

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Electrique



Mémoire
MASTER ACADEMIQUE
Domaine : Sciences et technologies
Filière : Génie électrique
Spécialité : Electrotechnique Industrielle
Présenté par :

DARI Abdelouhab

BABEKER Mansour

Thème :

***Etude d'une installation photovoltaïque pour une
habitation domestique***

Le: 17/06/2021

Soumise au jury:

M ^r LOUAZENE Mohamed lakhdar	MCA	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
M ^r BENMIR Abdelkader	MCB	Président	UKM Ouargla
M ^r KHALIFA Moussa	MAB	Examineur	UKM Ouargla

Année universitaire 2020/2021

Remerciements

Avant tout nous remercions «ALLAH» tout puissant qui nous a donné le courage, la volonté et la force pour accomplir ce modeste travail.

Merci de nous avoir éclairé le chemin de la réussite, atteindre notre but et réaliser ainsi un rêve.

Nos plus vifs remerciements, les plus sincères et particulièrement s'adressent à notre honorable encadreur Mr LOUAZENE Mohamed lakhdar Maitre de conférences « A » à l'université Kasdi Merbah de Ouargla, d'avoir accepté de nous encadrer, pour son dévouement, ses orientations, ses précieux conseils, ses encouragements, son aide, sa gentillesse, sa générosité, sa patience, et sa disponibilité, tout au long de la réalisation ce travail.

Merci pour votre supervision et vos corrections au cours de la rédaction du manuscrit.

Nous tenons à remercier également Mr Rostom AISSA qui nous a guidé et facilité le travail durant notre stage à la société ALTERNATE SOLAR ENERGY.

Enfin nous remercions tous nos professeurs de département et surtout de la spécialité de Electrotechnique Industrielle et a tous les collègues de la promotion 2020 /2021 et Nos remercions tous ceux qui nous ont rendu service et qui ont contribué de près ou de loin pour accomplir ce travail.

Dédicaces

Au terme de ce modeste travail, je le dédie ce travail:

A Ma petite famille

En premier lieu je dédis ce travail aux prunelles de mes yeux mes très chers personnes au monde à mon cœur dans la vie, mes parents en hommage à leurs sacrifices.

Ma chère mère

A celui qui m'accompagne toujours par ces prières, qui m'a soutenu moralement au cours de mes études et des moments difficiles, grâce à qui j'ai pu braver beaucoup d'embûches et arriver là où je suis actuellement. Ce travail, c'est à toi que je le dédie.

Mon adorable père.

Mon père qui m'a soutenu sans relâche et ma donné la force et la volonté de faire des efforts et ne jamais baisser les bras.

J'ai éprouvé un profond respect Ton amour, ton soutien, ta patience, ta compréhension et le réconfort que tu m'as apporté auront été irréprochables.

Mama, papa Que Dieu vous gardes et vous donne santé, longue vie et que de bonheur.

Mon frère : Yahia

Ma sœur : El Batoul qui m'a soutenu sans relâche et ma donné la force et la volonté de faire des efforts et ne jamais baisser les bras. Merci pour ton aide, ton écoute et tes conseils quand le moral était au plus bas,

Que Dieu vous garde et vous protège et inchallah que votre chemin soit plein de succès

DARI Abdelouhal



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à
Mes très chers parents *pour leur sacrifices*, à
Mes frères et sœurs, à toute ma
Famille et
à tous mes amis qui m'aiment et
Qui m'apprécient.

BABEKER Mansour



Table des matières

Remerciements	I
Dédicaces	
Table des matières	I
Liste des figures	V
Liste des tableaux	VIII
Liste des symboles et abréviations	IX
Introduction Générale	02

Chapitre I : Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque

I.1. Introduction	06
I.2. L'énergie solaire	06
I.2.1. Le soleil	06
I.2.2. Constante solaire	07
I.2.3. Le Rayonnement solaire	07
I.2.3.1. Définition	07
I.2.4. Air Mass	09
I.2.5. Trajectoire du soleil	10
I.3. Les systèmes de coordonnées	10
I.3.1. Coordonnées terrestres	10
I.3.1.1. Latitude	11
I.3.1.2. Longitude	11
I.3.2. Coordonnées du soleil	12
I.3.2.1. Coordonnées équatoriales	12
I.3.2.1.1. La déclinaison solaire (δ)	12
I.3.2.1.2. Angle horaire du soleil (H)	13
I.3.2.2. Coordonnées horizontales	14
I.3.2.2.1. La hauteur du soleil (h)	14
I.3.2.2.2. Azimut du soleil (a)	15
I.4. Le gisement solaire	15
I.5. Energie photovoltaïque	16
I.5.1. Terminologie « photovoltaïque »	16
I.6. Cellule photovoltaïque	16
I.6.1. Définition	16
I.6.2. Principe de fonctionnement général d'une cellule photovoltaïque	17
I.6.3. Différents types des cellules photovoltaïques	18
I.6.3.1. Les cellules au silicium monocristallin	18
I.6.3.2. Les cellules au silicium polycristallin (multicristallin)	18
I.6.3.3. Les cellules au silicium amorphe	19
I.6.4. Modélisation électrique d'une cellule photovoltaïque	20
I.6.4.1. Modèle simplifié	20
I.6.4.2. Modèle à une diode	21
I.6.5. Caractéristiques électriques	22
I.6.5.1. Paramètres caractéristiques d'une cellule photovoltaïque	22
I.6.5.1.1. Courant de court-circuit I_{cc}	23
I.6.5.1.2. Tension de circuit ouvert V_{co}	23
I.6.5.1.3. Puissance maximale	24

I.6.5.1.4. Le facteur de forme FF	24
I.6.5.1.5. Rendement de conversion	24
I.6.6. Influence de la température et de l'éclairement	24
I.7. Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque	26
I.7.1. Avantages de l'énergie photovoltaïque	26
I.7.2. Inconvénients de l'énergie photovoltaïque	26
I.8. Conclusion	27

Chapitre II : Le système photovoltaïque

II.1. Introduction	29
II.2. Les systèmes photovoltaïques pour l'habitat	29
II.2.1. Systèmes photovoltaïques autonomes	29
II.2.2. Systèmes autonomes avec stockage	29
II.2.3. Systèmes photovoltaïques hybrides	30
II.2.4. Systèmes photovoltaïques connectés au réseau	31
II.3. Les principaux éléments d'un système photovoltaïque	32
II.3.1. Le générateur photovoltaïque	33
II.3.1.1. Classification des générateurs photovoltaïques	33
II.3.1.1.1. Générateurs de petite taille (P=1 à 10 kW)	33
II.3.1.1.2. Générateurs de taille moyenne (P=10 à 100 kW)	33
II.3.1.1.3. Générateurs de grande taille (P ≥ 500 kW)	33
II.3.1.2. Regroupement de cellules PV	33
II.3.1.2.1. Regroupement de cellules PV en séries	33
II.3.1.2.2. Regroupement de cellules PV en parallèle	34
II.3.1.2.3. Regroupement des cellules série et parallèle	35
II.3.1.3. Système de Protection classique d'un générateur PV	35
II.3.1.3.1. Diodes by-pass	36
II.3.1.3.2. Diodes antiretour	36
II.3.1.4. Module PV (panneau solaire)	36
II.3.2. Système de stockage	36
II.3.2.1. Caractéristiques principales d'une batterie	37
II.3.2.2. Fonctionnement et constitution d'une batterie	38
II.3.2.3. Types d'accumulateurs	38
II.3.2.3.1. Type de batterie utilisée	39
II.3.3. Système de régulation	39
II.3.3.1. Régulateur de charge	40
II.3.3.1.1. Régulateur de type série	40
II.3.3.1.2. Régulateur de type parallèle (shunt)	40
II.3.3.1.3. Le régulateur MPPT	41
II.3.3.2. Régulateur de décharge	42
II.3.4. Système de conversion	42
II.3.4.1. Les convertisseurs DC-DC (hacheurs)	42
II.3.4.1.1. Les type des convertisseurs DC-DC	43
II.3.4.2. Les convertisseurs DC-AC (onduleurs)	43
II.3.4.2.1. Types des convertisseurs DC-AC (onduleurs)	43
II.3.4.2.1.1. Onduleur autonome	43
II.3.4.2.1.2. Onduleur non autonome	44

II.3.5. Récepteurs ou charges du système photovoltaïque	44
II.3.5.1. L'éclairage	44
II.3.5.2. La réfrigération et la ventilation	44
II.3.5.3. Le pompage et le traitement de l'eau	45
II.3.5.4. Ordinateurs	45
II.3.6. Autres composants du système photovoltaïque	45
II.4. Conclusion	45

Chapitre III : Chapitre III : Dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour une école primaire

III.1. Introduction	47
III.2. Le but du dimensionnement	47
III.3. Les différentes méthodes de dimensionnement	47
III.3.1. Méthodes quasi-statiques	47
III.3.2. Méthodes dynamiques	48
III.4. Les étapes à suivre pour le dimensionnement du système PV	49
III.4.1. Présentation du site	50
III.4.2. Evaluation de la production Solaire potentielle (gisement)	51
III.4.2.1. Installation des panneaux	51
III.4.2.1.1. Disposition des panneaux	51
III.4.2.1.2. Fixation des panneaux	51
III.4.2.2. Orientation et inclinaison des capteurs solaires	52
III.4.3. Estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité	53
III.4.3.1. Présentation de l'habitat étudiée	54
III.4.3.2. Description de l'école étudiée	55
III.4.4. Dimensionnements des modules photovoltaïques	58
III.4.4.1. Estimation de la puissance crête du champ photovoltaïque	58
III.4.4.2. Détermination le nombre des modules photovoltaïques	59
III.4.4.2.1. Caractéristique de panneau choisi	59
III.4.5. Dimensionnement des batteries	61
III.4.5.1. Calcul la capacité de stockage de la batterie	61
III.4.5.1.1. Le choix de batteries	62
III.4.6. Dimensionnement des Régulateur et du l'onduleur	63
III.4.6.1. Dimensionnement du Régulateur	63
III.4.6.2. Dimensionnement du l'onduleur	63
III.4.6.2.1. Fiche technique de l'onduleur utilisé	64
III.4.6.2.2. Principe de fonctionnement	65
III.4.6.2.3. Apparence de l'onduleur	65
III.4.6.2.4. Application de surveillance en temps réel	66
III.4.7. Dimensionnement des câbles	67
III.4.7.1. Calcul la section du câble utilisé en DC	67
III.4.7.2. Calcul la section du câble utilisé en AC	68
III.5 Protection de l'installation	68

III.6. Conclusion	70
-------------------	----

Chapitre IV : Simulation par PVsyst d'une installation photovoltaïque autonome

IV.1. Introduction	72
IV.2. Présentation de logiciel de simulation PVsyst	72
IV.2.1 Pré-dimensionnement	73
IV.2.2. Conception de projet	74
IV.2.3. Outils et bases des données	75
IV.3. Présentation de projet	76
IV.3.1. Données météorologiques	76
IV.3.2. Trajectoire du soleil	77
IV.3.3. Orientation des modules PV	78
IV.4. Définition des besoins de l'utilisateur	79
IV.5. Définition des éléments de system PV	79
IV.5.1. Caractéristique du module PV	80
IV.5.2. Caractéristique du Batteries	81
IV.5.3. Le choix de stratégie du contrôle	82
IV.6. Bilan et résultats principaux	82
IV.6.1. La page 1 : montre les paramètres de simulation	82
IV.6.2. La page 2 : présente la consommation journalière avec le profil horaire	84
IV.6.3. La page 3 : présente les principaux résultats de simulation de système PV	84
IV.6.4. La page 4 : montre le diagramme des pertes	86
IV.6.5. La page 5 : l'étude économique de l'installation	87
IV.7. Résultats et Discussions	88
IV.8. Conclusion	89
Conclusion générale	91
Références bibliographiques	94
Annexes	
Résumé	

Liste des figures

Titre	page
Figure I.1 : Le spectre du rayonnement solaire	8
Figure I.2 : Composantes du rayonnement solaire au sol	8
Figure I.3 : Le nombre d'Air mass (AM)	9
Figure 1.4 : Irradiance à la surface de l'atmosphère terrestre (AM 0) au niveau du sol (AM 1.5 G) en fonction de la longueur d'onde λ	10
Figure 1.5 : Coordonnées terrestres d'un lieu donné	11
Figure 1.6 : Courbes d'ensoleillement typique par mois pour différentes latitudes	11
Figure 1.7 : Variation annuelle de la déclinaison du soleil	13
Figure I.8 : variation de l'angle horaire en fonction de temps solaire vrai	14
Figure I.9 : coordonnées horizontales d'un astre	14
Figure I.10 : Gisement annuel à la surface terrestre	15
Figure I.11: principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque	17
Figure I.12 : Types de cellules photovoltaïques. (a) Silicium monocristallin (b) silicium poly cristallin, (c) silicium amorphe	18
Figure I.13: Modèle simplifié d'une cellule PV	20
Figure. I.14 : Modèle à une diode d'une cellule PV	21
Figure I.15 : Caractéristique I-V d'une cellule photovoltaïque dans les 4 quadrants	22
Figure I.16 : Caractéristique I-V d'une cellule photovoltaïque	23
Figure I.17 : Effet de l'éclairement sur la caractéristique I-V et P-V	25
Figure I.18 : Effet de la température sur la caractéristique I-V et P-V	26
Figure II.1 : Système photovoltaïque avec stockage (avec ou sans conversion d'énergie)	30
Figure II.2 : Schéma principale un système hybride avec éolien	31
Figure II.3 : Schéma principale un système hybride avec groupe électrogène	31
Figure II.4 : Schéma principale un Systèmes photovoltaïques connectés au réseau	32
Figure II.5 : Schéma fonctionnelle d'un système photovoltaïque	32

Figure II.6 : Caractéristique d'un groupement de n cellules identiques en série	34
Figure II.7: Caractéristique d'un groupement de n cellules identiques en parallèle	34
Figure II.8 : Schéma simplifié d'un module photovoltaïque avec protection	35
Figure II.9 : Schéma de principe d'un régulateur de charge série	40
Figure II.10 : Schéma de principe d'un régulateur de charge parallèle	41
Figure II.11: Schéma d'une chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque associée à une commande MPPT	42
Figure III.1: Diagramme simplifié du dimensionnement d'un système photovoltaïque	50
Figure III.2 : Localisation géographique de wilaya Ghardaia	50
Figure III.3: La structure installée	52
Figure III.4: Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau	53
Figure III.5: Positionnement des panneaux PV	53
Figure III.6: Ecole primaire « HAMRAYAT »	55
Figure III.7: Eclairage solaire extérieur -All in one	55
Figure III.8: Le champ photovoltaïque étudié	59
Figure III.9: caractéristique du panneau photovoltaïque <i>jinkosolar JKM325M-60</i>	60
Figure III.10: L'onduleur <i>Huawei SUN2000-12KTL-M0</i>	64
Figure III.11: Schéma conceptuel du l'onduleur étudié.	65
Figure III.12: Apparence de l'onduleur	65
Figure III.13: Smart Dongle WLAN	66
Figure III.14: la consommation journalière de l'école en temps réel	66
Figure III.15: la section du câble choisie	68
Figure III.16: Armoire des équipements de protection	69
Figure III.17: Parafoudre et porte fusible de protection	69
Figure III.18: mise à la terre de structure de module	70
Figure IV.1 : l'interface de PVSYST V 6.43	73
Figure IV.2: Fenêtre d'accueil d'option « prés-dimensionnement »	74
Figure IV.3 : Désignation du projet dans PVSYST.	75
Figure IV.4: basses des données	75

Figure IV.5 : Coordonnée géographique de « El'Atteuf » Ghardaia	76
Figure IV.6: Paramètres climatique de GHARDAIA	77
Figure IV.7: Trajectoire du soleil à GHARDAIA	78
Figure IV.8 : Positionnement des systèmes de panneaux PV.	78
Figure IV.9: Estimation de la consommation journalière	79
Figure IV.10 : Choix des Caractéristiques du module PV	80
Figure IV.11 : caractéristique de panneaux choisie	80
Figure IV.12 : Influence de la température et de l'éclairement	81
Figure IV.13 : caractéristique de la batterie utilisée dans le système.	81
Figure IV.14 Schéma du système PV isolé avec batterie.	82
Figure IV.15: l'indice de performance et l'énergie produite	85

Liste des tableaux

Titre	Pages
Tableau I.1 : le potentiel solaire en Algérie	16
Tableau I.2 : Avantages et inconvénients des cellules solaires à base de silicium	19
Tableau II.3 : Type de batterie existant actuellement sur le marché	39
Tableau III.1: Valeurs de l'irradiation journalière moyenne mensuelle	51
Tableau III.2: Nombre de pièce et les équipements électrique dans l'école	56
Tableau III.3: Estimation des besoins électriques journaliers de l'école	57
Tableau III.4: Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance crête	61
Tableau III.5: Spécifications technique de l'onduleur utilisé	64
Tableau IV.1 : bilans et les résultats principaux	85
Tableau IV.2 : Le coût d'installation du système photovoltaïque	88

Liste des symboles

symbole	Designation	Unité
λ	longueur d'onde.	[μm]
φ	La latitude.	
G	la quantité totale de rayonnement solaire.	[W/m ²]
L	Longitude.	Degré [°]
δ	La déclinaison solaire.	Degré [°]
j	nombre de jour de l'année	[jour]
H	Angle horaire.	Degré [°]
TSV	Temps Solaire Vrai.	[heure]
TU	Temps Universel.	[heure]
TL	Temps Légal.	[heure]
Δt	Correction de l'équation du temps.	
h	hauteur du soleil.	Degré [°]
a	Azimut du soleil.	Degré [°]
I _{ph}	Le photo-courant dépendant de l'éclairement (G).	[A]
I	courant fourni par la cellule.	[A]
I _s	Courant de saturation inverse de la diode.	[A]
A	Facteur d'idéalité de la diode.	
V _t	potentielle thermodynamique.	[J][C] ⁻¹
K	Constante de Boltzmann.	[J] [K] ⁻¹
T	Température de la cellule en Kelvin.	[K]
q	Charge de l'électron.	[C]
R _s	la résistance série du circuit.	[Ω]
R _{sh}	la résistance parallèle du circuit shunt.	[Ω]
I _{cc}	Intensité de court-circuit mesurée aux bornes de la cellule.	[A]
V _{co}	Tension de circuit ouvert mesurée aux bornes de la cellule.	[V]
P _m	Puissance mesurée aux bornes de la cellule.	[W]
P _{idéale}	Puissance mesurée aux bornes de la cellule idéale.	[W]
V _m	mesurée aux bornes de la cellule.	[V]
I _m	Intensité mesurée aux bornes de la cellule.	[A]

FF	facteur de forme	
η	Rendement de conversion	[%]
P_{in}	Puissance incidente	[W]
N_s	Nombre de cellule en série.	
N_p	Nombre de cellule en parallèle.	
V_{coN_s}	Somme des tensions en circuit ouvert de N_s cellules en série.	[V]
I_{ccN_s}	Courant de court-circuit de N_s cellules en série.	[A]
V_{coN_p}	Tension du circuit ouvert de (N_p) cellules en parallèle.	[V]
I_{ccN_p}	Somme des courants de court-circuit de (N_p) cellules en parallèle.	[A]
E_i	l'énergie journalière consommée d'un équipement (Wh/J).	[Wh]/[J]
P_i	la puissance de cet équipement.	[W]
t_i	la durée d'utilisation de cet appareil dans une journée.	[J]
P_c	Puissance crête du champ photovoltaïque.	[Wc]
E_c	L'énergie consommée par jour.	[Wh]/[J]
$I_r.moy$	L'irradiation journalière moyenne.	[Wh]/[m ² .J]
K	Coefficient correcteur du système photovoltaïque	
$N_{p_{total}}$	Le nombre total des modules photovoltaïque.	
N_{ps}	Le nombre de panneaux en série	
N_{pp}	Le nombre de panneaux parallèles	
C_{sys}	Capacité de stockage dans les batteries en (Ah)	[Ah]
Nb_{total}	Le nombre des batteries total	
U_{sys}	La tension du système PV	[V]
U_{bat}	La tension de la batterie	[V]
C_{bat}	La capacité d'une batterie	[Ah]
$Nb_{série}$	Le nombre des Batteries en série	
$Nb_{Parallel}$	Le nombre des Batteries en Parallèles	
I_e	L'intensité admissible du courant d'entrée du régulateur	[A]
I_{1m}	le courant de court-circuit d'un module	[A]

Is	L'intensité admissible du courant de sortie du régulateur.	[A]
e	la chute de tension maximale	[V]
ρ	La résistivité de cuivre	[$\Omega.m$]
ΔU	la chute de tension entre les panneaux et les autres éléments	[V]
S	Section de câble	[mm ²]
N	nombre de jour d'autonomie	

Liste des abréviations

Symbole	Désignation
AM	Air Mass.
PV	Photovoltaïque.
GPV	générateur photovoltaïque.
MPPT	Maximum Power Point Tracking
DC	direct current
AC	alternating current
GSA	grand Sahara algérien
DOD	profondeur de décharge
STC	Standard test conditions

Introduction Générale

Introduction générale

La consommation mondiale d'énergie augmente avec le développement des technologies.

La production d'énergie représente une grande importance et les besoins en énergie ne cessent d'augmenter, À l'heure actuelle, la production mondiale d'énergie dépend en grande partie des sources d'énergie fossiles tels que le charbon, le pétrole et le gaz naturel, sources limitées et polluantes par gaz à effet de serre. Cela a encouragé la recherche d'une solution économique et non polluante pour la production d'énergie.

Aujourd'hui, les énergies renouvelables deviennent progressivement des énergies à part entière, Par énergie renouvelable, on entend des énergies issues du soleil, du vent, de la chaleur de la terre, de l'eau ou encore de la biomasse et tout autre type d'énergie propre et inépuisable s'inscrit parfaitement dans le cadre de la politique écologique actuel des gouvernements industrialisés

Les sources d'énergies renouvelables pour la production d'électricité présentent plusieurs avantages pour répondre aux besoins de la consommation actuelle.

Dans la présente étude nous sommes intéressés à l'énergie solaire photovoltaïque PV qui est une énergie décentralisée et peut être utilisée au moment même où elle est produite. Elle permet de couvrir les besoins d'une habitation en électricité.

Cette énergie qui nous provient du soleil est transformée en électricité par la conversion directe de l'énergie des photons, par le biais de capteurs fabriqués avec des matériaux sensibles utilisant du silicium aux longueurs d'ondes du visible (nommés cellules PV).

L'énergie solaire photovoltaïque devient rentable et fiable dans les zones qui ont un gisement solaire important, où l'Algérie une de ces zones dont elle représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen. Afin de bénéficier le maximum de ce gisement précieux le gouvernement Algérien lance un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique ou le solaire prend le plus grand par

Un système PV est l'ensemble des équipements qui assure la conversion de l'énergie solaire en électricité, on peut compte des systèmes autonomes, hybrides et raccordé au réseau. On préfère de réaliser un système autonome, puisque systèmes doivent garantir un approvisionnement adéquat pendant les longues périodes nuageuses, assurer l'indépendance au réseau et éviter les problèmes de raccordement au réseau tel que l'équilibre de fréquence.

Cependant, l'énergie produite par ces sources est intermittente. Pour résoudre ce problème, il faut utiliser des moyens de stockage de l'énergie tels que des batteries électrochimiques. Ainsi, une association d'un générateur d'énergie électrique et d'un système de stockage forme un système qu'on appellera générateur hybride de base.

La réalisation des installations photovoltaïques exige une méthode de calcul et de dimensionnement de haute précision, dans notre travail on fait le dimensionnement par le modèle théorique et par le logiciel PVsyst. Le bon dimensionnement d'une installation est une étape essentielle à maîtriser.

Notre manuscrit est divisé en quatre chapitres, Dans le premier chapitre, nous commençons par la présentation des notions préliminaires sur le rayonnement solaire et son application dans le domaine photovoltaïque. De plus nous présentons d'une manière générale des éléments de captage d'un système PV (source d'énergie PV), en expliquant brièvement le principe de l'effet photovoltaïque, la cellule PV et ses principaux déferrent types, leurs caractéristiques principales ainsi que les paramètres limitant leur rendement ainsi que les Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque.

Dans le deuxième chapitre nous présentons un aperçu général sur les différentes configurations des systèmes photovoltaïques ainsi que le fonctionnement de chacun des éléments de base d'un système photovoltaïque autonome.

