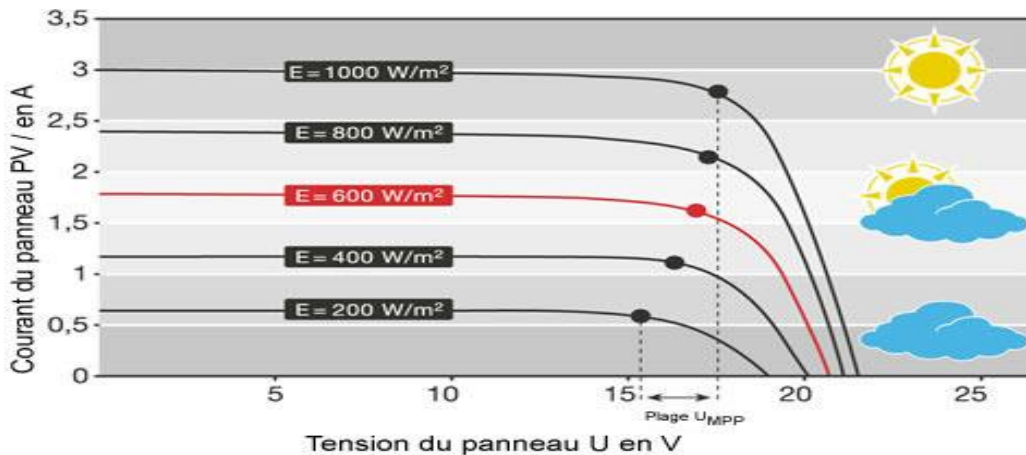


Figure I.6 : Effet de l'ensoleillement sur la puissance générée par le module [7]

I.4.2 Effet de la température des cellules sur le module photovoltaïque

La température du module a une forte influence sur la tension à vide du module. Plus la température du module augmente, plus la tension à vide V_{co} diminue. Par contre, la température du module influence très peu le courant de court-circuit I_{cc} [7].

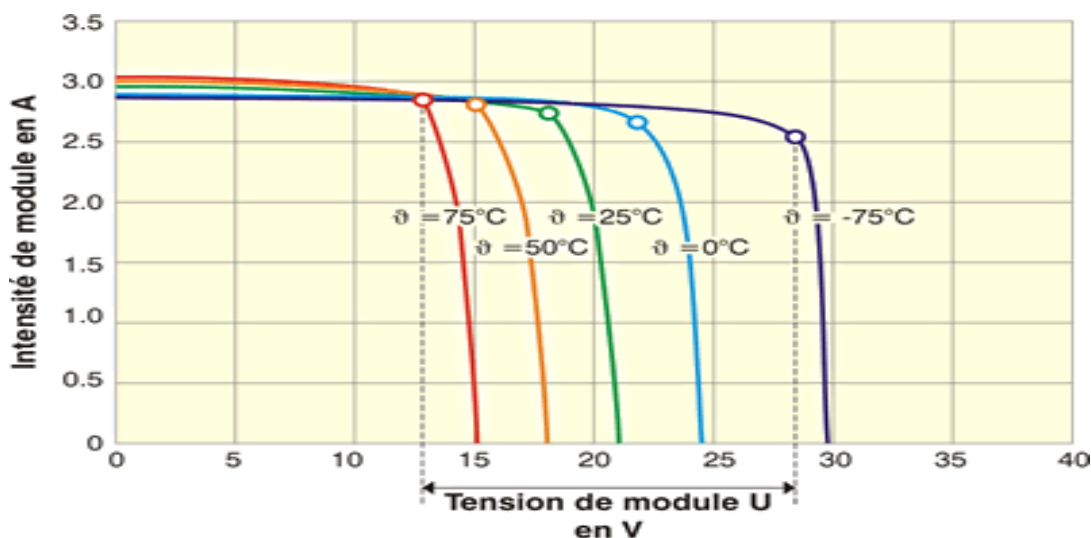


Figure I.7 : Effet de la température sur la puissance générée par le module [7]

I.5 Les centrales solaires

Les centrales solaires photovoltaïques utilisent le rayonnement solaire pour produire de l'électricité.

Une centrale solaire photovoltaïque est composée de plusieurs champs de panneaux solaires comportant un grand nombre de cellules photovoltaïques convertissant directement l'énergie lumineuse en électricité.

Un système photovoltaïque est un ensemble complet d'équipement permettant de transformer la lumière du soleil en électricité et l'utiliser pour alimenter des équipements tels que des lampes, des petits appareils (radio, télévision, chaîne HiFi, ordinateur), des pompes, etc. Le système solaire fournit généralement une tension nominale de 12V en courant continu (CC) qui peut être adapté en fonction de son utilisation, ($12V_{CC}$, $24V_{CC}$, $220V_{CA}$ ou $110 V_{CA}$).

Une installation photovoltaïque (PV) est dite autonome – ou isolée – quand elle n'est pas reliée à un réseau de distribution. Le système PV autonome permet de fournir du courant électrique à des endroits où il n'y a pas de réseau. Il se révèle particulièrement adapté pour des applications comme une pompe dans le jardin, l'éclairage en zone isolée, l'alimentation de bornes téléphoniques le long de l'autoroute, où des maisons très éloignées, etc. Pour ces applications il n'est pas toujours possible de mettre en place un réseau d'alimentation classique, soit à cause de contraintes techniques, soit pour des raisons économiques.

Le système autonome doit être capable de fournir du courant aux consommateurs pendant la période de l'année de moindre irradiation lumineuse. Si on a besoin du courant toute l'année, la période de moindre irradiation est l'hiver (pour l'Europe). Pendant cette période, il faudra plus de panneaux pour couvrir les mêmes besoins qu'en été. Les batteries donnent une autonomie au système pour des applications nocturnes ou quand les panneaux ne fournissent pas assez de courant.

La production totale nécessaire est calculée simplement en additionnant les consommations de chaque appareil en service, La puissance électrique de chaque appareil est notée avec une estimation du temps pendant lequel on veut employer l'appareil. Ces chiffres donnent une idée de la consommation globale et autorisent le calcul du nombre de panneaux solaires requis [8].

I.5.1 Les composants du système photovoltaïque autonome

Dans les infrastructures hors-réseau, le système PV est soit indépendant ou possède une configuration centralisée qui dessert plusieurs unités. Le système distribue soit un courant direct continu (CD) ou un courant alternatif (CA). Les principales composantes du système sont les panneaux PV, les batteries et un contrôleur de la charge d'énergie. De plus, un onduleur est utilisé dans les systèmes qui distribuent un courant alternatif (CA).

Ce système solaire est composé de 5 éléments essentiels qui sont: [9]

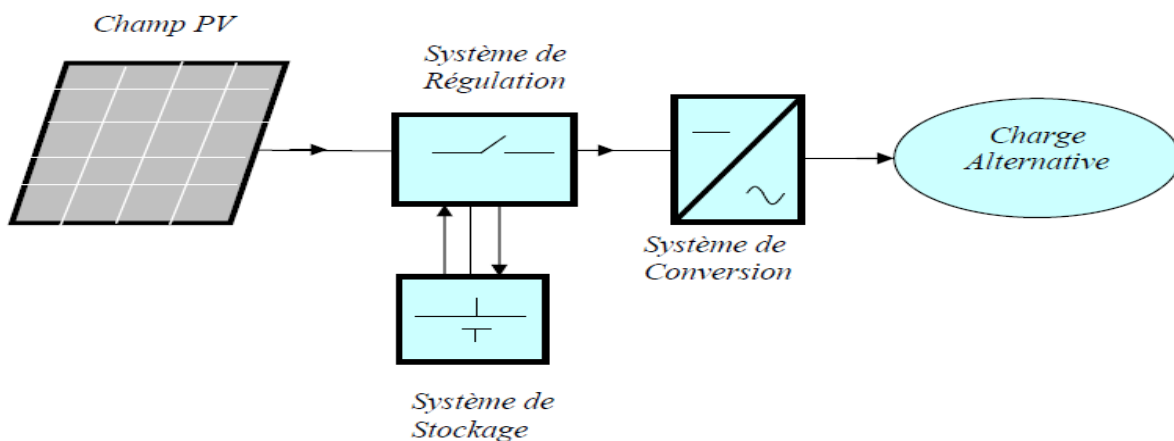


Figure I.8 : Schéma d'un système photovoltaïque autonome [7]

I.5.1.a Générateur photovoltaïque

La conversion directe de la lumière en énergie électrique se fait par l'intermédiaire de composants électroniques à semi-conducteur, appelés cellules photovoltaïques (PV), dans lesquels l'absorption des photons libère des électrons chargés négativement et des trous chargés positivement. Cette conversion est obtenue selon un processus dit effet photovoltaïque qui ne peut se produire que s'il existe une barrière de potentiel dans le semi-conducteur, avant qu'il soit éclairé (Création de deux zones N et P à l'aide d'un dopage avec deux différentes impuretés). Quand on met le matériau sous un éclairage, les charges électriques, sont rendues mobiles par l'énergie des photons et par l'effet du potentiel électrique de la jonction qui a le rôle de séparer les charges positives des charges négatives.

1. Historique des cellules photovoltaïques

Le physicien français Edmond Becquerel décrit le premier l'effet photovoltaïque en 1839 et Einstein en expliqua les mécanismes en 1912, mais cela resta une curiosité scientifique de laboratoire jusque dans les années 50. Becquerel découvrit que certains matériaux délivrent une petite quantité d'électricité quand on les expose à la lumière. L'effet fut étudié dans les solides tels que le sélénium par Heinrich Hertz dès les années 1870. Avec des rendements de l'ordre de 1%, le sélénium fut rapidement adopté par les photographes comme luxmètre [10].

De rapides progrès furent obtenus dès les années 1950 par les équipes de Bell Laboratoires qui fabriquèrent la première cellule au silicium cristallin de rendement 4% à partir du procédé de tirage Czochralski.

L'industrie des semi-conducteurs contribua largement au développement des cellules solaires. Après tout, une cellule solaire classique n'est rien d'autre qu'une grande diode au silicium ayant la surface de la totalité de la plaquette sur laquelle elle est déposée. La taille des cellules PV accompagna d'ailleurs la progression de la dimension des wafers de l'industrie des circuits [10].

2. Différentes technologies

Actuellement les principales technologies sont le silicium monocristallin, poly cristallin et l'amorphe. Les cellules photovoltaïques au silicium monocristallin ont un meilleur rendement, il varie généralement de 13 à 18%. Les cellules au silicium poly cristallin possèdent les mêmes caractéristiques physiques cependant elles ont un rendement légèrement inférieur, soit de 12 à 15%. Le silicium amorphe est la troisième technologie utilisée, son rendement est de 6 à 10%. D'une manière générale le rendement de la cellule varie selon la nature du matériau et le procédé de fabrication [11].

3. Module Photovoltaïque

La tension générée par une cellule étant très faible, pour avoir des tensions compatibles avec des charges à alimenter, il faudra associer en série-parallèle plusieurs cellules. Celles-ci sont encapsulées dans une même structure pour former un module (figure I.11).

L'encapsulation ainsi réalisée va avoir deux rôles principaux :

- Protection des cellules contre les agressions extérieures (chocs, humidité,...).
- Contrôle de température des cellules qui va permettre une bonne dissipation vers l'extérieur de la partie de l'énergie incidente qui n'est pas transformée en énergie électrique [11].

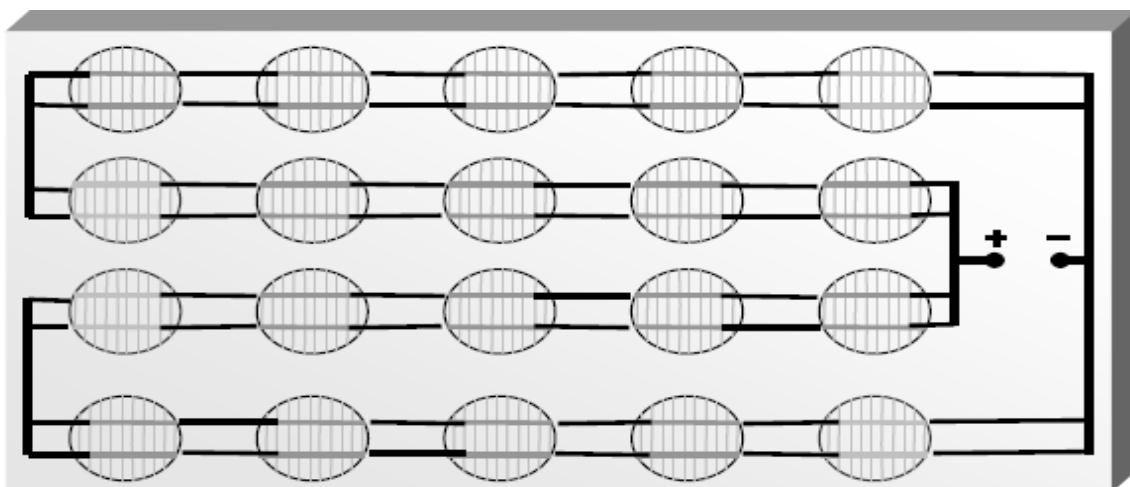


Figure I.9 : Module PV en groupement série - parallèle des cellules [11]

4. Constitution d'un générateur PV

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

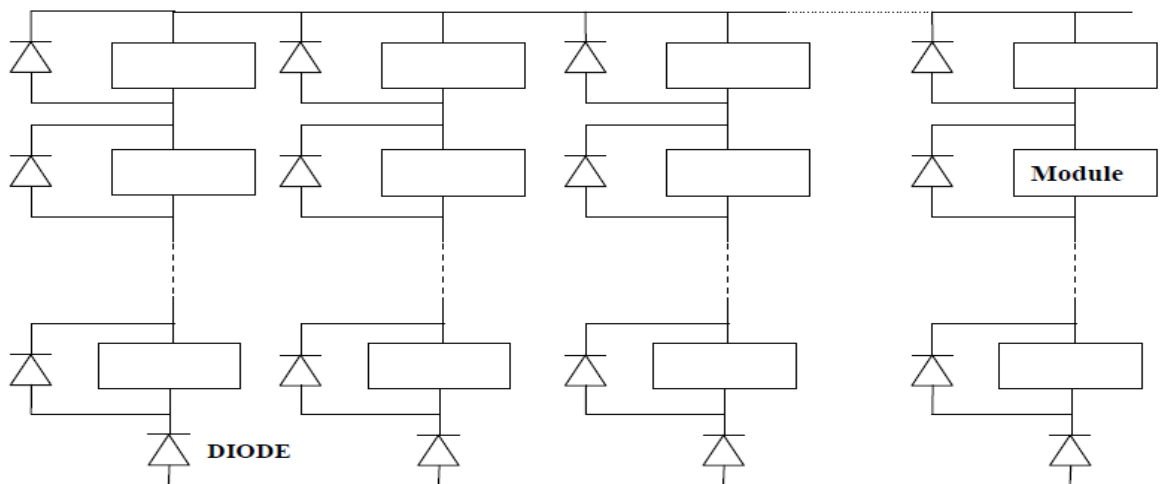


Figure I.10 : Schéma synoptique d'un générateur PV [11]

Les diodes en série

Pour empêcher la batterie de se décharger la nuit dans les cellules PV ou pour empêcher une série de modules contenant un module défaillant ou masqué de devenir réceptrice du courant fourni par les autres séries, qui ont alors une tension plus élevée qu'elle, une diode est intégrée dans chaque série. On l'appelle aussi diode anti-retour et elle est située en série avec les modules.

Les diodes en parallèles

Au sein d'une série un module qui ne peut plus produire d'énergie (masqué, défaillance), doit être protégé pour ne pas devenir récepteur et s'endommager irrémédiablement ; des diodes sont donc placées en parallèle sur chacun des modules du générateur. Elles permettent de dévier le courant produit par les autres modules de la série et sont placées en parallèle avec les modules. [11].

I.5.1.b Stockage de l'énergie

1. Autonomie

L'autonomie d'une installation photovoltaïque est le nombre de jours pendant lesquels les batteries initialement chargées peuvent assurer les besoins en électricité sans que les modules ne fonctionnent.

Autrement dit, les batteries emmagasinent de l'énergie lorsque les modules sont éclairés, lorsque les modules ne produisent plus (nuit, panne, mauvais temps ...), les batteries peuvent continuer de restituer cette électricité pendant quelques jours. Il faut donc se demander combien de temps on souhaite avoir de l'électricité en cas de problèmes. En général, on peut partir sur une base de quatre jours d'autonomie, bien entendu, cela dépend fortement de l'usage que l'on a de son installation et des conditions météorologiques. Cependant, même lorsque le soleil est caché, les modules continuent de produire de l'électricité grâce au peu de lumière qu'ils reçoivent, avec quatre jours d'autonomie en réserve, on peut donc affronter deux semaines de mauvais temps.

Cet exemple illustre l'utilité de l'autonomie, comme on peut le voir, à la fin du 6^{ème} jour, les modules cessent brusquement de produire de l'énergie. Ils peuvent être tombés en panne, être recouvert de feuilles ou de neige... Malgré tout, avec leurs quatre jours d'autonomie, les batteries vont continuer d'assurer le fonctionnement du système en attendant qu'une solution soit trouvée [12].

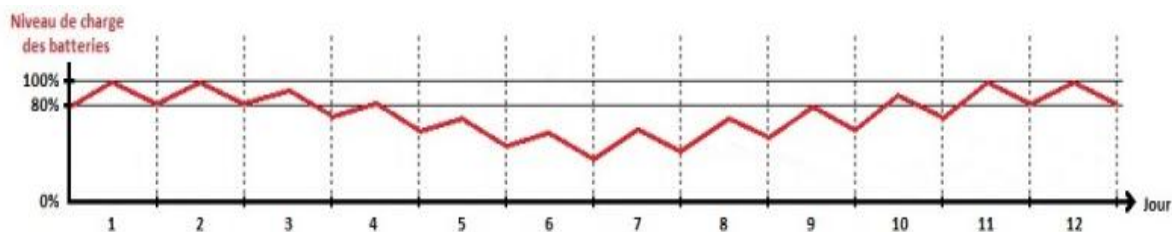


Figure I.11 : Niveau de charge des batteries

Dans une installation PV, le stockage correspond à la conversion de l'énergie produite par le générateur PV, en attente pour une utilisation ultérieure. La gestion de l'énergie solaire nécessite d'envisager des stockages suivant les conditions météorologiques et qui vont répondre à deux fonctions :

- Il permet de satisfaire les besoins en énergie électrique malgré le caractère aléatoire et discontinu de l'énergie solaire (rythme jour/nuit, variation en fonction des heures du jour et des saisons).
- Outre sa fonction de stockage d'énergie, il assure un rôle de tampon, entre la production et l'utilisation en fixant la tension du système. Celle-ci reste dans la zone de fonctionnement optimal (fonction d'adaptation d'impédance).

2. Les caractéristiques principales d'une batterie

2.1 Capacité en Ampère heure

Les Ampères heures d'une batterie sont simplement le nombre d'Ampère qu'elle fournit multiplié par le nombre d'heure pendant lesquelles circule ce courant. Théoriquement par exemple, une batterie de 200Ah peut fournir 200A pendant une heure, ou 50A pendant 4 heures, ou 4A pendant 50 heures, il existe des facteurs qui peuvent faire varier la capacité d'une batterie tel que : [13]

a. Rapport de chargement et déchargement

Si la batterie est chargée ou déchargée à un rythme différent que celui spécifié, la capacité disponible peut augmenter ou diminuer. Généralement, si la batterie est déchargée à un rythme plus lent, sa capacité augmentera légèrement. Si le rythme est plus rapide, la capacité sera réduite.

b. Température

Un autre facteur qui influence la capacité est la température de la batterie et celle de son atmosphère. Le comportement d'une batterie est spécifié de 27 degrés. Des températures plus faibles réduisent leur capacité significativement. Des températures plus hautes produisent une légère augmentation de leur capacité, mais ceci peut augmenter la perte d'eau et diminuer la durée de vie de la batterie.

c. La charge

Pendant la charge, l'accumulateur est un récepteur (environ 2,2V), en fin de charge (point M), on note un accroissement de la tension, les plaques complètement polarisées, la fin de charge est atteinte à 2,6 ou 2,7V.

d. La décharge

Durant une assez longue durée d'utilisation, la tension reste remarquablement constante à la valeur de 2V environ. A partir du point N elle diminue brusquement à 1,8V, il faut alors recharger les accumulateurs.

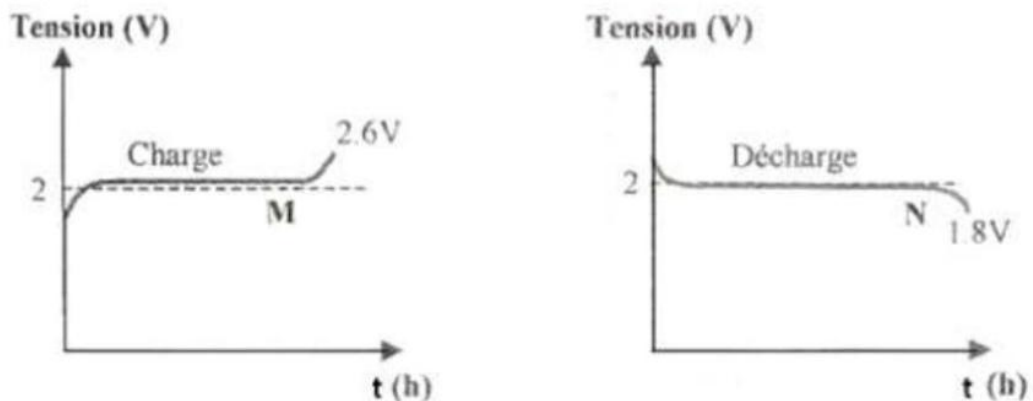


Figure I.12 : Caractéristique charge et décharge d'une batterie [13]

e. Profondeur de décharge

La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie qui est utilisée pendant un cycle de charge/décharge. Les batteries de " Cycle peu profond" sont conçues pour des décharges de 10 à 25% de leur capacité totale dans chaque cycle. La majorité des batteries de " Cycle profond " fabriquées pour les applications photovoltaïques sont conçues pour des décharges jusqu'à 80% de leur capacité sans les dommages. Les fabricants de batteries de nickel-Cadmium assurent qu'elles peuvent totalement être déchargées sans aucun dommage.

Cependant, même les batteries de cycle profond sont affectées plus la décharge est grande plus la durée de vie de la batterie est réduite [13].