Le troisième chapitre est consacré à La dimensionnement de projet étudié, nous commençons par la présentation du site, l'estimation des besoins journalières à savoir le gisement d'énergie solaire du lieu concerné, le choix des modules PV, leur implantation et la structure support, le choix des composants électriques assurant le stockage, la régulation et la section des câbles, ainsi que la mise en œuvre de la protection du système et des usagers.

Dans le dernier chapitre nous présentons une vision approfondi sur le logiciel PVsyst, ensuite on donne un aperçu sur les différentes étapes de simulation de logiciel PVsyst. Les résultats obtenus au cours de cette étude sont ensuite exposés dans le quatrième chapitre et sont discutés.

Le manuscrit se termine par une conclusion, qui permet de récapituler les principaux résultats de ce travail avec une présentation des principales perspectives envisagées pour la poursuite de cette thématique de recherche.

*Chapitre I : Généralités sur l'énergie
solaire photovoltaïque*

I.1. Introduction

Le soleil est l'origine de toute forme d'énergie sur terre, que ce soit pour les énergies conventionnelles d'origine fossile comme les hydrocarbures ou pour les énergies renouvelables dont les plus importantes sont le solaire, l'éolien et la biomasse.

L'énergie solaire est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables, elle est l'une des plus facilement exploitables comme la plupart des énergies douces, elle donne à l'utilisateur la possibilité de subvenir sans intermédiaire à une partie de ses besoins.

Dans ce premier chapitre, nous commençons par la présentation des bases indispensables à la compréhension du sujet. Nous avons rappelé quelques notions préliminaires sur le rayonnement solaire et son application dans le domaine photovoltaïque.

De plus nous présentons d'une manière générale des éléments de captage d'un système PV (source d'énergie PV), en expliquant brièvement le principe de l'effet photovoltaïque, la cellule PV et ses principaux différents types, leurs caractéristiques principales ainsi que les paramètres limitant leur rendement et enfin les Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque.

I.2. L'énergie solaire

I.2.1. Le soleil

Le développement, l'optimisation et la caractérisation de cellules photovoltaïques impliquent une certaine connaissance de la source d'énergie utilisée : le soleil [1].

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie.

Le soleil est un astre central du système solaire magnétiquement active le plus proche de la terre, qui a un diamètre d'environ 1 392 684 km, ce qui équivaut à 109 fois celui de la terre et qui se trouve à une distance moyenne de 149 450 000 Km de la terre. La densité n'est que de 1,41 soit le quart de celle de la terre, une masse de 2×10^{30} ce qui est équivaut 330 000 fois celle de la terre, sa lumière à une vitesse de 30000 km/s met environ 8 minute pour parvenir à la terre [2] [3].

Cette sphère gazeuse est un gigantesque four thermonucléaire dans lequel il y a transformation continue (sans cesse) des atomes d'hydrogène en hélium par une réaction de fusion thermonucléaire massive. La masse est alors transformée en

énergies selon la formule d'Einstein ($E=mc^2$). Cette réaction maintient la surface du soleil à une température approximative de 5800 °K. L'âge du soleil est estimé à 5.10^9 ans. Pendant toute sa vie il n'a dépensé que 14% de ses réserves d'énergie [3] [4].

L'énergie solaire est l'énergie produite par le soleil grâce aux radiations des fusions qui se traduisent : en premier lieu par la perte de masse du soleil, et en deuxième lieu par l'émission d'un rayonnement électromagnétique d'une puissance totale de $3,9.10^{26}$ W, que la terre reçoit uniquement 20% du globe [4]. L'énergie solaire reçue est inégalement répartie sur le globe terrestre.

I.2.2. Constante solaire

L'énergie solaire reçue par unité de temps à la limite supérieure de l'atmosphère, sur une surface unité perpendiculaire aux rayons solaires et pour une distance Terre-Soleil égale à sa valeur moyenne, est appelée la constante solaire [5].

L'énergie du soleil est transformée sous forme de rayonnement dans l'espace de manière uniforme et dans toutes les directions. Lorsqu'elle a parcouru du soleil vers la terre, sa densité extraterrestre totale diminue à 1367 W/m². Cette valeur est connue sous le nom de constante solaire. En une heure, la terre reçoit suffisamment d'énergie du soleil ($1,2.10^{17}$ W) pour combler ses besoins pour presque une année. [6] [7].

I.2.3. Le Rayonnement solaire

I.2.3.1. Définition

Le rayonnement solaire est une onde électromagnétique émise par la surface de soleil qui résulte des réactions de fusion de l'hydrogène en hélium ayant lieu au cœur du soleil [8].

Le rayonnement solaire recouvre une gamme assez large de longueurs d'onde, depuis les ondes radio jusqu'aux rayons X. Une grande partie du rayonnement se situe dans la bande de la lumière visible. Le reste se situe essentiellement dans la bande des infrarouges et une faible partie dans celui des ultraviolets. En traversant l'atmosphère, une bonne partie du rayonnement est absorbée avant de parvenir à la surface de la terre [9] [10].

La gamme spectrale du rayonnement solaire est, compris dans une bande de longueur d'onde (λ) variant de 0,22 à 10 microns (μ m). L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi; 9% dans la bande

des ultraviolets ($\lambda < 0,4 \mu\text{m}$), 47% dans la bande visible (λ entre $0,4$ à $0,8 \mu\text{m}$) et 44% dans la bande des infrarouges ($\lambda > 0,8 \mu\text{m}$) [11] [12].

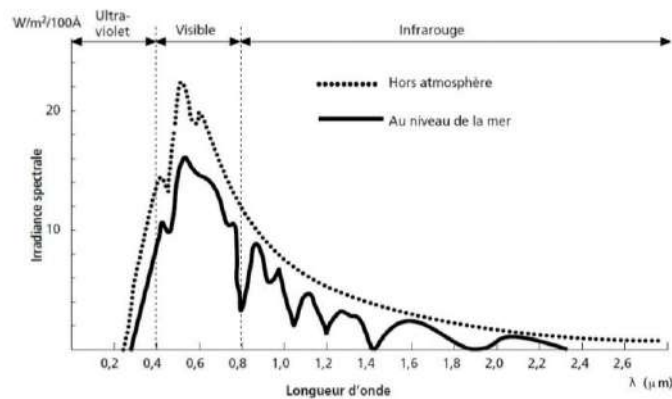


Figure I.1 : Le spectre du rayonnement solaire. [13]

Le rayonnement solaire incident sur le panneau PV est composé de trois parties : le rayonnement direct, le rayonnement diffus et le rayonnement réfléchi par la surface de la Terre (albédo) [14]. Ils se décomposent comme suit :

- Rayonnement direct (ou faisceau de rayonnement) : rayonnement qui n'est pas réfléchi ou diffusé et qui atteint la surface de la Terre directement.
- Rayonnement diffusé : Rayonnement dispersé dans toutes les directions de l'atmosphère. Une partie arrive au plan sur la surface de la Terre (non directionnelle).
- Albédo : Part du rayonnement qui frappe la terre et qui est réfléchi par le sol.
- Rayonnement global : la somme de ces trois rayonnements comme illustrer dans la figure si dessous :

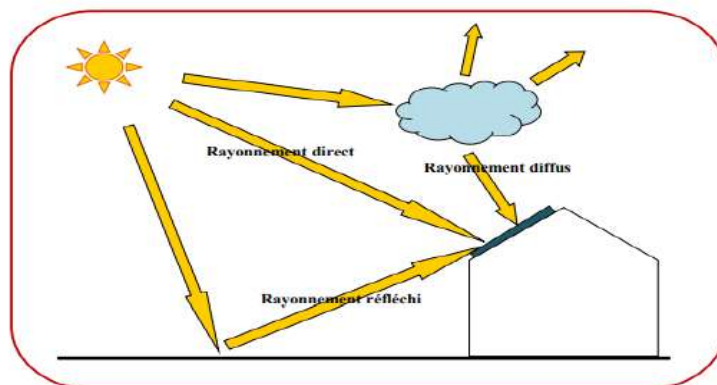


Figure I.2 : Composantes du rayonnement solaire au sol.

I.2.4. Air Mass

Afin de pouvoir calibrer et comparer les performances des cellules photovoltaïques élaborées dans les différents laboratoires du monde, la notion d'air masse (AM) est établie. Elle quantifie la quantité de puissance absorbée par l'atmosphère en fonction de l'angle du soleil θ par rapport au zénith [15].

L'air mass peut être calculer par la formule suivante :

$$AM = \frac{1}{\cos(\theta)} \quad (I.1)$$

Par définition, Le spectre solaire AM0 correspond au spectre solaire hors atmosphère utile pour les applications spatiales et à une masse d'air nulle pour un éclairement solaire au delà de l'atmosphère à incidence normale, La densité de puissance correspondant au spectre AM0 est de 1367 W/m² [16]. AM1 représente le spectre arrivant à la surface de la terre quand le soleil est au zénith, AM1.5G représente le spectre standard arrivant à 48.2° à la surface de la terre à une atmosphère et demi, en dernier AM2 représente le spectre arrivant à 60.1° à la surface de la terre Figure I.3.

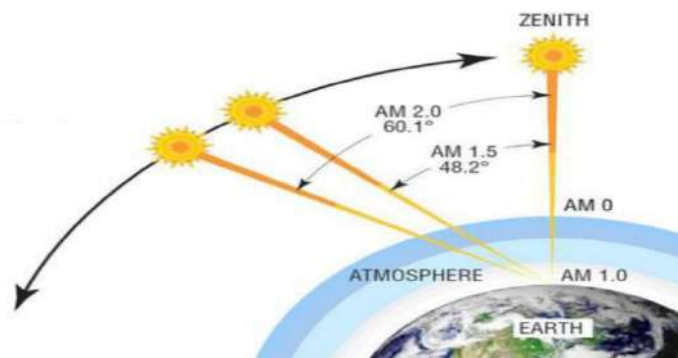


Figure I.3 : Le nombre d'Air mass (AM).

La Figure 1.4 présente l'intensité lumineuse en fonction de la longueur d'onde λ des spectres AM 0 et AM 1.5 G. On remarque l'absorption très importante due à l'atmosphère à certaines longueurs d'ondes. Le spectre AM 1.5 G est composé du rayonnement qui arrive de manière directe et du rayonnement diffus [17].

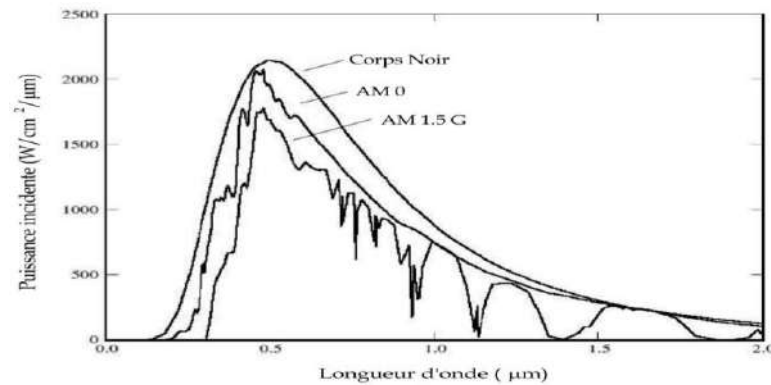


Figure 1.4 : Irradiance à la surface de l'atmosphère terrestre (AM 0) au niveau du sol (AM 1.5 G) en fonction de la longueur d'onde λ

I.2.5. Trajectoire du soleil

La terre décrit autour du soleil une trajectoire légèrement elliptique dont le soleil occupe un foyer et tourne sur elle-même autour d'un axe nord-sud incliné de $23^{\circ}27'$ par rapport au plan de la trajectoire. Pour un observateur sur terre, le soleil aura donc une trajectoire apparente qui varie au cours de l'année et dont il est essentiel de connaître la position pour estimer son apport en énergie [18].

Pour la conception de n'importe quel système utilisant l'énergie solaire, photovoltaïque pour notre part le concepteur doit avoir une connaissance aussi précise que possible du rayonnement solaire disponible sur le site visé et le moment où cette énergie est disponible [19].

I.3. Les systèmes de coordonnées

I.3.1. Coordonnées terrestres

La Terre est pratiquement une sphère qui tourne autour d'un axe passant par le pôle Nord et le pôle Sud. Tout point de la sphère terrestre peut être repéré par deux coordonnées, appelées coordonnées terrestres, à savoir sa latitude ϕ (positive dans l'hémisphère nord, négative dans l'hémisphère sud) et sa longitude L (positive à l'ouest, négative à l'est) figure I.5 [20].

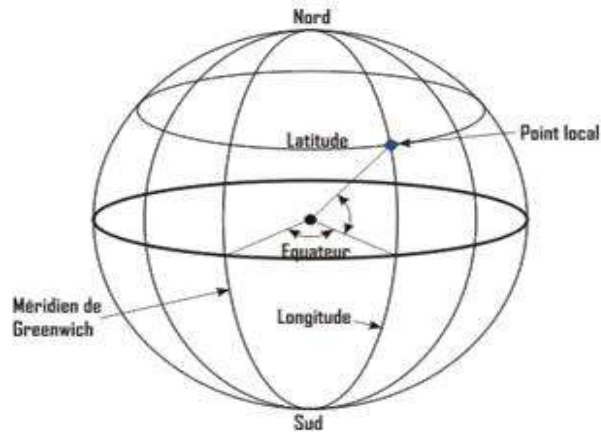


Figure 1.5 : Coordonnées terrestres d'un lieu donné

I.3.1.1. Latitude

La latitude d'un lieu à la surface de la terre est l'angle entre l'équateur et le rayon de la terre passant par le lieu considéré. La latitude φ est comptée de 0° à $+90^\circ$ dans l'hémisphère nord. [21]

La latitude a aussi un effet important : les journées estivales s'allongent à mesure qu'on s'éloigne de l'équateur, et le soleil est plus bas au midi solaire. Les journées d'hiver sont plus courtes, et le soleil encore plus bas qu'à l'équateur. Autrement dit, l'intensité maximale (à midi) et la quantité totale de rayonnement solaire (G) sur un plan horizontal diminue à mesure qu'augmente la latitude, Figure I.6. [22]

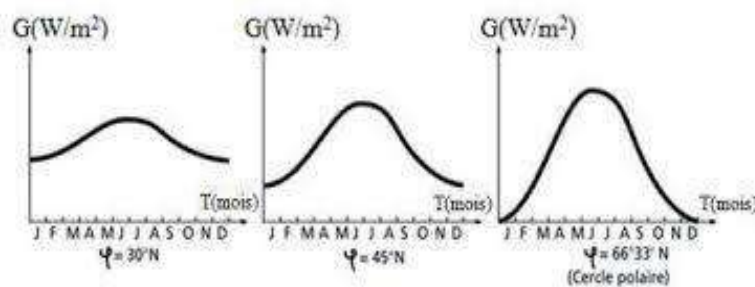


Figure 1.6 : Courbes d'ensoleillement typique par mois pour différentes latitudes

I.3.1.2. Longitude (L)

La longitude d'un lieu correspond à l'angle formé par deux plans méridiens (passant par l'axe des pôles), l'un étant pris comme origine (méridien de Greenwich 0°) et l'autre déterminé par le lieu envisagé. On affecte du signe (+) les méridiens situés à l'est de ce méridien, et du signe (-) les méridiens situés à l'ouest. La longitude d'un lieu peut aussi être comprise entre -180° et $+180^\circ$, à

tout écart de 1° de longitude correspond à un écart de 4 minutes de temps. La longitude sera désignée ici par la lettre L [23].

- Longitude OUEST : $L < 0^\circ$
- Longitude EST : $L > 0$

I.3.2. Coordonnées du soleil

Pour un lieu donné, la position du soleil est repérée à chaque instant de la journée et de l'année par deux systèmes de coordonnées différents:

- Par rapport au plan équatorial de la terre (repère équatorial);
- Par rapport au plan horizontal du lieu (repère horizontal)

I.3.2.1. Coordonnées équatoriales

Le mouvement du soleil est repéré par rapport au plan équatorial de la terre à l'aide de deux angles : *la déclinaison solaire* (δ) et *Angle horaire* (H) du soleil.

I.3.2.1.1. La déclinaison solaire (δ)

C'est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre, on adopte la convention de compter positivement les latitudes de l'hémisphère Nord (compris entre 0° à l'équateur et $+90^\circ$ au pôle Nord), et négativement celle de l'hémisphère Sud (compris entre 0° à l'équateur et -90° au pôle Sud), et variée tout au long de l'année entre deux valeurs extrêmes $\pm 23.45^\circ$.

Les lois du mouvement relatif terre-soleil permettent de calculer les variations de la déclinaison au long de l'année. Pour la pratique, une formule d'approximation est suffisante, elle est donnée par l'équation (I-4). [24]

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(\frac{360}{365} \cdot (j - 80)\right) \quad (\text{I.2})$$

Avec j : nombre de jour de l'année compté à partir du 1er janvier, c'est à dire il varie de 1 à 365 ou 366 selon l'année

Année civile : 365 jours .Année bissextile : 366 jours.

δ varie entre deux valeurs extrêmes : $-\delta \leq \delta \leq +\delta$ avec $\delta_0 = 23,45^\circ$.

La variation de la déclinaison du soleil au cours de l'année est représentée par la figure I.7 [25] :

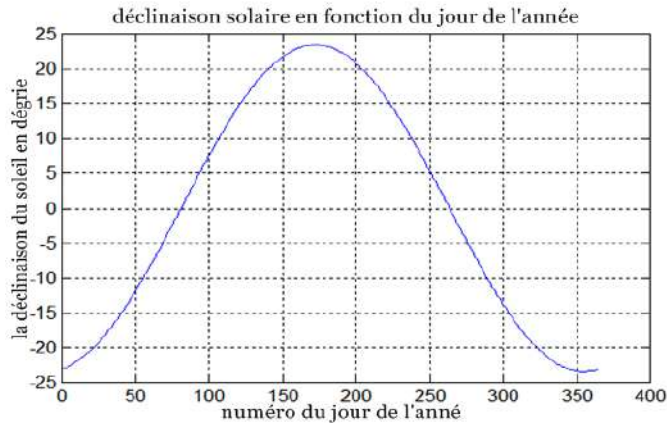


Figure 1.7 : Variation annuelle de la déclinaison du soleil.

$\delta = 0$: (Equinoxes): Les équinoxes représentent les deux dates de l'année où le soleil traverse le plan équatorial, l'équinoxe automnal, le 23 septembre, marquant le début de la chute de la durée de la journée, et l'équinoxe vernal le 21 mars, marquant le début de l'accroissement de la durée du jour.

$\delta = 23,45^\circ$: (au Solstice été) : Le solstice d'été (au 21 juin), nous observons que le soleil est à son point le plus élevé dans le ciel. Elle marque le début de l'été dans l'hémisphère nordique.

$\delta = -23,45^\circ$: (au Solstice hiver) : Il coïncide avec le 21 décembre.

I.3.2.1.2. Angle horaire du soleil (H)

C'est l'angle que font les projections de la direction du soleil avec la direction du méridien du lieu, l'angle horaire du soleil varie à chaque instant de la journée selon la relation :

$$H = 15 (TSV - 12) \tag{I.3}$$

Avec :

$$TSV = TL - TU + \left(\frac{\Delta t + 4L}{60}\right) = TL - \left(TU - \frac{L}{15}\right) + \frac{\Delta t}{60} \tag{I.4}$$

$$\Delta t = 9,87 \sin^2\left(\frac{360}{365} \cdot (j - 81)\right) - 7,35 \cos\left(\frac{360}{365} \cdot (j - 81)\right) - 1,5 \sin\left(\frac{360}{365} \cdot (j - 81)\right) \tag{I.5}$$

TSV : (Temps Solaire Vrai) Temps repéré de façon que le soleil se trouve au zénith à midi.

TU : (Temps Universel) Le décalage horaire par rapport au méridien de Greenwich.

TL : (Temps Légal) : Temps donné par une montre

Δt : Correction de l'équation du temps.

L : longitude du lieu.

L'angle horaire H varie de -180° à $+180^\circ$ [26].

On prend:

$H > 0$ après midi, $H < 0$ le matin et $H = 0$ midi TSV.

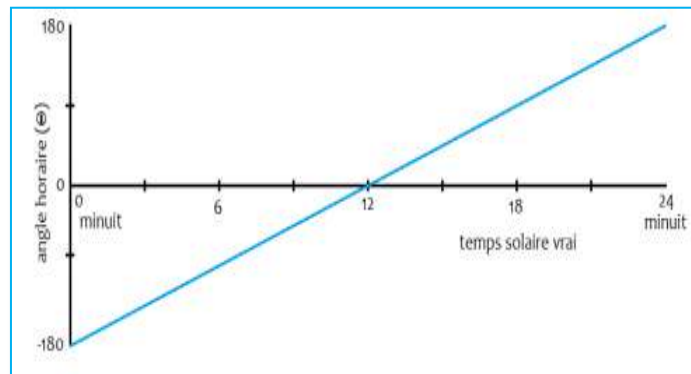


Figure I.8 : variation de l'angle horaire en fonction de temps solaire vrai.

I.3.2.2. Coordonnées horizontales

Le repère horizontal est formé par le plan de l'horizon astronomique et vertical du lieu. Dans ce repère, les coordonnées sont *la hauteur angulaire h* et *l'azimut a* figure (I.9) [26] :

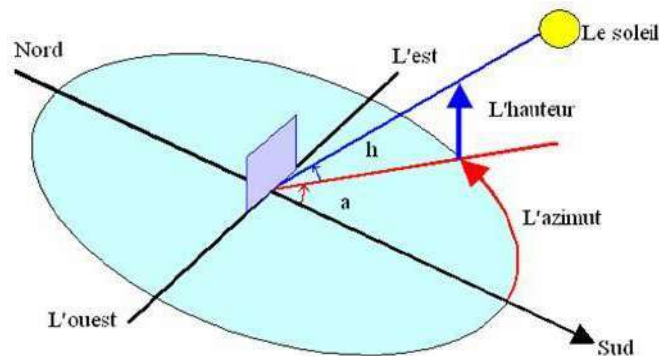


Figure I.9 : coordonnées horizontales d'un astre

I.3.2.2.1. La hauteur du soleil (h)

C'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur le plan horizontal. La hauteur du soleil varie à chaque instant de la journée et de l'année selon la relation suivante:

$$\sin h = \cos(\delta) \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(H) + \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) \quad (\text{I.6})$$

Avec:

h : varie entre -90° à $+90^\circ$

On prend:

$h > 0$ le jour, $h < 0$ la nuit et $h = 0$ aux lever et coucher.

I.3.2.2.2. Azimut du soleil (a)

$$\sin (a): \frac{\cos (\delta) . \sin (H)}{\cos h} \quad (\text{I.7})$$

Avec: a varie entre -180° à 180°

On prend: $a > 0 \Rightarrow$ Vers l'ouest, $a < 0 \Rightarrow$ vers l'est et $a = 0 \Rightarrow$ direction du sud

I.4. Le gisement solaire

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

Il est utilisé pour simuler le fonctionnement probable d'un système énergétique solaire et donc effectuer un dimensionnement le plus exact possible compte tenu des demandes en énergie à satisfaire [27][28].

La connaissance du gisement solaire d'un site donné est primordiale et plus ou moins précise selon la densité des stations pour lesquelles on a des données, le nombre d'années de mesures disponibles, le pas de temps des données (mois, jour, heure) ainsi que la durée d'ensoleillement, composante directe et diffuse et globale du rayonnement solaire, albédo du sol ... etc [16]

En raison de sa situation géographique, l'Algérie est classée comme étant l'un des pays les mieux dotés en ressources solaires au monde et au bassin méditerranéen (Figure I.10) ; soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, et 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque [16].

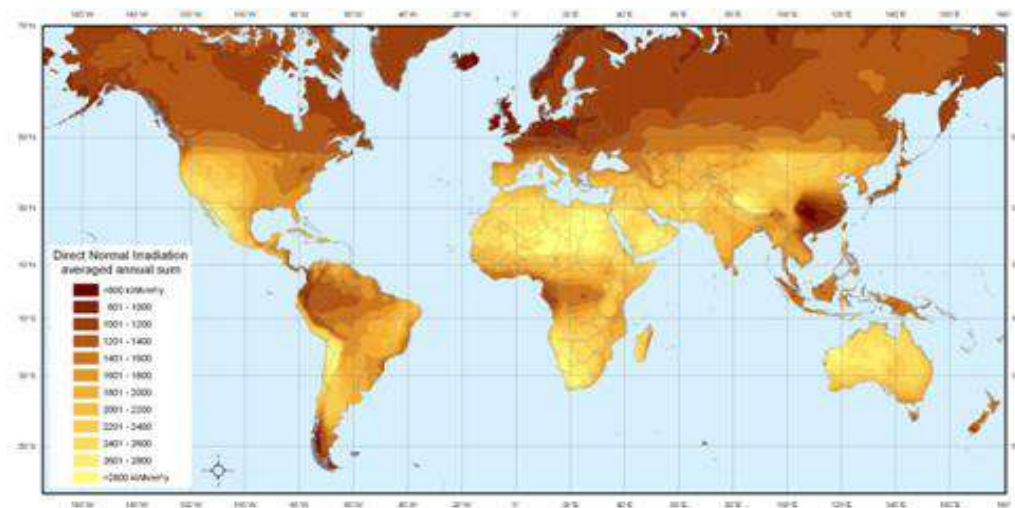


Figure I.10 : Gisement annuel à la surface terrestre [Nasa 08]

La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 kWh/m²/an

au Nord et 2263 kWh/m²/an au sud du pays. Le tableau I.1 résume le potentiel solaire en Algérie [29] [30].

Tableau I.1 : le potentiel solaire en Algérie

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue par (Kwh/m ² /an)	1700	1900	2650

I.5. Energie photovoltaïque

I.5.1. Terminologie « photovoltaïque »

Le terme « photovoltaïque » vient du mot « photo » du grec « phos » qui signifie la lumière et de « voltaïque », mot dérivé du nom de famille du physicien italien (Alessandro Volta), connu pour ses travaux sur l'électricité (qui inventa la pile électrique en 1800 et donna son nom à l'unité de mesure de la tension électrique, le volt) [31], appelé aussi module photovoltaïque ou PV il permet la transformation directe de la lumière solaire en électricité par un processus appelé l'effet photovoltaïque au moyen de cellules généralement à base de silicium.

Le développement des cellules photovoltaïque a commencé en 1839 lorsqu'Henri Becquerel a observé le comportement électrique d'électrodes immergées dans un liquide conducteur exposé à la lumière [21].

I.6. Cellule photovoltaïque

I.6.1. Définition

La cellule photovoltaïque ou photopile est l'unité de base du système de conversion d'énergie solaire en électricité du type continue directement utilisable ou convertit en alternatif, qui est basée sur le phénomène physique « effet photovoltaïque » qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière [5].

La tension générée par une cellule, nommée la tension de circuit ouvert, peut varier entre 0.3 V et 0.6 V dépend fortement de l'ensoleillement en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température de la cellule [32] [33].

La cellule solaire est une diode de type spécial, de grande surface et de faible épaisseur. Les cellules solaires sont faites de divers matériaux et différentes structures afin de réduire le coût et d'obtenir une efficacité optimale [32].

I.6.2. Principe de fonctionnement général d'une cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques exploitent l'effet photoélectrique pour produire du courant continu par absorption du rayonnement solaire par le biais d'un matériau semi-conducteur appelé absorbeur transportant les charges électriques positives et négatives [32].

Une cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore) créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque la cellule est exposée au rayonnement solaire, les photons d'énergie pénétrant dans la cellule solaire transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons et des trous [34].

Si cette énergie est suffisamment élevée, elle peut faire passer les électrons de la bande de valence à la bande de conduction du matériau semi-conducteur et créer ainsi des paires «électron-trou ». Les électrons (charges négative) et les trous (charges positive), sont alors maintenus séparés par un champ électrique qui constitue une barrière de potentiel. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone N rejoignent les trous de la zone P via la connexion extérieure, donnant ainsi naissance à une différence de potentiel et un courant électrique qui circule (voir figure3.1) [34].

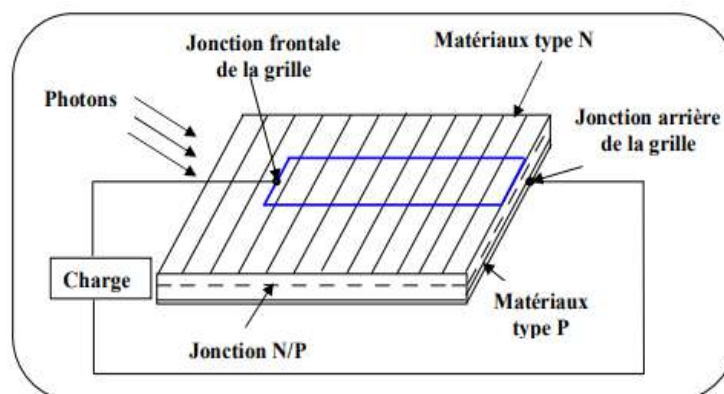


Figure I.11: principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque

I.6.3. Différents types des cellules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques sont constituées de semi-conducteurs à base de silicium (Si). Le silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer ces cellules, car il est très abondant dans la nature. Près de 93 % de la production mondiale des panneaux solaires est à base de silicium [35].

Il existe différents types de cellules photovoltaïques, et Chaque type de cellules à un rendement et un coût qui lui sont propres.

Actuellement, Les principaux types de cellules PV existants sont : Cellule en silicium monocristallin, Cellule en silicium poly cristallin et Cellule en silicium amorphe.

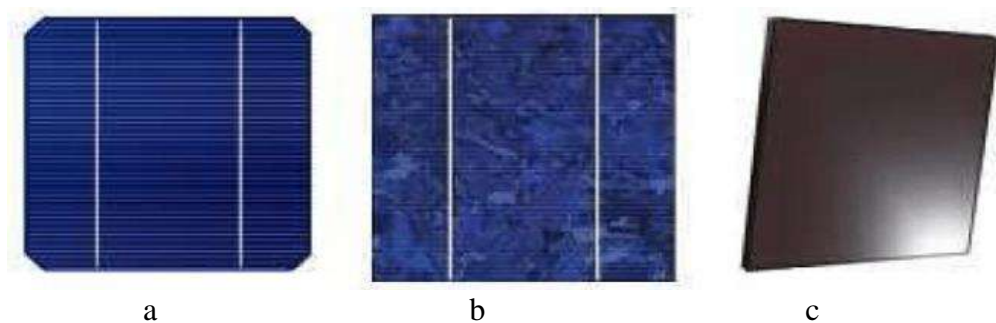


Figure I.12 : Types de cellules photovoltaïques. (a) Silicium monocristallin (b) silicium poly cristallin, (c) silicium amorphe

I.6.3.1. Les cellules au silicium monocristallin

Le silicium monocristallin (mono-Si), est un matériau composé d'un seul cristal partagé en deux couches parfaitement homogène. Les cellules solaires issues de ce silicium ont un aspect uniforme, de couleur gris bleuté, ou noir métallique. Elles sont identifiées par leur forme carrée avec 4 côtés coupés.

Les cellules monocristallines offrent les meilleurs rendements actuellement de l'ordre de 15 à 19% en industrie et de 25% en laboratoire [35]. [18].

Les panneaux solaires à base de silicium monocristallin présentent une bonne durée de vie (30 ans 35)

I.6.3.2. Les cellules au silicium polycristallin (multicristallin)

Contrairement au silicium monocristallin, le silicium multicristallin (mc-Si) est composé de plusieurs cristaux de tailles variées et orientés de manière aléatoire dans le matériau.

Les cellules solaires multi cristallines ont donc un aspect non uniforme, de couleur bleue. Elles sont identifiées par leurs formes carrées.

Cette technologie a comme avantages : un coût de production moins élevé que pour les cellules monocristallines. Les panneaux ont également une bonne durée de vie. Le rendement est correct compris entre 14 et 21%, le rendement en industrie est de 12 à 16% et 20.4% en laboratoire [18] [35].

I.6.3.3. Les cellules au silicium amorphe

Ces cellules sont à couche mince, c'est-à-dire qu'elles sont fabriquées en déposant une fine couche de silicium sur un support (ou "substrat"), par exemple du plastique, du verre ou encore sur du métal. L'épaisseur de silicium utilisée est beaucoup plus faible que pour les cellules mono ou polycristallines, présentent une couleur grise.

En effet l'a-Si possède un coefficient d'absorption beaucoup plus élevé que le silicium cristallin. C'est ce qui permet d'avoir des cellules avec des couches de l'ordre du micron d'épaisseur et qui permet de réduire significativement les coûts de production [35].

Elles présentent comme inconvénient un rendement de conversion faible de l'ordre de 5 à 7% (environ 13% au laboratoire) par rapport aux autres technologies et une faible durée de vie des panneaux solaires.

Le tableau I.2 suivant résume les principaux avantages et inconvénients de différentes catégories des cellules :

Tableau I.2 : Avantages et inconvénients des cellules solaires à base de silicium

Matériau de cellule	Avantages	Inconvénients	Domaine d'application
Cellule en silicium monocristallin	<ul style="list-style-type: none"> - Très bon rendement - Le plus retrouvé sur le marché mondial - bonne durée de vie 30 ans 	<ul style="list-style-type: none"> - un coût de production élevé, - un rendement plus faible sous un faible éclairement - Sensible à la température élevée, 	<ul style="list-style-type: none"> - modules de grandes dimensions pour toits et façades, appareils de faibles puissances, - aérospatiale, espace (satellites)
Cellule en silicium multi cristallin	<ul style="list-style-type: none"> - un coût de production moins élevé, - production des panneaux solaires presque optimale, - moins sensible à la 	<ul style="list-style-type: none"> - Rendement faible sous éclairement faible 	<ul style="list-style-type: none"> - modules de grandes dimensions pour toits et façades, générateurs de toutes tailles (reliés réseau ou sites isolés)

	température élevée - bonne durée de vie - Bon rendement de conversion environ 1KW/m ² , - Adapté à la production à grande échelle		-Dans les zones chaudes,
Cellule au silicium amorphe	- un procédé de fabrication moins coûteux car il est réalisé à basse température - Très faible épaisseur - fonctionne à faible luminosité et sous ombrage partiel - moins sensible à la température élevée	- rendement de conversion faible	- Appareilles électroniques de faible puissance (calculatrice, montre.) , production d'énergie embarquée - modules de grandes dimensions (intégration dans le bâtiment)

I.6.4. Modélisation électrique d'une cellule photovoltaïque

Il existe plusieurs modèles électriques caractérisant le fonctionnement de la cellule photovoltaïque, et ils ont comme facteur commun la considération de la cellule PV comme générateur du courant idéal [36]

I.6.4.1. Modèle simplifié

La cellule sera modélisée par une source du courant I_{ph} en parallèle avec une diode et pour optimiser la modélisation de quelques phénomènes au niveau de la cellule, le modèle comme le montre la Figure I.13 contient une résistance série R_s qui modélise les pertes ohmiques [36].

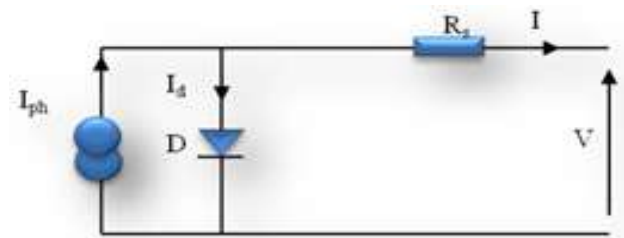


Figure I.13: Modèle simplifié d'une cellule PV.

Ce modèle électrique modélise la cellule en un générateur du courant idéal, selon la loi des nœuds, le courant résultant I est donné par :

$$I = I_{ph} - I_d \tag{I.8}$$

La diode étant un élément non linéaire, sa caractéristique I-V est donnée par la relation :

$$I_d = I_s \left(\exp \left(\frac{V + R_s I}{A \cdot v_t} \right) - 1 \right) \quad (\text{I.9})$$

$$\text{Avec : } v_t = \frac{kT}{q}$$

Donc l'équation du courant délivré par une cellule photovoltaïque est décrite comme suite :

$$I = I_{ph} - I_s \left(\exp \left(\frac{V + R_s I}{A \cdot v_t} \right) - 1 \right) \quad (\text{I.10})$$

Le modèle de l'expression (I.10) est nommé aussi « modèle à quatre paramètres » (I_{ph} , I_s , R_s , A).

I.6.4.2. Modèle à une diode

C'est un modèle semblable au modèle simplifié. Comme le montre la Figure I.14, une source de courant et une diode en parallèle avec une résistance en série, mais dans ce modèle une résistance shunt R_{sh} est ajoutée ayant une grande influence sur le courant généré par le modèle et qui est proche du courant d'une cellule réelle. Physiquement, la résistance shunt sert à la modélisation des pertes autour de la jonction dues aux impuretés et sur les coins de la cellule [36].

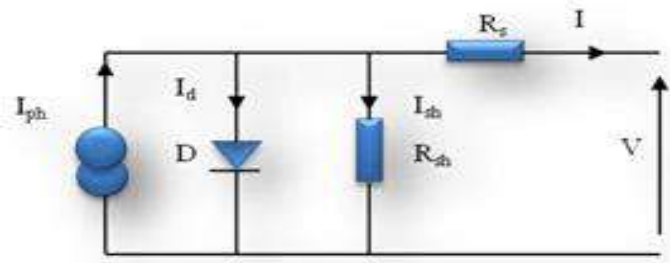


Figure. I.14 : Modèle à une diode d'une cellule PV.

Le courant généré par ce modèle est donné par :

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (\text{I.11})$$

Avec:

$$I_{sh} = \left(\frac{V + R_s I}{R_{sh}} \right) \quad (\text{I.12})$$

Donc:

$$I = I_{ph} - I_s \left(\exp \left(\frac{V + R_s I}{A \cdot v_t} \right) - 1 \right) - \left(\frac{V + R_s I}{R_{sh}} \right) \quad (\text{I.13})$$

Le modèle de l'expression (I.13) est nommé aussi « modèle implicite avec cinq paramètres » (I_{ph} , I_s , R_s , R_{sh} , A).

Avec :

I_{ph} : Le photo-courant dépendant de l'éclairement (G).

- I : courant fourni par la cellule
 I_s : Courant de saturation inverse de la diode
 A : Facteur d'idéalité de la diode .
 V_t : potentielle thermodynamique
 K : Constante de Boltzmann = $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$.
 T : Température de la cellule en Kelvin.
 q : Charge de l'électron = $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Coulomb}$.
 R_s : la résistance série du circuit [Ω].
 R_{sh} : la résistance parallèle du circuit shunt [Ω]. .

I.6.5. Caractéristiques électriques

La cellule photovoltaïque possède une caractéristique $I(V)$ non linéaire. La caractéristique d'une cellule photovoltaïque balaie 3 quadrants sur les 4 existants [37]. Une cellule PV est un récepteur dans le quadrant 2 et dans le quadrant 4. Le fonctionnement dans ces deux quadrants est à proscrire car un risque de destruction par phénomène d'échauffement local (hot spot) est possible. Le fonctionnement dans le quadrant 1 est le fonctionnement normal. En effet dans ce cas la cellule est un générateur, elle produit donc de l'énergie. L'objectif est donc de faire travailler la cellule dans ce quadrant [38].

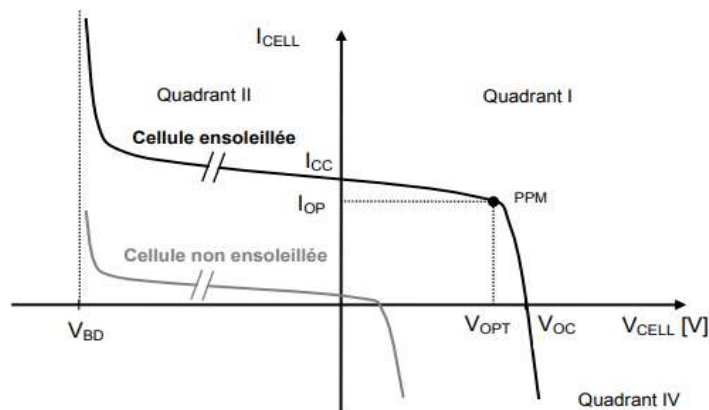


Figure I.15 : Caractéristique I-V d'une cellule photovoltaïque dans les 4 quadrants

I.6.5.1. Paramètres caractéristiques d'une cellule photovoltaïque

Les grandeurs physiques importantes de la cellule solaire découlent de sa caractéristique courant-tension, $I(V)$, représentée sur la Figure I.16 [39].

La Figure I.16 montre la courbe de la caractéristique d'une cellule PV qui représente la variation du courant qu'elle produit en fonction de la tension aux bornes de la cellule PV depuis le courant court-circuit jusqu'au tension circuit ouvert. Cette courbe est établie dans des conditions ambiantes de fonctionnement

données (répartition du rayonnement, cellule PV à une température donnée et air ambiant circulant à une vitesse donnée). La caractéristique courant / tension d'une cellule a l'allure suivante :

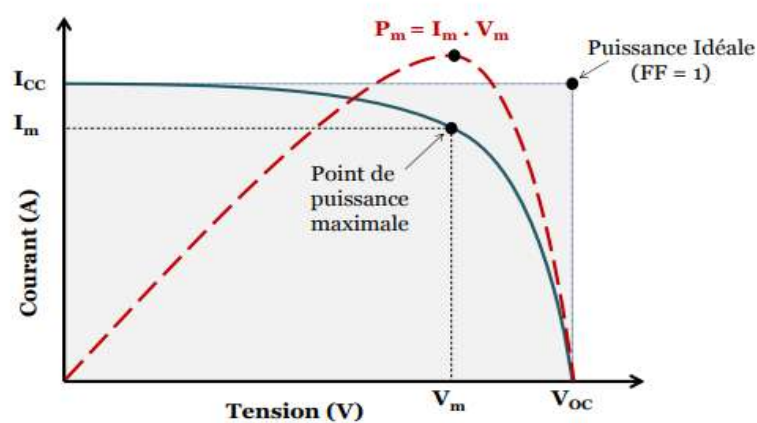


Figure I.16 : Caractéristique I-V d'une cellule photovoltaïque

Nous pouvons décomposer la Figure I.16 suivant l'axe de la tension photovoltaïque V en trois zones [40] :

- **Zone 1** : elle est assimilable à un générateur de courant I_{cc} proportionnel à l'irradiation. Le fonctionnement de la cellule dans cette zone donne des puissances faibles, des courants élevés et des tensions faibles.
- **Zone 2** : correspondant au coude de la caractéristique. La région intermédiaire entre les deux zones précédentes, représente la région préférée pour le fonctionnement du générateur, où le point optimal (caractérisé par une puissance maximale) peut être déterminé.
- **Zone 3** : elle est assimilable à un générateur de tension V_{co} , le fonctionnement de la cellule dans cette zone se distingue par une variation de courant correspondant à une tension presque constante.

I.6.5.1.1. Courant de court-circuit I_{cc}

Le courant de court-circuit, noté I_{cc} , est le courant circulant dans la cellule à tension nulle ($V = 0$); il dépend principalement de l'intensité de la lumière et de la surface de la cellule [39].

On peut être écrire : $I_{cc}(V=0) = I_{ph}$

I.6.5.1.2. Tension de circuit ouvert V_{co}

La tension de circuit-ouvert, notée V_{CO} , tension maximale aux bornes de la cellule à courant nul ($I = 0$), elle dépend essentiellement de la température de la cellule et du spectre de l'éclairement [39].

On peut être calculé :

$$V_{oc} = \frac{A*KT}{q} \ln\left(\frac{I_{cc}}{I_s} + 1\right) \quad (I.14)$$

I.6.5.1.3. Puissance maximale

Dans des conditions ambiantes de fonctionnement fixes en général un ensoleillement de 1000W/m² et une température de 25°C

Le point de puissance maximale P_m, obtenu pour un courant et une tension optimaux (I_m, V_m).

$$P_m = V_m \times I_m \quad (II.8)$$

P_m : Puissance mesurée aux bornes de la cellule PV (Watt).

V_m : Tension mesurée aux bornes de la cellule PV (Volt).

I_m : Intensité mesurée aux bornes de la cellule PV (Ampère).

Pour une cellule solaire idéale, la puissance maximum P_{max_idéale} correspondrait donc à la tension de circuit ouvert V_{co} multipliée par le courant de court-circuit I_{cc}:

$$P_{max_idéale} = V_{co} \times I_{cc} \quad (I.15)$$

P_{max_idéale}: Puissance mesurée aux bornes de la cellule PV idéale.

V_{co} : Tension de circuit ouvert mesurée aux bornes de la cellule PV.

I_{cc} : Intensité de court-circuit mesurée aux bornes de la cellule PV.

I.6.5.1.4. Le facteur de forme FF

Le facteur de remplissage (facteur de forme), noté FF, désigne le rapport entre puissance maximale fournie (P_m) sur le produit ICC VCO. Il est toujours inférieur à 1.

On peut être calculé :

$$FF = \frac{P_m}{P_{max_idéale}} = \frac{V_m \times I_m}{V_{co} \times I_{cc}} \quad (I.16)$$

I.6.5.1.5. Rendement de conversion

Le rendement de conversion (η) de la cellule est défini par le rapport entre la puissance maximale (P_m) et la puissance du rayonnement solaire incident (P_{in}) sur la cellule photovoltaïque [39] :

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{FF \times V_{co} \times I_{cc}}{P_{in}} \quad (I.17)$$

I.6.6. Influence de la température et de l'éclairement

La caractéristique d'une cellule PV (ou d'un générateur PV) est directement dépendante de l'éclairement et de la température. La Figure I.17 donne l'allure

générale des caractéristiques électriques d'un générateur photovoltaïque pour différents éclairagements (de 0 W/m² à 1000 W/m²) à température donnée de 25 °C [38], on peut voir que le courant subit une variation importante, quand l'éclairement augmente le courant de court-circuit est augmenté, mais par contre la tension varie légèrement (elle peut être considérée comme une constante pour une installation donnée). Ce qui se traduit par une augmentation de la puissance, lorsque l'éclairement est augmenté.

Les influences de ces paramètres se traduisent donc par des variations de la caractéristique utile du générateur photovoltaïque avec les conditions d'éclairement [38].

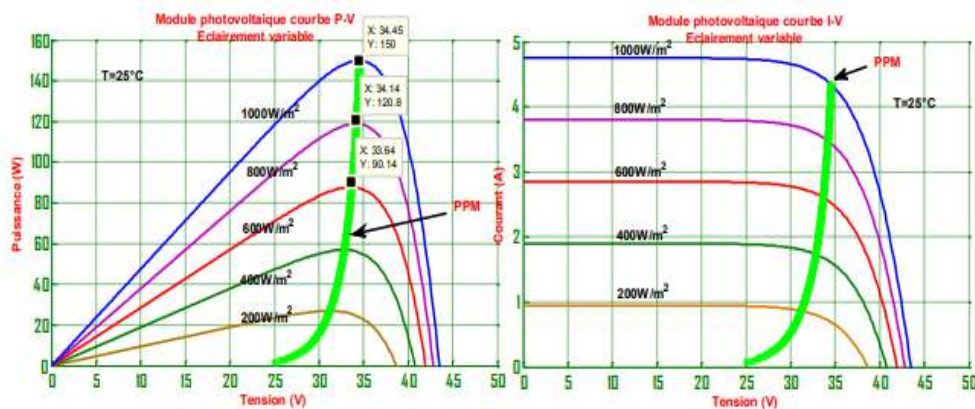


Figure I.17 : Effet de l'éclairement sur la caractéristique I-V et P-V [34].

La température a également une influence sur la caractéristique d'un générateur PV. La Figure I.18 présente la variation des caractéristiques d'un générateur PV en fonction de la température à un éclairement donné. L'éclairement est ici fixé à 1000 W.m² [38], Nous remarquons que le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, on constate que la température influe négativement sur la tension de circuit ouvert. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Et par contre la puissance maximale du générateur subit une diminution lorsque la température augmente.