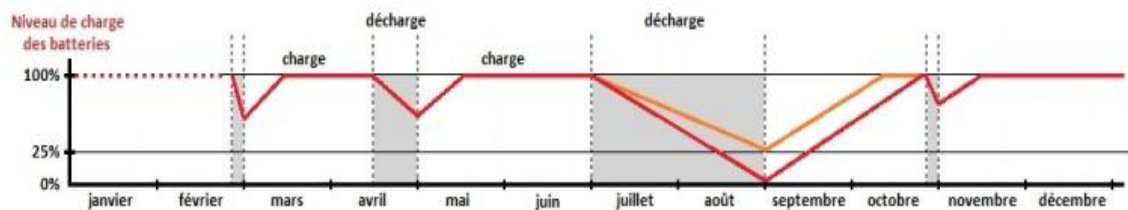


Figure I.13 La profondeur de décharge de batterie

f. La durée de vie

Un accumulateur peut être chargé puis déchargé complètement en un certain nombre de fois avant que ces caractéristiques ne se détériorent. Par ailleurs, quel que soit le mode d'utilisation de l'accumulateur il y a une durée de vie totale exprimée en année (ou le nombre de cycles).

g. La tension d'utilisation

C'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge.

h. Le rendement

C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur [13].

i. Le taux d'autodécharge

L'autodécharge est la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos (sans charge) pendant un temps donné. La plupart des batteries modernes sont à faible autodécharge, c'est-à-dire qu'elles perdent moins de 3% de capacité par mois à 20°C.

3. Les types d'accumulateurs

Les deux principaux types d'accumulateurs utilisables actuellement sont :

- Les accumulateurs au plomb.
- Les accumulateurs au cadmium-nickel (accumulateurs à électrolyte alcalin).

Les accumulateurs au cadmium-nickel peuvent être utilisés pour des applications de puissance relativement faible. Le coût élevé de ce type d'accumulateurs (par rapport aux, accumulateurs au plomb) en limite l'utilisation pour les mini et micro-puissances. Le stockage est représenté par des batteries, disposées en série dont le nombre définirait la tension de fonctionnement et la capacité de stockage désirées.

La durée de vie des accumulateurs dépend en général de leur condition d'utilisation, pour ces deux types des batteries la durée de vie est de 10 à 15 ans, mais à une condition essentielle, c'est de maintenir leur état de charge supérieur à 50 % [11].

a. Utilisation d'une batterie solaire

Il existe trois grandes utilisations pour les accumulateurs :

- La batterie de démarrage.
- La batterie de traction.
- La batterie stationnaire.

Une batterie n'est pas seulement caractérisée par ses dimensions, son nombre d'éléments et sa capacité, mais doit répondre à différents critères :

- Durée de la décharge.
- Régime de décharge.
- Aptitude à la recharge.
- Température d'utilisation.
- Résistance mécanique.
- Fréquence des adjonctions d'eau distillée.
- Entretien.
- Durée de vie envisagée.



Image I.3 : Batterie solaire

Il y a parfois contradiction dans les exigences, nécessitant alors un compromis ; c'est le cas de la batterie solaire à laquelle on demande des performances de batterie de traction et de batterie stationnaire :

- Batterie de traction, parce qu'on lui demande un cycle journalier de décharge (pas toujours suivi d'une recharge).
- Batterie stationnaire, parce qu'on lui demande de stocker une énergie et de la restituer en cas de coupure secteur, qui sera le non-enseulement.

Influence des différents paramètres

Les paramètres les plus importants agissant sur la vitesse des réactions chimiques et électrochimiques sont : [11]

- paramètres externes : température, pression, temps.
- Paramètres électriques : potentiel, intensité.
- Paramètres de l'électrode : nature de matériau, surface, géométrie, état de surface.
- Paramètres de la solution : concentration des espèces électro actives, nature du solvant, concentration de l'électrolyte.
- Paramètre du transfert de masse : mode (diffusion), concentration à la surface de l'électrode.

b. Technologies du stockage

Batteries Plomb

- Batteries ouvertes : ne pas utiliser les batteries de démarrage (automobiles) = autodécharge.
- Batteries ouvertes dites " de traction " ou "solaires " : léger entretien mais robuste et durable.
- Batteries fermées (sans entretien).
- Electrolyte gel : meilleures durées de vie 10 ans à 25°C, bon comportement en temps ; Chères.
- AGM (électrolyte imprégnée) : durées de vie légèrement inférieures, 5-7 ans, meilleur rapport qualité/prix.
- CYCLON spiralées – AGM Plomb pur : durées de vie équivalentes au gel, très bon comportement en temps.
- Tensions 2, 4, 6, 12V.
- Capacités de 1 à 6000 Ah.
- Bon rendement de charge à C/100, voire C/1000.

Influence de la température

- Hautes températures : baisse de la durée de vie : Durée de vie / 2 tous les 10°C : Gel 5 ans à 35°.
- Hautes températures : baisse de la durée de vie : Durée de vie / 2 tous les 10°C : Gel 5 ans à 35°.

Batteries Ni (NiMH ou NiCd)

- Tension 1.2V nominale 2.4, 3.6, 4.8, 7.2 ...
- 2 gammes Bâtons et boutons NiMH : Capacités de 20 à 2000mAh Batteries de puissance NiCd (SNCF) : qq 10 ou 100Ah.

Influence de la température :

- Basses températures : problème de charge aux températures négatives (souvent éliminatoire pour le photovoltaïque).
- Rendement de charge décroissant avec le courant de charge : typiquement 60% à C/100 (selon technologie).
- Gamme de capacité intéressante pour les petits systèmes.
- Compromis difficile entre le courant de charge et la température d'utilisation.
- Extérieur : fort courant, bon rendement mais temps négatives.
- Intérieur : faible courants > faibles rendements de charge.

Batteries Li-ion

- Tension 3.6V nominale.
- Capacités 0.8 à 3Ah (gamme téléphones et autre appareils portables).
- Très compact / onéreux.
- Charge difficile à partir d'un panneau solaire.
- Courants très variables.
- Problème des surtensions qui peut mener à de l'auto inflammation.
- Intéressantes pour les solutions très compactes peu sensibles au prix.
- Moyennant une excellente protection surcharge compensée en température.
- Super capacités.
- Tension 2.7 ou 5.5 V.
- Capacité jusqu'à 100F.
- Modèles récents à très faible courant de fuite.
- Intéressantes pour les solutions de faible capacité ayant une large plage de tension des fonctions alimentées ($I \Delta t = A.s = C \Delta V$).
- Bien protéger aussi contre la surcharge [11].

I.5.1.c Régulation

1. Rôle de la régulation dans les systèmes photovoltaïques

Le régulateur assure deux fonctions principales :

- La protection des batteries contre les surcharges et les décharges profondes.
- L'optimisation du transfert d'énergie du générateur PV à l'utilisation.



Image I.4 : Régulateur

2. Principe de fonctionnement des régulateurs

Information sur l'état de charge : La densité de l'électrolyte de la batterie est théoriquement un excellent indicateur d'état de charge, mais souvent cet indicateur ne prend sa valeur caractéristique que plusieurs jours après sa charge.

De plus, il faudrait agiter l'électrolyte pour faire une bonne mesure. Enfin, cette mesure est difficile à automatiser.

Finalement l'indicateur utilisé est la tension aux bornes de la batterie. Cette grandeur est la seule facilement mesurable capable de donner une estimation de l'état de charge.

La figure I.15 représente un schéma électronique de principe qui traduit le fonctionnement d'un régulateur basé sur un comparateur de tension.

Le régulateur doit maintenir l'état de charge des batteries entre deux seuils, un seuil haut et un seuil bas. Pour éviter tout phénomène de battement de la régulation, ces deux seuils sont doublés de seuils de ré enclenchement qui peuvent être ou non confondus. Le choix des seuils de régulation dépend des caractéristiques des batteries et des conditions d'utilisation (régime de charge, décharge, température,....).

Il existe plusieurs types de régulateur, on peut citer deux types, le régulateur série et le régulateur parallèle [11].

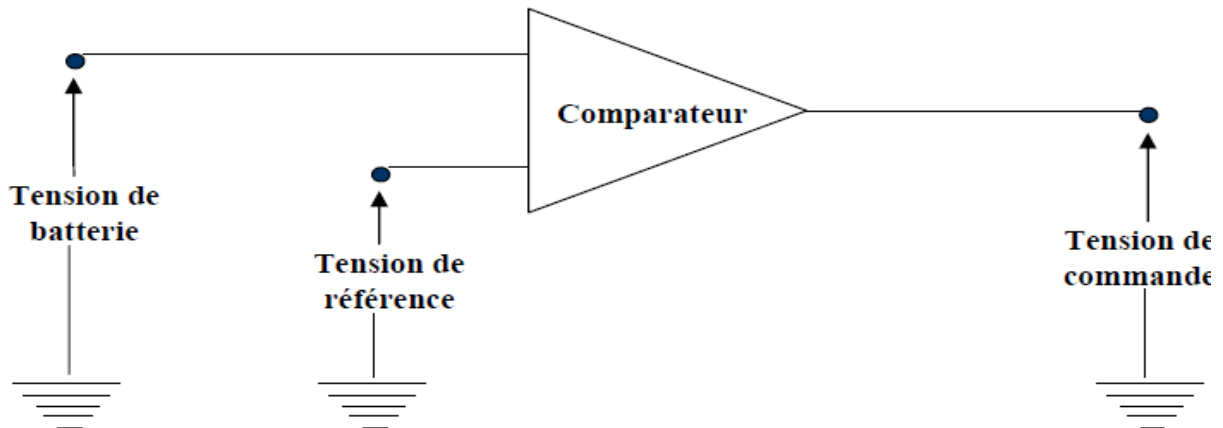


Figure I.14 : Schéma de principe d'un régulateur de charge [11]

3. Régulateur parallèle

Le circuit de débordement est connecté en parallèle sur le générateur pour dissiper l'énergie en excès. Le principe est décrit sur la figure 1.5, où la tension de fin de charge est ajustable par la tension de référence appliquée à l'entrée d'un amplificateur opérationnel.

Les principaux avantages de ce type de régulateur sont :

- La régulation de type proportionnel.
- L'absence de la chute de tension dans le circuit série.
- La consommation du régulateur négligeable.
- Un défaut du régulateur n'interrompt pas la charge.

Le principal inconvénient est le suivant :

- Les composants doivent dissiper la puissance totale du générateur.

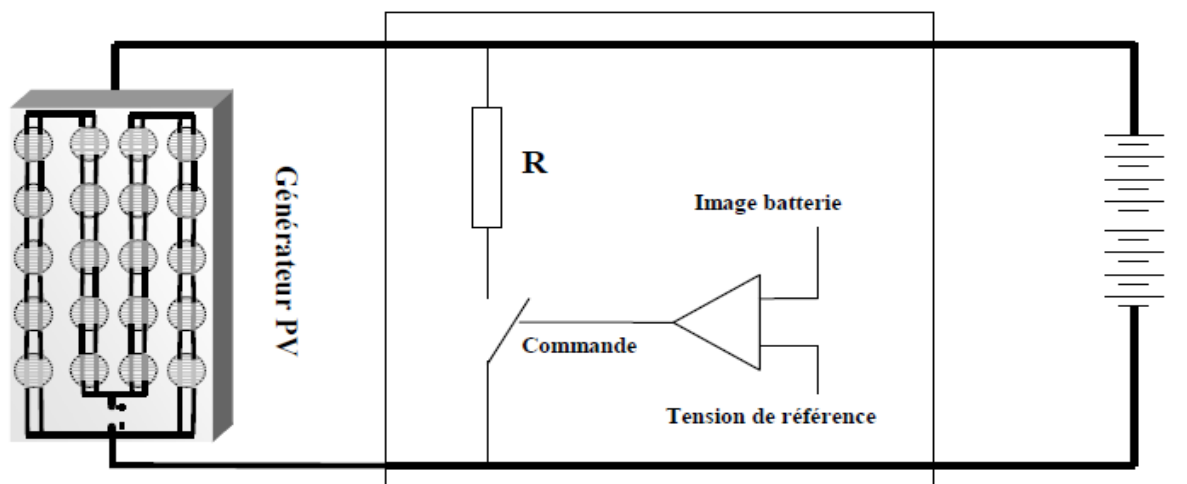


Figure I.15: Régulateur parallèle [11]

4. Régulateur série

Le principe de la régulation série est décrit sur la figure 1.6. C'est un composant électronique de puissance en série dans le circuit de charge dont la commande est assurée par une tension de référence. Le schéma ci-dessous donne un exemple possible de circuit série. Le composant électronique série (par exemple : un transistor de puissance) se comporte comme une résistance dont la valeur augmente au fur et à mesure qu'augmente l'état de charge de la batterie.

Les principaux avantages en sont :

- La régulation de type proportionnel.
- La puissance faible dissipée dans le circuit série comparée à la puissance du générateur PV.

Les principaux inconvénients en sont :

- Le circuit série introduit une chute de tension.
- La défaillance du circuit série entraîne l'arrêt de la charge.

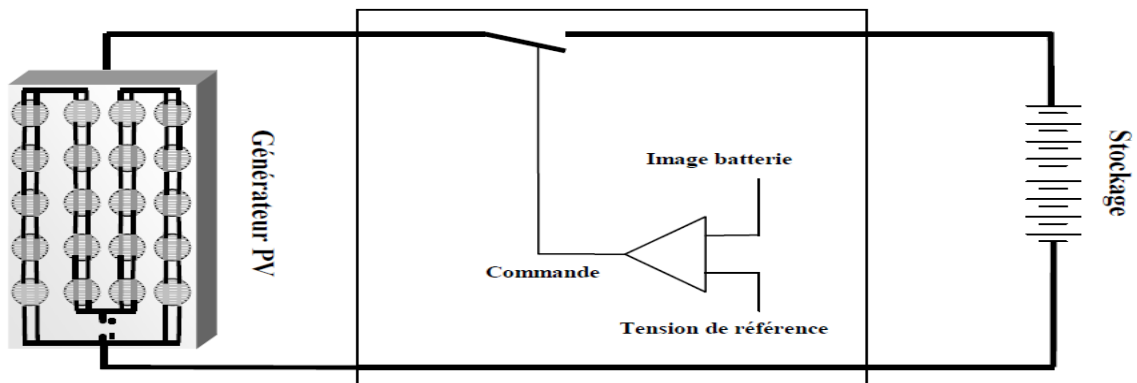


Figure I.16: Régulateur série [11]

I.5.1.d Convertisseur Continu-Alternatif

Son rôle est de transformer l'énergie électrique continue délivrée par le générateur photovoltaïque en énergie électrique alternative. De tels appareils doivent délivrer un signal le plus proche possible du signal sinusoïdal et avec une fréquence précise. En effet, pour les fonctionnements de la plupart des charges, la présence d'harmoniques est néfaste. Ces appareils appelés couramment onduleurs, présentent généralement deux inconvénients majeurs :

- pertes à vide très élevées.
- rendement acceptable uniquement pour la charge nominale [11].

Pour les systèmes PV, leur utilisation représente un gaspillage d'énergie important, surtout lorsque la charge est variable au cours du temps et est bien inférieure à sa valeur nominale. Il convient de choisir un onduleur dont les pertes à vide doivent être réduites et le rendement doit être moins sensible au pourcentage de la puissance appelée.

La principale caractéristique de l'onduleur PV est la recherche du meilleur point de fonctionnement du système.

En effet, le générateur PV (ensemble de modules PV) a une courbe caractéristique $I = f(V)$ non linéaire (figure I.7).

Pour un éclairement et une température donnés, la tension en circuit ouvert ou à forte charge est à peu près constante (assimilable à une source de tension), tandis qu'en court-circuit ou à faible charge le courant est pratiquement constant (source de courant).

- Le générateur n'est alors ni vraiment une source de tension ni vraiment une source de courant non plus.
- La tension de circuit ouvert est sensible à la température et diminue quand la température augmente. Le courant de court-circuit est quant à lui proportionnel à l'éclairement : augmente si l'éclairement augmente [11].



Image I.5 : onduleur

Les onduleurs des systèmes photovoltaïques

Le meilleur point de fonctionnement du système correspond au point de cette courbe où la puissance, produit de la tension et du courant, est maximisée. Il se situe au milieu de la caractéristique. (Figure I.17)

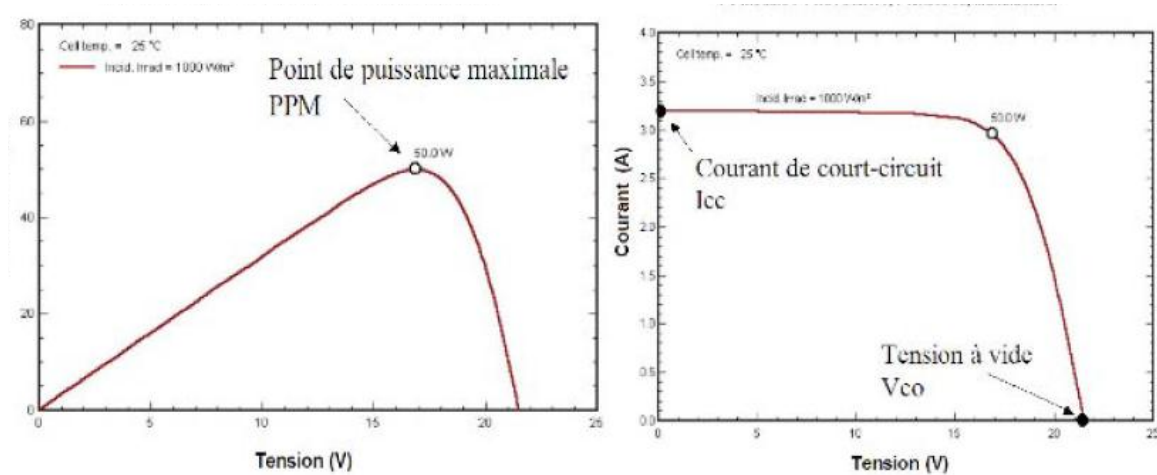


Figure I.17 : Courbes caractéristiques d'un module photovoltaïque [6]

En régime permanent établi, la tension et le courant du capteur sont considérés comme constants. L'utilisation d'un onduleur de tension plutôt qu'un onduleur de courant est alors essentiellement motivée par des raisons technologiques.

L'onduleur de tension impose à sa sortie un système de tensions sous forme de créneaux modulés en largeur d'impulsions (MLI* ou PWM* en anglais). Ces créneaux ne posent aucun problème pour l'alimentation d'un moteur, mais sont incompatibles avec les tensions sinusoïdales du réseau.

On place alors entre chaque sortie de l'onduleur et chaque phase du réseau (onduleur monophasé ou triphasé) une inductance qui joue le rôle de filtre et permet à l'onduleur de fournir au réseau des courants quasi sinusoïdaux : d'un point de vue formel elle transforme l'onduleur de tension en onduleur de courant.

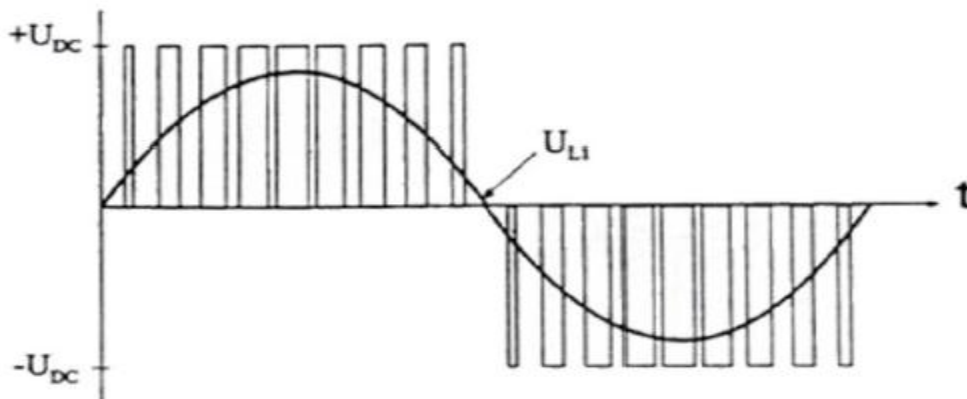


Figure I.18 : Filtrage de la tension par l'inductance de sortie [19]

I.5.1.e La charge

La charge représente les différentes applications du système PV, allant du simple chargeur de batterie aux systèmes de pompage d'eau. Ainsi les principales applications sont: utilisations domestiques (électrification), télécommunications, protection cathodique des pipelines, appareillages de contrôle de l'environnement, météorologie, transports, utilisations maritimes, activités récréatives, appareillages de sécurité, ...etc.

D'autres applications plus importantes se trouvent actuellement au stade de pratique courante, à savoir : fourniture de courant pour les stations radio et télévision (TV), le dessalement de l'eau et la production d'hydrogène par électrolyse.

Ces applications peuvent nécessiter différents types d'alimentation (tension continue ou alternative). Elles se différencient par leurs utilisations diurne, nocturne ou constante sur la journée ainsi que par leur nature (puissance constante, résistive, inductive ou capacitive) [11].

I.6 Installation du générateur PV

I.6.1 Orientation et inclinaison du générateur PV

Il est important que les modules soient orientés plein sud pour capter l'énergie quotidienne maximale, quelle que soit la saison. Pour cela, le sud magnétique peut être déterminé à l'aide d'une boussole.

L'inclinaison est le second paramètre important. Elle est principalement choisie en fonction du profil de consommation tout au long de l'année.

Une inclinaison faible par rapport à l'horizontale favorise la captation de l'énergie solaire pendant l'été.

Une inclinaison importante par rapport à l'horizontale favorise la captation de l'énergie solaire pendant l'hiver et par-là permet de diminuer les variations énergétiques entre l'hiver et l'été. Par contre, cette inclinaison oblige à dimensionner le générateur sur les apports d'hiver et elle conduit généralement à une surproduction d'énergie électrique en été [11].

I.6.2 Le masque

Il est extrêmement important d'éviter d'occulter une partie du générateur PV par un masque. En effet, une ombre portée, même étroite, peut perturber le fonctionnement du système photovoltaïque :

- a. en provoquant l'éventuelle destruction d'un ou plusieurs module si la protection électrique du générateur est insuffisante ;
- b. En occasionnant une perte énergétique en fonction de l'importance et de l'évolution du masque au cours de la journée (et des saisons) et du groupement série parallèle des modules.

I.6.3 Montage des modules en rangs parallèles

L'occultation d'une série de modules peut provenir de l'installation du générateur lui-même.