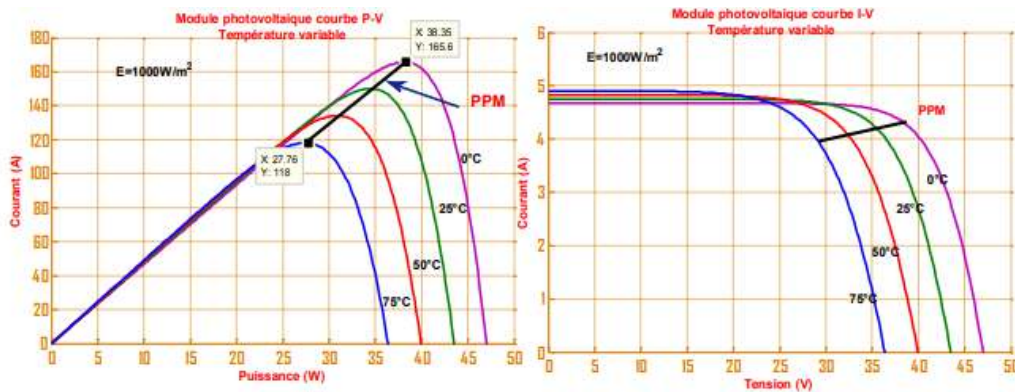


Figure I.18 : Effet de la température sur la caractéristique I-V et P-V [34]

I.7. Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque

I.7.1. Avantages de l'énergie photovoltaïque [41]

Nous pouvons citer quelques avantages de l'énergie photovoltaïque :

- La source de carburant est vaste, largement accessible et essentiellement infinie ;
- Pas d'émissions, la combustion ou les déchets radioactifs (ne contribuent pas sensiblement au changement climatique mondial ou de la pollution de l'air et l'eau) ;
- Faibles coûts de fonctionnement vu les entretiens réduits, et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé
- Pas de pièces mobiles (pas d'usure); théoriquement éternelle ;
- Fonctionnement à température ambiante (pas de problèmes de corrosion ou de sécurité à haute température) ;
- Haute fiabilité des modules solaires (les garanties des fabricants dépassent 30 ans) ;
- Production annuelle prédictible;
- Le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt ;
- Peut être intégré dans de nouveaux ou existants structures de construction ;
- Peut être installé très rapidement à presque tous les points d'utilisation.

I.7.2. Inconvénients de l'énergie photovoltaïque [41]

Comme nous pouvons citer quelques inconvénients de l'énergie photovoltaïque :

- La source de carburant est diffusée (la lumière du soleil a une énergie relativement de faible densité) ;
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible ;
- Le coût initial d'installation est élevé ;
- Le rendement horaire ou journalier imprédictible ;
- Manque de stockage d'énergie économiquement efficace ;
- L'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

I.8. Conclusion

Bref, l'énergie photovoltaïque résulte de la transformation directe de la lumière du soleil en électricité aux moyens des dispositifs photovoltaïques qui sont des cellules généralement à base de silicium cristallin qui reste la filière la plus avancées sur le plan technologiques et industriel.

Actuellement, les panneaux solaires à base de silicium monocristallin offrent les meilleurs rendements de conversion et une bonne durée de vie.

Dans tout le bassin méditerranéen, il existe un gigantesque réservoir d'énergie solaire situé au nord du continent africain et particulièrement la région Sud de l'Algérie. Le potentiel de ce type d'énergie dans le sud algérien appelé également GSA (grand Sahara algérien) est le plus important.

Du point de vue des chercheurs, une bonne compréhension des différentes technologies de cellule et de module est cruciale pour continuer à réduire les coûts, augmenter les performances et améliorer l'impact sur l'environnement en trouvant par exemple des solutions de recyclage dès la conception de nouveaux modules PV.

Dans le chapitre suivant, on va traiter les types d'installation d'un système PV pour un habitat.

*Chapitre II : Le système
photovoltaïque*

II.1. Introduction

Le générateur photovoltaïque est un ensemble d'équipement mis en place pour exploiter l'énergie photovoltaïque afin de satisfaire les besoins en charge.

Bien que fondamental dans la chaîne que représente un système PV, le module photovoltaïque à lui seul ne peut pas assurer grand-chose. Pour répondre à un besoin défini, il faut en fait l'associer étroitement à une installation complète correspondant à une application bien spécifique.

Dans ce chapitre nous présentons un aperçu général sur les différentes configurations des systèmes photovoltaïques ainsi que le fonctionnement de chacun des éléments de base d'un système photovoltaïque autonome.

II.2. Les systèmes photovoltaïques

Le choix du mode d'utilisation d'un système solaire se fait selon des exigences imposées que ce soit technique, économique ou géométrique. Pour cela il existe principalement trois modes à savoir : Autonome, Hybride et raccordée au réseau.

II.2.1. Systèmes photovoltaïques autonomes

Ce sont les systèmes les plus simples puisque l'énergie photovoltaïque est utilisée directement à partir des panneaux [42].

Le rôle des systèmes autonomes est d'alimenter un ou plusieurs consommateurs situés dans une zone isolée du réseau électrique [38].

II.2.2. Systèmes autonomes avec stockage

C'est la configuration la plus courante des systèmes photovoltaïques autonomes que les anglophones appellent Stand-Alone Systems [42].

La figure II.1 présente un exemple d'un système PV autonome, en remarquant qu'il y a un système de stockage qui est associé aux générateurs PV pour assurer l'alimentation à chaque instant et pendant plusieurs jours malgré l'intermittence de la production. Ce système est utilisé en tampon, celui-ci étant rechargé en cas de surplus de production et déchargé en cas de surconsommation.

Le système de stockage représente une partie très importante du coût de l'installation, et ces conditions de fonctionnement sont très contraignantes. Par conséquent, des systèmes de gestion de l'énergie ont été développés afin d'optimiser la durée de vie du système de stockage et de réduire les coûts de fonctionnement. Un sous-dimensionnement a notamment pour conséquences un vieillissement prématuré du système de stockage ainsi qu'un accroissement des

délestages de consommation et de production alors qu'un surdimensionnement peut conduire à un surcoût économique [38].

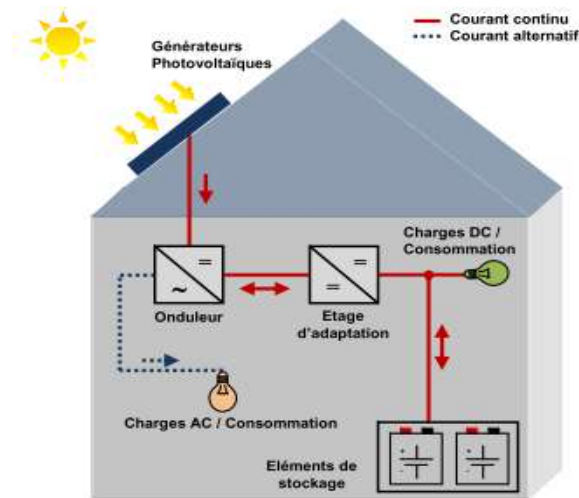


Figure II.1 : Système photovoltaïque avec stockage (avec ou sans conversion d'énergie).

II.2.3. Systèmes photovoltaïques hybrides

Les systèmes Hybrides sont généralement des systèmes PV couplés à d'autres sources comme par exemple une éolienne ou un groupe électrogène. Le rôle du second producteur d'énergie est de palier aux insuffisances éventuelles de la production photovoltaïque [43][38].

Dans le cas d'un système hybride avec éolien (voir la figure II.2), l'énergie produite par celle-ci (qui possède son propre contrôleur) vient compléter la charge des batteries. Sa production étant plus aléatoire que celle des panneaux solaires, elle complète efficacement un générateur photovoltaïque pour des applications particulièrement gourmandes en électricité, qui ne nécessitent pas de fonctionner de façon régulière, mais au gré du vent [38].

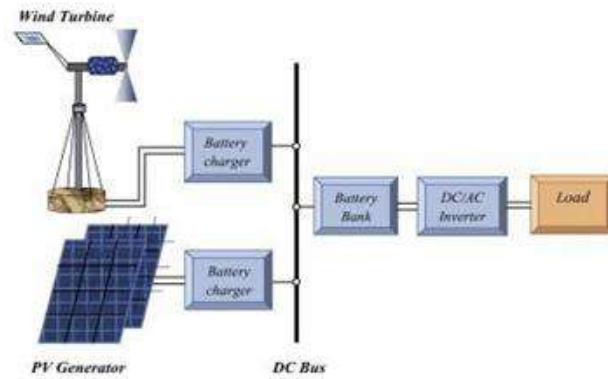


Figure II.2 : Schéma principale un système hybride avec éolien.

Le cas d'un système hybride avec groupe électrogène (voir la figure II.3), est différent par rapport avec celui d'éolien. Ce type de configuration est adapté aux applications très consommatrices d'électricité mais qui ne fonctionnent qu'une, deux ou trois heures par jour. Il peut aussi être utilisé comme "secours", permettant de limiter la taille du parc de batteries pour les jours "sans soleil". A son démarrage, le groupe électrogène devient une source principale afin de fournir pour tous les appareils dans la maison tout en complétant la charge des batteries au travers du convertisseur-chargeur. Lorsque le groupe s'arrêtera, le système basculera automatiquement sur les batteries [38].

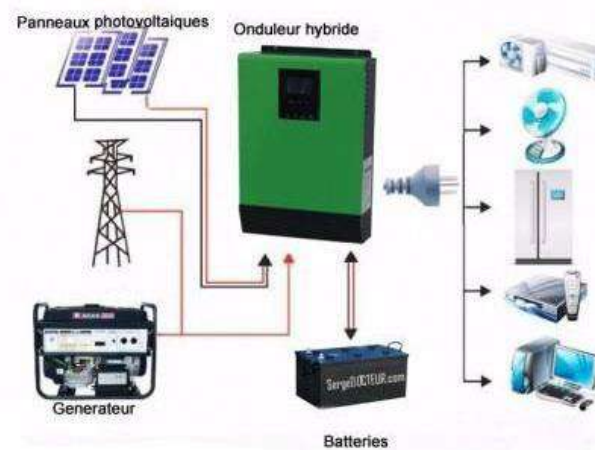


Figure II.3 : Schéma principale un système hybride avec groupe électrogène.

II.2.4. Systèmes photovoltaïques connectés au réseau

La figure II.4 représente un système PV connecté au réseau électrique, dont le rôle principal est de contribuer à la production d'électricité d'origine renouvelable sur le réseau. D'un point de vue de la physique, l'énergie produite par les panneaux est directement consommée par les charges locales de l'habitat.

L'éventuel surplus de production par rapport à la consommation instantanée est injecté sur le réseau. Et en cas de coupure réseau, l'onduleur stoppe l'injection d'électricité photovoltaïque produite sur le réseau et bascule la production sur un circuit électrique de secours parallèle, constitué d'un ensemble de batteries [38][44]

La protection de découplage permet de supprimer tout risque d'électrocution en cas de rupture de courant pour le personnel intervenant. Cette fonction est assurée par l'onduleur qui s'arrête automatiquement lorsque le réseau est mis hors tension. Le réseau est utilisé en appoint de la production PV. Actuellement, il est interdit d'utiliser un élément de stockage de l'énergie dans ce type de systèmes [38][44].

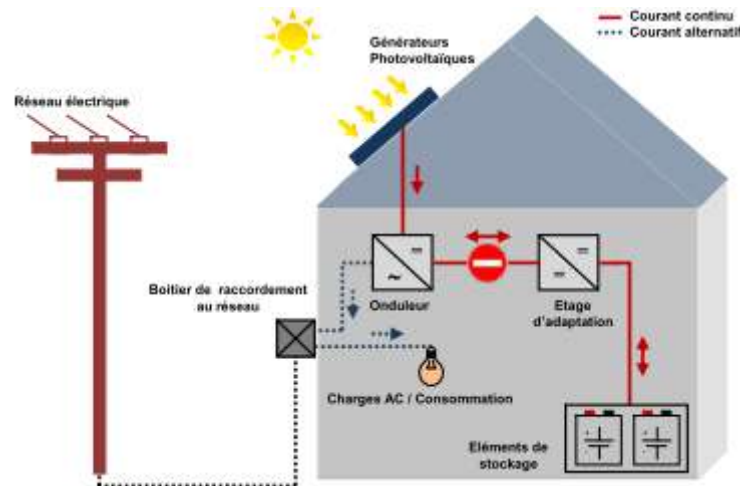


Figure II.4 : Schéma principale un Systèmes photovoltaïques connectés au réseau.

II.3. Les principaux éléments d'un système photovoltaïque

Un système photovoltaïque, est constitué généralement d'un ou plusieurs modules solaires (champ PV), d'une charge à consommation, un système de stockage (Une ou plusieurs batteries), un système de régulation ainsi un système de conversion figure II.5.

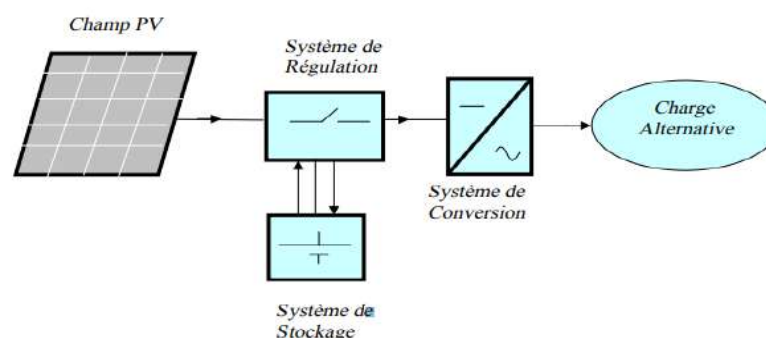


Figure II.5 : Schéma fonctionnelle d'un système photovoltaïque

II.3.1. Le générateur photovoltaïque

Un générateur photovoltaïque ou module est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïque élémentaires montées en série et/ou parallèle afin d'obtenir des caractéristiques électriques désirées tels que la puissance, le courant de court-circuit ou la tension en circuit ouvert [37].

Généralement il contient également des protections pour protéger les cellules PV d'un fonctionnement qui peut être destructif [37].

II.3.1.1. Classification des générateurs photovoltaïques

En fonction de leur taille, on peut classer les générateurs photovoltaïques de la manière suivante [45]:

II.3.1.1.1. Générateurs de petite taille (P=1 à 10 kW)

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

II.3.1.1.2. Générateurs de taille moyenne (P=10 à 100 kW)

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

II.3.1.1.3. Générateurs de grande taille (P ≥ 500 kW)

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

II.3.1.2. Regroupement de cellules PV

II.3.1.2.1. Regroupement de cellules PV en séries

Une association de N_s cellules en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque (GPV). Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule, figure II.6 [46].

L'équation (II.1) résume les caractéristiques électriques d'une association série de (N_s) cellules [46] :

$$V_{coNs} = N_s \times V_{co} \quad ; \quad I_{ccNs} = I_{cc} \quad (II.1)$$

N_s = Nombre de cellule en série.

V_{coNs} : La Somme des tensions en circuit ouvert de N_s cellules en série.

I_{ccNs} : Courant de court-circuit de N_s cellules en série.

Ce système d'association est généralement le plus communément utilisé pour les modules photovoltaïques du commerce.

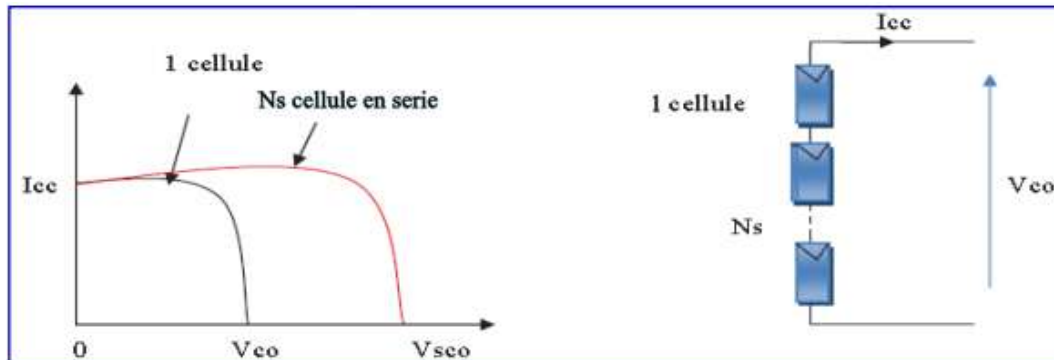


Figure II.6 : Caractéristique d'un groupement de n cellules identiques en série.

II.3.1.2.2. Regroupement de cellules PV en parallèle

Une combinaison de n_p cellules en parallèle est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultant du groupement est obtenue par addition des courants, figure II.7 [46] :

L'équation (II.2) résume à son tour les caractéristiques électriques d'une association parallèle de n_p cellules :

$$I_{ccNp} = Np \times I_{cc} ; V_{coNp} = V_{co} \tag{II.2}$$

N_p = Nombre de cellule en parallèle.

I_{ccNp} : La Somme des courants de court-circuit de (N_p) cellules en parallèle.

V_{coNp} : Tension du circuit ouvert de (N_p) cellules en parallèle.

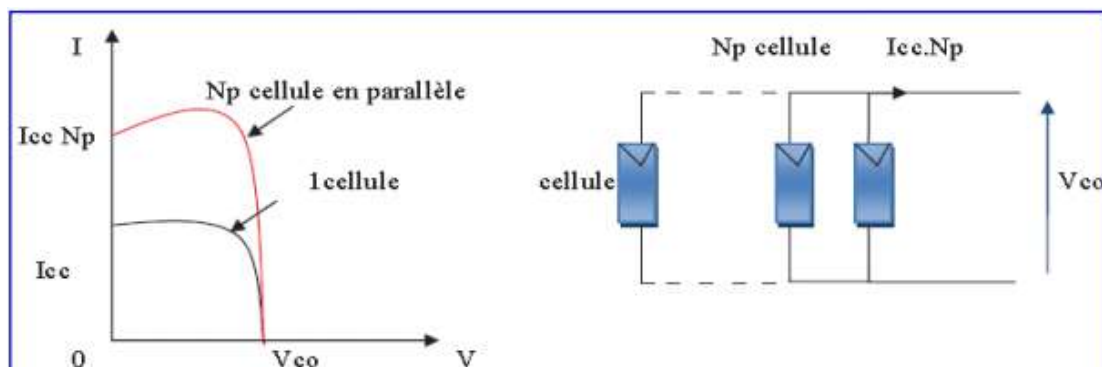


Figure II.7: Caractéristique d'un groupement de n cellules identiques en parallèle.

II.3.1.2.3. Regroupement des cellules série et parallèle (mixte)

La caractéristique (I–V) d'un générateur photovoltaïque peut être considérée comme le fruit d'une association d'un réseau de ($N_s \times N_p$) cellules en série/parallèle. La caractéristique globale peut, en outre, varier en fonction de l'éclairement, la température, du vieillissement des cellules et les effets d'ombrage ou d'inhomogénéité de l'éclairement. Pour remédier le phénomène point chaud générer lors de la défektivité d'une des cellules ce qui provoquer une forte diminution du courant, on équipe les panneaux photovoltaïques de diodes by-pass qui ont pour rôle de protéger les cellules qui deviennent passives [46].

II.3.1.3. Système de Protection classique d'un générateur photovoltaïque

La cellule photovoltaïque élémentaire constitue un générateur électrique de très faible puissance au regard des besoins de la plupart des applications domestiques ou industrielles.

Pour garantir une durée de vie importante d'une installation photovoltaïque destinée à produire de l'énergie électrique sur des années, des protections électriques doivent être ajoutées aux modules commerciaux afin d'éviter des pannes destructrices liées à l'association de cellules en séries et en parallèle. Pour cela, deux types de protection classique sont utilisés dans les installations actuelles, figure II.8 [33].

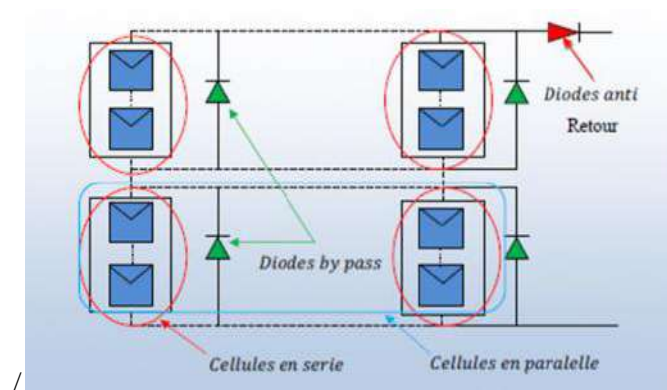


Figure II.8 : Schéma simplifié d'un module photovoltaïque avec protection.

Les cellules sont connectées entre elles en série pour former un groupe PV. Chaque groupe est connecté en parallèle avec des diodes appelé diode « by-pass » de façon à court-circuiter afin de les protéger de fonctionner en inverse (en cas d'ombrage par exemple).

L'idéal est de connecter une diode by-pass par cellule, mais cette technique n'est pas utilisée vu sa complexité et de son coût élevé. Deux différentes

configurations sont possibles pour le montage des diodes by-pass comme montré sur Figure II.8 [47] [48].

II.3.1.3.1. Diodes by-pass

Les diodes by-pass peuvent isoler un sous-réseau de cellules lorsque l'éclairement n'est pas homogène évitant ainsi l'apparition de points chauds et la destruction des cellules mal éclairées [33].

II.3.1.3.2. Diodes antiretour

La diode anti-retour empêchant un courant négatif dans les GPV. Ce phénomène peut apparaître lorsque plusieurs modules sont connectés en parallèle, ou bien quand une charge en connexion directe peut basculer du mode récepteur au mode générateur, par exemple une batterie durant la nuit [33].

La diode anti-retour est utilisée pour éviter les courants inverses et la diode By-pass n'intervient qu'en cas de déséquilibre d'un ensemble de cellules pour limiter la tension inverse aux bornes de cette ensemble. L'ensemble des cellules doit être encapsulé sous verre ou sous composé plastique.

II.3.1.4. Module PV (panneau solaire)

En résumé, Pour produire plus de puissance, plusieurs cellules sont assemblées pour former un module photovoltaïque. Puis les modules sont associés en réseau série parallèle pour réaliser des champs photovoltaïques de façon à obtenir la tension et le courant désirés.

Un module PV est souvent constitué de 36 ou 72 cellules montées en série pour atteindre la tension de sortie désirée. Néanmoins, ce nombre peut varier selon les applications. On peut trouver des modules de 40, 54, 72 voire même 96 cellules en série [49] [50].

II.3.2. Système de stockage

Le système de stockage est un élément crucial de l'installation photovoltaïque du point de vue technique, mais aussi du point de vue économique car il représente 40 à 50 % du coût de l'installation [51].

Dans une installation PV, le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par le générateur PV, en attente pour une utilisation ultérieure.

La production d'énergie par les systèmes PV est très fluctuante et dépend énormément des conditions météorologiques. C'est pourquoi il faudra penser à stocker cette énergie pour la restituer pendant la nuit et les jours 'sans soleil' et pour mieux adapter le générateur PV en fixant la tension du système [52].

II.3.2.1. Caractéristiques principales d'une batterie

Le stockage d'énergie dans les systèmes photovoltaïques est en général assuré par des batteries.

Une batterie ou accumulateur est un dispositif qui emmagasine l'énergie électrique via une réaction chimique et qui la restitue sous forme de courant, pour une utilisation ultérieure. Parmi les caractéristiques de la batterie, nous pouvons citer [52] :

II.3.2.1.1. Capacité nominale

C'est la quantité maximum d'énergie que contient une batterie (sous tension idéale de 25 °C). Elle s'exprime en Ampère heure (Ah).

La capacité s'exprime en Ah ou en Wh et revêt suivant son unité différentes significations.

- **Capacité en Ah** : C'est la quantité de courant qui peut être extraite en décharge durant un intervalle de temps donné et à un certain taux de décharge.
- **Capacité en Wh** : elle est encore appelée capacité énergétique et représente l'énergie que peut fournir la batterie pendant un intervalle de temps donné. Elle est fonction de la capacité en Ah, de la tension de fonctionnement de l'accumulateur et de la profondeur de décharge autorisée.

II.3.2.1.2. Température

Le comportement d'une batterie est spécifié à une température de 27 °C. 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 [53]. La variation de température influence le rendement de la batterie.

Il faut donc prévoir si possible une régulation thermique pour maintenir sa durée de vie.

II.3.2.1.3. Cycle et durée de vie

C'est le nombre de séquences de charge/décharge, que peut subir une batterie à sa profondeur de décharge. Il détermine les performances de la batterie et sa durée de vie. Par ailleurs, quelque soit le mode d'utilisation de l'accumulateur, il y a une durée de vie totale exprimée en année (ou en nombre de cycles).

II.3.2.1.4. Profondeur de décharge

C'est le pourcentage d'énergie maximum que l'on peut tirer d'une batterie. Elle ne doit pas être déchargée au-delà de cette valeur, afin de prolonger sa durée

de vie. Par exemple, si une batterie de 100 Ah (pleine capacité) voit sa capacité diminuer de 25 Ah, alors son taux de décharge est 25 % et son taux de charge est 75 %.

II.3.2.1.5. Tension nominale

C'est la tension type de la batterie. Elle correspond aussi à la tension de fonctionnement du système autonome.

II.3.2.1.6. Rendement en quantité d'électricité et/ou en énergie

Le rendement en quantité d'électricité est le rapport entre le nombre d'ampère heures fournis par un accumulateur et celui qu'il faut pour le remettre dans l'état initial. Ce rendement varie entre 0,70 et 0,95 suivant le type d'accumulateur.

Le rendement en énergie est le rapport entre le nombre de watts heure restitués par la batterie et le nombre de watts heure qui lui sont fournis. Il est toujours inférieur au rendement en quantité d'électricité. Ce rendement varie entre 0,45 et 0,80.

II.3.2.1.7. Taux d'auto décharge

L'auto décharge est la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos (sans charge) pendant un temps donné.

II.3.2.1.8. Nombre de jours d'autonomie

C'est la durée pendant laquelle une batterie permet de répondre aux besoins de la charge en tout temps, toute seule l'installation en courant, sans être rechargée ni endommagée.

II.3.2.2. Fonctionnement et constitution d'une batterie

Le fonctionnement des batteries consiste à convertir l'énergie chimique en énergie électrique par réaction électrochimique. Elles sont composées d'une ou de plusieurs cellules, chacune contenant une électrode positive, une électrode négative, un séparateur, et un électrolyte.

II.3.2.3. Types d'accumulateurs

Il existe plusieurs types de stockage dans le système PV, les puissances rencontrées sont inférieures au MW, le seul stockage d'énergie électrique possible est le stockage électrochimique. Nous résumons dans le Tableau II.3 les différents types de batteries que l'on rencontre sur le marché [51].

Tableau II.3 : Type de batterie existant actuellement sur le marché

Type de batterie	Propriétés	Puissance inférieure (Wh/kg)	Coût
Plomb - acide	Fiable, recyclable, avec entretien	35	Pas trop chère
Scellée plomb - acide	Entretien nul, utilisée dans n'importe quelle position	39	Pas trop chère
Bipolaire plomb - acide	Recharge rapide permise et surtout durable	50	Très chère
Nickel - Cadmium	Toxique, effet de mémoire	45	Très chère
Nickel - Fer	Non toxique, durable	55	Très chère
Nickel - Métal hydrure	Non toxique, durable	90	Très chère
Zinc - Bromure	Analogue à la précédente mais très toxique	90	Très chère
Sodium – sulfure	Fonctionne à 300 °C ; d'où danger d'incendie	110	Très chère
Lithium – Ion(SAFT)	Sure, puissante, formes diverses	150	Très chère

II.3.2.3.1. Type de batterie utilisée

Les deux principaux types d'accumulateurs utilisés actuellement dans le système photovoltaïque sont les accumulateurs au plomb - acide et les accumulateurs au Nickel - Cadmium [51][54].

En effet, la batterie au plomb - acide est la forme de stockage de l'énergie électrique la plus couramment utilisée, en raison de son coût relativement faible et de sa large disponibilité.

Les batteries Nickel - Cadmium, plus chères, sont utilisées dans les applications où la fiabilité est vitale. Par conséquent, dans le cadre de cette étude, nous utilisons les accumulateurs au plomb-acide à plaques tubulaires.

II.3.3. Système de régulation

Pratiquement, Les systèmes de régulation sont des éléments d'un système photovoltaïque qui ont pour but de contrôler soigneusement la charge et la décharge profonde d'une batterie afin d'en maximiser la durée de vie et L'optimiser le transfert d'énergie du champ PV à l'utilisation [55].

Le rôle principal d'un régulateur est de réduire le courant lorsque la batterie est presque entièrement chargée. Lorsqu'une batterie se rapproche d'un état de charge complète, de petites bulles commencent à se former sur les électrodes po charge non seulement pour éviter des dégâts mais aussi afin de mieux atteindre

l'état de charge complète. Un courant trop élevé peut provoquer une déformation des électrodes à l'intérieur, pourrait créer un court-circuit.

La tension aux bornes de la batterie est l'indication sur laquelle s'appliquera le régulateur pour assurer sa fonction. Le régulateur mesure en permanence cette tension et la compare à deux seuils de tension préétablis : seuil haut et seuil bas [55].

Il existe plusieurs types de régulateurs : régulateur de charge et régulateur de décharge.

II.3.3.1. Régulateur de charge

Le régulateur de la charge se place entre les modules photovoltaïques et les batteries, il permet de contrôler la charge pour éviter tout endommagement du stockage d'énergie. Il permet de stabiliser la tension des modules photovoltaïques et de maintenir la charge des batteries de manière appropriée [56].

Il existe trois grandes familles de régulateurs de charge utilisant chacune une méthode différente de contrôle de charge :

II.3.3.1.1. Régulateur de type série

Cette méthode consiste à arrêter la circulation du courant en ouvrant le circuit. Le principe consiste à intercaler entre le panneau PV et la batterie, un dispositif qui module le courant. Le dispositif fonctionne de la manière suivante, la figure II.9 illustre une structure série d'un régulateur solaire :

Tant que la tension V_{bat} aux bornes de la batterie est inférieure à la tension de la diode zener U_z courant délivré par le panneau charge la batterie à travers un transistor qui se bloque et le courant ne passe qu'à travers la résistance [52].

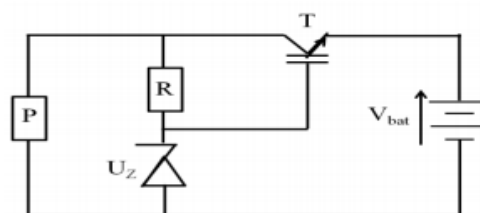


Figure II.9 : Schéma de principe d'un régulateur de charge série

II.3.3.1.2. Régulateur de type parallèle (shunt)

Ce type de régulateur est généralement adapté aux petits systèmes. En fin de charge, il court-circuite le panneau photovoltaïque pour que la batterie ne reçoive plus de courant, et ce pour éviter le problème de surcharge. L'énergie excédentaire

sera dissipée sous forme calorifique, grâce à des composants de puissance dans le régulateur selon le principe suivant (figure II.10) [57].

Lorsque la tension de la batterie est faible, le transistor T est bloqué, le courant et la tension aux bornes de la résistance sont faibles alors tout le courant délivré par le générateur charge la batterie. Si la tension aux bornes de la diode zener atteint la valeur de référence, le courant augmente brusquement, le transistor T devient passant et il délivre une partie du courant de charge [52].

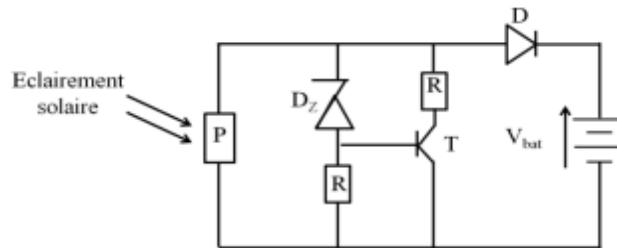


Figure II.10 : Schéma de principe d'un régulateur de charge parallèle.

II.3.3.1.3. Le régulateur MPPT

Une MPPT, en anglais Maximum Power Point Tracking est une loi de commande spécifique permet de suivre, comme son nom l'indique, le point de puissance maximale d'un générateur électrique non linéaire, dans notre cas un générateur photovoltaïque [58].

Les régulateurs MPPT possèdent une technologie avancée qui recherche en permanence le point de puissance maximum. Ceci est basé sur la variation automatique du rapport cyclique α du signal qui commande le convertisseur d'énergie, à une valeur adéquate de manière à maximiser la puissance à la sortie du module [59].

En plus de fournir une augmentation d'énergie à une installation, ils optimisent la charge de la batterie et prolonge leur durée de vie. Les régulateurs MPPT balayent la tension du panneau pour trouver le point de sortie de puissance maximum. Ils sont capables d'adapter la tension fournie par le panneau pour l'aligner à la tension que la batterie peut recevoir.

Le MPP varie avec les conditions changeantes telles que les niveaux d'éclairement et de la température. Pour tirer en permanence du champ photovoltaïque sa puissance maximale, il est essentiel de fonctionner toujours au MPP. La figure II.11 représente une chaîne élémentaire typique de conversion

photovoltaïque associée à une commande MPPT fournissant une puissance électrique à une charge DC [58].

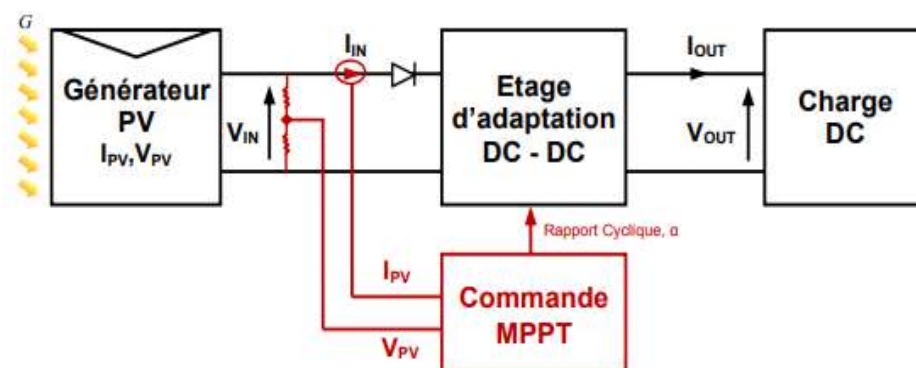


Figure II.11: Schéma d'une chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque associée à une commande MPPT

II.3.3.2. Régulateur de décharge

La régulation de décharge s'effectue par un comparateur qui compare la tension de la batterie à un seuil de tension préréglé bas et transmet l'information à un circuit de commande. Ce dernier arrête de décharger lorsque la tension par élément dépasse la tension de seuil.

II.3.4. Système de conversion

Un système de conversion d'énergie est un équipement de dispositifs à composant électroniques semi-conducteurs capables de modifier la forme et ou la fréquence d'une onde électrique, que l'on insère généralement soit entre le champ PV et la charge (sans stockage avec charge continue, il portera le nom de convertisseur continu/continu), soit entre la batterie et la charge (il sera alors appelé onduleur ou convertisseur continu alternatif) [52].

La conversion de puissance peut contenir les deux étapes, une première conversion DC/DC puis une conversion DC/AC.

II.3.4.1. Les convertisseurs DC-DC (hacheurs)

Il peut arriver que dans un système PV, la tension de sortie du champ ou de la batterie soit inférieure ou supérieure à celle de l'utilisation, qui doit être alimenté en continu. Il est donc nécessaire pour ce système, un convertisseur DC-DC [60].

Les hacheurs sont des convertisseurs du type continu-continu transforme une tension continue de son entrée en une tension de sortie continue inférieure ou supérieure à celle de l'entrée selon la structure, il peut être abaisseur ou élévateur

de tension. Il permet de contrôler le signal d'alimentation de la charge et le stabilise avec un rendement élevé. [60][61].

II.3.4.1.1. Les type des convertisseurs DC-DC

Les convertisseurs DC-DC (ou hacheurs) sont utilisés dans les systèmes d'énergie solaire pour adapter la source continue à amplitude variable (panneau PV) à la charge qui demande en général une tension DC constante. Les trois configurations de base sont [62] [63] :

- convertisseur survolteur ou élévateur (ou parallèle);
- convertisseur dévolteur ou Abaisseur (ou série);
- convertisseur dévolteur- survolteur hacheur (série – parallèle).

II.3.4.2. Les convertisseurs DC-AC (onduleurs).

Pour alimenter les appareils qui fonctionnent en courant alternatif, il faut interposer un convertisseur statique entre la batterie et ces appareils. Il est donc nécessaire pour ce système, un onduleur DC-AC [64].

Les onduleurs sont des convertisseurs du type continu-alternatif qui permet de transformer l'électricité continue provenant d'un module photovoltaïque en électricité alternative réglable en fréquence et en valeur efficace pour les charges correspondantes [65].

La forme de la tension de la sortie de l'onduleur doit être plus proche d'une sinusoïde (l'allure sinusoïdale), c'est que le taux d'harmonique soit très faible, et ça dépend essentiellement à la technique de commande utilisée [65].

Ils peuvent être utilisés pour alimenter une charge isolée mais aussi pour raccorder un générateur PV au réseau. La déformation de l'onde due aux commutations est susceptible de produire des perturbations plus ou moins gênantes pour les cellules PV [52].

II.3.4.2.1. Types des convertisseurs DC-AC (onduleurs)

Les onduleurs sont classés selon le type d'application et leurs performances, en deux grandes catégories : les onduleurs autonomes et les onduleurs non autonomes.

II.3.4.2.1.1. Onduleur autonome

L'onduleur autonome est un système de commutation à transistors ou à thyristors, dont les instants de commutation sont imposés par des circuits

auxiliaires propres externes, il n'a pas besoin le réseau électrique pour fonctionner [66].

Les onduleurs autonomes utilisent des batteries pour le stockage et des contrôleurs de charge pour assurer la durabilité de ces batteries [66].

La fréquence et la forme d'onde de la tension de sortie sont imposées à la charge, c.-à-d. elles sont propres à ce type d'onduleur, ceci nous conduit à distinguer deux types d'onduleurs: les onduleurs de tension et les onduleurs de courant [66].

II.3.4.2.1.2. Onduleur non autonome

Un onduleur non autonome est un système de commutation au montage redresseur à tous thyristors, dont les instants de commutation sont imposés par la charge, [67]. Dans ce cas, la fréquence et la forme d'onde de la tension de sortie sont imposées au réseau alternatif sur lequel débite ce type d'onduleur.

II.3.5. Récepteurs ou charges du système photovoltaïque

Les récepteurs ou charges (utilisation) font partie du système PV. Leurs tensions d'usage et leurs puissances déterminent les caractéristiques des éléments du système [68]

La charge et l'équipement électrique alimenté par le système PV peut être de type continu comme des équipements de télécommunications, ou de type alternatif dans les cas d'usage domestique (maison solaire) [68].

Dans ce point on va citer quelques appareils utilisés dans les systèmes photovoltaïques

II.3.5.1. L'éclairage

Les lampes représentent les principaux récepteurs des systèmes autonomes. Le type le plus utilisé est la lampe fluorescente qui présente un des rendements les plus élevés. Les autres sources de lumières comme les lampes à incandescence et à halogène seront réservées aux courtes durées d'utilisation [42].

II.3.5.2. La réfrigération et la ventilation

Réfrigération : Les réfrigérateurs pour installation autonomes utilisent des compresseurs fonctionnant avec un moteur DC et une armoire à isolation renforcée. Leur prix est beaucoup plus élevé que les modèles standards en 230 VAC mais leur consommation est inférieure à la moitié pour les meilleurs modèles.

Ventilation : Pour la ventilation de petits espaces, il existe une large gamme de ventilateur DC, utilisés en électronique. Certains sont même déjà montés avec des cellules solaires dans une bouche de ventilation pour caverne ou bateau [42].

II.3.5.3. Le pompage et le traitement de l'eau

Le pompage de l'eau est une des priorités du solaire en Afrique. Pour les utilisations en Europe, les besoins les plus courants sont la mise en pression de l'eau d'une habitation, d'une caravane ou d'un bateau [42].

II.3.5.4. Ordinateurs

La plupart des ordinateurs portables doivent être rechargés à des tensions de 15 à 20 V, ce qui demande un convertisseur DC/DC adapté [42].

II.3.6. Autres composants du système photovoltaïque

Les derniers éléments indispensables au bon fonctionnement d'un système PV autonome sont les protections contre la foudre, les disjoncteurs, les fusibles et les composants de mesure permettant le suivi de l'installation..

Les panneaux solaires sont des équipements généralement coûteux, ils doivent être protégés pour éviter toute dégradation comme les perturbations induites par les commutations des convertisseurs de puissance.

II.4. Conclusion

Bref, Un système photovoltaïque se compose de plusieurs outils nécessaires pour assurer une production d'électricité optimale.

Tout système photovoltaïque peut se composer en trois parties : Une partie de production d'énergie, Une partie de conversion de cette énergie et une partie de stockage de l'énergie.

De nombreuses technologies sont aujourd'hui opérationnelles mais beaucoup exigent encore des travaux de recherche et de développement spécifiques pour atteindre le degré de maturité nécessaire à une forte production.

*Chapitre III : Dimensionnement
d'une installation photovoltaïque
pour une école primaire*

III.1. Introduction

L'installation photovoltaïque exige une méthode de calcul et de dimensionnement de haute précision. L'installation sous dimensionnée reste une installation qui manque de fiabilité, tandis qu'une installation surdimensionnée va nous conduire à un coût plus élevé.

D'une façon générale, la maîtrise du dimensionnement global est basée sur les différentes caractéristiques techniques des sous-systèmes constituant l'installation photovoltaïque (le générateur PV, les batteries, régulateurs et convertisseurs,) d'un côté, et les méthodes de dimensionnement utiles d'autre côté.

Dans ce troisième chapitre, nous commençons par la présentation du site, l'estimation des besoins journalières à savoir le gisement d'énergie solaire du lieu concerné, le choix des modules PV, leur implantation et la structure support, le choix des composants électriques assurant le stockage, la régulation et la section des câbles ainsi que la mise en œuvre de la protection du système et des usagers.

III.2. Le but du dimensionnement

Le dimensionnement d'un générateur PV a pour but de déterminer l'optimum technico-économique entre la puissance crête du champ des panneaux solaires et la capacité de batterie associée à partir des besoins électriques de l'utilisateur d'une part, et d'autre part des données d'ensoleillement du site et du prix et de la qualité des composants dont on peut disposer sur le marché.

III.3. Les différentes méthodes de dimensionnement

On rencontre dans la littérature, deux méthodes de dimensionnement des systèmes photovoltaïques : la méthode quasi-statique que d'aucun qualifie de méthode empirique et les méthodes dynamiques.

III.3.1. Méthodes quasi-statiques

Dans la pratique courante, le dimensionnement des installations photovoltaïques est réalisé grâce à des techniques empiriques et factuelles plutôt que sur des critères scientifiques.

Cette pratique mène à des installations remplissant leurs tâches, mais loin des conditions d'optimisation énergétique/économique qui pourraient rendre l'option photovoltaïque viable et attrayante pour des applications de plus en plus nombreuses.

De plus, une connaissance statique d'un système photovoltaïque, tel qu'on l'obtient lors d'un dimensionnement purement énergétique, ne permet pas une approche fiabiliste à l'analyse du système, ni l'accompagnement avec la garantie des résultats.

Cette dernière certification est de plus en plus demandée pour donner à l'utilisateur un système photovoltaïque aussi fiable que le raccordement secteur. Ainsi, la méthode quasi-statique permet de dimensionner le système, généralement dans des conditions contraignantes, par exemple capacité de stockage définie pour N jours de consommation sans production PV.

En pratique, c'est le mois le plus défavorable en ensoleillement qui est considéré pour le dimensionnement du système ; il s'agit alors, moyennant des hypothèses simplificatrices, de choisir la puissance crête du générateur PV et la capacité nominale de l'accumulateur.

En général, les méthodes quasi-statiques sont dédiées à la détermination du nombre minimal de panneaux et du nombre minimal de batteries.

III.3.2. Méthodes dynamiques

Les méthodes dynamiques contrairement aux méthodes quasi-statiques, tiennent compte de l'évolution dans le temps des besoins du consommateur, des données météorologiques et des différents composants du système PV (puissance du panneau, capacité de la batterie, etc.).

Ces méthodes sont donc basées sur la simulation temporelle des systèmes sur une période d'observation bien définie avec un pas de temps précis.

Les simulations sont faites à partir des modèles physiques des différents composants du système, qui rendent compte du transfert de flux énergétique entre eux.

Le choix entre ces méthodes se fera par un compromis entre finesse des hypothèses (notamment concernant les pertes) et temps de résolution du problème [69].

Des logiciels ont été mis sur pied à partir de ces modèles physiques. Ils représentent des outils d'aide au dimensionnement des systèmes PV. Beaucoup de travaux de recherche relatifs au dimensionnement des systèmes PV sont réalisés à partir de ces logiciels, les logiciels les plus utilisés sont PVsyst, PVsol, PVgis et Archélios [70] [71].

Ces logiciels constituent pour la plupart des outils d'aide à la décision dans des projets sur des systèmes PV. Il existe d'autres logiciels de dimensionnement tels que HOMER, CALSOL, TECSOL, PVplanner [72].

III.4. Les étapes à suivre pour le dimensionnement du système PV

Le dimensionnement est une étape primordiale dans la conception des systèmes photovoltaïques.

En effet, le dimensionnement optimal de tels systèmes s'obtient lorsque les différents composants tels que les panneaux, les batteries, l'onduleur, le régulateur et les câbles sont choisis de façon adéquate pour une ressource solaire donnée et un profil de consommation donné.

L'optimum technico-économique du dimensionnement est atteinte, quand tous les coûts économiques sur cycle de vie du système sont minimisés, de façon que le système puisse en même temps respecter toutes les contraintes de fonctionnement et satisfaire toutes les exigences de l'utilisateur.

Les étapes ci-dessous nous présentent de façon détaillée la démarche à suivre pour concevoir un système photovoltaïque figure III.1:

- **Etape 1** : Présentation du site.
- **Etape 2** : Evaluation de la production Solaire potentielle selon la situation géographique du site (gisement solaire local).
- **Etape 3** : Estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité(en Wh/j) : puissance des appareils, durée d'utilisation et énergie consommée.
- **Etape 4** : Dimensionnements des modules photovoltaïques : puissance crête totale, nombre des modules.
- **Etape 5** : Dimensionnement des batteries.
- **Etape 6** : Dimensionnement des Régulateur et du l'onduleur.
- **Etape 7** : Dimensionnement des câbles de raccordement.

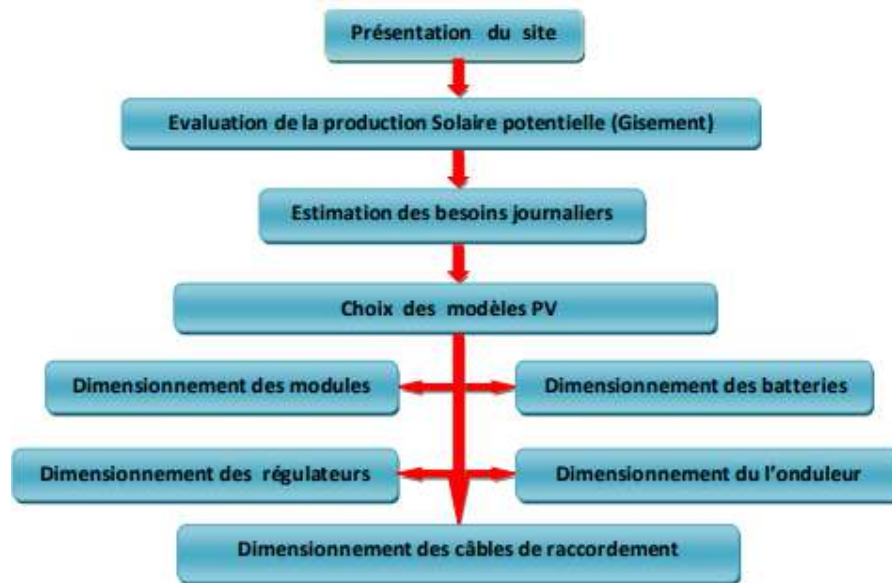


Figure III.1: Diagramme simplifié du dimensionnement d'un système photovoltaïque

III.4.1. Présentation du site

Notre étude a été réalisée dans la wilaya de Ghardaïa qui est située dans le Nord du Sahara algérien, à 600 km de la capitale Alger et à 190 km à l'ouest de Ouargla, avec des coordonnées géographiques suivantes : une *latitude* de 32° 28' N, *longitude* de 3° 40' E et *altitude* de 489 m.