L'écartement entre rangées doit tenir compte de ce facteur, la situation la plus défavorable étant atteinte le jour du solstice d'hiver.

I.6.4 Fixation des modules

La fixation des modules doit assurer correctement les fonctions suivantes :

- Maintien de l'orientation contre le vent et les autres intempéries, contre les agressions mécaniques.
- Protection contre les salissures, et agressions venant du sol.
- Ventilation des modules afin de limiter leur échauffement ; les performances des modules diminuent quand la température moyenne des cellules augmente.
- Rigidité de l'ensemble des modules.

De plus, le système de fixation lui-même est exposé aux intempéries et doit pouvoir à leurs résister, sa durée de vie doit être au moins égale à celle des modules eux-mêmes.

Les modules sont généralement entourés d'un cadre rigide en aluminium anodisé comprenant des trous de fixation. Pour tout type de générateur, la structure classique consiste en un châssis avec une base plane pouvant recevoir des écrous de fixation eux-mêmes liés à une armature rigide (exemple : chape de béton).

Les supports sont en général réalisés en aluminium anodisé ou en acier inoxydable. Toute la boulonnerie de fixation est en général en acier inoxydable.

La structure recevant les supports doit :

- Pouvoir résister aux conditions climatiques, en particulier aux vents.
- Permettre une bonne ventilation des modules : l'arrière des modules doit donc être suffisamment dégagé pour permettre la circulation de l'air ;
- Isoler les modules du sol. Il est conseillé d'adopter une distance minimum de 0,6 à 0,8 m entre le sol et le bas des modules [11].

I.6.5 Installation des batteries de stockage

Les accumulateurs, de par leurs constituants, sont des éléments présentant un certain nombre de dangers (toxicité, risque d'explosion). Ainsi que leur rendement est lié directement à leur température de fonctionnement (Il faut qu'ils soient aérés). Une attention particulière doit donc être portée au local où sont entreposés les accumulateurs et à leur installation dans ce local.

a. Local des accumulateurs

Il doit assurer les fonctions suivantes :

- Isoler les accumulateurs des intempéries et des éléments extérieurs (pluie, neige, soleil...).
- Permettre une inspection périodique commode des accumulateurs ;
- Etre correctement ventilé, les accumulateurs dégageant des gaz qui peuvent former un mélange explosif.
- Maintenir une température ambiante la plus proche possible de 20 °C et en tout cas comprise entre 0 et 45 °C.

b. Installation des accumulateurs

Elle doit assurer les fonctions suivantes :

- Isoler les accumulateurs du sol.
- Permettre une inspection facile des niveaux et connexions, et l'addition d'électrolyte dans chaque accumulateur.
- Permettre d'assurer des connexions électriques fiables, simples donc courtes, entre les accumulateurs.
- Isoler électriquement les accumulateurs du sol.

c. Mise à la terre du système

La mise à la terre est l'un des moyens généralement préconisés pour éviter la destruction d'une partie du système par la foudre.

I.7 Idée sur le coût du système

Pour le calcul du prix de revient de l'installation, on fait la somme des prix de chaque équipement ou accessoire utilisé, et cela à la fin du dimensionnement du système pour savoir le nombre de modules et celui des batteries ainsi que les divers appareillages intervenant lors de la mise en place de l'installation [11].

I.8 Les type de systèmes photovoltaïques

I.8.1 Système photovoltaïque raccordé au réseau

On peut installer un système photovoltaïque sur un site raccordé au réseau de distribution électrique. Généralement sur les habitations ou les entreprises qui souhaitent recourir à une forme d'énergie renouvelable qui bénéficie d'un bon ensoleillement.

L'énorme avantage de cette solution est l'absence de batterie, on ne stocke plus l'énergie, lorsqu'il y a un plus on l'injecte directement au réseau local ou national [14].

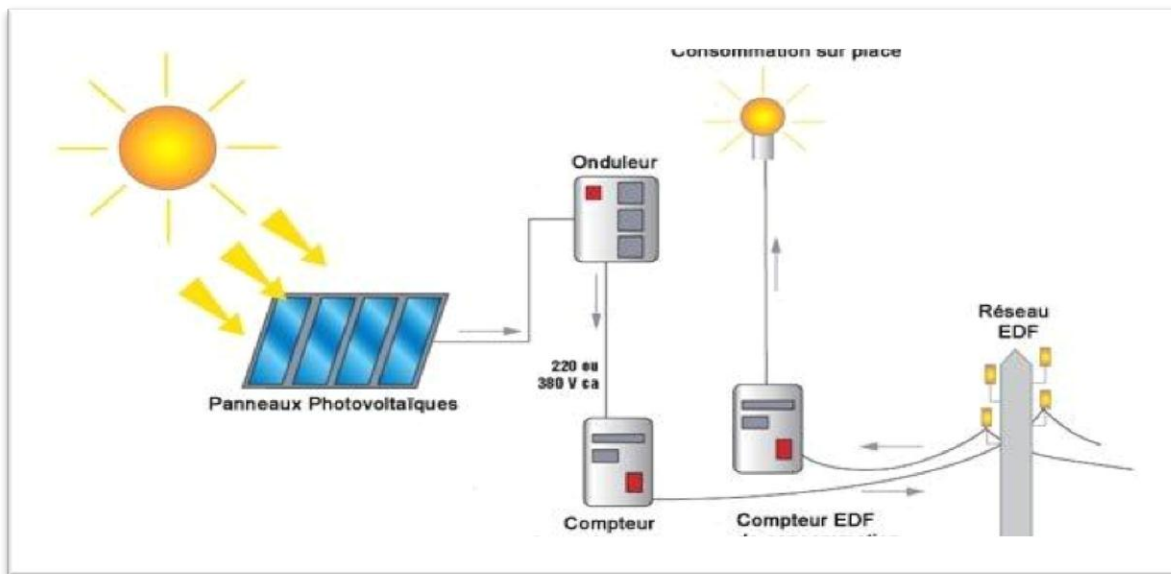


Figure I.19 : Schéma d'un système photovoltaïque connecté au réseau de distribution électrique [16]

I.8.2 Systèmes photovoltaïques autonomes

I.8.2.a Systèmes autonomes sans stockage

C'est le système le plus simple puisque l'énergie photovoltaïque est utilisée directement à partir des panneaux. L'appareil alimenté par ce système ne fonctionnera qu'en présence de la lumière, et dès que l'éclairement sera suffisant pour atteindre la puissance demandée.

Ce type de système est intéressant pour toutes les applications qui n'ont pas besoin de fonctionner dans l'obscurité et pour lesquelles le besoin en énergie coïncide avec la présence de la lumière.

L'inconvénient de ce système est qu'on ne profite pas toujours des éclaircissements plus élevés, pas de stockage donc pas de récupération des surplus d'énergie solaire [14].

I.8.2.b Systèmes autonomes avec stockage

C'est la configuration la plus courante des systèmes photovoltaïques autonomes que les anglophones appellent Stand-Alone Systems. L'ensemble est le plus souvent en courant continu (CC). Ce qui est préférable car plus simple. Mais dès que l'on touche à l'habitat, il y a presque toujours des appareils en courant alternatif (AC) à alimenter, parce qu'ils n'existent pas en continu.

La batterie d'un tel système se charge le jour, et sert de « réservoir » d'énergie en permanence. Elle peut sans problème, à un instant donné, recevoir un courant de charge et débité un courant de décharge de valeur différente. Les appareils alimentés sont donc câblés sur la batterie au travers du régulateur de charge. Lorsque la batterie est pleine, ce dernier, coupe la charge pour éviter qu'elle ne souffre de surcharge, ceci a pour conséquence la perte d'une part de l'énergie produite en été notamment sous nos climats.

Quand un récepteur doit nécessairement fonctionner en courant alternatif noté AC, on recourt à une conversion DC/AC (de courant continu en alternatif) en sortie de batterie. Cela n'est pas sans conséquence, notamment :

- Augmentation du coût et de l'encombrement de l'installation .
- Réduction du rendement énergétique (aucun convertisseur ne restitue 100% de l'énergie) .
- Risque de panne complète en cas de problème sur le convertisseur si toute l'installation électrique est alimentée par son intermédiaire [15].

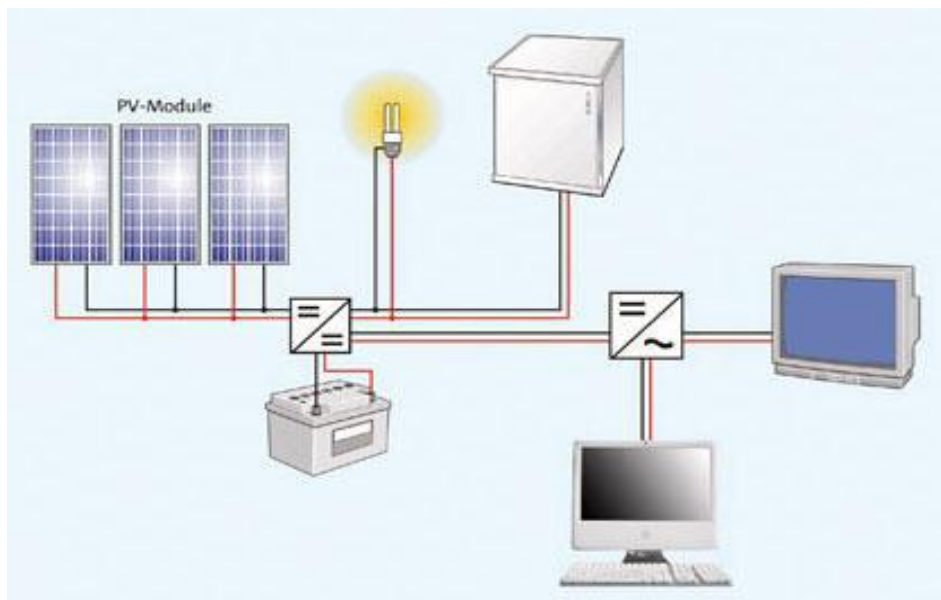


Figure I.20 : Schéma d'un système photovoltaïque autonome [16]

I.9 Conclusion

Le but de ce premier chapitre en premier lieu, était d'introduire notre travail sur l'énergie photovoltaïque en général, en deuxième lieu nous avons abordé le sujet de la station photovoltaïque autonome, avec ses composantes, ainsi que leurs modes de fonctionnements. Nous avons parlé aussi sur un autre facteur très essentiel dans les installation photovoltaïques autonome qui est le stockage et sur les batteries et les accumulateurs qui sont les éléments à utiliser pour stocker l'énergie suffisantes pendant la durée de temps d'autonomie, mais aussi d'autres Paramètres comme les mesures de sécurité pendant l'installation et le cout de l'installation.

Chapitre II

Méthodes de dimensionnement d'une station photovoltaïque autonome

II.1. Introduction

Pour la réalisation d'une installation photovoltaïque, le dimensionnement reste une étape indispensable.

Le dimensionnement d'une installation photovoltaïque revient à déterminer le nombre nécessaire des panneaux solaire constituant le champ photovoltaïque pour adopter un système PV suffisant pour couvrir les besoins de la charge à tout instant ainsi que la capacité de charge de la batterie. Ces deux éléments sont considérés à ce jour les éléments les plus importants en raison de leur coût élevé qui totalisent à eux deux à peu près plus de 50% de pris de l'installation. Donc c'est à savoir la taille du générateur, la capacité de stockage, le cas échéant la puissance d'un convertisseur, voire l'inclinaison des modules et la tension d'utilisation.

II.2. Présentation des paramètres d'entrée intervenant dans le dimensionnement

D'une manière générale, les paramètres à prendre en compte pour concevoir et dimensionner un système photovoltaïque sont assez nombreux et concernent :

- Le lieu où sera placé le générateur PV.
- Le système PV (modules, régulateur, convertisseur et batteries).
- La charge.

a. Paramètres relatifs au site d'installation

Le dimensionnement du générateur PV est dicté par les conditions relatives au site. Pour adopter les capacités générateur PV / batterie, aux conditions de charge, il est indispensable de connaître les caractéristiques de l'irradiation solaire par jour ou par mois, soit l'énergie moyenne reçue sur un plan donné, à l'endroit même où sera situé le générateur PV.

Les données doivent être connues pour chaque mois de l'année. Elles peuvent être obtenues par des organismes nationaux de météorologie ou par des calculs (outil informatique), qui exigent les paramètres d'entrées suivants :

- Latitude ;
- Altitude ;
- Réflectivité du sol ou albédo ;
- Irradiation moyenne journalière la plus défavorable dans l'année, soit mesurée ou calculée. Dans le cas de notre étude, nous avons considéré les sites suivants : Chréa, Bouzeguène, Tizi-Ouzou.

b. Paramètres relatifs au système PV

Les paramètres concernant le système donnent à titre indicatif un ordre de grandeur du rendement de l'installation, sont relatifs aux modules photovoltaïques, éléments de batterie, régulateur et convertisseur existants dans le marché.

Ces paramètres basés sur un critère liant d'un côté la satisfaction des besoins et le fonctionnement optimal du système et de l'autre la disponibilité.

c. Paramètres concernant le module PV

Les paramètres concernant le module PV sont :

- Tension maximale.
- Courant maximal.
- Puissance maximale.
- Selon notre choix, le type du module est présenté dans le chapitre 2. Les paramètres aux conditions standards (1000 W, 25 °C) sont donnés par le constructeur.
- L'inclinaison des modules, est un paramètre qui est relatif à la latitude du lieu. Pour notre cas on précisera l'inclinaison minimale et maximale comme données d'entrée, afin d'optimiser cette inclinaison.

d. Paramètres concernant les batteries de stockage

Les paramètres relatifs au système de stockage sont donnés selon la disponibilité des batteries à capacité normalisée :

- profondeur de décharge selon le constructeur.
- rendement énergétique de la batterie.

Le dimensionnement du stockage est basé sur les paramètres d'un accumulateur au plomb acide.

e. Paramètres concernant le convertisseur

Pour le convertisseur continu/alternatif on précisera le rendement seulement, qui est aussi donné par le constructeur.

f. Diagramme simplifié du dimensionnement

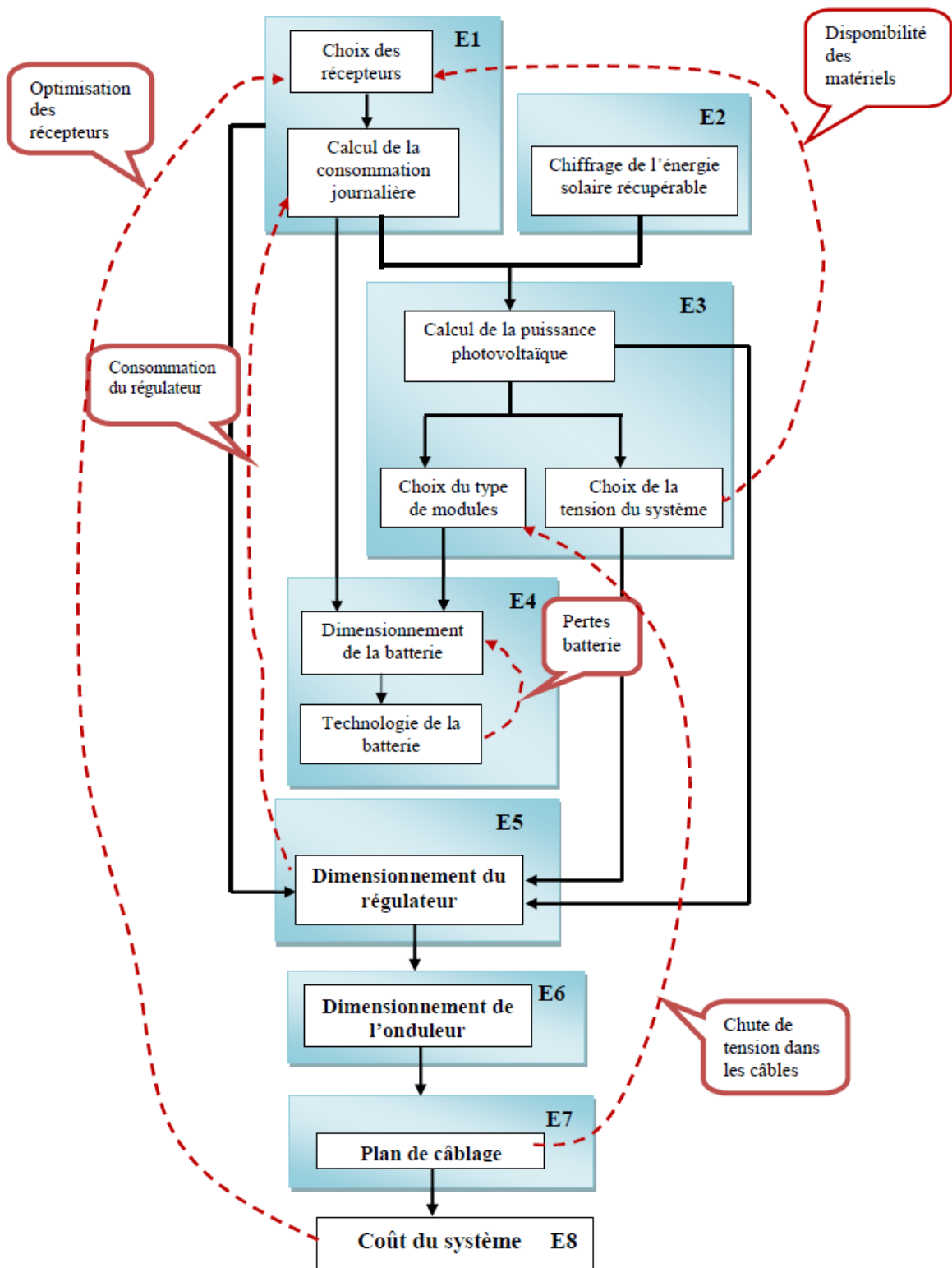


Figure II.1 : Diagramme simplifié du dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome [4]

II.3 Les étapes du dimensionnement

Les étapes ci-dessous nous présentons de façon détaillée la démarche à suivre pour concevoir un système photovoltaïque autonome.

- Etape 1 : détermination des besoins de l'utilisateur : tension, puissance des appareils et durées d'utilisation.
- Etape 2 : chiffrage de l'énergie solaire récupérable selon l'emplacement et la situation géographique.
- Etape 3 : calcul la puissance crête du système et définition des modules photovoltaïque, tension de fonctionnement, technologie, puissance totale à installer.
- Etape 4 : dimensionnement du stockage et définition de la capacité de la batterie et choix de la technologie.
- Etape 5 : dimensionnement du régulateur.
- Etape 6 : choix de l'onduleur.
- Etape 7 : plan de câblage : détermination des accessoires de câblage et des sections de câbles électriques photovoltaïques.
- Etape 8 : coût du système [4].

II.3.1 Consommation énergétique

Le kWh solaire est cher, il faut procéder à une économie d'énergie au niveau des récepteurs par une technologie de basse consommation ou remplacer le parc existant par un autre sous tension continue. Même s'ils sont onéreux à l'achat, le coût global sera bien moindre car il faudra moins de modules photovoltaïques et de batteries pour les alimenter.

II.3.1.a Les besoins énergétiques des applications

Evaluer sérieusement nos besoins en énergie permet que l'on dispose d'un système bien adapté, sachant que toute exigence supplémentaire se traduira par une augmentation de la puissance à mettre en œuvre : plus de panneaux, plus de batterie.

La puissance "P " est une donnée instantanée par contre l'énergie " E " c'est le produit de la puissance par le temps " t " :

$$E = P \cdot t \quad (II.1)$$

En effet, comme un système photovoltaïque fournit son énergie le jour, il est naturel de prendre la période de 24h comme unité de temps. On notera $E_{\text{cons}}(t)$, l'énergie électrique consommée en 24h par l'application, en Wh/j. On l'appelle consommation journalière.

Pour calculer la consommation totale de nos applications, on calcule l'énergie électrique consommée en 24h par chaque appareil ou chaque fonction électrique et on les additionne :

$$E_{\text{cons}}(t) = P_1 \cdot t_1 + P_2 \cdot t_2 + P_3 \cdot t_3 + \dots + P_n \cdot t_n \quad (II.2)$$

II.3.2 Energie solaire récupérable

II.3.2.a Orientation et inclinaison des modules

La position des modules photovoltaïques par rapport au soleil influe directement sur leur production énergétique. Il est très important de bien les placer pour les utiliser au maximum de leur possibilité. On appelle orientation, le point cardinal vers lequel est tournée la face active du panneau (Sud, Nord, Sud-ouest...). L'inclinaison indique l'angle que fait le panneau avec le plan horizontal, elle se compte donc en degrés.

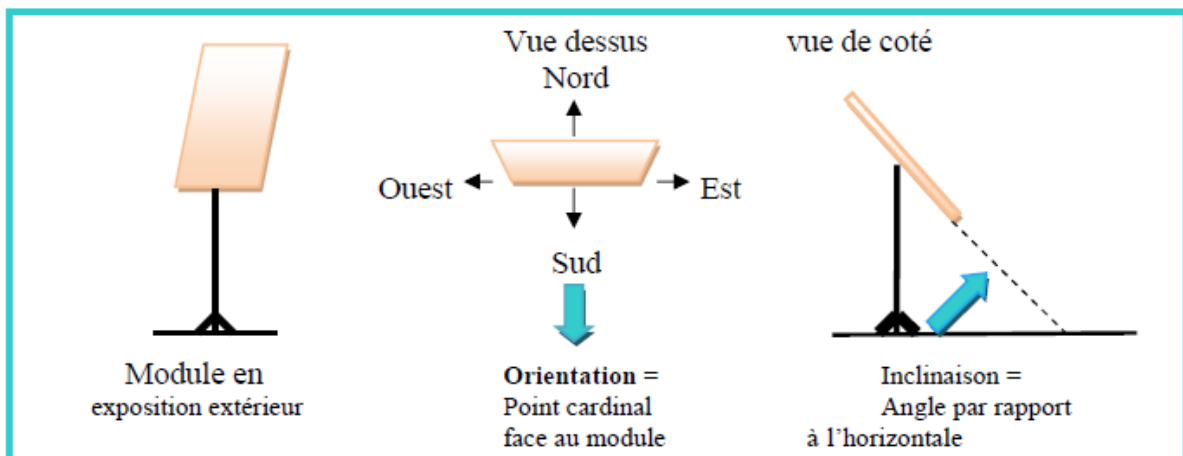


Figure II.2 : Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau [4]

L'orientation idéale d'un module photovoltaïque obéit à une règle vers l'équateur :

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

En ce qui concerne l'inclinaison, c'est un peu plus compliqué. Si on prend le cas d'une application autonome qui consomme une énergie quasi constante tout au long de l'année. L'hiver étant la période la moins ensoleillée, c'est à cette période qu'il faut optimiser la production. Les panneaux doivent donc pouvoir récupérer l'énergie d'un soleil dont la hauteur est faible. Il en résulte qu'en Algérie pour une utilisation annuelle, l'inclinaison idéale est environ égale à la latitude du lieu + 10° (pour une orientation sud) [4].