Figure III.2 : Localisation géographique de la wilaya de Ghardaïa

III.4.2. Evaluation de la production Solaire potentielle (gisement)

Les données de l'ensoleillement peuvent être relevées sur le site ou enregistrées sur la carte de l'ensoleillement de la région ou encore obtenues au niveau de la station météo la plus proche de la zone.

Les données d'ensoleillement pour la région de GHARDAIA sont généralement disponibles mois par mois dans les atlas solaires ou à l'aide des programmes (PVsyst) et correspondent à l'irradiation globale quotidienne moyenne sur un plan horizontal.

Les unités sont exprimées soit en **cal/cm²** ou **kWh/m²**, sachant que les valeurs de l'ensoleillement sont évidemment fonction de la latitude mais aussi des conditions climatiques locales et des masques naturels ou artificiels.

Tableau III.1: Valeurs de l'irradiation journalière moyenne mensuelle

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
Irradiation Global (KWh/m ² .j)	3.8	4.7	6.1	7.2	7.8	8.1	8.1	7.3	6.1	4.9	4.1	3.5	6.02
Irradiation Diffuse (KWh/m ² .j)	0.6	0.9	1.0	1.4	1.8	1.9	1.7	1.7	1.6	1.2	0.7	0.6	1.30
Température (°C)	10	13	18	21	26	31	35	34	28	23	15	12	22.5

III.4.2.1. Installation des panneaux

Pour installer les panneaux solaires dans un site, il est nécessaire de vérifier les conditions suivantes :

III.4.2.1.1. Disposition des panneaux

Les structures de panneaux installées doivent être solides, fixées au sol, pour résister à des vents d'au moins de 150 Km/h.

De plus, elles doivent être fiables dans le temps, elles doivent utiliser un matériau de bonne fiabilité (autre l'aluminium anodisé, la visserie inox et la visserie inoxydable) [68].

III.4.2.1.2. Fixation des panneaux

La fixation des panneaux doit assurer correctement les fonctions suivantes :

- Maintient de l'orientation [68].
- Résistance contre le vent et les autres intempéries.

- Résistance contre les agressions mécaniques.
- Protection contre les salissures, et agressions venant du sol.

Remarque:

- Type d'acier utilisé dans notre étude : la cornier 40X40X4.
- Socles ronds en béton Dim 0.50x0.14m posé sur l'étanchéité de plancher
- Dosage béton utilisé : béton 250 KG/M³

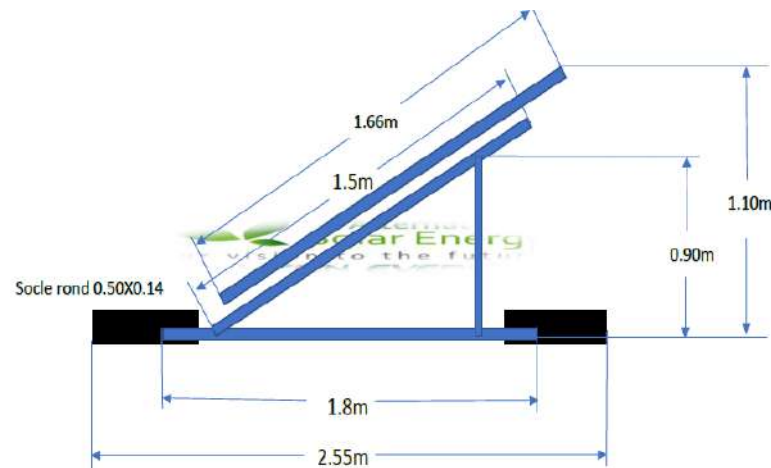


Figure III.3: La structure installée

III.4.2.2. Orientation et inclinaison des capteurs solaires

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 leurs possibilités, On appelle orientation le point cardinal vers lequel est tournée la face active du panneau (sud, nord, sud-ouest...) quant à l'inclinaison, elle indique l'angle que fait le panneau avec le plan horizontal, elle se compte donc en degrés la figure III.4 [73].

Quand on a le choix, l'orientation idéale d'un capteur solaire obéit à une règle très simple à retenir vers l'Equateur ce qui donne :

- 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, Prenons d'abord le cas d'une application autonome qui consomme une énergie quasi constante tout au long l'année. L'hiver étant la période la moins ensoleillée, c'est à cette période qu'il faut optimiser la production. Les capteurs doivent donc pouvoir récupérer l'énergie d'un soleil dont la hauteur est faible [73].

Il est nécessaire de connaître les coordonnées du soleil par rapport à l'endroit où on va placer les capteurs pour mieux les orienter vers lui et maximiser ainsi l'énergie interceptée par ces derniers.

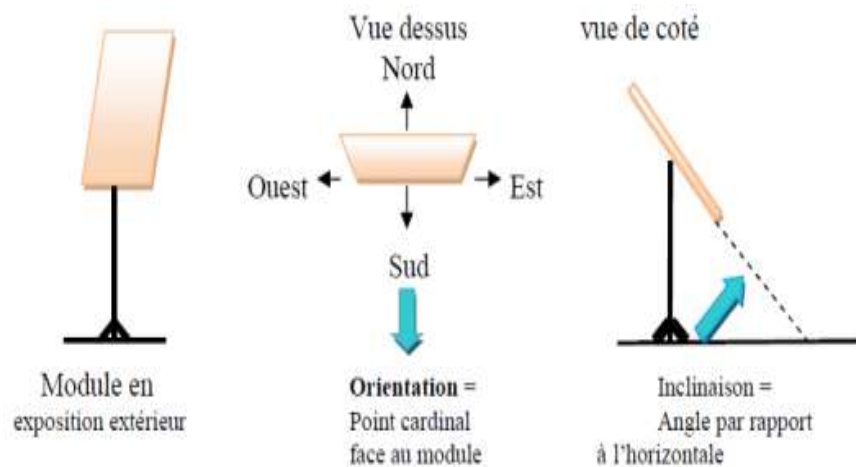


Figure III.4: Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau

Dans le site étudié, la position des modules sera placée par un plan Incliné fixe d'une inclinaison optimale donnée 35° (par rapport à l'horizontale) et un Orientation plein sud comme l'illustre la figure III.5



Figure III.5: Positionnement des panneaux PV

III.4.3. Estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité

La première étape à suivre lors du dimensionnement d'une installation photovoltaïque est l'estimation de la consommation d'électricité, et la connaissance de la périodicité de ses besoins.

La périodicité est en fait le rythme de la consommation d'électricité, elle peut être continue (tous les jours de l'année), ou périodique (week-end, vacance...) [74].

L'évaluation précise des besoins en électricité consommée est primordiale pour un bon dimensionnement. Il faut alors se renseigner sur la consommation de chaque appareil utilisé et choisir les appareils dont la consommation est la plus faible possible afin de réduire ses dépenses en électricité tout en gardant un bon niveau de confort [74].

Il s'agit d'estimer la consommation d'équipement supposé connu, L'objectif est d'obtenir la consommation totale moyenne par jour.

L'énergie totale moyenne nécessaire chaque jour E (Wh/j) est la somme des consommations énergétiques des divers équipements constituant le système à étudier, Elle est donnée par la loi suivante [75] :

$$E_c = \sum_{i=1}^n E_i \quad (\text{III.1})$$

Pour les équipements qui ne sont pas utilisés quotidiennement et pour tous les équipements à forte consommation, partez de la durée du cycle de fonctionnement de la tâche. Ainsi, la consommation de chaque équipement peut être calculée comme suit [75]:

$$E_i = P_i \times t_i \quad (\text{III.2})$$

E_i = l'énergie journalière consommée d'un équipement en (Wh/J)

P_i = la puissance de cet équipement en (W)

t_i = la durée d'utilisation de cet appareil dans une journée (J)

III.4.3.1. Présentation de l'habitat étudiée

L'habitat choisi pour effectuer l'objet de notre étude est une école primaire « HAMRAYAT » Situé dans la commune EL'Attef, à la Wilaya de Ghardaïa (voir la figure III.6)

Le système photovoltaïque installé est le premier dans la Wilaya avec une nouvelle technologie sans Batterie. Ce système permet de savoir la consommation quotidienne de l'école et le pourcentage d'énergie solaire fournie quotidiennement par le champ PV avec un éclairage solaire extérieur-All in one-autonome (voir la figure III.7)



Figure III.6: Ecole primaire « HAMRAYAT »



Figure III.7: Eclairage solaire extérieur -All in one

III.4.3.2. Description de l'école étudiée

École « HAMRAYAT » est constituée de 05 classes, un bureau de directeur, un restaurant, une sanitaire et poste de garde. Le tableau ci-dessous montre les différents équipements électriques de chacun constituant de l'école étudiée.

Tableau III.2: Nombre de pièce et les équipements électrique dans l'école

Les pièces	les équipements électriques
05 Classes	25 Lampe LED de (18 W)
	5 Ordinateur portable de (30 W)
	10 Ventilateur de (60 W)
	5 Climatiseur de (900 W)
	5 Data show de (150 W)
Bureau de directeur	4 Lampe LED de (18 W)
	1 Ordinateur bureau de (90 W)
	1 Ventilateur de (60 W)
	1 Climatiseur de (900 W)
	1 Imprimante de (90 W)
Restaurant	4 Lampe LED de (18 W)
	1 Réfrigérateur de (120 W)
Sanitaire	3 Lampe LED de (18 W)
Poste de Garde	2 Lampe LED de (18 W)
	1 télévision de (50 W)

Nous avons proposé l'estimation de la consommation électrique journalière pour les différentes charges de cette école par rapport leurs durées de fonctionnement, puissances et énergies consommées le tableau III.3.

Tableau III.3: Estimation des besoins électriques journaliers de l'école

Eléments	Equipment	Nombre	Consommation (W)	Durée d'utilisation (h/jour)	Besoin énergétique (Wh/j)
5 Classes	5 Classe avec 5 Lampe LED	25	18	8	3600
	Ordinateur portable	5	30	2	300
	Ventilateur	10	60	4	2400
	Climatiseur	5	900	3	13500
	Data show	5	150	2	1500
Bureau de directeur	Lampe LED	4	18	8	576
	Ordinateur bureau	1	90	4	360
	Ventilateur	1	60	4	240
	Climatiseur	1	900	3	2700
	Imprimante 3010	1	90	1	90
Restaurant	Lampe LED	4	18	4	288
	Réfrigérateur	1	120	4	480
Sanitaire	Lampe LED	3	18	4	216
Poste de Garde	Lampe LED	2	18	5	180
	télévision	1	50	4	200
Consommation journalière total (Wh/j)					26630

Selon les résultats obtenus de calculs, On note les caractéristiques de notre système photovoltaïque comme suit :

- La puissance consommée : $P_t = 7994 \text{ W}$
- Energie totale consommée : $E_{total} = 26630(\text{Wh/jour})$
- L'autonomie du système : une journée

III.4.4. Dimensionnements des modules photovoltaïques

Cette étape consiste à calculer la quantité de modules photovoltaïques que l'on devra posséder pour couvrir ces besoins en électricité. Pour cela, Il faut dimensionner les modules solaires par les étapes suivantes :

- Estimation de la puissance crête du champ photovoltaïque.
- Détermination le nombre de modules photovoltaïques.

III.4.4.1. Estimation de la puissance crête du champ photovoltaïque

La puissance d'un panneau solaire s'exprime en watts-crête (W_c) ou kilowatts-crête (KW_c). Cette Puissance crête d'un panneau solaire correspond à la puissance maximale de production électrique qu'il peut délivrer.

Il s'agit d'une puissance idéale fournie dans des conditions optimales STC pour un ensoleillement de 1000 W/m², Une température extérieure de 25°C et Une bonne orientation des panneaux et aucun ombrage.

La puissance crête du champ photovoltaïque est déterminée en fonction des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité et Irradiation moyenne mensuelle reçue par le capteur photovoltaïque dans le cas le plus défavorable, à l'aide de la formule suivante [76] :

$$P_c = \frac{E_c}{K \times Ir.moy} \quad (III.3)$$

P_c : Puissance crête du champ photovoltaïque en (Wc)

E_c : L'énergie consommée par jour (en Wh/j)

$Ir.moy$: L'irradiation journalière moyenne (Wh/m².j)

K: Coefficient correcteur ou le rendement du système photovoltaïque $K \in [0.55, 0.75]$ Au cours de cette étude nous fixons la valeur de k à 0,65[77]

Pour déterminer l'énergie nette disponible à la sortie de la batterie, il faut faire intervenir le coefficient correctif global K qui tient compte [78]:

- De l'incertitude météorologique (de l'ordre de ± 5 %) ;
- le non optimalité du point de fonctionnement des modules (vieillessement, poussières, etc.),
- De l'inclinaison non corrigée des modules suivant la saison.
- De l'encrassement des modules dans le temps (de l'ordre de 5 %).
- Du rendement moyen charge/décharge de la batterie 90% (perte de l'ordre de 10 %).

- Du rendement de Régulateur (95%).
- Des pertes dans les câbles et connexions pour les systèmes avec batterie.

Tenant compte de la puissance nécessaire au fonctionnement des appareils Tableau III.3 et l'irradiation moyenne mensuelle reçue par le capteur photovoltaïque (tableau III.1), on évalue la puissance crête des panneaux solaires donnée par l'équation (III.3) comme suit :

$$P_c = \frac{26630}{0.65 \times 6.02} = 6805.52 \text{ Wc}$$

Donc on a installé un champ photovoltaïque de puissance d'au moins 6.8 KWc, Pour compenser les pertes de charges dans les câbles et les connexions d'utilisation d'un convertisseur on ajoute une marge de sécurité de 0% à 10%.

Détermination le nombre des modules photovoltaïques



Figure III.8: Le champ photovoltaïque étudié

III.4.4.2. Détermination le nombre des modules photovoltaïques

III.4.4.2.1. Caractéristique de panneau choisi

Le module choisi pour notre étude et un module de type *jinkosolar JKM325M-60* Monocristallin d'une puissance optimale de $P_c = 325\text{Wc}$.



Figure III.9: caractéristique du panneau photovoltaïque jinkosolar JKM325M-60

Le nombre de module pour fournir la puissance de l'installation est déterminé par les équations suivantes :

a) Le nombre de panneaux total

$$Np_{total} = \frac{Pc(\text{système})}{Pcp(\text{panneau})} \quad (III.4)$$

Np_{total} : Le nombre total des modules photovoltaïque.

$Pc(\text{système})$: La puissance crête du système en Wc

$Pcp(\text{panneau})$: La puissance crête d'un panneau en Wc

Dans notre cas :

$$Np_{total} = \frac{6805.52}{325} = 20.94$$

$Np_{total} \approx 21$ modules

b) Le nombre de panneaux en série

$$Nps = \frac{U_{CPV}}{Up} \quad (III.5)$$

U_{CPV} = La tension du champ PV en V.

Up = La tension d'un panneau en V.

Par l'utilisation d'un voltmètre, nous avons mesuré la tension fourni par le champ : $U_{CPV} = 235,2$ V

$$Nps = \frac{235.2}{33.6} = 7$$

c) Le nombre de panneaux parallèles

$$N_{pp} = \frac{N_{p_{total}}}{N_{ps}} \quad (III.6)$$

$$N_{pp} = \frac{21}{7} = 3$$

III.4.5. Dimensionnement des batteries

Disposer d'une batterie, c'est le fait de choisir une capacité stockage permettant de s'affranchir des variations climatiques temporaires à l'échelle de l'heure ou de la journée (fonctionnement nocturne) et de quelques jours de mauvais temps (absence de rayonnement solaire). De plus la méthode à adopter est différente dans les pays chauds et dans les pays tempérés [55].

La batterie est souvent le composant le plus vulnérable d'un système photovoltaïque, sa durée de vie est généralement de 6 ans. Il faudra donc la remplacer avant les panneaux si l'on souhaite une grande fiabilité et une longue durée de vie du système [55].

C'est très important de choisir la tension de travail du system en courant continu, car cette tension en fonction de la charge influe directement sur le choix des systèmes de conversion et de régulation, ainsi que sur le câblage et aussi sur les appareils à usage domestique [42].

Le choix de la tension nominale d'un système dépend de la disponibilité de matériels (modules et récepteurs), aussi, il dépend des niveaux de puissance et d'énergie nécessaire selon le type d'application, Le tableau III.4 nous donne la tension adaptée pour les différentes puissances du champ PV [78]:

Tableau III.4: Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance crête

Puissance crêt	0 – 0.5 KWc	0.5 – 2 KWc	2 kWc – 10 kWc	>10 kWc
Tension du système				
U_{sys} (DC)	12 V	24 V	48 V	> 48 V

Dans notre cas d'étude :

$$P_c = 6805.52 \text{ Wc}$$

Alors la tension du système choisi est : **$U_{sys} = 48V$**

III.4.5.1. Calcul la capacité de stockage de la batterie

La capacité totale que devra accumulée les batteries est donnée par la Formule suivante :

$$C_{\text{sys}} = \frac{E_c \times N}{\text{DOD} \times U_{\text{sys}}} \quad (\text{III.7})$$

C_{sys} : Capacité de stockage dans les batteries en (Ah).

E_c : L'énergie consommée par jour en (Wh/j).

DOD : Décharge maximale des batteries (0.8 pour les batteries au plomb) on peut l'appeler aussi PDD (profondeur de décharge).

U_{sys} : La tension du système.

N : Le nombre des jours d'autonomie.

Application :

$$C_{\text{sys}} = \frac{26630 \times 1}{0.8 \times 48} = 694 \text{ Ah}$$

III.4.5.1.1. Le choix de batteries

On choisit une batterie solaire de caractéristique : $U_{\text{bat}}=12 \text{ V}$ $C_{\text{bat}}= 100 \text{ Ah}$

a) Calcul Le nombre des batteries totale

$$Nb_{\text{total}} = \frac{U_{\text{sys}}}{U_{\text{bat}}} \times \frac{C_{\text{sys}}}{C_{\text{bat}}} \quad (\text{III.8})$$

Nb_{total} : Le nombre des batteries total.

U_{sys} : La tension du système PV en (V).

U_{bat} : La tension de la batterie en (V).

C_{sys} : La capacité de stockage du système en (Ah).

C_{bat} : La capacité d'une batterie en (Ah).

Application :

$$Nb_{\text{total}} = \frac{48}{12} \times \frac{694}{100} = 27.76 \approx \mathbf{28 \text{ Batterie.}}$$

b) Le nombre des Batteries en série

$$Nb_{\text{série}} = \frac{U_{\text{sys}}}{U_{\text{bat}}} \quad (\text{III.9})$$

Application:

$$Nb_{\text{série}} = \frac{48}{12} = 4$$

c) Le nombre des Batteries en Parallèles

$$Nb_{\text{Parallel}} = \frac{C_{\text{sys}}}{C_{\text{bat}}} \quad (\text{III.10})$$

Application :

$$Nb_{\text{Parallel}} = \frac{694}{100} = 6.94 \approx 7 \text{ Batteries.}$$

III.4.6. Dimensionnement des Régulateur et du l'onduleur

III.4.6.1. Dimensionnement du Régulateur

Parmi les différents types de régulateurs, on doit choisir celui qui est le mieux adapté à notre installation. Afin de déterminer ses caractéristiques on sépare souvent les deux fonctions de régulateur (charge et décharge).

Le dimensionnement de la régulation de charge (à l'entrée) est fonction de la puissance du générateur. L'intensité admissible du courant d'entrée du régulateur doit être supérieure à la valeur maximale produite par le générateur, Pour estimer ce courant, on prend 1.5 fois le courant de court-circuit total des modules.

Le courant d'entrée du régulateur est calculé par la Formule suivante [79]:

$$I_e = I_{1m} \times N_p \times A \quad \text{(III.11)}$$

I_e = L'intensité admissible du courant d'entrée du régulateur.

I_{1m} = le courant de court-circuit d'un module.

N_p : Nombre de modules connectés en parallèle.

A: En prend 1.5 la valeur de sécurité pour éviter l'endommagement de régulateur.

Le dimensionnement de la régulation de décharge (à la sortie) est fonction de la puissance totale des récepteurs (ou utilisations). L'intensité admissible du courant de sortie du régulateur doit être supérieure à la valeur maximale appelée par les récepteurs, ce courant calculé par la Formule suivante [79]:

$$I_s = \frac{P_i}{U_{sys}} \times A \quad \text{(III.12)}$$

I_s : L'intensité admissible du courant de sortie du régulateur.

P_i : La puissance totale pour les récepteurs (montés en parallèle) (W).

U_{sys} : C'est la tension nominale du champ photovoltaïque (system).

III.4.6.2. Dimensionnement du l'onduleur

Lorsque l'application contient d'appareils fonctionnant en alternatif (AC), il faut convertir l'électricité continue que produisent les capteurs photovoltaïques en électricité alternative utilisable par ces appareils. Le dimensionnement d'un onduleur se base sur la somme des puissances maximales de chaque équipement à connecter au courant alternatif, et se fait en fonction de plusieurs critères [77] :

- La tension d'entre : l'onduleur doit être supporté une tension d'entre supérieure de la tension de champ.
- Tension de sortie: en Algérie nous utilisons du 220/380 VAC, 50Hz.

- Puissance nominale : Puissance nominale de l'onduleur (KW), définie d'après les besoins exprimés. Elle tient compte du nombre d'équipements et de leurs puissances.

Enfin, il faut prendre garde à la tension des strings connecté à l'onduleur.

III.4.6.2.1. Fiche technique de l'onduleur utilisé

L'onduleur choisi pour notre étude est un onduleur intelligent triphasé de type *Huawei SUN2000-12KTL-M0*, de Puissance de sortie nominale 12 KW, qui convertit le courant d'alimentation CC généré par le champ PV en alimentation CA. L'onduleur SUN2000 peut s'applique à des systèmes raccordés aux réseaux électriques résidentiels de petite taille [80].



Figure III.10: L'onduleur *Huawei SUN2000-12KTL-M0*

Tableau III.5: Spécifications technique de l'onduleur utilisé [80]

Spécifications techniques	SUN2000 -12KTL-M0
Tension d'entrée max	1080 V
Tension de démarrage	200 V
Tension nominale d'entrée	600 V
Courant d'entrée max par MPPT	22 A
Courant de court-circuit max par MPPT	30 A
Puissance nominal de sortie	12000 W
Puissance apparente maximale	13200 VA
Fréquence nominale AC	50 HZ / 60 HZ
Courant de sortie maximale	20 A
Tension de sortie nominale	220 Vac, 380 Vac
Rendement maximal	98 %
Facteur de puissance réglable	0.8 capacitif / 0.8 inductive
Distorsion totale d'harmonique	<= 3%
Indice de protection	IP 65
Communication	4G/3G/2G/WLAN via Smart Dongle-4G

III.4.6.2.2. Principe de fonctionnement

L'onduleur se divise en deux parties : partie de régulation et partie d'ondulation, dont quatre branches de champ PV sont raccordées au l'onduleur, et leurs points de puissance maximum sont suivis par deux circuits de régulation (MPPT) qui suivent le point de puissance maximum, et l'onduleur surveille le point de fonctionnement optimal afin de maximiser la sortie des branches PV. Le courant d'entrée du l'onduleur est converti en courant alternatif triphasé via un circuit d'ondulation la figure III.11 [80].

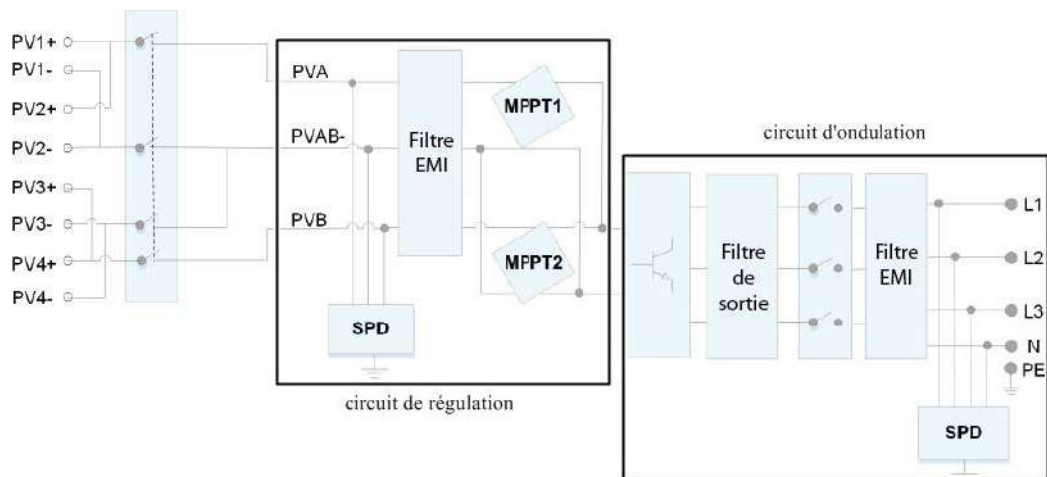


Figure III.11: Schéma conceptuel du l'onduleur étudié.