II.3.3 Définition des modules photovoltaïques

II.3.3.a Calcul de la puissance crête du système

Si le soleil est la seule source d'énergie du système autonome, sans générateur d'appoint, les modules photovoltaïques doivent alors fournir toute l'énergie consommée, en incluant les pertes à tous les niveaux. La batterie est une capacité tampon qui permet de stocker cette énergie pour en disposer en dehors des périodes de production photovoltaïque, mais elle ne sera jamais une source d'énergie en tant que telle.

On calcul la puissance crête par la formule suivante :

$$P_c = N_{PV} \cdot P_{max} \quad (II.3)$$

II.3.3.b Calcul le nombre de panneaux photovoltaïques

Après le calcul de la puissance crête de la station photovoltaïque, on détermine les caractéristiques électriques des panneaux solaires utilisés, on peut calculer le nombre de panneaux solaires par la formule suivante :

$$N_{PV} = \frac{E_{elect} \cdot P_i}{E_{min}} \quad (II.4)$$

II.3.3.c Production électrique d'un module en une journée

Un module photovoltaïque se caractérise avant tout par sa puissance crête P_c (W), puissance dans les conditions STC (1000 W/m² à 25 °C). Si le module est exposé dans ces conditions STC, il va produire à un instant donné une puissance électrique égale à cette puissance crête, et si cela dure N heures, il aura produit pendant ce laps de temps une énergie électrique E_{min} égale au produit d'énergie incidente par le temps écoulé par le coefficient P_r :

$$E_{min} = (E_{inc} \times Nh) \cdot P_r \quad (II.5)$$

II.3.4 Dimensionnement du stockage

Cette étape est la troisième car il faut d'abord connaître sa consommation d'électricité, et avoir calculé la production des modules que l'on installera. Pour dimensionner ses batteries, il est nécessaire de savoir est la quantité d'énergie que je dois stocker au minimum pour couvrir mes besoins, et la durée d'autonomie que je vais choisir en cas de problème avec mon installation, et savoir à quel point je vais solliciter les batteries (choisir la profondeur de décharge) en fonction de tous ces critères, il sera alors possible de calculer la capacité des batteries.

Les batteries servent à stocker l'énergie car il est rare que l'électricité soit produite en même temps que l'on en a besoin.

En premier lieu on doit choisir le type de batterie qu'on veut utiliser pour déterminer les caractéristiques électriques de la batterie solaire : sa tension (V) et le nombre d'Ampères heures (Ah) qu'elle fournit.

Après avoir choisi le type de batterie on peut calculer l'énergie que peut stockée une unité de batterie par la formule suivante :

$$E_{\text{unité}} = V \cdot nAh \quad (\text{II.6})$$

A certaines périodes de l'année, l'hiver en général, les modules ne peuvent pas produire autant d'énergie qu'il en est consommé. Il faut donc stocker leur production excédentaire antérieure. Pour connaître la quantité d'énergie à stocker, il existe deux méthodes en fonction de la situation: une méthode simple et rapide lorsque les cycles de consommation sont parfaitement réguliers, et une méthode générale, plus longue à appliquer, mais utilisable dans n'importe quelle situation.

Lorsque les cycles sont réguliers, la quantité théorique d'énergie à stocker est égale à la production journalière des modules multipliés par le nombre de jour de charge. Il faut utiliser la production journalière des modules des mois de décembre/janvier, car c'est à cette période que la production est la plus faible.

On calcule le nombre de batterie à utiliser avec la formule suivante :

$$N_{\text{Batterie}} = \frac{E_{\text{Tot}} \cdot N_{\text{jours}}}{E_{\text{unité}}} \quad (\text{II.7})$$

II.3.5 Le dimensionnement de son régulateur

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

Il existe deux types de régulateurs : les régulateurs de charge, et les régulateurs de charge/décharge. Les premiers sont les plus simples et les moins chères car ils ne contrôlent que la charge de la batterie. Les surcharges sont donc évitées, mais ils n'ont pas d'autre fonction. Ils peuvent toutefois convenir à une installation pour laquelle on est sûr de ne jamais épuiser complètement les batteries. Dans le cas contraire, les régulateurs de charge/décharge sont plus adaptés car ils permettent également d'éviter les décharges profondes en coupant l'alimentation de tout ou partie des appareils électriques.

Le choix de la technologie du régulateur, shunt, série ou MPPT, est d'abord guidé par la puissance du système photovoltaïque et par le type de batterie à charger. Le régulateur shunt qui dissipe la puissance des panneaux en cas de surcharge de la batterie est mieux adapté aux petits systèmes, et le régulateur série aux plus gros systèmes [4].

Dimensionnement

Une fois la technologie identifiée, le régulateur sera dimensionné d'après les paramètres suivants (indispensables) : tension, courant d'entrée et courant de sortie.

- Tension nominale (12,24 ou 48 VDC) : elle doit être celle du champ photovoltaïque.
- Courant d'entrée : c'est le courant de charge maximal que les modules sont susceptibles de débiter à un instant donné. Il doit être supporté sans problèmes par le régulateur. Pour estimer ce courant, le plus sûr est de prendre 1,5 fois le courant le de court-circuit total des modules pour un régulateur série.

$$I_{\max} = \frac{P_c}{U} \quad (\text{II.8})$$

II.3.6 Dimensionnement de l'onduleur

Le convertisseur de courant se dimensionne en fonction de plusieurs critères:

- **La tension d'entrée** : c'est la même que la tension des batteries ou du régulateur (12, 24 ou 48V DC).
- **La tension de sortie** : en Algérie nous utilisons du 220/230 V_{AC}, 50Hz.
- **La puissance nominale** : c'est la puissance dont les appareils qui consomment votre énergie ont besoin pour fonctionner de façon "normale". Pour connaître cette puissance nominale, il suffit de faire la somme des puissances des appareils électriques. Il faut toujours choisir un convertisseur dont la puissance est légèrement supérieure à celle des appareils.
- **La puissance maximale** : l'onduleur est capable de fournir une grande puissance sur un court laps de temps (généralement 2 ou 3 fois la puissance nominale). Cette particularité est utile pour les appareils qui possèdent un moteur (réfrigérateur, micro-onde, lave-linge, ...), car leur consommation augmente très fortement lors du démarrage. En général, si vous avez correctement dimensionné la puissance nominale, la puissance maximale est suffisante.
- **Le rendement** : Une partie de l'électricité transformée est consommée par le convertisseur de courant (entre 80 et 95% de l'énergie est restituée). Il est important de contrôler ce rendement, sachant qu'un bon produit se situe autour de 90%. De plus, la plupart des convertisseurs consomment de l'énergie même lorsqu'ils ne fonctionnent pas. Heureusement, certains sont équipés d'un système de marche/arrêt qui permet de grandes économies dans les petites installations photovoltaïques.

- **La forme du signal** : la sinusoïde (l'onde) produite par le convertisseur peut avoir plusieurs formes (de la plus coûteuse à la moins chère : pur sinus, pseudo sinus ou carré). Certains appareils supportent très bien les ondes carrés, mais d'autres non. En revanche, n'importe quel appareil peut fonctionner avec une onde pur sinus.

Se dimensionne comme suite, la puissance installée plus 10% de sa consommation :

$$P_o = P_i + (10\% \times P_i) \quad (\text{II.9})$$

II.3.7 Le dimensionnement des câbles électriques photovoltaïques

Une fois le système constitué, il reste à envisager son installation pratique, mais dès cette phase de définition du système, on doit se préoccuper du câblage, afin d'assurer la cohérence de l'ensemble. Les chutes de tension dans les câbles peuvent être très pénalisantes.

Il est important également de vérifier que les diamètres de câbles choisis sont compatibles avec les borniers des composants retenus : modules et régulateur surtout. Il arrive qu'ils n'acceptent pas la section de câble que l'on souhaite y mettre, il faut alors une boîte de jonction intermédiaire ou un bornier supplémentaire pour y remédier.

Avant de calculer toutes les sections de câbles, on fait un plan électrique global de l'installation. Il faut également prévoir l'emplacement des composants aussi précisément que possible pour déduire les distances modules - boîtier de raccordement, boîtier de raccordement batterie, batterie onduleur.

Pour une bonne mesure de la tension batterie par le régulateur, celui-ci doit être placé le plus près possible de la batterie.

III.3.8 Choix des sections de câble

Les pertes en puissance se produisant lors du fonctionnement dans un conducteur reliant deux composants, est égale au produit de la résistance du conducteur par le courant au carré traversant le conducteur : [4]

$$S = \frac{I_{\max}}{\Delta U_{\max}} \times \rho \times l \quad \text{ou: } R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (\text{II.10})$$

III.3.9 Coût d'installation de la station photovoltaïque

Le coût global de l'installation d'une station photovoltaïque autonome est donné par la relation suivante : [13]

$$C_T = AP_C + BC_S + C_{T0} \quad (\text{II.11})$$

II.4 Dimensionnement par l'application de la méthode LPSP

Description de la méthode LPSP

La "LPSP" est définie comme étant le rapport de l'énergie déficitaire sur l'énergie requise par la charge. Elle exprime donc le taux de non-satisfaction de la charge. La probabilité de perte d'énergie 'LPSP' pour une période d'analyse T, peut être définie comme le rapport de la somme de toutes les valeurs de perte d'énergie pour la même période donnée sur l'énergie totale demandée. La probabilité de perte d'énergie 'LPSP' est définie par la relation suivante :

$$\text{LPSP} = \text{Pr} \{C_{\text{Bat}}(t) \leq C_{\text{Bat}} \text{ pour } : t \leq T\} \quad (\text{II.12})$$

Un système "équilibre", la quantité d'énergie fournie par les modules solaires doit au moins compenser la quantité d'énergie, ceci en fonction du lieu de l'installation, de la saison, et des conditions particuliers de consommation et d'utilisation.

Dimensionner un système PV revient à déterminer l'ensemble des éléments de la chaîne PV en fonction des sollicitations telles que l'ensoleillement et le profil de charge. Il n'y a pas d'échelle fixe entre la consommation et la taille du générateur. Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement d'un système PV : par la fonction utilisabilité horaire, par la probabilité de pertes d'énergie, et par les méthodes itératives...etc.

La méthode de probabilité de pertes d'énergie dite LPSP que nous avons adopté pour cette étude est définie par la fraction mensuelle de la charge moyenne sur une longue période non couverte par le système photovoltaïque. Quand l'énergie stockée au niveau des batteries d'accumulateurs et l'énergie produite simultanément par le Générateur photovoltaïque reste insuffisante pour satisfaire la demande de la charge pour une heure donnée. Le déficit d'énergie ainsi obtenu est appelé alors "Loss of Power Supply" 'LPS'. Ce déficit est exprimé comme suit : [17] [18]

$$\text{LPSP} = \text{EL}(t) - (C_{\text{Bat}}(t) + C_{\text{Bat}}(t-1) - C_{\text{Batmin}}(t)) \cdot \eta_{\text{Ond}} \quad (\text{II.13})$$

En terme d'état de charge des batteries, la 'LPSP' est définie par:

$$\text{LPSP} = \frac{\sum_t \text{LPS}}{\sum_t \text{EL}} \quad (\text{II.14})$$

C'est-à-dire, la probabilité pour que l'état de charge, à tout instant t , soit inférieur ou égale au seuil minimal de l'énergie disponible dans la batterie EB_{min} . $EB(t)$ est l'énergie stockée dans la batterie à n'importe quel instant t , exprimée en [Wh].

La capacité de stockage de la batterie d'accumulateur se calculera alors par l'expression :

$$C_{Bat} = C_{Bat} \cdot V_{Bat} \quad (II.15)$$

La capacité des batteries pour une période de temps « Per » par jour est donnée par l'équation suivante :

$$C_{Bat} = \frac{E_L \cdot per}{\eta_{Bat} \cdot f_d \cdot Profondeur \ de \ décharge \cdot V_{Bat}} \quad (II.16)$$

La période " per" est une donnée fournie par le concepteur de la batterie, par rapport à l'autonomie demandée.

La méthode de dimensionnement consiste à déterminer le nombre optimal d'accessoires qui correspond à un bon fonctionnement du système avec un coût minimal.

Le coût total nécessaire pour la réalisation d'une installation PV sera déterminé par la relation suivante :

$$CT = aN_{pv} + bN_{Bat} + C_{T0} \quad (II.17)$$

La solution optimale est donnée par la relation suivante :

$$\frac{\partial N_{Bat}}{\partial N_{pv}} = - \frac{a}{b} \quad (II.18)$$

Après la détermination des différents couples (N_{Bat} , NPV), satisfaisant une "LPSP" désirée, on constate que le nombre de modules est une fonction non linéaire du nombre de batteries.

Cette solution est graphiquement illustrée sur la figure ci-dessous. Elle correspond à la pente de tangente à la courbe au point de contact "S" :

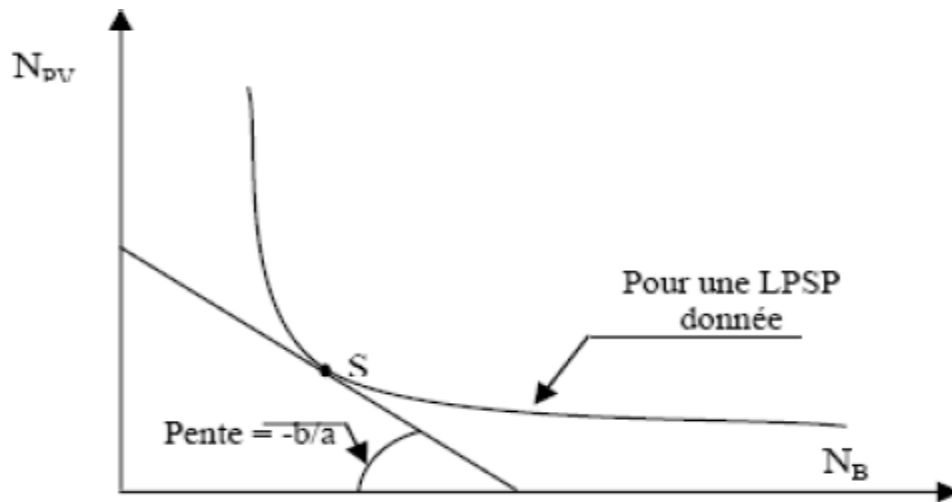


Figure II.3 : Tracé du nombre de modules en fonction du nombre de batteries pour une "LPSP" donnée [7].

II.5 Conclusion

Nous avons appris dans ce chapitre que le dimensionnement d'une station photovoltaïque autonome peut se faire à l'aide de plusieurs méthodes, mais aussi que chaque méthode comporte des règles et des étapes propres à elle-même, qu'il faut impérativement suivre à la lettre pour accomplir le travail demandé, car les installations photovoltaïques doivent être dimensionnées pour qu'elles puissent fournir de l'énergie dans les conditions les plus favorables.

Chapitre III

Dimensionnement de la station photovoltaïque autonome de 16 kW

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons faire les calculs analytiques d'une centrale photovoltaïque autonome de 16 kW, et nous présentons les résultats de la simulation de la centrale à l'aide du logiciel PVSYST. Les résultats de la simulation sont ensuite interprétés.

III.2. Identification du site

Nous vous proposons d'alimenter un village écologique composé de six maisons. Notre site se situe à Chréa à Bouzeguène sur la route Bouzeguène-Bejaia. L'installation photovoltaïque doit être placée au sol. Par conséquent la surface occupée par notre champ sera considérée le paramètre le plus important dans le dimensionnement.

A partir du site www.sundous.com, on a obtenu les coordonnées terrestres de notre site :

Latitude : 36°33' Nord

Longitude: 4°30' Est

Altitude: 1094 m

Du logiciel PVSYST on trouve la valeur : Albédo: 0, 2

III.3. Evaluation du besoin énergétique du site

Pour calculer la charge d'une maison, nous prendrons la situation d'une maison, pour le calcul de la charge qu'on multipliera par la suite par le nombre de maisons pour l'obtention de la charge totale des six maisons.

La charge totale du site sera obtenue en faisant la somme des charges des six maisons.

Situation d'une maison

Equipements	Nombre	Puissance unitaire en (W)	Puissance Totale en (W)	Durée D'utilisation en (h)	Energie moyenne journalière en (Wh/j)
Lampe économique	6	15	90	5	450
Téléviseur	2	85	170	5	850
Réfrigérateur	1	90	90	10	900
Four électrique	1	1000	1000	1.5	1500
Ordinateur	2	150	300	3	900
Climatiseur	1	1000	1000	3	3000
			2650 W		7600 Wh/j

Tableau III.1: La consommation quotidienne de charges électriques

La puissance totale d'une maison est de 2650W.

La consommation énergétique journalière d'une maison est de 7600Wh/j.

La puissance totale des six maisons est de 15900W.

La consommation énergétique journalière des six maisons est de 45600Wh/j.

III.4. Etude du cas A : Etude d'une maison alimentée par un seul champ

III.4.1. Evaluation du besoin énergétique

D'après le tableau, on trouve

La puissance totale du site est de :

$$P = 2650W.$$

La consommation énergétique moyenne journalière du site est de :

$$E = 7600Wh/j.$$

III.4.1.a. Calcul le nombre de panneaux

Caractéristiques électriques des panneaux solaires utilisés qu'on relève du logiciel PVSYST :

Le modèle **Yingli_YL220P_29b.PAN** :

Puissance maximal : $P_{max} = 220W$.

Tension maximal : $U_{max} = 24V$.

Courant maximal : $I_{max} = 9,16A$.

Courant de court circuit $I_{cc} = 9,75A$.

$$N_{pv} = \frac{E_{elect} \times P_i}{E_{min}}$$

$$E_{min} = E_{ens} \cdot P_r$$

En hiver, Irradiation Globale = $121,9 W/m^2$, pour une durée d'ensoleillement de 8 heures.

$$\text{Donc : } E_{ens} = 0,121 \cdot 8 = 0,968$$

$$E_{ens} = 0,968 kWh/m^2.j$$

Calcul de E_{min} :

$$E_{min} = 0,968 \cdot 0,65$$

$$E_{min} = 0,629 kWh/m^2$$

Calcul le nombre de panneaux :

$$N_{PV} = 7,6 \cdot 1 / 0,629 = 12,08$$

Donc on prend : $N_{pv} = 13$ panneaux.

La puissance du champ est entre 2kW et 10kW, la tension recommandée est de $U = 48V$.

La centrale sera constituée d'un seul champ de 11 panneaux montés comme suit :

- Nombre de panneaux en séries :

$$N_s = U/U_n = 48 / 24 = 2 \text{ panneaux en séries.}$$

- Nombre de branches parallèles :

$$N_{bp} = N / N_s = 13 / 2 = 6,6 = 7 \text{ en parallèles}$$

Donc on aura besoin d'utiliser : 2 panneaux en séries et 6 panneaux en parallèles, on trouve :

$$N_{PV} = 7 \times 2 = \mathbf{14 \text{ panneaux.}}$$

Donc notre champ photovoltaïque aura besoin de 14 panneaux photovoltaïques.

III.4.1.b. Dimensionnement du système de stockage

Choix de batteries et leurs capacités

Le choix des accumulateurs au plomb se résume à travers les avantages suivants :

- ✓ Bonne maîtrise de la technologie.
- ✓ Bon rapport : qualité / prix.
- ✓ Bonne tenue aux températures externes.
- ✓ Rendement supérieur à 90%.

Dans le but de prolonger la durée de vie, il faut éviter les décharges profondes et de maintenir les batteries chargées quand on les stocke.

Pour une utilisation normale en Algérie, on peut admettre une autonomie de 3 à 4 jours.

Les caractéristiques de batteries solaires utilisées qu'on a relevé à partir du logiciel PVSYST :

Le modèle **Electrona_3Q14.BTR** :

Les batteries sont au plomb, de tension $U = 12V$ et 219Ah de capacité chacune ce qui implique que l'énergie totale d'une batterie sera :

$$E_{unité} = 12V \times 219Ah = 2628Wh.$$

Dans notre travail on impose une autonomie de 4 jours, donc l'énergie stockée dans l'ensemble des batteries doit être égale à : Energie journalière totale \times 4,5 jours.

Le 0,5 jour est la phase nocturne du 4^{ème} jour, on l'ajoute dans le calcul pour ne pas subir une décharge profonde des batteries.

Donc :

$$N_{Batterie} = \frac{E_{Tot} \times 4,5}{E_{unité}}$$

$$N_{Batterie} = 7600 \times 4,5 / 2628 = 13,01$$

Donc on prend : $N_{Batterie} = \mathbf{14 \text{ Batteries.}}$

III.4.1.c. Dimensionnement du régulateur

La puissance du champ est entre 2kW et 10kW, la tension recommandée est de $U = 48V$.

$$\text{On a : } P_c = N_{PV} \cdot P_{\max}$$

$$P_c = 14 \times 220 = \mathbf{3080W}.$$

$$I_{\max} = \frac{P_c}{U}$$

$$I_{\max} = 3080 / 48 = 64,16 \text{ A.}$$

$$\mathbf{I_{\max} = 64,16 \text{ A.}}$$

III.4.1.d. Dimensionnement de l'onduleur

Les caractéristiques de l'onduleur à utiliser doivent être compatibles avec une installation ayant une tension de $U = 48V$, une demande de puissance de **2,65kW**.

On prendra un $\cos \theta = 0,8$ et $\sin \theta = 0,6$ pour le dimensionnement.

La puissance réactive est égale donc à :

$$\mathbf{Q = P \times (0,6/0,8) .}$$

$$\mathbf{Q = 2,65 \times (0,6/0,8) = 1,98 \text{ kVar.}}$$

La puissance apparente du site est de :

$$\mathbf{S = (P^2 + Q^2)^{1/2}}$$

$$\mathbf{S = [(2,65)^2 + (1,98)^2] = 3,30 \text{ kVA.}}$$

Donc, on utilise l'onduleur **SMA SUNNY BOY 3800** de caractéristiques suivantes :

Puissance de sortie : 4000W.

Tensions d'entrée : 208V et 480V.

Tensions de sortie : 220V/230V.

Courant d'entrée : 2.15A.

Rendement maximal : 94,7%.

III.4.1.e. Choix des câbles

1. Calcul du courant de sortie d'un panneau à sa puissance nominale :

$$I = \frac{P_{\max}}{U_{\max}}$$

$$I = 220/24 = \mathbf{9,16A}.$$

Détermination des sections des conducteurs entre les panneaux et le boîtier de raccordement :

$$\Delta U = 48 \times 0,02 = \mathbf{0,96V}.$$

Donc : R_{\max} de la ligne : $R = 0,96 / 9,16 = \mathbf{0,1\Omega}$.

La section du conducteur :

$$S = \rho_{Cu} \cdot \frac{L}{R} = (1,6 \cdot 10^{-8} \cdot 20) / 0,1 = \mathbf{3,2 \text{ mm}^2}.$$

Ce qui correspond à une section normalisée de : $S = \mathbf{4 \text{ mm}^2}$.

2. Calcul du courant circulant entre les boîtiers et l'onduleur :

La puissance du champ est entre 2kW et 10kW, la tension recommandée est de $U = 48\text{V}$.

La puissance crête du champ photovoltaïque :

$$P_c = N_{pv} \times P_{max}$$

$$P_c = 14 \times 220 = \mathbf{3080\text{W}}.$$

Donc :

$$I = \frac{P_c}{U}$$

$$I = 3080 / 48 = \mathbf{64,16\text{A}}.$$

Détermination de la section des conducteurs entre le boîtier de raccordement et l'onduleur :

$$\Delta U = 48 \times 0,02 = \mathbf{0,96\text{V}}.$$

Donc : R_{max} de la ligne : $R = \frac{\Delta U}{I}$

$$R = 0,96 / 64,16 = \mathbf{0,01\Omega}.$$

La section du conducteur :

$$S = \rho_{Cu} \cdot \frac{L}{R} = (1,6 \cdot 10^{-8} \cdot 20) / 0,01 = \mathbf{32 \text{ mm}^2}.$$

Ce qui correspond à une section normalisée de : $S = \mathbf{35 \text{ mm}^2}$.

3. Calcul du courant circulant entre les batteries et l'onduleur lorsque celui-ci débite sa puissance nominale :

La puissance du champ est entre 2kW et 10kW, la tension recommandée est de $U = 48\text{V}$.

$$I_{max \text{ Batterie}} = \frac{P_{max \text{ onduleur}}}{U_{Batterie}}$$

$$I_{max \text{ Batterie}} = 4000 / 48 = \mathbf{83,33\text{A}}.$$

Détermination de la section des conducteurs entre le parc de batterie et l'onduleur :

$$\Delta U = 48 \times 0,02 = \mathbf{0,96\text{V}}.$$

Donc : R_{max} de la ligne : $R = \frac{\Delta U}{I}$

$$R = 0,96 / 83,33 = \mathbf{0,01\Omega}.$$

La section du conducteur :

$$S = \rho_{Cu} \cdot \frac{L}{R} = (1,6 \cdot 10^{-8} \cdot 8) / 0,01 = \mathbf{12,8 \text{ mm}^2}.$$

Ce qui correspond à une section normalisée de : $S = \mathbf{16 \text{ mm}^2}$.

III.4.1.f. La surface du champ photovoltaïque

La longueur du panneau utilisé : 1640 mm.

La largeur du panneau utilisé : 992 mm.

La section d'un panneau : $S_m = 1,640 \times 0,992 = 1,627 \text{ m}^2$.

Donc : la surface totale occupée par tous les panneaux :

$$S_T = N_{pv} \times S_m$$

$$S_T = 14 \times 1,627 = \mathbf{22,77 \text{ m}^2}.$$

III.5. Etude du cas B : Etude du site alimenté par un seul champ

III.5.1 Evaluation du besoin énergétique

D'après le tableau, on trouve :

La puissance totale du site est de

$$P = 2650 \times 6 = \mathbf{15900 \text{ W}}.$$

La consommation énergétique moyenne journalière du site est de :

$$E = 7600 \times 6 = \mathbf{45600 \text{ Wh/j}}.$$

III.5.1.a. Calcul le nombre de panneaux

Caractéristiques électriques du panneau solaire utilisé qu'on a relevé du logiciel PVSYSYST :

Le modèle **Yingli_YL220P_29b.PAN** :

Puissance maximal : $P_{max} = 220 \text{ W}$.

Tension maximal : $U_{max} = 24 \text{ V}$.

Courant maximal : $I_{max} = 9,16 \text{ A}$.

Courant de court circuit $I_{cc} = 9,75 \text{ A}$.

$$N_{pv} = \frac{E_{elect} \times P_i}{E_{min}}$$

$$E_{min} = E_{ens} \cdot P_r$$

En hiver, Irradiation Globale = $121,9 \text{ W/m}^2$, pour une durée d'ensoleillement de 8 heures.

Donc : $E_{\text{ens}} = 0,121 \cdot 8 = 0,968$

$$E_{\text{ens}} = 0,968 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{j}$$

Calcul de E_{min} :

$$E_{\text{min}} = 0,968 \cdot 0,65$$

$$E_{\text{min}} = 0,629 \text{ kWh/m}^2.$$

Calcul le nombre de panneaux :

$$N_{\text{PV}} = 45,6 \cdot 1 / 0,629 = 72,49$$

Donc on prend : $N_{\text{PV}} = 73$ panneaux.

La puissance du champ dépasse 10kW, la tension recommandée est de $U = 96\text{V}$.

La centrale sera constituée d'un seul champ de panneaux montés comme suit :

- Nombre de panneaux en séries :

$$N_s = U/U_n = 96 / 24 = 4 \text{ panneaux en séries.}$$

- Nombre de branches parallèles :

$$N_{\text{bp}} = N / N_s = 73 / 4 = 18,25 = 19 \text{ panneaux en parallèles.}$$

Donc on aura besoin d'utiliser : 4 panneaux en séries et 19 panneaux en parallèles, on trouve :

$$N_{\text{PV}} = 19 \times 4 = 76 \text{ panneaux.}$$

Donc notre station photovoltaïque aura besoin de 68 panneaux photovoltaïques.

III.5.1.b. Dimensionnement du système de stockage

Choix de batteries et leurs capacités

Le choix des accumulateurs au plomb se résume à travers les avantages suivants :

- ✓ Bonne maîtrise de la technologie.
- ✓ Bon rapport : qualité / prix.
- ✓ Bonne tenue aux températures externes.
- ✓ Rendement supérieur à 90%.

Dans le but de prolonger la durée de vie, il faut éviter les décharges profondes et de maintenir les batteries chargées quand on les stocke.

Pour une utilisation normale en algérie, on peut admettre une autonomie de 3 à 4 jours.

Les caractéristiques de batteries solaires utilisées qu'on a relevé à partir du logiciel PVSYST :

Le modèle **Electrona_3Q14.BTR** :

Les batteries sont au plomb, de tension $U = 12V$ et $219Ah$ de capacité chacune ce qui implique que l'énergie totale d'une batterie sera :

$$E_{\text{unité}} = 12V \times 219Ah = 2628Wh.$$

Dans notre travail on impose une autonomie de 4 jours, donc l'énergie stockée dans l'ensemble des batteries doit être égale à : Energie journalière totale \times 4,5 jours.

Le 0,5 jour est la phase nocturne du 4^{ème} jour, on l'ajoute dans le calcul pour ne pas subir une décharge profonde des batteries.

Donc :

$$N_{\text{Batterie}} = \frac{E_{\text{Tot}} \times 4,5}{E_{\text{unité}}}$$

$$N_{\text{Batterie}} = 45600 \times 4,5 / 2628 = 78,08$$

Donc on prend : $N_{\text{Batterie}} = \mathbf{79 \text{ Batteries}}$.

III.5.1.c. Dimensionnement du régulateur

La puissance du champ dépasse 10kW, la tension recommandée est de $U = 96V$.

$$\text{On a : } P_c = N_{\text{PV}} \cdot P_{\text{max}}$$

$$P_c = 76 \times 220 = \mathbf{16720W}.$$

$$I_{\text{max}} = \frac{P_c}{U}$$

$$I_{\text{max}} = 16720 / 96 = 174,16A.$$

$$\mathbf{I_{\text{max}} = 174,16A.}$$

III.5.1.d. Dimensionnement de l'onduleur

Les caractéristiques de l'onduleur à utiliser doivent être compatibles avec une installation ayant une tension de 96V, une demande de puissance de **15,9kW**.

On prendra un $\cos \theta = 0,8$ et $\sin \theta = 0,6$ pour le dimensionnement.

La puissance réactive est égale donc à :

$$\mathbf{Q = P \times (0,6/0,8) .}$$

$$\mathbf{Q = 15,9 \times (0,6/0,8) = 11,925 \text{ kVar.}}$$

La puissance apparente du site est de :

$$\mathbf{S = (P^2 + Q^2)^{1/2}}$$

$$\mathbf{S = [(15,9)^2 + (11,925)^2] = 19,875 \text{ kVA.}}$$

Donc, on utilise l'onduleur **SMA SUNNY BOY 3800** de caractéristiques suivantes :

Puissance de sortie : 4000W.

Tensions d'entrée : 208V et 480V.

Tensions de sortie : 220V/230V.

Courant d'entrée : 2.15A.

Rendement maximal : 94,7%.

Nombre d'onduleurs :

$$N_{\text{ond}} = 45600/4000 = 11,4$$

Donc on prend : **$N_{\text{ond}} = 12$ Onduleurs.**

III.5.1.e. Choix des cables

1. Calcul du courant de sortie d'un panneau à sa puissance nominale :

$$I = \frac{P_{\text{max}}}{U_{\text{max}}}$$

$$I = 220/24 = \mathbf{9,16A}.$$

Détermination des sections des conducteurs entre les panneaux et le boîtier de raccordement :

$$\Delta U = 96 \times 0,02 = \mathbf{1,92V}.$$

Donc : R_{max} de la ligne : $R = 1,92 / 9,16 = \mathbf{0,2\Omega}$.

La section du conducteur :

$$S = \rho_{\text{Cu}} \cdot \frac{L}{R} = (1,6 \cdot 10^{-8} \cdot 20) / 0,2 = \mathbf{1,6 \text{ mm}^2}.$$

Ce qui correspond à une section normalisée de : $S = \mathbf{2,5 \text{ mm}^2}$.

2. Calcul du courant circulant entre les boîtiers et l'onduleur :

La puissance du champ dépasse 10kW, la tension recommandée est de $U = 96V$.

La puissance crete du champ photovoltaïque :

$$P_c = N_{\text{pv}} \times P$$

$$P_c = 76 \times 220 = \mathbf{16720W}.$$

Donc :

$$I = \frac{P_c}{U}$$

$$I = 16760 / 96 = \mathbf{174,16A}.$$

Détermination de la section des conducteurs entre le boîtier de raccordement et l'onduleur :

$$\Delta U = 96 \times 0,02 = \mathbf{1,92V}.$$

Donc : R_{\max} de la ligne : $R = \frac{\Delta U}{I}$

$$R = 1,92/174,16 = \mathbf{0,01\Omega}.$$

La section du conducteur :

$$S = \rho_{Cu} \cdot \frac{L}{R} = (1,6 \cdot 10^{-8} \cdot 20)/0,01 = \mathbf{32 \text{ mm}^2}.$$

Ce qui correspond à une section normalisée de : $S = \mathbf{35 \text{ mm}^2}$.

3. Calcul du courant circulant entre les batteries et l'onduleur lorsque celui-ci débite sa puissance nominale :

La puissance du champ dépasse 10kW, la tension recommandée est de $U = 96V$.

$$I_{\max \text{ Batterie}} = \frac{P_{\max \text{ onduleur}}}{U_{\text{Batterie}}}$$

$$I_{\max \text{ Batterie}} = 4000/96 = \mathbf{41,66A}.$$

Détermination de la section des conducteurs entre le parc de batterie et l'onduleur :

$$\Delta U = 96 \times 0,02 = \mathbf{1,92V}.$$

Donc : R_{\max} de la ligne : $R = \frac{\Delta U}{I}$

$$R = 1,92/41,66 = \mathbf{0,04\Omega}.$$

La section du conducteur :

$$S = \rho_{Cu} \cdot \frac{L}{R} = (1,6 \cdot 10^{-8} \cdot 8)/0,04 = \mathbf{3,2 \text{ mm}^2}.$$

Ce qui correspond à une section normalisée de : $S = \mathbf{4mm^2}$.

III.5.1.f. La surface du champ photovoltaïque

La longueur du panneau utilisé : 1640 mm.

La largeur du panneau utilisé : 992 mm.

La section d'un panneau :

$$S_m = 1,640 \times 0,992 = 1,627m^2.$$

Donc : la surface totale occupée par tous les panneaux :

$$S_T = N_{pv} \times S_m$$

$$S_T = 76 \times 1,627 = \mathbf{123,65 \text{ m}^2}.$$

III.6. Simulation et les résultats avec logiciel PVSYST

III.6.1. Introduction

En vue d'étudier les performances de système photovoltaïque isolé avec batterie. Une simulation de système était réalisé par logiciel PVSYST développé par l'université de Genève en vue de déterminer le comportement du système suivant sa base de donnée avec le site géographique ainsi les paramètres techniques de différents composants.

Ce logiciel, étudie et dimensionne les systèmes isolé avec batteries ou couplée au réseau.

De ce fait, dans le cadre de notre travail, on a proposé d'étudier un système isolé avec batteries pour alimenter notre site qui se trouve à Bouzeguène.

Dans cette partie, on va citer les données du site considéré et les paramètres techniques sur lesquels se base le logiciel pour dimensionner notre système isolé avec batteries.

III.6.2. Données de site

III.6.2.a. Situation géographique

The screenshot shows the 'Lieu' (Location) configuration window in the PVSYST software. It contains the following fields and values:

- Nom du site: Bouzeguène site
- Pays: Algeria
- Région: Afrique
- Latitude: 36.33 (Decimal) / 36 20 (Deg. min.)
- Longitude: 4.30 (Decimal) / 4 18 (Deg. min.)
- Altitude: 1094 M au-dessus du niv. de la mer
- Fus. horaire: 1 Correspondant à une différence moyenne
- Temps Légal - Temps Solaire = 0h 43m

Figure III.1 : Situation géographique de Bouzeguène [21]

III.6.2.b. Données météorologiques

A partir du site www.sundous.com, puis on a entré dans PVGIS, on a obtenue données météorologique, température et l irradiation mensuelle du lieu de notre site.

	Irrad. Glob. W/m ²	Diffus W/m ²	Tempér. °C
Janvier	120.8	106.3	3.6
Février	140.4	118.7	4.2
Mars	197.9	158.3	8.7
Avril	221.3	139.6	12.3
Mai	247.5	137.1	16.2
Juin	288.3	109.6	22.1
Juillet	301.7	110.8	26.2
Août	289.2	111.7	25.7
Septembre	230.4	135.4	19.9
Octobre	195.8	135.4	15.5
Novembre	132.5	112.5	8.7
Décembre	104.6	99.6	5.1
Année	205.7	122.6	14.0

Figure III.2 : Données météorologiques de Bouzeguène [21]

D'après le tableau de la figure III.2, on peut déduire que le rayonnement solaire global annuel de Bouzeguène est 205,7 W/m², avec des températures ambiantes de 14 °C, la valeur de rayonnement diffus 122,6 W/m².

Notons que ces valeurs sont moyennes et prises pour l'année 2015 comme référence, ce sont des paramètres qui influencent la production du panneau et du système photovoltaïque, on trouvera ça dans la suite du document.

III.6.3. Paramètres du soleil

III.6.3.a. Hauteur du soleil

Pour les hélios techniciens, la définition du jour point de vue astronomique, est la période entre le lever et le coucher du soleil, durant laquelle, le soleil se lève, en parcourant un trajet jusqu' atteindre une hauteur maximale à midi (12h00) temps solaire vrai, dans ce point il atteint son max et notre système solaire atteint son maximum de rendement.

Après cette phase, il descend lentement jusqu'au coucher avec une diminution de rayonnement émis dû à des valeurs positives de l'ombrage dans le ciel, ce qui cause une baisse de rendement du système tout en étant plus proche de coucher.

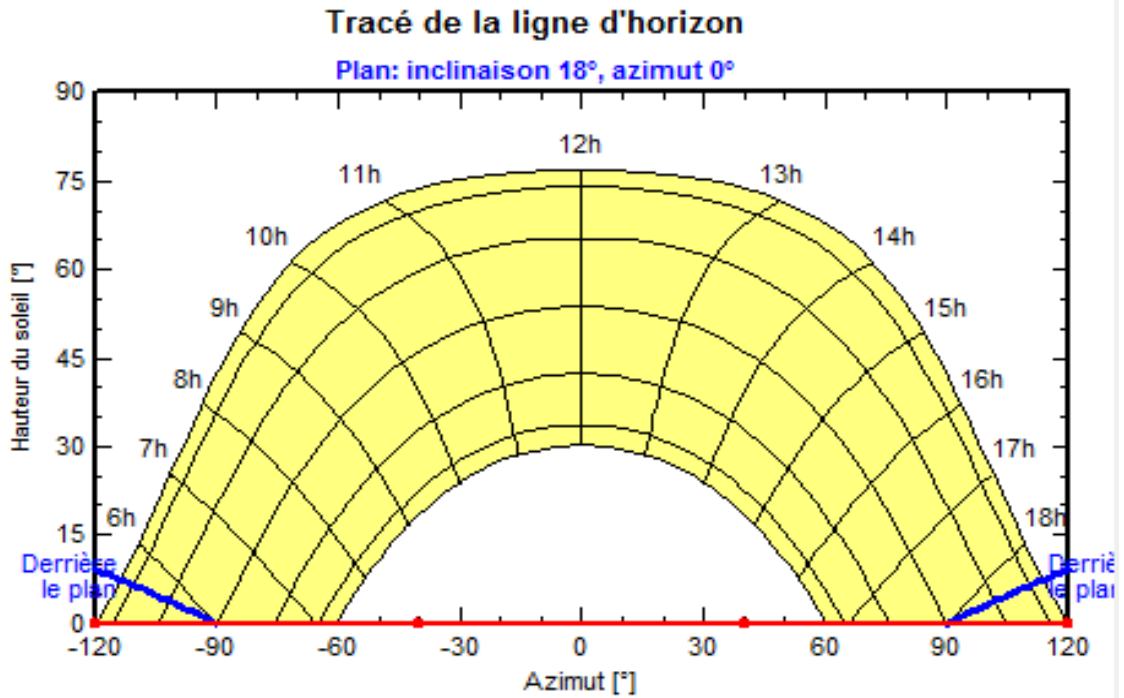


Figure III.3 : Ligne d'horizon en fonction de l'angle d'inclinaison des panneaux [21]

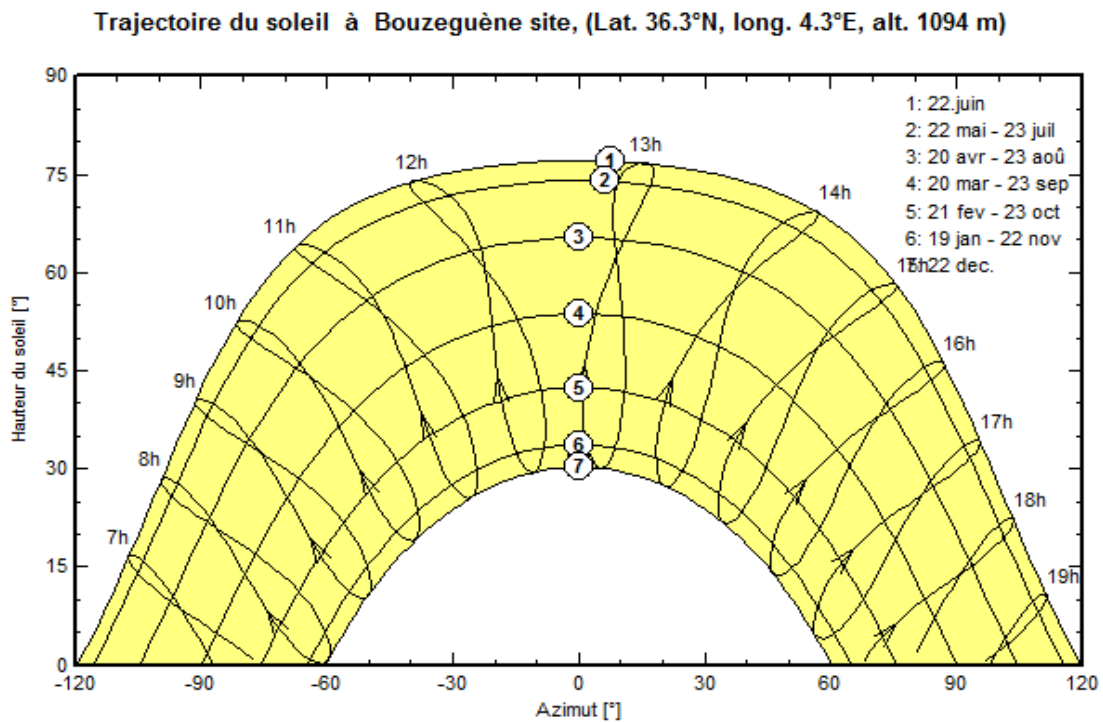


Figure III.4 : Trajectoire de soleil à Bouzeguène [21]

III.6.4. Orientation

III.6.4.a. Orientation plan incliné fixe (18°)

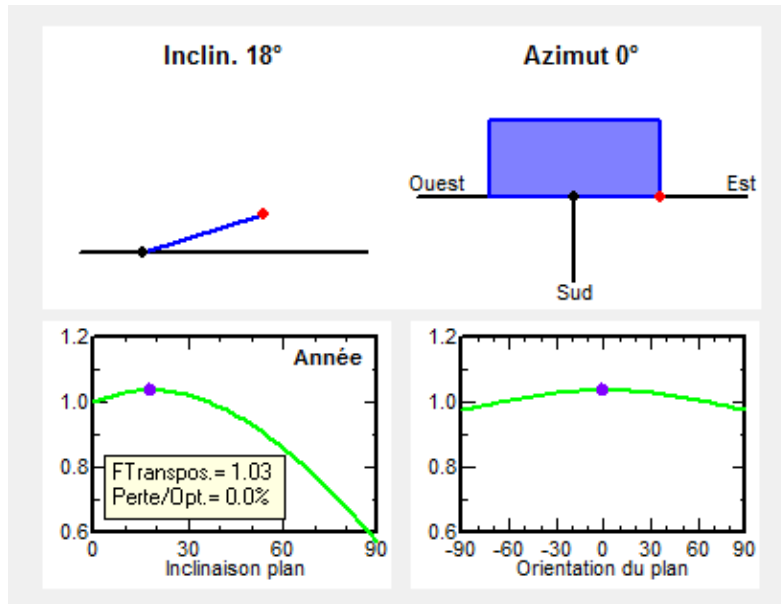
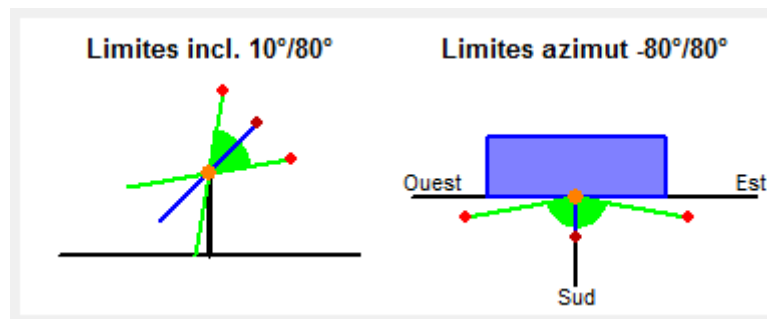


Figure III.5 : Détermination d'angle d'inclinaison de plan incliné fixe pour notre site [21]

Dans la figure III.5, on peut observer l'angle d'inclinaison de nos panneaux nécessaires pour que le soleil tombe sur la surface réceptrice de la façon de rester en haut plus de temps et donner en conséquence une production optimale du champ, nous permettons de tirer profit maximal de l'ensoleillement durant le jour.