III.4.6.2.3. Apparence de l'onduleur

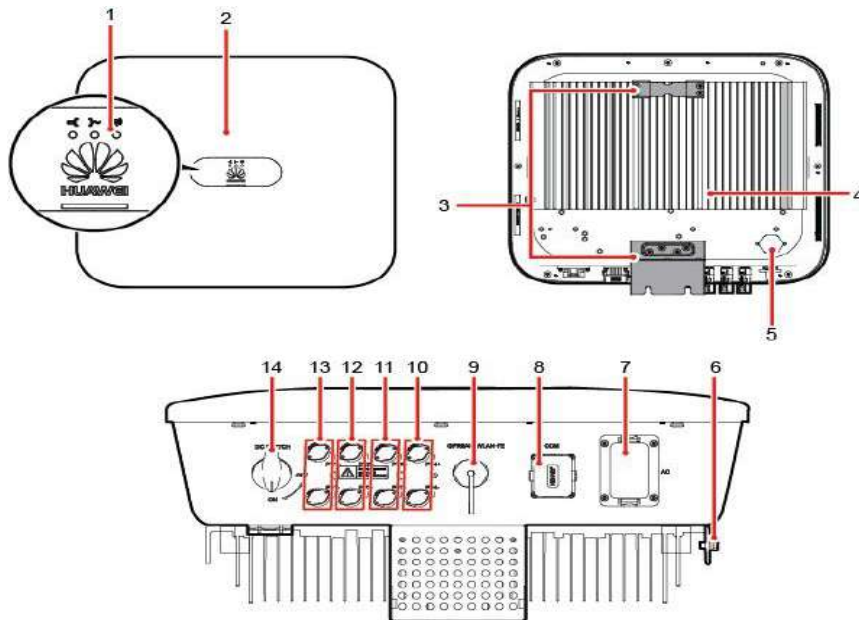


Figure III.12: Apparence de l'onduleur

- | | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| (1) Indicateur LED | (2) Panneau avant |
| (3) Kit de suspension | (4) Dissipateur thermique |
| (5) Valve de ventilation | (6) Vis de mise à la terre |
| (7) Port de sortie CA (AC) | (8) Port de communication (COM) |
| (9) Port Smart Dongle (4G/WLAN) | (10) Bornes d'entrée (PV4+/PV4-) |
| (11) Bornes d'entrée (PV3+/PV3-) | (12) Bornes d'entrée (PV2+/PV2-) |
| (13) Bornes d'entrée (PV1+/PV1-) | (14) Commutateur (DC SWITCH) |

III.4.6.2.4. Application de surveillance en temps réel

Le Dongle A-05 est un module d'extension de communication intelligent qui fonctionne avec les onduleurs Huawei pour établir des communications entre les onduleurs et le système de gestion par WLAN ou 4G/3G/2G figure III.13.

La figure III.14 Indiquer la consommation d'énergie journalière de l'école en temps réel.



Figure III.13: Smart Dongle WLAN

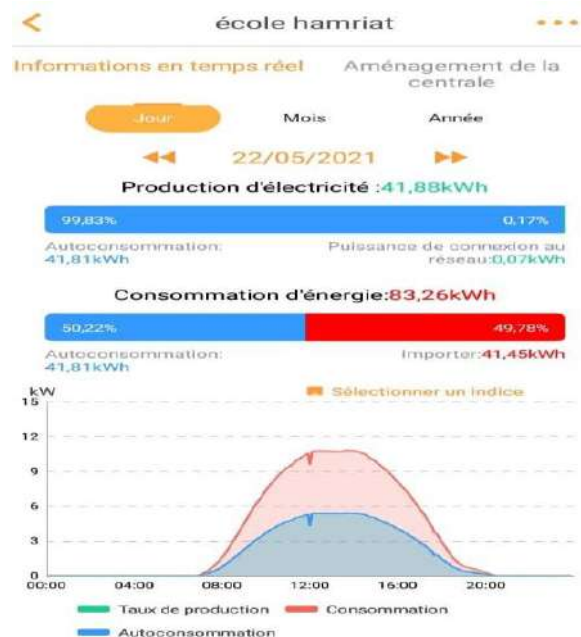


Figure III.14: la consommation journalière de l'école en temps réel

III.4.7. Dimensionnement des câbles

Il est nécessaire de limiter la longueur des câbles électriques entre le générateur photovoltaïque et le régulateur, le régulateur et les batteries ou l'onduleur avec les récepteurs, Cette distance n'excède jamais quelques mètres. La plus part des systèmes solaires fonctionnent généralement sous faible tension (12V, 24V, 48V), donc avec un courant élevé pour la même puissance ($P = U \times I$).

Le transport de ce courant de plusieurs ampères à longue distance provoque des pertes par effet joule aux niveaux des conducteurs [81] :

$$P_j = \Delta U \times I = R \times I^2 \quad (\text{III.12})$$

En calcul les sections des câbles d'après les formules suivantes :

On a: $\Delta U = R \times I = e \times U \quad (\text{III.13})$

On a: $R = \frac{\Delta U}{I} = \rho \times \frac{L}{S} \quad (\text{III.14})$

Alors Égalité de la relations (III.10) donnent :

$$S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta U} \quad (\text{III.15})$$

e: la chute de tension maximale [3% - 5%]

L : Longueur du câble électriques

ρ : La résistivité de cuivre $\rho = 1.7 \times 10^{-8} \Omega.m$.

ΔU : La chute de tension entre les panneaux et les autres éléments

I_{mpp} : Le courant produit par le générateur PV

V_{mpp} : La tension produit par le générateur PV

III.4.7.1. Calcul la section du câble utilisé en courant continu

Tenant compte de l'intensité optimale délivrée par un panneau solaire (figure III.9), soit :

$$I_{mpp} = 9.68 \text{ A}$$

Il vient que pour 3 trois strings connectés en parallèles, l'intensité totale délivrée sera :

$$I_{max} = 9.68 \times 3 = 29.04 \text{ A}$$

La tension des batteries étant de 48V, la chute de tension admise pour les câbles de connexion sera alors :

$$\Delta U = 48 \times 0.03 = 1.44 \text{ V}$$

On Considéré que la longueur du câble solaire à utiliser étant égale à 17.5 m :

$$S = \frac{29.04 \times 17.5 \times 1.7 \times 10^{-8}}{1.44} = 5.99 \approx 6 \text{ mm}^2$$

III.4.7.2. Calcul la section du câble utilisé en courant alternatif

Tenant compte le Courant de sortie maximale délivrée par notre onduleur (Tableau III.5), soit :

$$I_{smax} = 20 \text{ A}$$

$$\Delta U = 1.44 \text{ V}$$

On Considéré que la longueur du câble solaire à utiliser étant égale à 25 m :

$$S = \frac{20 \times 25 \times 1.7 \times 10^{-8}}{1.44} = 5.90 \approx 6 \text{ mm}^2$$



Figure III.15: la section du câble choisie

III.5 Protection de l'installation

Pour assurer la protection de l'installation Photovoltaïque, il existe plusieurs équipements à intégrer avant/après chaque composant. Dans ce qui suit, on définit les éléments fondamentaux de protection :

- **Disjoncteur différentiel (AC/DC) :** disjoncteur différentiel est un dispositif électromécanique, de protection dans la fonction d'interrompre le courant électrique en cas d'incident sur un circuit électrique. Il est capable d'interrompre un courant de surcharge ou un courant de court-circuit dans une installation.
- **Compteur d'énergie intelligent:** un compteur est un organe électrotechnique servant à mesurer le courant et la tension des phases à la sortie de l'onduleur ainsi que la fréquence de système a partir des capteurs.



Figure III.16: Armoire des équipements de protection

- **Parafoudre :** Dans une installation Photovoltaïque, les parafoudres ont pour rôle de protéger les modules photovoltaïque et les onduleurs contre les risques de surtension induite dans le circuit de la partie continue.
- **Fusible :** Le fusible est un organe de sécurité dont le rôle est d'ouvrir un circuit électrique lorsque le courant électrique dans celui-ci atteint une valeur d'intensité donnée pendant un certain temps.



Figure III.17: Parafoudre et porte fusible de protection

- **Mise à la terre des masses**

L'installateur qui effectué l'installation est responsable de la mise à la terre correcte. Les masses de l'onduleur et les masses des matériels alimentés par le champ PV doivent être reliées à la même prise de terre.



Figure III.18: mise à la terre de structure de module

Pour minimiser les tensions induites dues à la foudre, les structures métalliques des modules et les structure métalliques support doivent être reliées à la même prise de terre.

III.6. Conclusion

Le dimensionnement de l'installation photovoltaïque est la recherche de l'équilibre entre la satisfaction de la demande énergétique exprimée et la puissance à installer tant de point de vue des modules que les batteries. A partir des asservissements présentés par les fournisseurs des composants photovoltaïques, nous avons sélectionné les composants adaptés à notre dimensionnement. D'autres configurations d'installations seraient possibles avec d'autres modules, batteries, régulateurs et onduleurs.

Chapitre IV : Simulation par PVsyst d'une installation photovoltaïque autonome

Chapitre IV : Simulation par PVsyst d'une installation photovoltaïque autonome

IV.1. Introduction

Les outils d'aide au dimensionnement sont souvent des logiciels de simulation de systèmes photovoltaïque. Ils fournissent une estimation de l'énergie produite et de sa distribution, et quantifient les effets perturbateurs de manière à identifier les points faibles du site et optimiser l'ensemble du système photovoltaïque. Ces logiciels calculent notamment le comportement du système et l'ensemble des perturbations pour chaque heure de fonctionnement, à partir des données d'entrée précises : météorologiques, environnementales et nous permettent aussi d'aboutir à des résultats beaucoup plus précis.

Le dimensionnement d'une installation solaire PV est effectué par deux méthodes soit manuellement à l'aide des formules définies, soit par des logiciels. L'installation dimensionnée manuellement reste une installation qui manque de fiabilité. Le logiciel PVsyst offre l'étude de projet de dimensionnement d'une installation PV de haute précision.

Dans ce chapitre nous présentons une vision approfondie sur le logiciel PVsyst, en suite on donne un aperçu sur les différentes étapes de simulation de logiciel PVsyst.

IV.2. Présentation de logiciel de simulation PVSYST

PV SYST est un logiciel d'étude, de simulation de systèmes photovoltaïques et de dimensionnement de panneaux solaires permettant d'obtenir diverses informations telles que la production d'énergie, l'irradiation et le coût de l'installation, la surface nécessaire, ou la production annuelle d'énergie. Un mode avancé permet d'obtenir beaucoup plus d'informations pour une étude très complète.

Il est conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais c'est aussi un outil pédagogique très utile [82].

Le logiciel PVsyst version 6.43 propose des fonctionnalités très poussées telle que son application 3D qui permet de simuler la trajectoire du soleil et les ombres portées afin d'optimiser l'implantation des panneaux.. Son interface est présentée sur la figure IV.1.

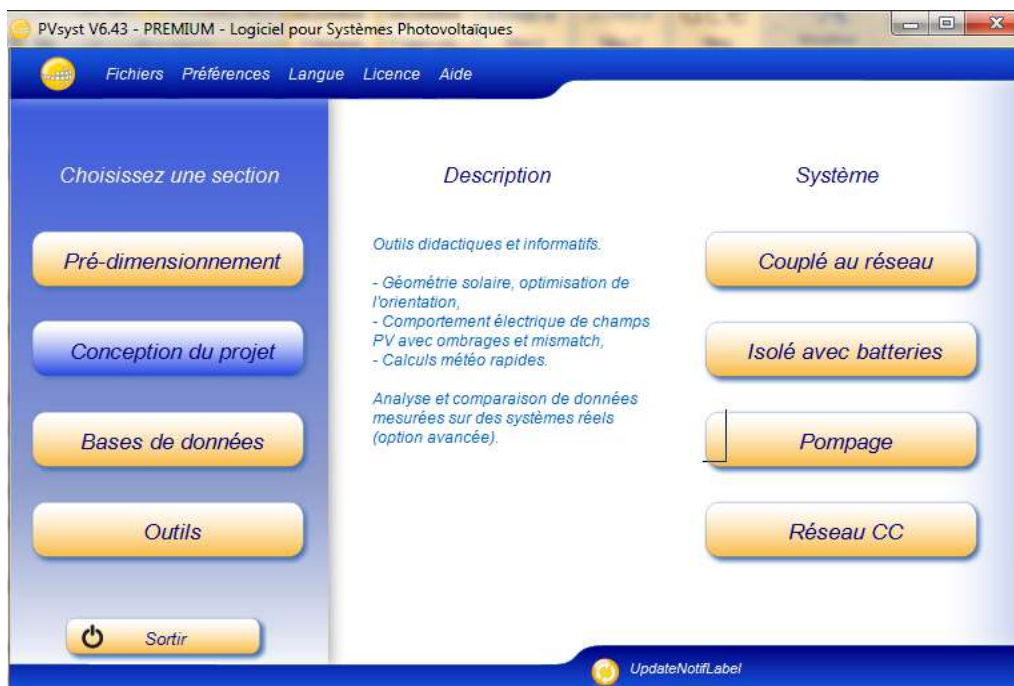


Figure IV.1 : l'interface de PVSYST V 6.43

Le logiciel comprend principalement deux modes de fonctionnement. Le premier et une application de pré dimensionnement assez simple à prendre en main et accessible au néophyte. Le deuxième permet une étude beaucoup plus approfondie et prend en compte beaucoup plus de paramètre. De plus il se base sur du matériel concret pour ses calculs, contrairement au premier mode qui effectue ses calculs pour un cas très général. Pour chacun des deux modes, le principe est le même.

IV.2.1 Pré-dimensionnement

Pour une étude rapide et simple : on donne une location et un système puis le logiciel calcul quelques paramètres de pré dimensionnement ainsi qu'un graphe de production énergétique annuelle, un graphe d'irradiation par mois, un tableau récapitulatif et une étude de coût. Cette option oblige tout d'abord le choix de type d'installation : connecté au réseau, déconnecté du réseau (systèmes isolés avec batteries) ou système de pompe solaire [83].

- Pré-dimensionnement : systèmes isolés avec batteries

Le pré-dimensionnement offre également la possibilité de dimensionner rapidement et simplement un système autonome. La définition d'un système

autonome est rapide et d'appréhension simple. Une fois la situation ainsi que l'orientation du champ définie, l'utilisateur introduit la charge du système. Celle-ci peut se définir annuellement, mensuellement ou par saison. La figure IV.2 montre la fenêtre qui définit le système autonome dans l'option pré-dimensionnement [83].

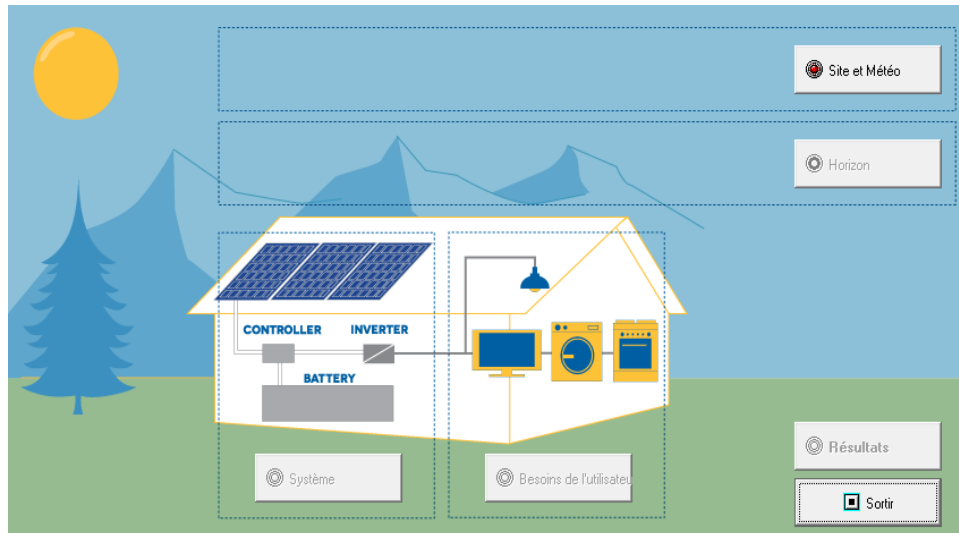


Figure IV.2: Fenêtre d'accueil d'option « pré-dimensionnement »

IV.2.2. Conception de projet

On retrouve ici le même fonctionnement que dans "preliminary design" mais avec beaucoup plus de paramètres. Encore une fois, on choisit le type d'installation : connecté au réseau, déconnecté du réseau, système de pompe solaire ou connecté à un réseau continu. On aura plusieurs néanmoins plus d'étapes : choix du projet et de ses variables, orientation du panneau solaire, définition de l'horizon (ombre lointaines), définition des ombres proches, définition du système et enfin résultats. La figure IV.3 illustre la fenêtre centrale d'accueil l'utilisateur où les étapes de dimensionnement sont clairement définies.



Figure IV.3 : Désignation du projet dans PVSYST

IV.2.3. Outils et bases des données

Ce niveau d'utilisation permet de saisir des données météorologiques, de comprendre le fonctionnement d'un tel système et de définir les composants photovoltaïques.

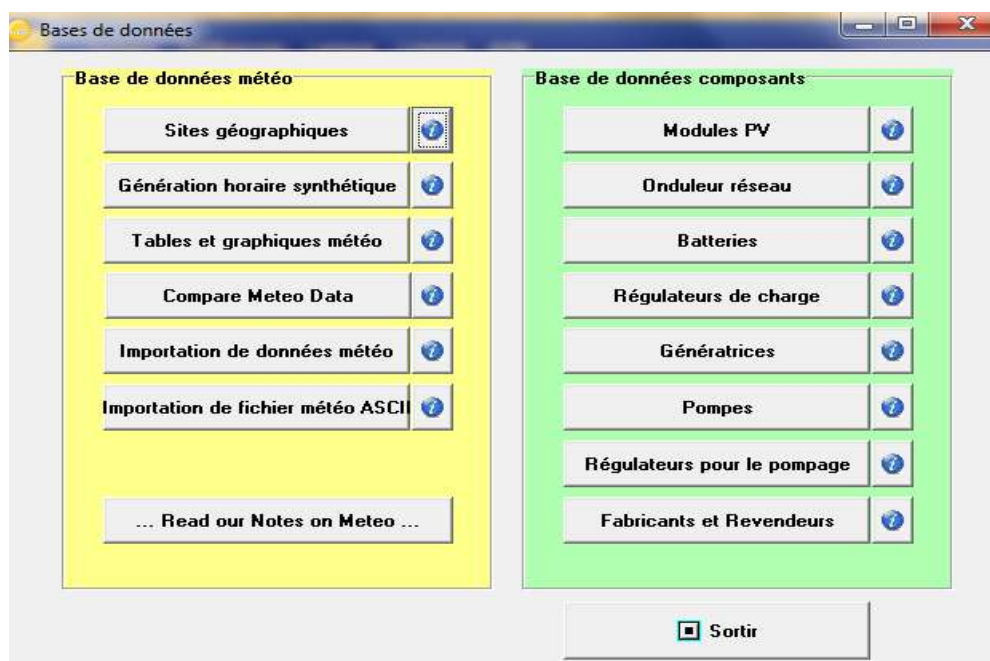


Figure IV.4: bases des données

IV.3. Présentation de projet

Dans ce projet, nous avons présenté l'installation PV autonome pour alimenter une école primaire « HAMRAYAT ». Le site étudié est situé au niveau de la commune EL'Attef, wilaya de GHARDAIA.

Ces coordonnées géographiques sont : latitude de 32° 28' N, longitude de 3° 40' E, altitude de 489 m et fuseau horaire (GMT+1).

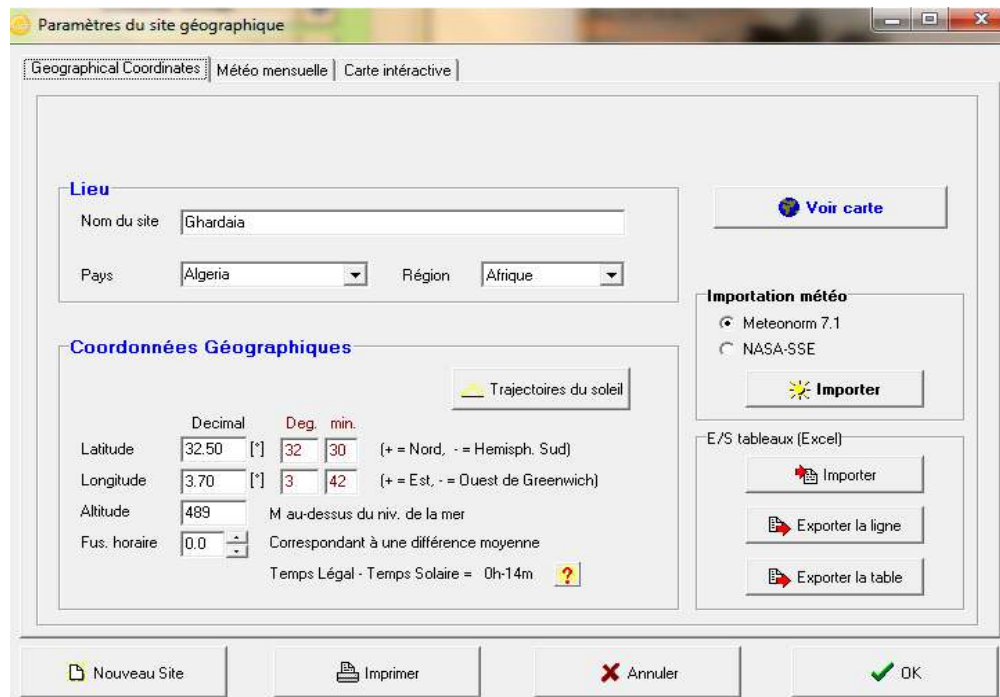


Figure IV.5 : Coordonnée géographique de « El'Attef » Ghardaia

IV.3.1. Données météorologiques

Ces données résument les caractéristiques climatiques (l'irradiation et la température) du site de GHARDAIA, Il est conseillé de définir soigneusement la source des données:

PVGIS: (Photovoltaic Geographical Information System) Fournit un accès sur l'Internet aux données sur le rayonnement solaire et la température et aux outils d'évaluation de la performance PV pour n'importe quel endroit en Europe et en Afrique.

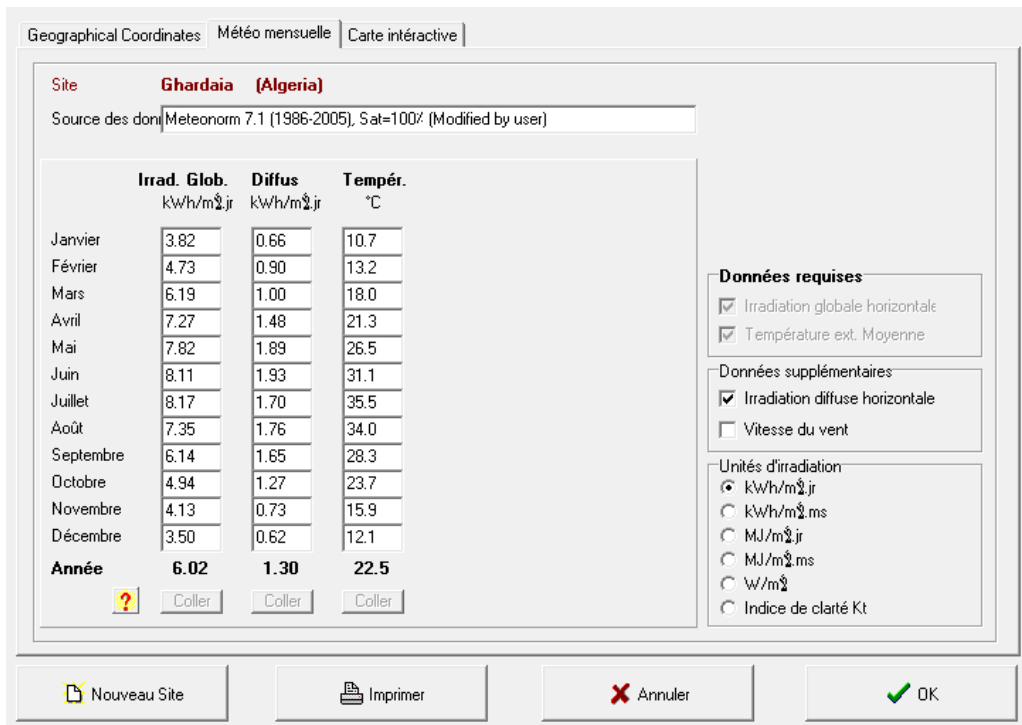


Figure IV.6: Paramètres climatique de GHARDAIA

IV.3.2. Trajectoire du soleil

La connaissance du mouvement apparent du soleil pour un point donné de la surface terrestre est nécessaire pour toute application solaire. La position du soleil est définie par deux angles : sa hauteur HS (angle entre le soleil et le plan horizontal du lieu) et son Azimut AZ (angle avec la direction du sud, compté négativement vers l'est).