Ces valeurs ont été déterminé pour une optimisation annuelle et en négligeant toutes les pertes.

III.6.4.b. Orientation avec suiveur deux axes



1. Inclinaison verticale

2. Inclinaison horizontale

Figure III.6 : Détermination d'angle d'inclinaison de plan incliné avec deux axes [21]

III.6.5. Estimation de la consommation des charges électriques pour le site

Nous devons estimer la demande d'énergie de la charge par le calcul de la consommation moyenne quotidienne de chaque appareil pour les maisons au total dans ce site (6 maisons). Les résultats sont présentés dans le tableau III.1. Et la figure III.7 présente le pré-dimensionnement en utilisant un logiciel PV système.

Consumption definition by:

- Year
- Seasons
- Months

Week-end use: Use only during 7 days in a week

Model:

Daily consumptions:

Number		Power		Mean Daily use		Daily energy
36	Fluorescent lamps	15	W/lamp	5.0	h/day	2700 Wh
12	TV / Magnetoscope / PC	85	W/app.	5.0	h/day	5100 Wh
12	Domestic appliances	150	W/app.	3.0	h/day	5400 Wh
6	Fridge / Deep-freeze			0.90	kWh/day	5400 Wh
6	Dish-washer, Cloth-washer			1.50	kWh/day	9000 Wh
	Other uses	6000	W tot	3.0	h/day	18000 Wh
	Stand-by consumers	0	W tot	24h/day		0 Wh
Total daily energy						45600 Wh/day
Total monthly energy						1368.0 kWh/month

Appliances info | Hourly distribution

Figure III.7 : Pré-dimensionnement de l'énergie de l'utilisation quotidienne en utilisant le logiciel PVSYST [21]

III.6.6. Les résultats obtenus a l'aide du logiciel PVSYS

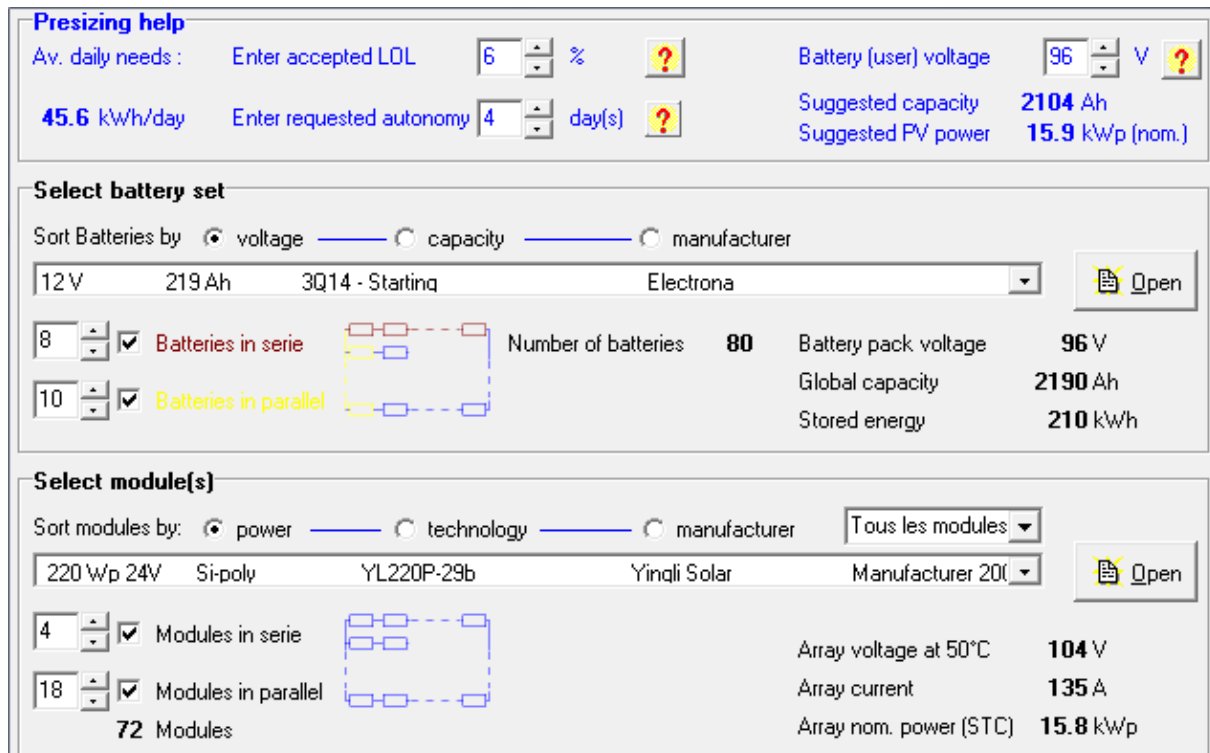


Figure III.8 : Résultats obtenues à l'aide du logiciel PVSYS [21]

III.6.7. Dimensionnement l'ensemble du système

Schéma simplifié

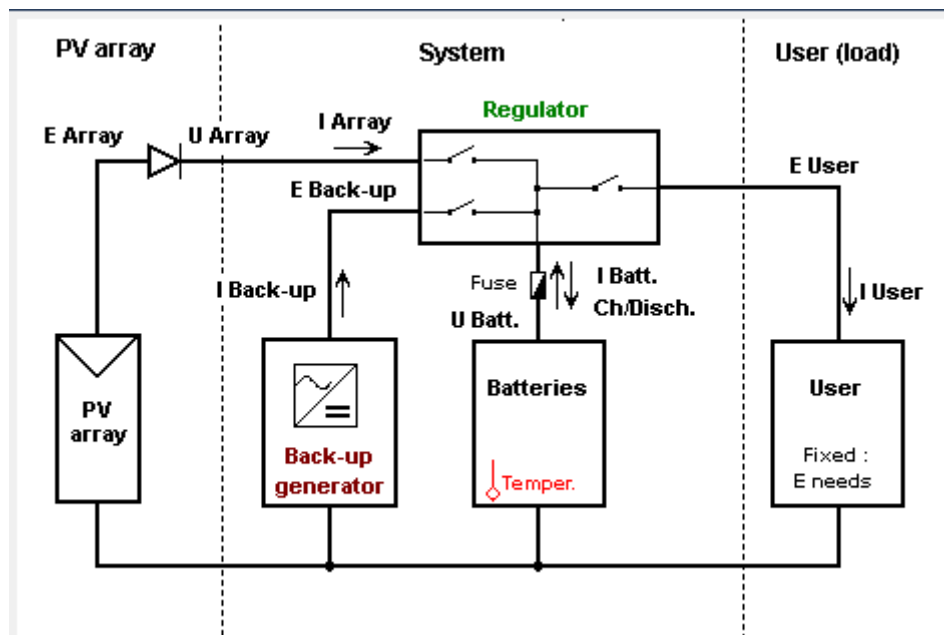


Figure III.9 : Image schématique d'un système photovoltaïque [21]

III.7. Résultats de la simulation et discussion

Les principaux résultats des simulations de PVSYST seront présentés sous forme de graphiques et de tableaux, puis tous ces résultats seront discutés. La faisabilité du système en général sera également discutée.

III.7.1 L'énergie solaire disponible

La figure montre que, l'énergie solaire disponible atteint la valeur maximale (3400kWh) à l'heure d'été (Juillet-Août), tandis que la valeur moyenne minimale est généralement basse à l'heure d'hiver (Décembre-Janvier).

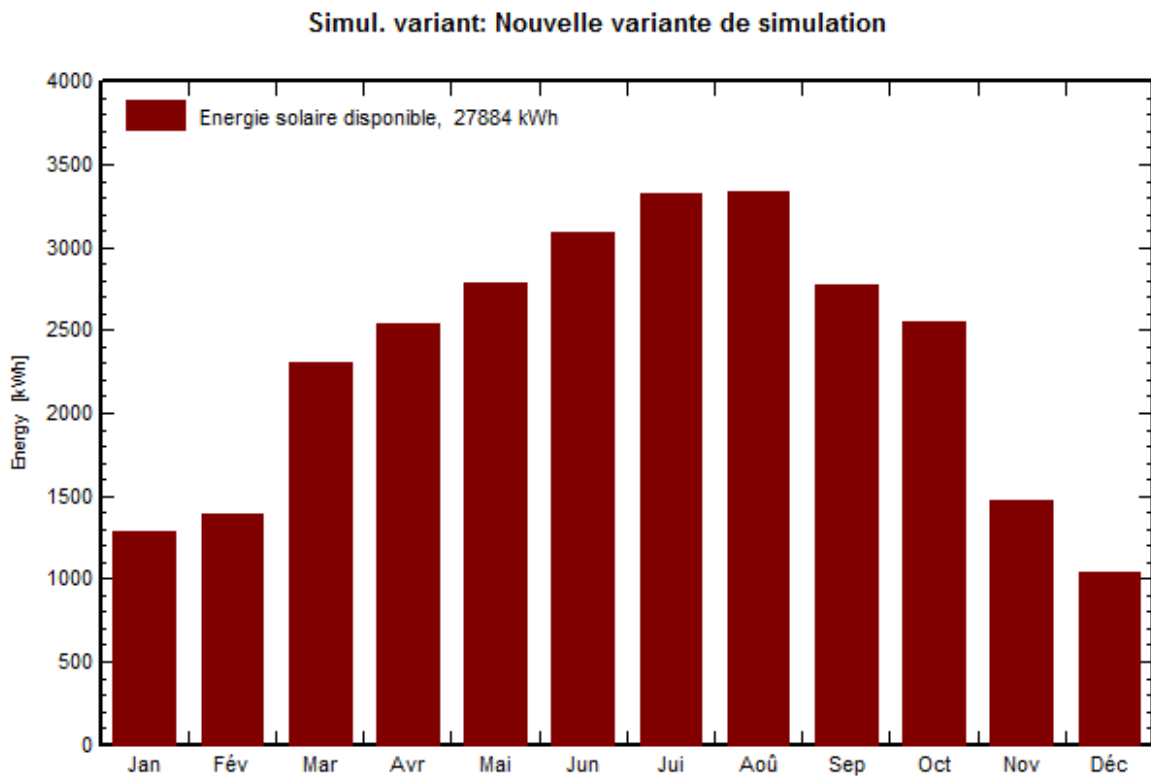


Figure III.10 : Energie solaire disponible [21]

III.7.2 Entrée / Schéma de sortie

Des diagrammes d'entrée / sortie impliquent la production du système en fonction de l'irradiation d'entrée. Idéalement, l'absorption de la photovoltaïque devrait augmenter de façon linéaire avec l'irradiation à tout moment, pour démontrer une utilisation optimale de l'irradiation dans les tableaux. Le schéma d'entrée / sortie permet d'avoir une idée de la façon dont fonctionne le système est et lui donne immédiatement des indications sur les jours inefficaces. Le graphique d'entrée / sortie doit être aussi fort que possible sous-entendant fraction d'absorption bénéfique de l'énergie solaire, en d'autres termes une bonne efficacité de module. L'axe des abscisses représente le rayonnement global incident par m^2 par jour ($kWh / m^2 \cdot day$), et l'axe des ordonnées indique l'énergie injectée dans le réseau ($kWh / jour$). Tous les points, il existe 365 d'entre eux dans le diagramme, représente la moyenne irradiation incidente de chaque jour et l'absorption correspondante de la matrice.

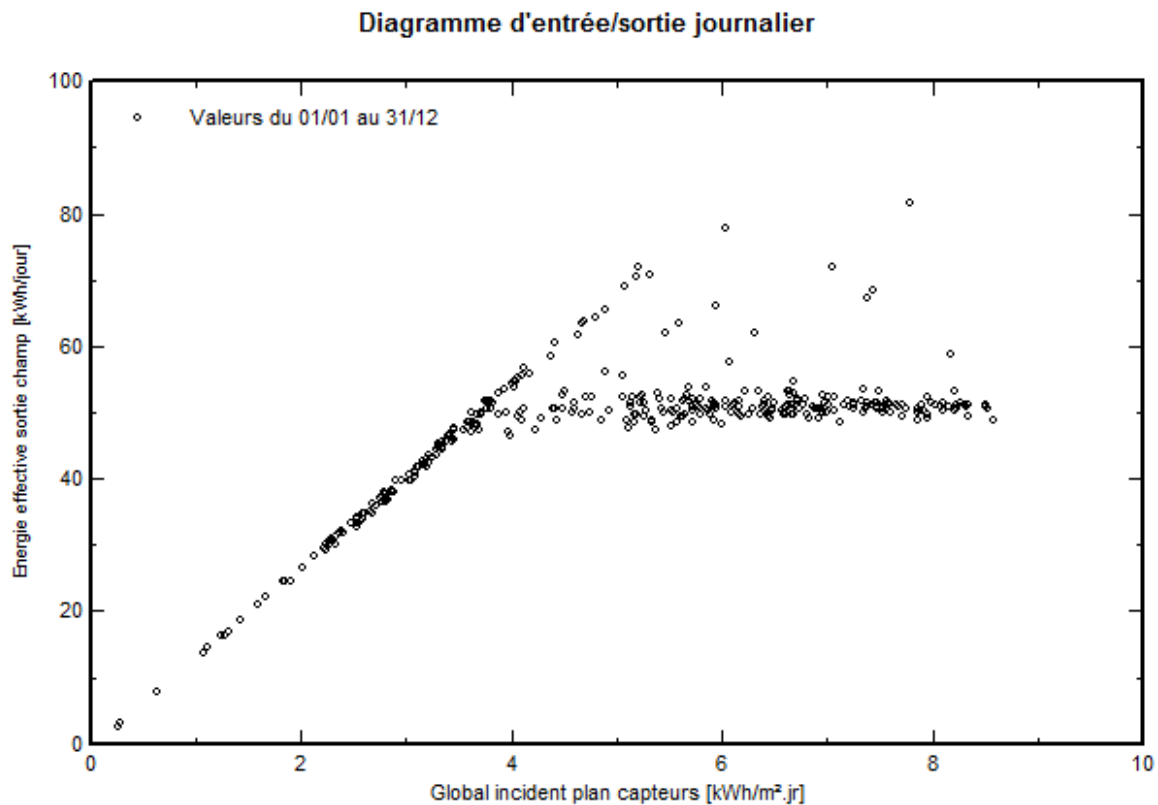


Figure III.11 : Schéma d'entrée Daily / sortie [21]

Le schéma d'entrée / sortie pour le système, illustre un système qui fonctionne bien et efficace indiqué par la plupart des points conservés sur la ligne la plus raide. Il y a cependant quelques jours qui diffèrent de la tendance, mais la partie principale des jours gisaient sur le proche de la ligne linéaire.

III.7.3. Diagramme du besoin énergétique et l'énergie fournie à l'utilisateur

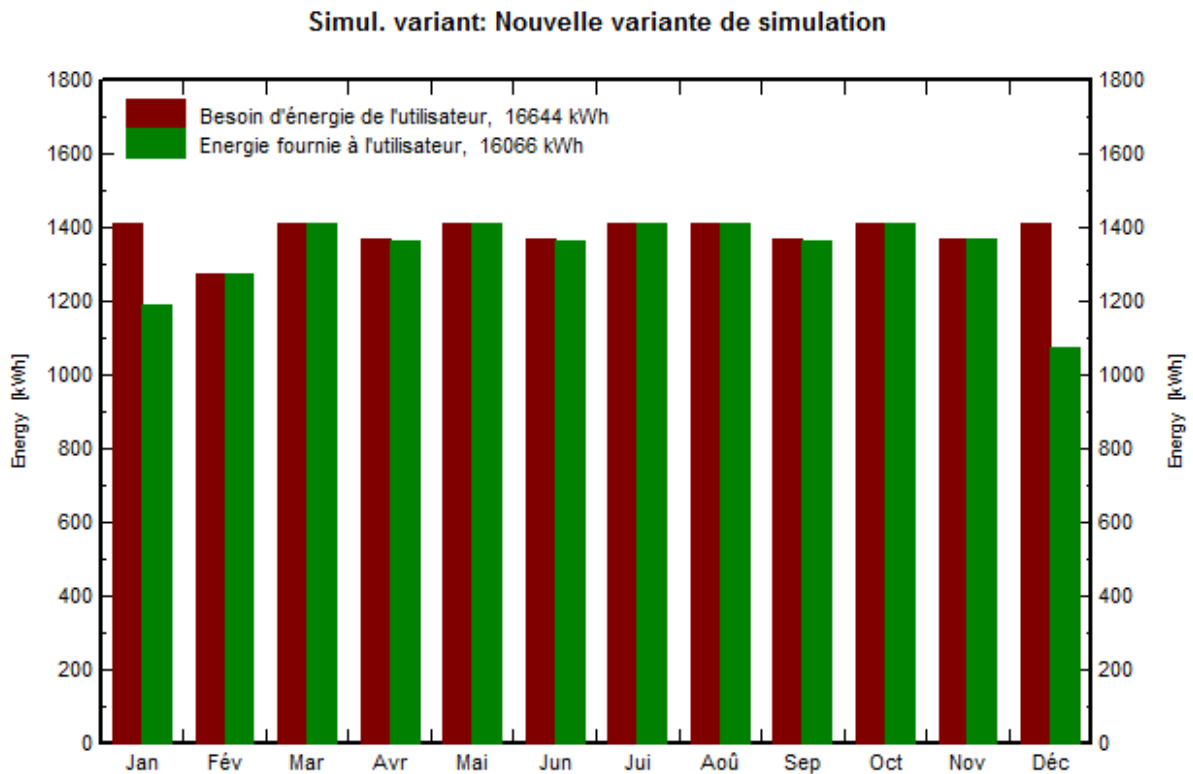


Figure III.12 : Les besoins énergétique et l'énergie fournie à l'utilisateur [21]

D'après le diagramme, on peut constater que les besoins énergétiques de l'utilisateur sont presque égaux à l'énergie fournie à l'utilisateur dans la plus part des mois de l'année.

On remarque que pendant les deux mois de l'hiver : Décembre et Janvier dont on a moins d'énergie solaire on a l'énergie fournie à l'utilisateur est inférieur au besoin énergétique.

III.7.4. Les pertes

Concernant les pertes, les valeurs par défaut de pertes sont mises en œuvre dans la simulation, contenant des pertes de onduleurs, modules photovoltaïques et d'autres composants du système. Cependant, d'autres pertes peuvent être ajoutées au système. Un exemple de cela, les pertes de désadaptation connectée à la mise en forme non uniforme de la matrice. Nous pouvons également ajouter les pertes de câblage supplémentaires. Toutefois, il a été choisi de rester avec les pertes de défaut, parce que la recherche montre que ceux-ci sont très soigneusement choisis et réaliste, et aussi elles ne devraient pas être influencées par l'ombre.

Le digramme de la figure III.13 est le diagramme des pertes, montre les énergies aux différents niveaux du système, avec une évaluation des pertes à chaque stade.

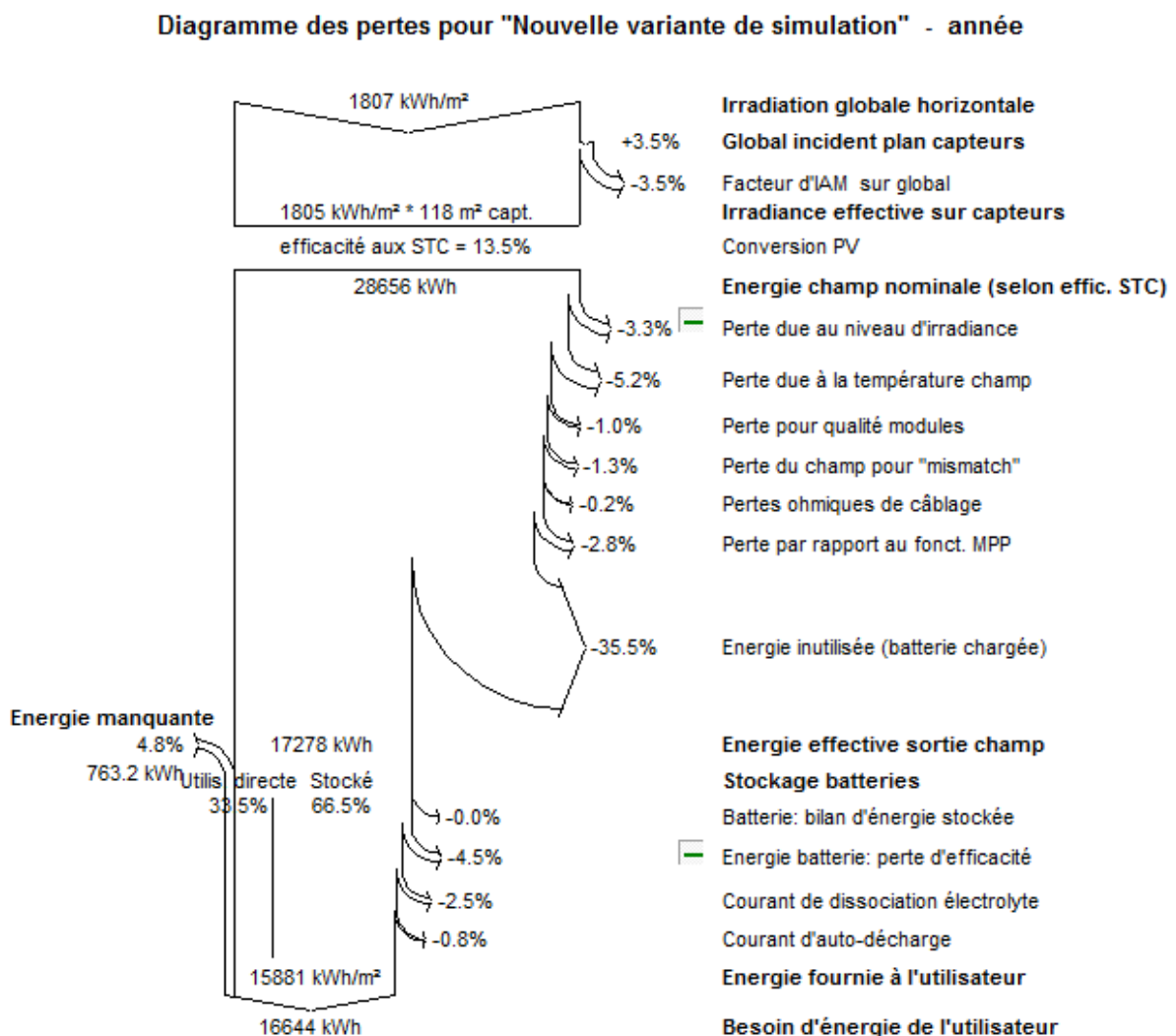


Figure III.13 : Diagramme de perte [21]

En regardant la figure III.13, nous rendons compte qu'il y a beaucoup de façons de regarder les pertes concernant les systèmes photovoltaïques. Nous pouvons par exemple regarder l'énergie totale atteignant les modules photovoltaïques, ou éviter de prendre de l'efficacité des modules en compte. Y compris les pertes dues au module inefficacité est pas une chose très commune à faire, en tant que modules photovoltaïques ont généralement un faible degré d'efficacité.

La figure III.14 nous montre ce tableau énergie nominale pour le système est 28656 kWh et de l'énergie fournie à l'utilisateur est 17278 kWh. Ceci implique une perte de 39,71%. Un autre facteur intéressant est l'énergie nécessaire par l'utilisateur (charge) qui est 763,2 kWh.

III.7.5. Production normalisé

Dans la figure ci-dessous la production normalisée est montré :

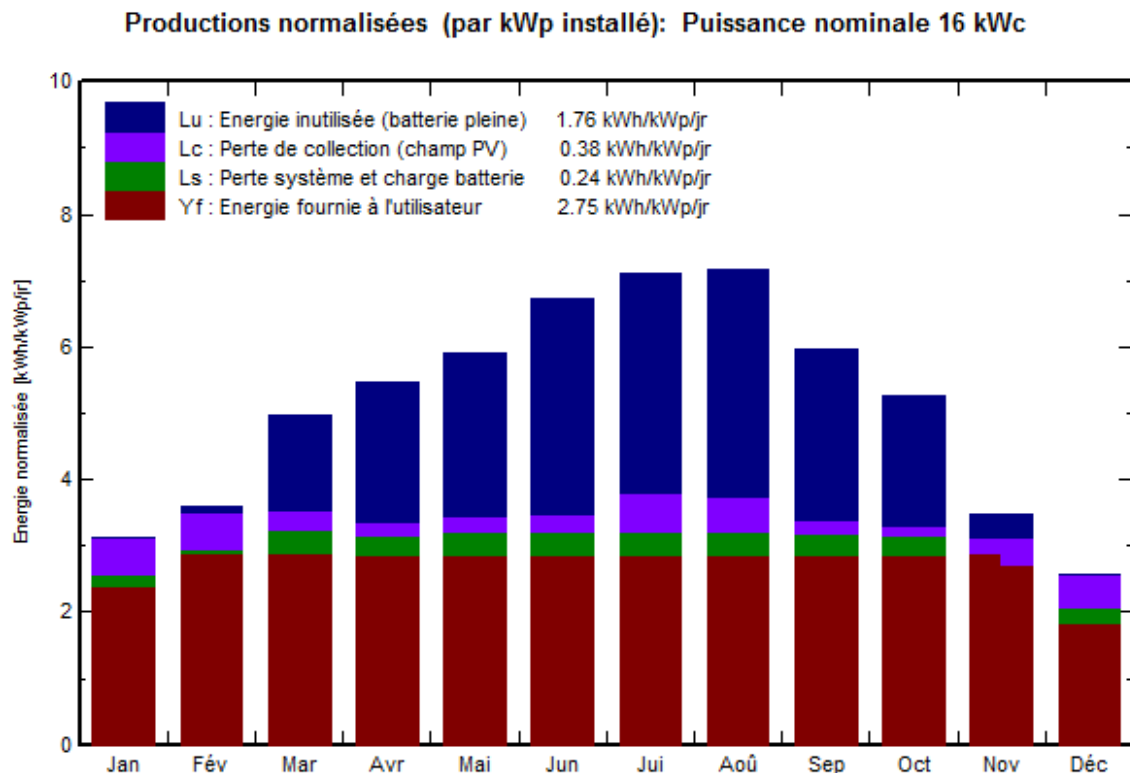




Figure III.14 : Diagramme de la production normalisée [21]

Pertes de tableau et la perte du système sont pareille sur l'année, ce qui n'est pas très surprenant que les modules sont les mêmes et qu'il y a pas d'ombre interfèrent avec le système. Les barres rouges indiquant l'énergie produite et est la plus élevée en Juin, Juillet et en Août. Les mois de pertes de production faibles sont beaucoup plus faibles pour les mois de faible production, que pour les autres mois, étant donné que les charges sont fournies directement à partir de la grille.

III.7.6 Résultats des paramètres de simulation

	PVSYST V5.05	17/09/16	Page 1/4
Système isolé avec batteries: Paramètres de simulation			
Projet :	Bouzeguène site		
Site géographique	Bouzeguène site	Pays	Algeria
Situation	Latitude 36.3°N	Longitude	4.3°E
Temps défini comme	Temps légal Fus. horaire TU+1	Altitude	1094 m
	Albédo 0.20		
Données météo :	Bouzeguène site, Données horaires synthétiques		
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation			
	Date de la simulation	17/09/16 à 19h06	
Paramètres de simulation			
Orientation plan capteurs	Inclinaison	18°	Azimut 0°
Caractéristiques du champ de capteurs			
Module PV	Si-poly	Modèle	YL220P-29b
		Fabricant	Yinli Solar
Nombre de modules PV		En série	4 modules
Nombre total de modules PV		Nbre modules	72
Puissance globale du champ		Nominale (STC)	16 kWc
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)		U mpp	104 V
Surface totale		Surface modules	118 m²
		En parallèle	18 chaînes
		Puissance unitaire	220 Wc
		Aux cond. de fonct.	14 kWc (50°C)
		I mpp	135 A
		Surface cellule	105 m²
Facteurs de perte du champ PV			
Fact. de pertes thermiques	Uc (const)	29.0 W/m²K	Uv (vent) 0.0 W/m²K / m/s
=> Tempér. de fonct. nominale (G=800 W/m², Tamb=20°C, Vit. vent = 1m/sNOCT			45 °C
Résistance de câblage	Rés. globale champ	3.7 mOhm	Frac. pertes 0.4 % aux STC
Perte diode série	Chute de tension	0.7 V	Frac. pertes 0.6 % aux STC
Perte de qualité module			Frac. pertes 1.5 %
Perte de "mismatch" modules			Frac. pertes 4.0 % (tension fixée)
Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE	IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)	Paramètre bo	0.05
Paramètres du système	Type de système	Système isolé avec batteries	
Batterie	Modèle	3Q14 - Starting	
	Fabricant	Electrona	
Caractéristiques du banc de batteries	Tension	96 V	Capacité nominale 2190 Ah
	Nombre d'unités	8 en série x 10 en parallèle	
	Température	Fixée (20°C)	
Régulateur	Modèle	General Purpose Default	
	Technologie	Undefined	Coeff. de temp. -5.0 mV/°C/elem.
Seuils de régulation batterie	Charge	109.4/104.6 V	Décharge 94.1/100.8 V
	Commande génératrice d'appoint	94.6/103.2 V	
Besoins de l'utilisateur :	Consomm. domestique moyenne	Constants sur l'année 46 kWh/Jour	

	PVSYS V5.05	17/09/16	Page 2/4	
Système isolé avec batteries: Besoins de l'utilisateur				
Projet : Bouzeguène site				
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation				
Principaux paramètres système				
Type de système	Isolé avec batteries			
Orientation plan capteurs	inclinaison	18°	azimut 0°	
Champ PV	Nombre de modules	72	Pnom total 16 kWc	
Batterie	Modèle	3Q14 - Starting	Technologie ouverte, démarrage	
batteries	Nombre d'unités	80	Tension / Capacité 96 V / 2190 Ah	
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Constants sur l'année global 16.64 MWh/an		
Consomm. domestique, Constants sur l'année, moyenne = 46 kWh/jr				
Valeurs annuelles				
	Nombre	Puissance	Utilisation	Energie
Lampes fluorescentes	36	15 W/lampe	5 h/jour	2700 Wh/jour
TV / Magnétoscope / PC	12	85 W/app	5 h/jour	5100 Wh/jour
Appareils domestiques	12	150 W/app	3 h/jour	5400 Wh/jour
Frigo / Congélateur	6		900 Wh/jour	5400 Wh/jour
Machines à laver linge/vaisselle	6		1500 Wh/jour	9000 Wh/jour
Autres utilisations	1	6000 W tot	3 h/jour	18000 Wh/jour
Energie journalière totale				45600 Wh/jour
Principaux paramètres système				
Type de système	Isolé avec batteries			
Orientation plan capteurs	inclinaison	18°	azimut 0°	
Champ PV	Nombre de modules	72	Pnom total 16 kWc	
Batterie	Modèle	3Q14 - Starting	Technologie ouverte, démarrage	
batteries	Nombre d'unités	80	Tension / Capacité 96 V / 2190 Ah	
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Constants sur l'année global 16.64 MWh/an		
Principaux résultats de la simulation				
Production du système	Energie disponible	27.44 MWh/an	Productible	1732 kWh/kWc/an
	Energie utilisée	15.88 MWh	En excès (inutilisée)	10.16 MWh/an
	Indice de performance (PR)	53.6 %	Fraction solaire (SF)	95.4 %
Besoins non satisfaits	Fraction du temps	4.9 %	Energie manquante	763 kWh

Nouvelle variante de simulation
Bilans et résultats principaux

	GlobHor	GlobEff	E Avail	EUnused	E Miss	E User	E Load	SolFrac
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	
Janvier	89.9	93.3	1264	1	232.1	1182	1414	0.836
Février	94.4	96.7	1346	42	0.3	1276	1277	1.000
Mars	147.3	147.8	2290	705	1.2	1412	1414	0.999
Avril	159.3	158.2	2498	1001	1.6	1366	1368	0.999
Mai	184.1	177.4	2784	1212	1.9	1412	1414	0.999
Juin	207.6	195.8	3073	1544	1.8	1366	1368	0.999
Juillet	224.4	213.9	3201	1622	1.8	1412	1414	0.999
Août	215.1	215.3	3249	1673	1.8	1412	1414	0.999
Septembre	165.9	172.9	2745	1227	1.8	1366	1368	0.999
Octobre	145.7	157.2	2509	962	1.8	1412	1414	0.999
Novembre	95.4	100.1	1459	170	0.7	1367	1368	0.999
Décembre	77.8	76.6	1018	1	516.3	897	1414	0.635
Année	1806.9	1805.2	27438	10160	763.2	15881	16644	0.954

Légende :

GlobHor : Irradiation globale horizontale

GlobEff : Global "effectif", corr pour IAM et ombrages

E Avail : Energie solaire disponible

E Unused : Energie inutilisée (batterie chargé)

E Miss : Energie manquante

E User : Energie fournie à l'utilisateur

E Load : Besoin d'énergie de l'utilisateur

SolFrac : Fraction solaire (Eutile / Ebesoin)

III.7.7 Tableau des résultats obtenus par les deux méthodes de calcul

Calculs théoriques	Calculs avec logiciel
$P = 15900 \text{ W}$ $E = 45600 \text{ Wh /j}$ $P_c = 16720 \text{ Wc}$ $N_{pv} = 76 \text{ panneaux}$ $N_{Bat} = 79 \text{ batteries}$ $I_{max} = 174,16 \text{ A}$ $\text{Surface} = 123,65 \text{ m}^2$	$P = 15900 \text{ W}$ $E = 45600 \text{ Wh /j}$ $P_c = 16000 \text{ Wc}$ $N_{pv} = 72 \text{ panneaux}$ $N_{Bat} = 80 \text{ batteries}$ $I_{max} = 135 \text{ A}$ $\text{Surface} = 118 \text{ m}^2$ $\text{Surface cellules} = 105 \text{ m}^2$

Interprétation des résultats

Nous constatons que les résultats obtenues à l'aide de calcul théorique, est très proches ou presque égale au résultat obtenues grâce au logiciel PVSYST. Cette légère différence est due à l'approximation des résultats obtenus avec le calcul théorique, la marge d'erreur exigée par le logiciel PVSYST, ainsi que les différents paramètres introduit dans ce dernier, comme les données météorologiques l'ensoleillement ...etc. Contrairement au premier calcul qui est direct, en dépit de ça les résultats sont les mêmes.

III.8 Conclusion

Les installations photovoltaïques doivent être dimensionnées pour qu'elles puissent fournir l'énergie dans les conditions les plus favorables, ce qui nous permet d'aboutir à une meilleure optimisation des installations photovoltaïques.

Dans ce chapitre, nous avons procédé aux différents calculs de dimensionnement du champ de panneaux photovoltaïques, on a réalisé deux configurations d'études à savoir :

Cas A : alimenter chaque maison par un seul champ photovoltaïque.

Cas B : alimenter tout le site par un seul champ photovoltaïque.

En deuxième lieu on a présenté les étapes de dimensionnement de la centrale avec le logiciel de simulation PVSYST.

Dans de ce chapitre nous avons essayé de dimensionner notre station à l'aide de deux moyens différents, soit par un calcul théorique, ou par un logiciel de calcul. il s'avère que les deux moyens sont justes et les résultats sont presque identiques.

Nous avons présenté les étapes de dimensionnement d'une centrale PV avec le logiciel PVSYST. A base des résultats de simulation, nous pouvant conclure que la centrale PV permet une production maximale d'énergie.

Les pertes due à la qualité de l'onduleur ont une influence importante sur l'énergie produite par la centrale PV, d'où la nécessité d'opter pour une technologie permettant la meilleure efficacité annuelle de ce composant qui représente l'élément clé et plus délicat d'une installation PV.

Le calcul à l'aide du logiciel PVSYST est plus efficace, puisque il nous permet d'avoir plus de détails et plus d'éléments intervenant dans le système comme par exemple le diagramme des pertes, l'inclinaison des modules ...etc. Donc le calcul du logiciel est plus complémentaire pour le dimensionnement.

Conclusion générale

Les exigences du protocole de Kyoto imposent que notre avenir énergétique doit être basé sur des énergies non polluantes ayant des ressources importantes. Le photovoltaïque, est une jeune énergie renouvelables dans la production de l'énergie électrique. Il pourrait devenir l'énergie du futur, parce que l'électricité qu'il produit respecte globalement l'environnement grâce à sa faible émission de CO₂, ce qui participe à diminuer les émissions à effet de serre. Ainsi on peut dire que le photovoltaïque répond aux exigences du protocole de Kyoto, et que c'est une énergie qui sera exploitée et utilisée.

Notre travail consiste à l'étude de l'électrification d'un village avec de l'énergie solaire photovoltaïque (PV). La méthode de dimensionnement et d'optimisation utilisée, basée, est simple et très précise car elle est basée sur le profil de consommation et l'apport énergétique du lieu se sur des moyennes horaires et non journalières, ce qui permet d'atteindre l'équilibre parfait entre l'offre et la demande en énergie électrique. Cette méthode s'avère très utile pour dimensionner des systèmes PV autonomes placés en zone isolée.

Dans le cas de la mise en œuvre d'un projet photovoltaïque, proprement dit la réalisation d'une centrale électro-solaire destinée principalement à l'alimentation énergétique d'un site isolé, une estimation économique succincte peut être alors menée, après avoir préalablement effectué l'étude de faisabilité et de viabilité d'un tel ensemble adapté aux zones rurales. La question du prix élevé de l'électricité photovoltaïque est souvent avancée comme un frein important au développement de cette ressource énergétique, cependant ce prix aujourd'hui est environ 2,25€ par W_C baisse régulièrement avec les avancées technologiques diverses, l'objectif professionnel est de passer dans quelques années sous la barre symbolique de 1€ par W_C quelle que soit la baisse des couts atteinte, cela rend cette énergie de plus en plus intéressante pour le grand public.

Le photovoltaïque est toutefois une solution d'avenir qui mérite d'être exploitée un peu plus. C'est une énergie qui permet une production autonome d'électricité, une économie de combustibles fossiles et donc la réduction des émissions de gaz à effet de serre ainsi qu'une réduction de la pollution atmosphérique. Systèmes faciles à installer et modulables, sa construction et sa maintenance peuvent être assurée par des non spécialistes. L'absence de pièces mécaniques en mouvement réduit les risques de panne.

Nous pouvons affirmer que nous sommes arrivés à l'objectif que nous avons fixé dans l'introduction générale.

Les perspectives sont nombreuses et nous citons à titre d'exemple :

- ✚ Inclure l'aspect économique dans l'étude.
- ✚ Associer un PV avec une autre source pour obtenir un système PV- Hybride.

Références Bibliographiques

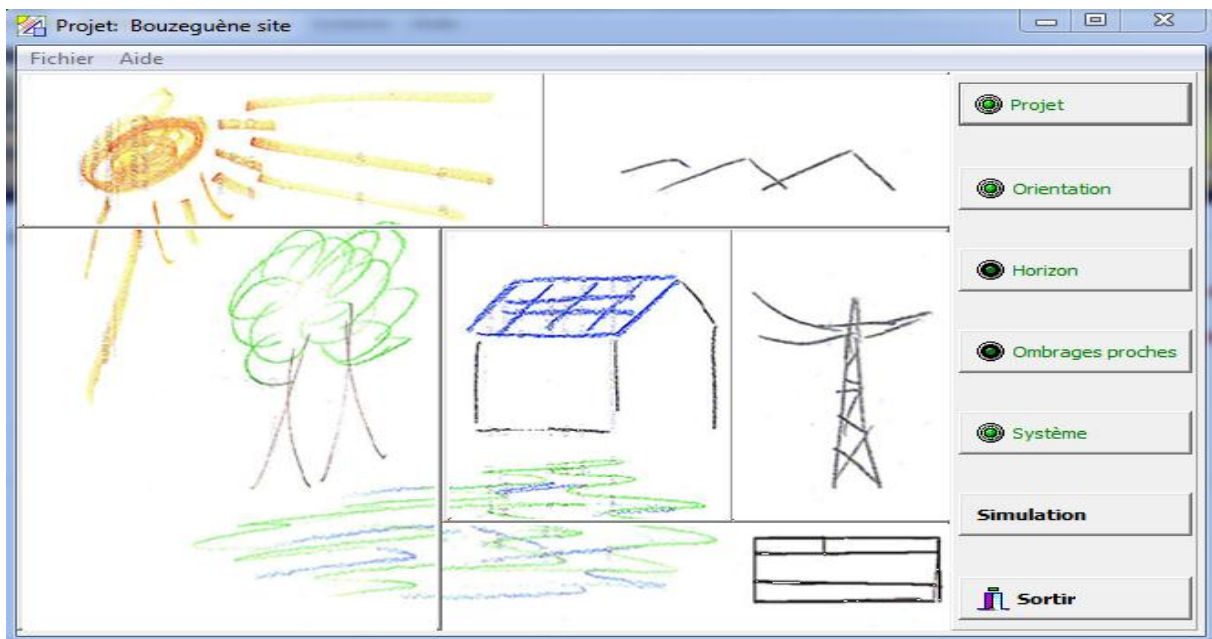
- [1] J. Royer et T. Djiako et E. Schiler, B. Sadasy, " Le pompage photovoltaïque", Université d'Ottawa, 1998.
- [2] S.ABADA " Etude et optimisation d'un générateur photovoltaïque pour la recharge d'une batterie avec un convertisseur sepic", Mémoire Maître es Sciences, Université Laval, 2011.
- [3] M. Gapderou, "Atlas Solaire de L'Algérie ", Tome, 2, OPU 1983.
- [4] Mr BOUZID Allal El Moubarak, Mr AZIZI Mohammed, " Dimensionnement d'un système photovoltaïque pour l'alimentation d'une ferme - Étude de l'onduleur triphasé lié à cette application", Mémoire, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, 2008.
- [5] Julien LABBÉ, " l'hydrogène électrolytique comme moyen de stockage d'électricité pour systèmes photovoltaïques isolés ", thèse de doctorat de l'école des mines de paris, Spécialité "Énergétique" le 21 décembre 2006.
- [6] Mr Othmane BENSEDDIK, Mr Fathi DJALOU, " Etude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque ", Mémoire de Master, Université KASDI MERBAH- Ouargla, 2012.
- [7] Salaheddine MANSOUR, " Etude de Dimensionnement optimal d'une station solaire autonome en site isolé ", Mémoire de Master, Université de Tlemcen, 2014.
- [8] Aminata. Sar, " Simulation du système hybride Photovoltaïque ", Mémoire de doctoral 1998, canada.
- [9] M. Petibon Stéphane, "Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques" , Thèse de Doctorat, Université Toulouse III- Paul Sabatier, 2009.
- [10] M. ORGERET, Les piles solaires, le composent et ces applications, Préface de F.ALLEST.
- [11] Smaïl SEMAOUI, " Etude de l'électrification d'un village avec de l'énergie solaire photovoltaïque ", Mémoire de Magister, Université de Ouargla, 2004.
- [12] N. Achaïbou, A. Malek, N. Bacha " Modèle de vieillissement des batteries plomb acide dans l'installation PV", Revue des Energies Renouvelables, N Spécial (CHEMESS), PP 61-66, 2000.
- [13] A. Karima, " Contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque de puissance 1MW interconnectée au réseau de distribution électrique moyenne tension ", Mémoire de Master Electronique, UMMTO 2015.

- [14] M.Reggane, D.Djidja, " Etude d'une installation photovoltaïque pour l'alimentation en électricité d'un centre enfûteur de GPL(NAFTAL)" , Mémoire de Master, UMMTO 2012.
- [15] H. Belmili, M. Ayad, E. Berkouk et M. Haddadi, " Optimisation de dimensionnement des installations photovoltaïques autonomes – Exemples d'applications, éclairage et pompage au fil du soleil ", Revue des énergies renouvelables, 2008.
- [16] Timothée BROU, " Etude technico-économique des technologies solaires en Côte d'Ivoire ", Mémoire de Master, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Cote d'Ivoire 2010.
- [17] S. Diafa, D. Diafb, M. Belhamelb, M. Haddadic, A. Louchea, "A methodology for optimal sizing of autonomous hybrid PV/wind system ", Energy Policy (2007), doi: 10.1016/j.enpol.2007.06.020.
- [18] E. Ofry and A. Brauntein, "The Loss of Power Supply Probability as a Technique for Designing Standalone Solar Electrical (Photovoltaic) Systems" IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-102, N°5, pp. 1171 - 1175, May 1983.
- [19] "Les onduleurs pour système photovoltaïque", document HESPUL, 2007.
- [20] ANISS YAKER, BELKACEM BELAID, " Dimensionnement d'une centrale photovoltaïque autonome ", Mémoire de Master Electrotechnique, UMMTO 2015.
- [21] Logiciel PVSYST V5.05, Université de Genève, Belgique.

Annexes


Annexe A

Présentation du fonctionnement du logiciel PVSYST



Pré-dimensionnement et les résultats obtenus avec le logiciel PVSYST

Daily use of Energy, Variant "Nouvelle variante de simulation"



Consumption definition by
 Year
 Seasons 
 Months

Week-end use
 Use only during days in a week

Model

Daily consumptions




Number		Power	Mean Daily use	Daily energy
<input type="text" value="36"/>	Fluorescent lamps	<input type="text" value="15"/> W/lamp	<input type="text" value="5.0"/> h/day	2700 Wh
<input type="text" value="12"/>	TV / Magnétoscope / PC	<input type="text" value="85"/> W/app.	<input type="text" value="5.0"/> h/day	5100 Wh
<input type="text" value="12"/>	Domestic appliances	<input type="text" value="150"/> W/app.	<input type="text" value="3.0"/> h/day	5400 Wh
<input type="text" value="6"/>	Fridge / Deep-freeze		<input type="text" value="0.90"/> kWh/day	5400 Wh
<input type="text" value="6"/>	Dish-washer, Cloth-washer		<input type="text" value="1.50"/> kWh/day	9000 Wh
	Other uses	<input type="text" value="6000"/> W tot	<input type="text" value="3.0"/> h/day	18000 Wh
	Stand-by consumers	<input type="text" value="0"/> W tot	<input type="text" value="24h/day"/>	<input type="text" value="0"/> Wh

Appliances info  Hourly distribution 

Total daily energy 45600 Wh/day
Total monthly energy 1368.0 kWh/month

Stand-alone System definition, Variant "Nouvelle variante de simulation"

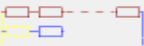

Presizing help

Av. daily needs : Enter accepted LOL %  Battery (user) voltage V 
45.6 kWh/day Enter requested autonomy day(s)  Suggested capacity **2104 Ah**
Suggested PV power **15.9 kWp (nom.)**

Select battery set

Sort Batteries by voltage capacity manufacturer

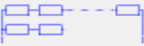

V Ah Electrona

Batteries in serie  Number of batteries **80** Battery pack voltage **96 V**
 Batteries in parallel  Global capacity **2190 Ah**
Stored energy **210 kWh**

Select module(s)

Sort modules by: power technology manufacturer

Wp Si-poly Yindqi Solar

Modules in serie  Array voltage at 50°C **104 V**
 Modules in parallel  Array current **135 A**
72 Modules Array nom. power (STC) **15.8 kWp**

Annexe B

Définition d'un module PV

Données de base | Paramètres modèle | Dimensions et Technologie | Commercial | Graphiques

Modèle: YL220P-29b Fabricant: Yingli Solar

Nom fichier: Yingli_YL220P_29b.PAN Source données: Manufacturer 2009

Puissance nom. (aux STC): 220. Wp Tol.: 3.0 % Technologie: Si-poly

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence:	GRef	1000	W/m ²	TRef	25	°C
Courant de court-circuit	Isc	8.15	A	Circuit ouvert Vco	36.50	V
Point de Puissance max.:	Imp	7.59	A	Vmpp	29.00	V
Coefficient de température	mulsc	4.9	mA/°C	Nbre cellules	60 en série	
	ou mulsc	0.06	%/°C			

Résumé du modèle

Paramètres principaux

R parall.	250 ohm
R série	0.20 ohm
Gamma	1.35
IoRef	192 nA
μVco	-135 mV/°C

Paramètres secondaires

Rparall(G=0)	1000 ohm
muPMax fixé	-0.45 /°C

Résultats du modèle interne

Conditions de fonctionnemen	GOper	1000	W/m ²	TOper	25	°C
Point de Puissance max.:	Pmpp	220.4	W	Coeff. de température	-0.45	%/°C
	Courant Imp	7.50	A	Tension Vmpp	29.4	V
	Courant de court-circuit Isc	8.15	A	Circuit ouvert Vco	36.5	V
Efficacité	/ Surf. cellules	15.09	%	/ Surf. module	13.49	%

Figure B.1 : Caractéristiques techniques du module PV utilisé dans le système

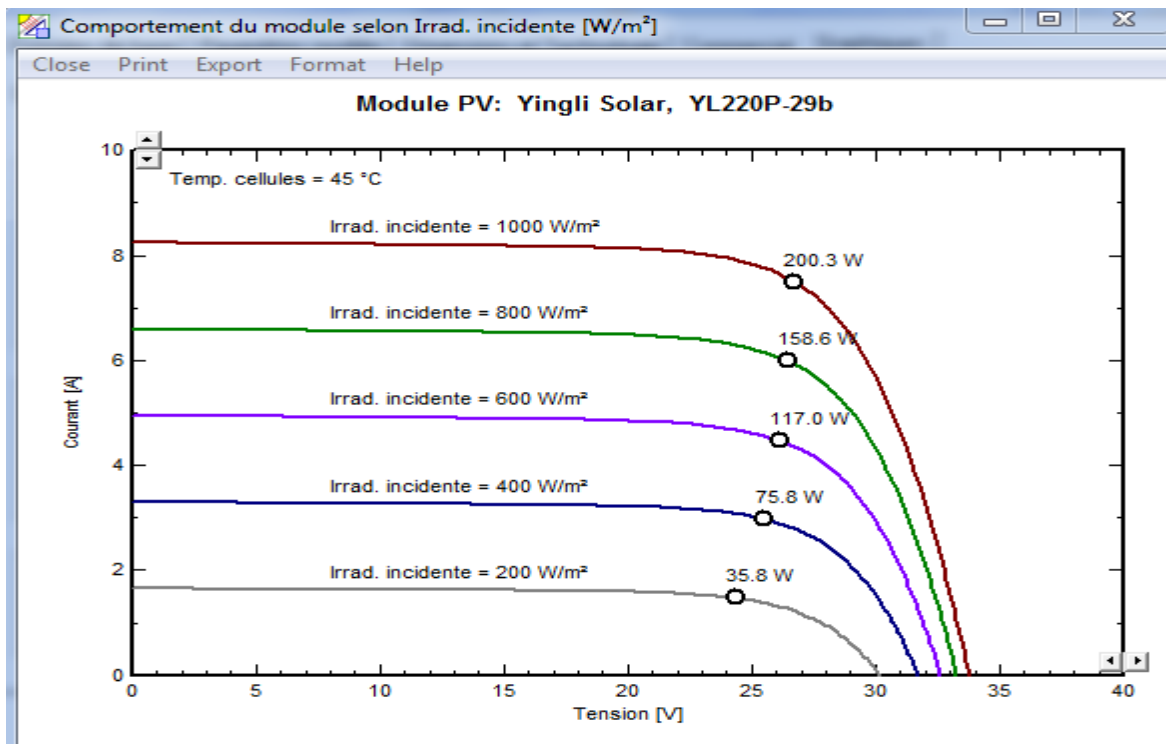


Figure B.2 : Caractéristiques I(V) et P(V) du module PV

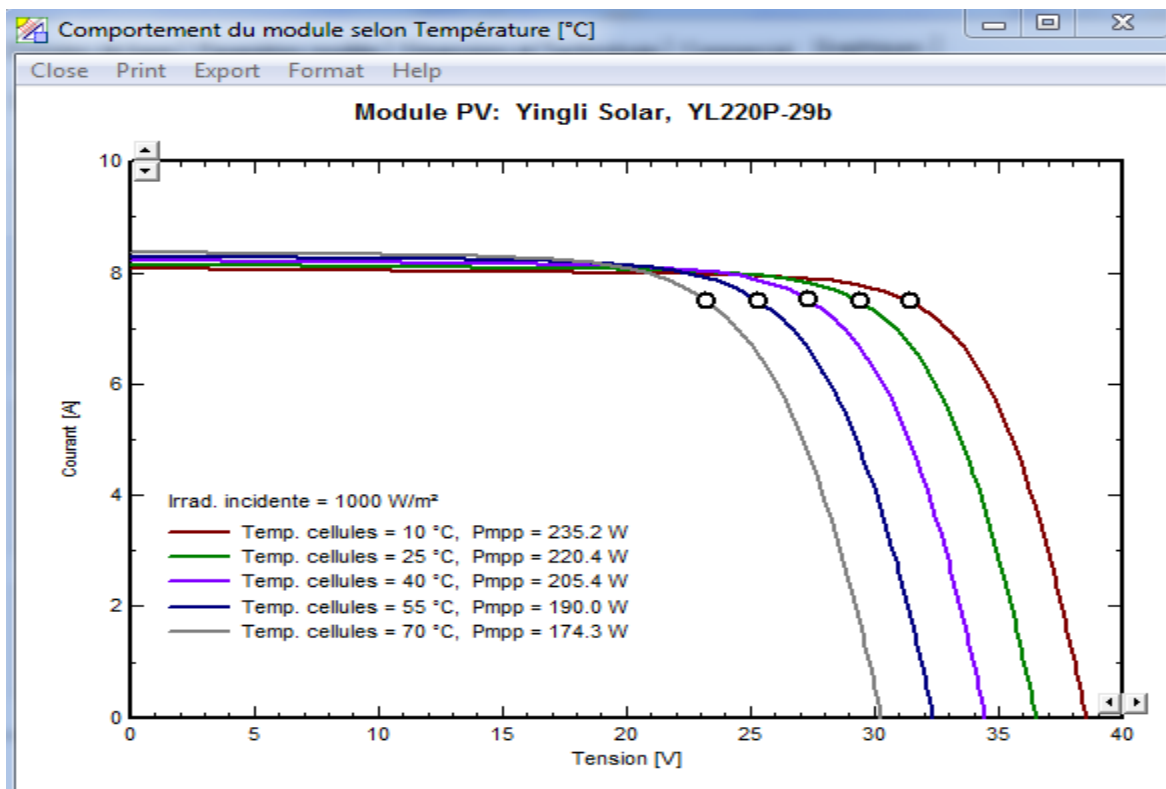


Figure B.3 : Influence de la température sur la caractéristique I (V)

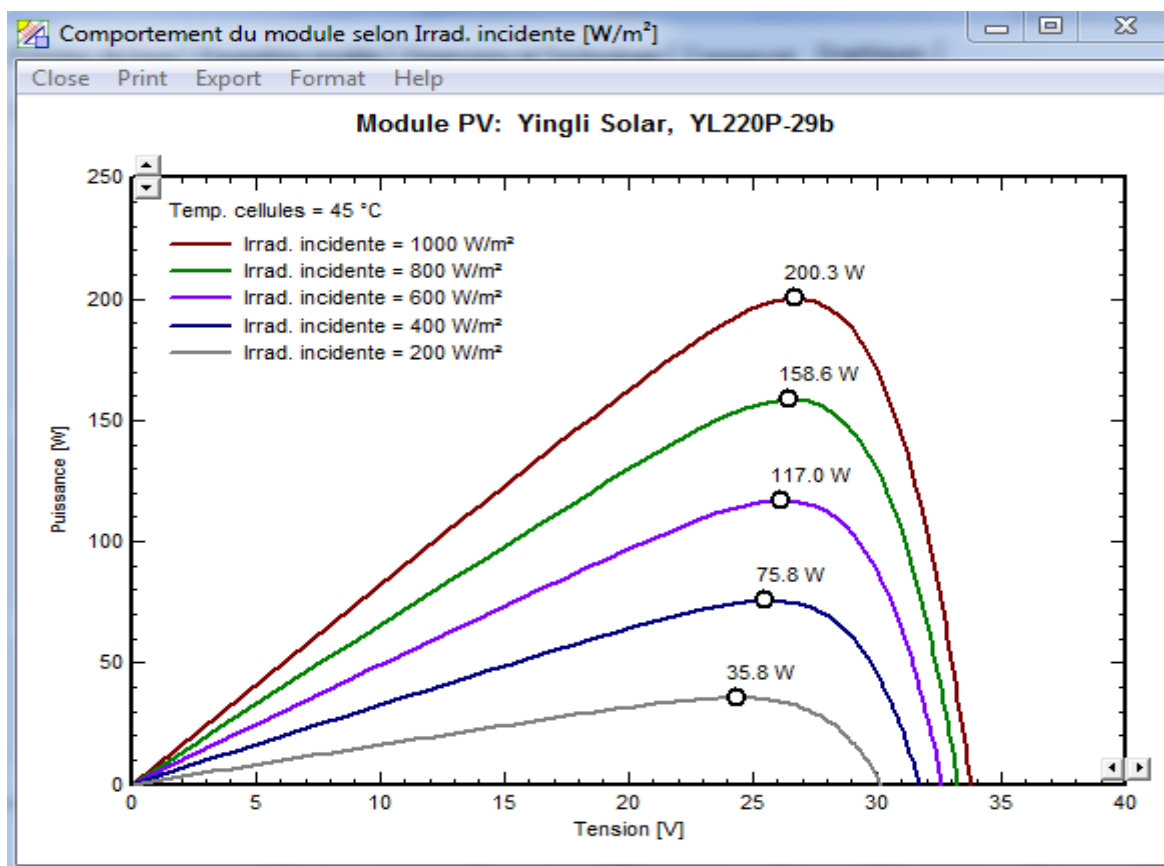


Figure B.4 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique I (V) et P (V)

Annexe C

The screenshot shows a software window titled "Definitions of a Battery" with four tabs: "General Data", "Detailed model parameters", "Commercial data", and "Graphs". The "General Data" tab is active, displaying the following information:

- Model: 3Q14 - Starting
- Manufacturer: Electrona
- File name: Electrona_3Q14.BTR
- Source: (empty field)
- Technology: Pb-acide, ouverte, démarrage (dropdown menu)

Below these fields are two main sections: "Basic parameters" and "Sizes".

Basic parameters:

- Number of Elements: 6
- Nominal Voltage: 12.0 V
- Nominal Capacity (C10): 219 Ah
- Internal Resistance: 2.40 mOhm
- Coulombic Efficiency: 97.0 % (with a red question mark icon)

Below the basic parameters is a "Values" section with two radio buttons:

- Per cell
- Whole battery

Sizes:

- Width: 349 mm
- Depth: 173 mm
- Height: 285 mm
- Weight: 0.0 kg
- Specific capacity or weight: 0 Wh/kg (kg/kWh)

Figure C.1 : Caractéristiques technique de la batterie utilisée dans le système

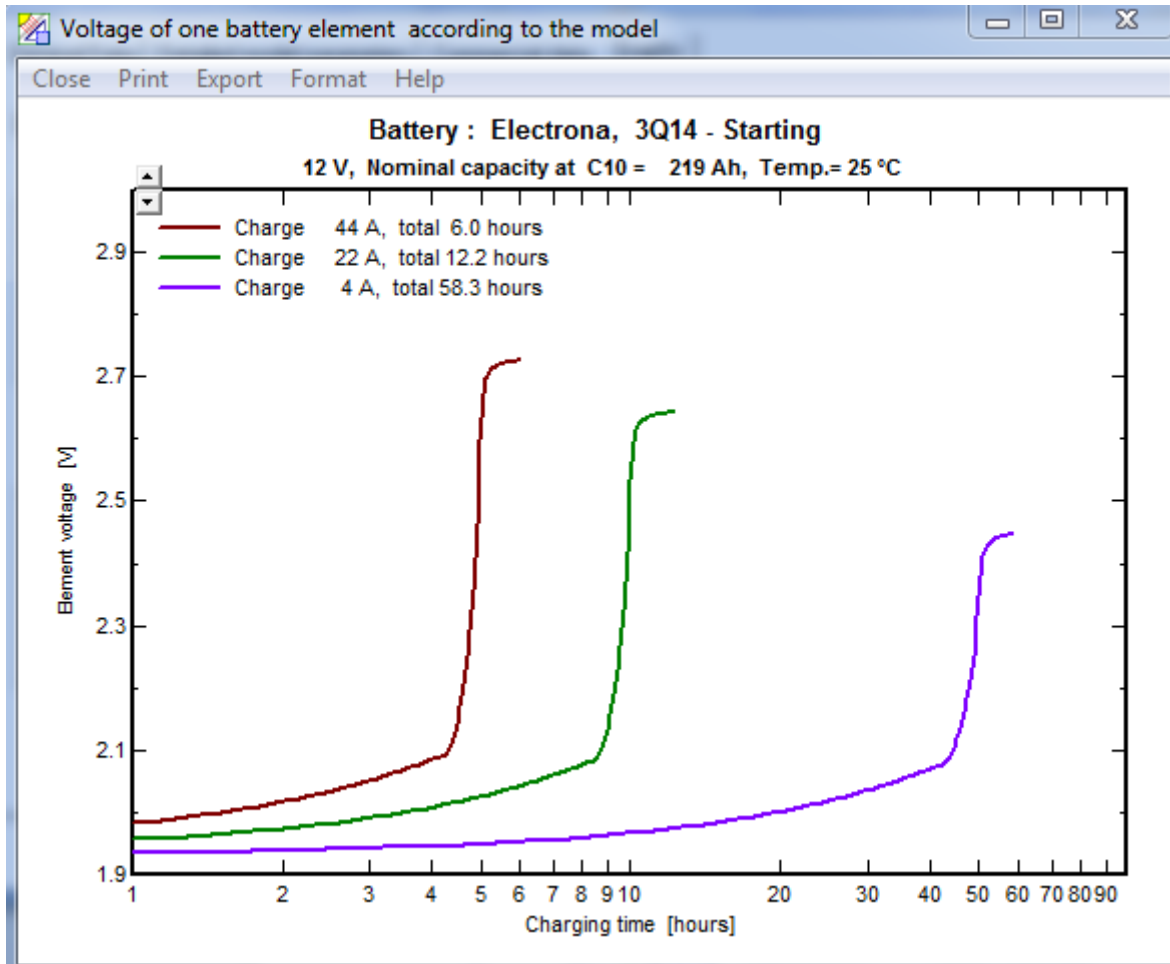


Figure C.2 : caractéristiques de la charge de la batterie utilisée

Annexe D

Définition d'un onduleur pour le réseau

Paramètres principaux | Paramètres secondaires | Courbe d'efficacité | Dimensions | Commercial

Modèle: Sunny Boy SB 3800 Fabricant: SMA
 Nom fichier: SMA_SunnyBoy3800.OND Source des données: Photon Mag.2006

Entrée (CC, Champ PV)

Tension MPP minimale 200 V
 Tension min. pour PNom N/A V
 Tension MPP nominale 200.0 V
Tension MPP maximale 400 V
Tension PV max. absolue 500 V
Puissance seuil 19.0 W

Spécification contractuelle, sans réelle signification physique ? Obligatoire

Puissance PV nominale 4.0 kW
 Puissance PV maximale 4.5 kW
 Courant PV maximum 20.0 A

Sortie (Réseau AC)

Type: Monophasé Triphasé Biphasé
 Fréquence: 50 Hz 60 Hz

Tension du réseau 230 V
Puissance AC nominale 3.8 kW
 Puissance AC maximale 3.8 kW
 Courant AC nominal 16.5 A
 Courant AC maximum 18.0 A

Efficacité

Efficacité maximale 95.6 %
Efficacité EURO 94.7 % ?
 Efficacité définie pour 3 tensions

Figure D.1 : Caractéristiques technique de la batterie utilisée dans le système

Résumé

L'énergie photovoltaïque, source d'énergie propre et renouvelable, s'inscrit parfaitement dans le cadre de la politique écologique actuel des gouvernements industrialisés, mais beaucoup de populations, spécialement dans les zones rurales isolées des pays en voie de développement qui bénéficient d'un fort ensoleillement, sont confrontées à de grands problèmes pour satisfaire leurs besoins en énergie.

La situation géographique de l'Algérie favorise le développement de l'utilisation de l'énergie solaire. Ce travail de mémoire a consisté à dimensionner une station photovoltaïque autonome de 16 kW.

Après une description succincte sur les systèmes photovoltaïques isolés avec batteries (autonomes) et ses différentes composantes, nous présentons les modèles des différents composants du système photovoltaïque, et la présentation du système de stockage. Ainsi que la description des deux différentes méthodes théoriques susceptibles au dimensionnement d'une centrale photovoltaïque autonome.

Pour le dimensionnement de notre station on a commencé par une définition de la charge ainsi que le profil de consommation de la charge adoptée, qui est un village écologique constitué de six maisons situé dans les hauteurs de Chréa à Bouzeguène.

En se basant sur les paramètres réels du site de l'installation, nous proposons deux méthodes de dimensionnement, la première et un calcul purement théorique, la deuxième méthode et réalisée à travers une simulation avec logiciel PVSYST développé et réalisé par l'université de Genève, à la fin on a fait une comparaison des résultats obtenus avec les deux méthodes.

Mots clé: Système photovoltaïque, Dimensionnement du système photovoltaïque, Centrale photovoltaïque Autonome, système de stockage, logiciel PVSYST.