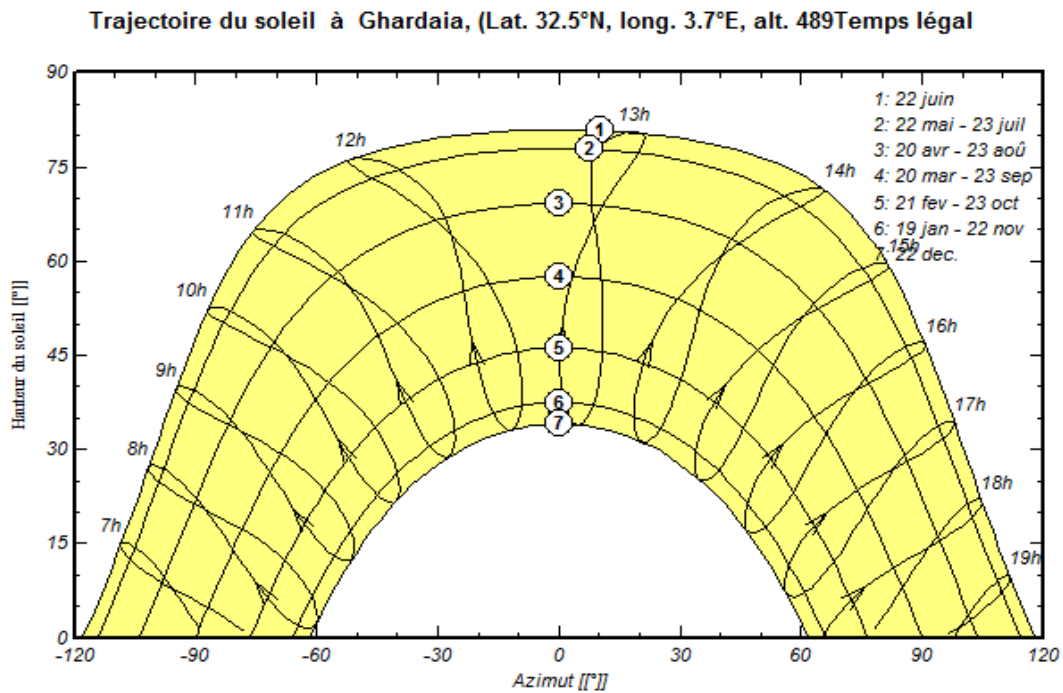


Figure IV.7: Trajectoire du soleil à GHARDAIA

IV.3.3. Orientation des modules PV

Nous avons choisi un plan Incliné fixe d'une inclinaison 35° (par rapport à l'horizontale) comme l'illustre la figure IV.6. 35° c'est l'inclinaison optimale donnée par le logiciel PVSYST, en dehors de cette dernière le rendement diminue.

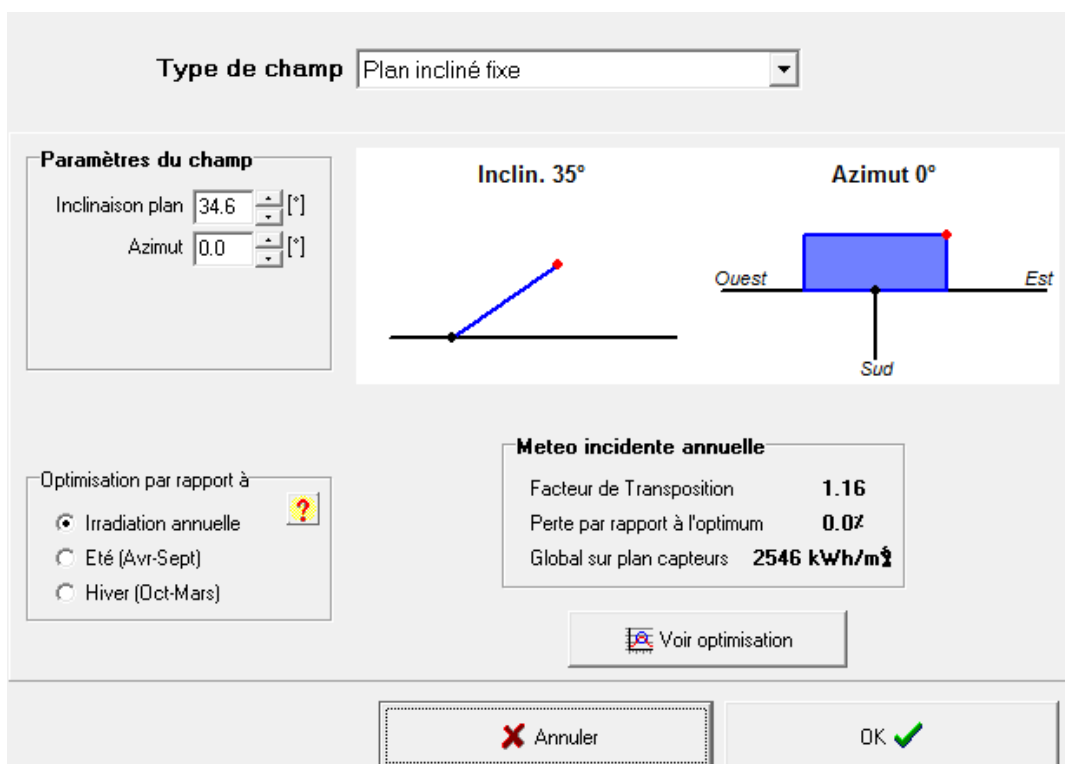


Figure IV.8 : Positionnement des systèmes de panneaux PV

IV.4. Définition des besoins de l'utilisateur

L'estimation de la consommation électrique journalière pour les différentes charges de cette école par rapport leurs durées de fonctionnement, puissances et énergies consommées.

Definition of Daily Household consumptions, year

Consumptions | Hourly distribution

Daily consumptions

Number	Appliance	Power		Daily use	Hourly distrib	Daily energy
34	Lamps (LED or fluo)	18	W/lamp	8.0	h/day OK	4896 Wh
18	TV / PC / Mobile	50	W/app.	4.0	h/day OK	3600 Wh
6	climatiseur	900	W/app.	3.0	h/day OK	16200 Wh
0	Frigo / Congélateur	0.00	kWh/day	0.0	h/day	0 Wh
0	Dish- & Cloth-washers	0.0	W aver.	0.0	h/day	0 Wh
1	frigo	120	W/app.	3.0	h/day OK	360 Wh
5	data show	150	W/app.	2.0	h/day OK	1500 Wh
Stand-by consumers		1	W tot	24	h/day	24 Wh
Total daily energy						26580 Wh/day
Total monthly energy						797.4 kWh/month

Appliances info

Consumption definition by
 Year
 Seasons
 Months

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

Model
 Load Save

Other profile Cancel OK

Figure IV.9: Estimation de la consommation journalière

IV.5. Définition des éléments de system PV

Dans cette étape, le logiciel nous aide à choisir le type de panneau et de batterie le plus favorable, notant que la quantité des panneaux et des batteries dépend de leurs types.

Figure IV.10 : Choix des Caractéristiques du module PV

On a choisi le type de panneau qui convient à une puissance de 325Wc monocristalline puis un convertisseur MPPT de 48v, on obtenu comme résultat 18 panneaux pour une surface de 29 m², deux 2 panneau mise en série avec 9 strings.

IV.5.1. Caractéristique du module PV

Figure IV.11 : caractéristique de panneaux choisie

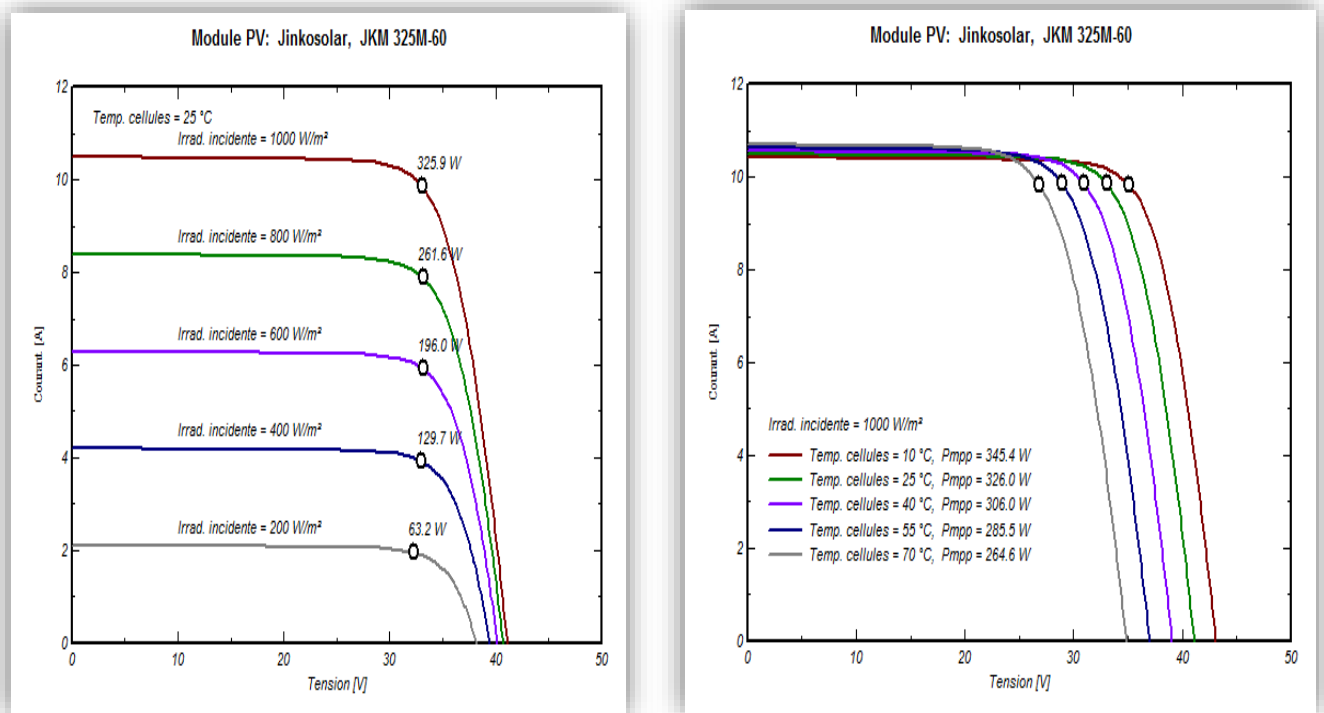


Figure IV.12 : Influence de la température et de l'éclairement

IV.5.2. Caractéristique du Batteries

Le stockage d'énergie est une étape très intéressante pour un système autonome, on a choisi un des batteries de 12 V de 100Ah à une température de 20°C ; les nombres des batteries est 28 branchement comme suite : 4 batterie en chaine série, et 7 batterie en chaine parallèle pour obtenir à la sortie d'une tension de 48 V dont la capacité totale est de 700 Ah

Specified Load | Pre-sizing suggestions | System summary

Av. daily needs : 26.6 kWh/day

Enter accepted LODL: 1.0 %

Enter requested autonomy: 1.0 day(s)

Battery (user) voltage: 48 V

Suggested capacity: 651 Ah

Suggested PV power: 5.57 kWc (no)

Detailed pre-sizing

Storage | Champ PV | Back-up | Schema

Procedure

1. - Pre-sizing: Define the desired Pre-sizing conditions (LOL, Autonomy, Battery voltage)
2. - Storage: Define the battery pack (default checkboxes will approach the pre-sizing)
3. - PV Array design: Design the PV array (PV module) and the control mode. You are advised to begin with a universal controller.
4. - Back-up: Define an eventual Genset

Specify the Battery set

Sort Batteries by: voltage capacity manufacturer

All Manufacturers | 12 V | 100 Ah | Open 12V / 100 Ah | Generic | Open

4 Batteries in serie | Number of batteries: 28 | Battery pack voltage: 48 V

7 Batteries in parallel | Number of elements: 168 | Global capacity: 700 Ah

Stored energy (80% DOD): 26.9 kWh

Total weight: 1333 kg

Operating battery temperature

Temper. mode: Fixed (tempered local)

Fixed temperature: 20 °C

The battery temperature is important for the ageing of the battery. An increase of 10 °C divides the "static" battery life by a factor of 2.

The actual back-up power is insufficient with respect to the User's needs (average load = 1.1 kW)

Figure IV.13 : caractéristique de la batterie utilisée dans le système

IV.5.3. Le choix de stratégie du contrôle

Dans le (couplage direct, MPPT ou convertisseur DCDC), il est conseillé de choisir le " Convertisseur MPPT ". Le convertisseur MPPT est un système de conversion de puissance muni d'un algorithme de contrôle approprié permettant d'extraire le maximum de puissance que le GPV peut fournir.

La figure ci-dessus nous montre les branchements complets d'un système photovoltaïque avec un onduleur, un régulateur et des batteries avec les appareils de protection comme le fusible Diode by passe qui est tous reliée à des différents récepteurs.

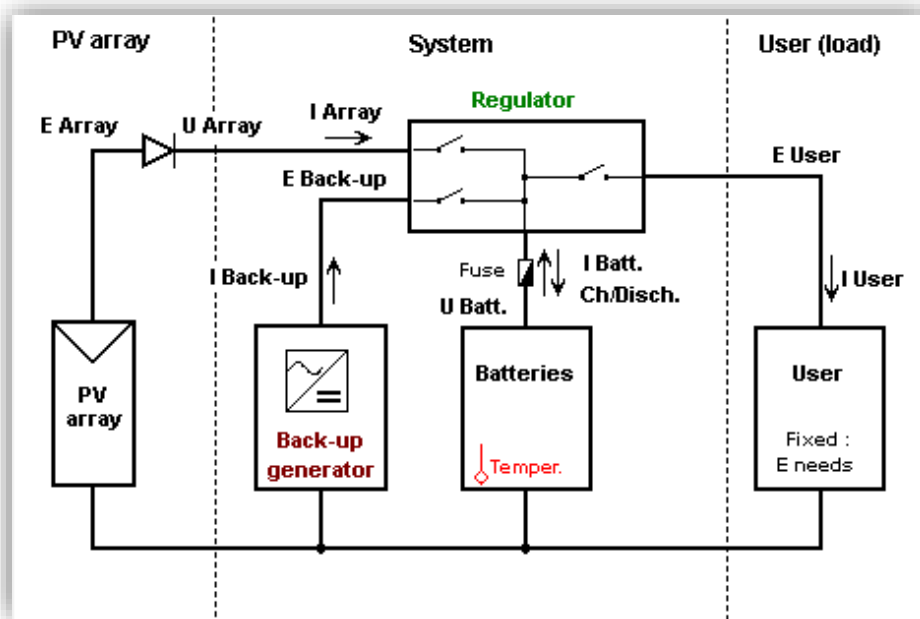


Figure IV.14 Schéma du système PV isolé avec batterie

IV.6. Bilan et résultats principaux

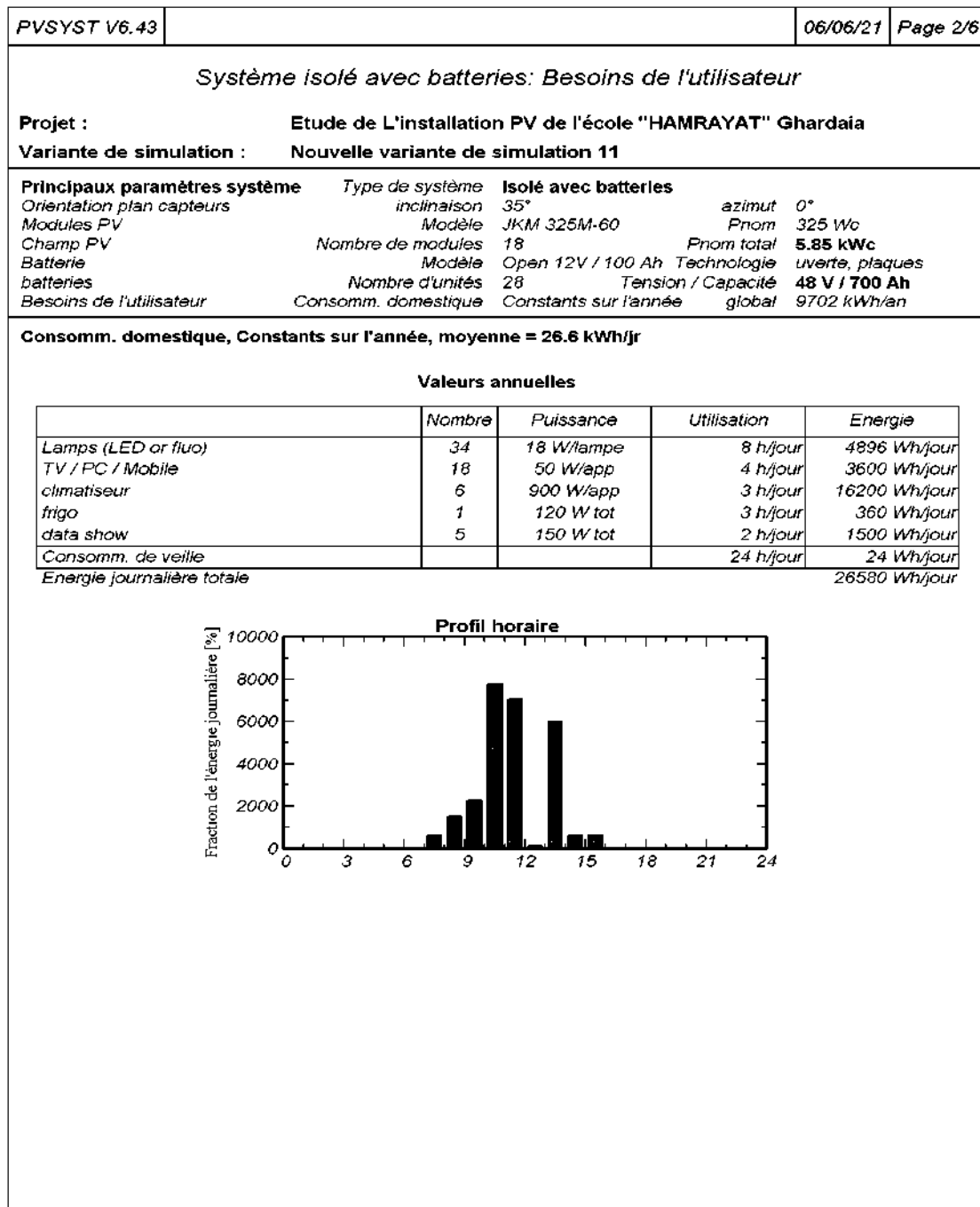
Après l'effectuation de ces étapes correctement, on peut générer un rapport de cinq pages qui donne le détail sur :

IV.6.1. La page 1 : montre les paramètres de simulation

- Caractéristiques de champ photovoltaïque
- L'orientation des panneaux
- Les facteurs des pertes de champ
- Le system PV dimensionné se compose de :
 - 18 modules avec 2 en séries et 9 en parallèles pour une puissance globale 5.85 KWc et la surface nécessaire pour les déposer égale à 29.5 m2.
 - Batteries : 28 batteries avec 4 en séries et 3 en parallèles.
 - Régulateur : de type MPPT, rendement max : 97.0/95.0%

PVSYST V6.43		06/06/21	Page 1/6
Système isolé avec batteries: Paramètres de simulation			
Projet :	Etude de L'installation PV de l'école "HAMRAYAT" Ghardaia		
Site géographique	Ghardaia	Pays	Algeria
Situation	Latitude 32.5°N	Longitude	3.7°E
<i>Temps défini comme</i>	Temps légal Fus. horaire TU	Altitude	489 m
	Albédo 0.20		
Données météo:	Ghardaia	MeteoNorm 7.1 - Synthetic	
Variante de simulation :	Nouvelle variante de simulation 11		
	Date de la simulation 06/06/21 à 18h16		
Paramètres de simulation			
Orientation plan capteurs	Inclinaison 35°	Azimut	0°
Modèles utilisés	Transposition Perez	Diffus	Perez, Meteonorm
Caractéristiques du champ de capteurs			
Module PV	Si-mono	Modèle	JKM 325M-60
<i>Custom parameters definition</i>		Fabricant	Jinkosolar
Nombre de modules PV	En série	2 modules	En parallèle 9 chaînes
Nombre total de modules PV	Nbre modules	18	Puissance unitaire 325 Wc
Puissance globale du champ	Nominale (STC)	5.85 kWc	Aux cond. de fonct. 5.26 kWc (50°C)
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)	U mpp	59 V	I mpp 89 A
Surface totale	Surface modules	29.5 m²	Surface cellule 25.6 m²
Facteurs de perte du champ PV			
Fact. de pertes thermiques	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (vent) 0.0 W/m²K / m/s
Perte ohmique de câblage	Rés. globale champ	11 mOhm	Frac. pertes 1.5 % aux STC
Perte diode série	Chute de tension	0.7 V	Frac. pertes 1.1 % aux STC
Perte de qualité module			Frac. pertes -0.8 %
Perte de "mismatch" modules			Frac. pertes 1.0 % au MPP
Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Param. bo 0.05
Paramètres du système	Type de système	Système isolé avec batteries	
Batterie	Modèle	Open 12V / 100 Ah	
	Fabricant	Generic	
Caractéristiques du banc de batteries	Tension	48 V	Capacité nominale 700 Ah
	Nombre d'unités	4 en série x 7 en parallèle	
	Température	Fixée (20°C)	
Controller	Modèle	Universai controller with MPPT converter	
	Technologie	MPPT converter	Coeff. de temp. -5.0 mV/°C/elem.
Convertisseur	Efficacité maxi et EURO	97.0/95.0 %	
Battery management control	Threshold commands as	SOC calculation	
	Charge	SOC = 0.92/0.75	i.e. approx. 58.3/50.1 V
	Décharge	SOC = 0.20/0.45	i.e. approx. 46.4/48.9 V
Besoins de l'utilisateur :	Consomm. domestique moyenne	Constants sur l'année 26.6 kWh/Jour	

IV.6.2. La page 2 : présente la consommation journalière avec le profil horaire



IV.6.3. La page 3 : présente les principaux résultats de simulation de système PV

Elle contient des graphes qu'interprètent l'indice de performance, l'énergie produite et un tableau résume les bilans et les résultats principaux. Alors le champ PV a une puissance nominale de 5.85KWc et il fournit 4.54KWh/KWc/j.

Notant que l'indice de performance (PR) est défini par le rapport de la production du système (y_f) par l'énergie incidente de référence (y_r), donc cet indice est un chiffre qui exprime la qualité générale de système ou le rendement en fonction de la puissance installée. Il peut atteindre 80% dans les meilleures installations et dans les

pays tempéré [84]. Aussi, La fraction solaire totale (SF) est un paramètre important pour l'évaluation de system PV. Elle est donnée comme suit $SF = E_{utile} / E_{besoin}$.

D'après le tableau des bilans et les résultats de la figure IV .23; nous constatons que la fraction solaire est dépend de l'irradiation globale horizontale mensuel. Ce dernier influe automatiquement à l'énergie manquante (E Miss), lorsque l'irradiation est élevé (de Avril jusqu'à Août), on voir que l'énergie produite devient importante ce que implique que la fraction solaire devienne parfaite c.-à-d égale 1.

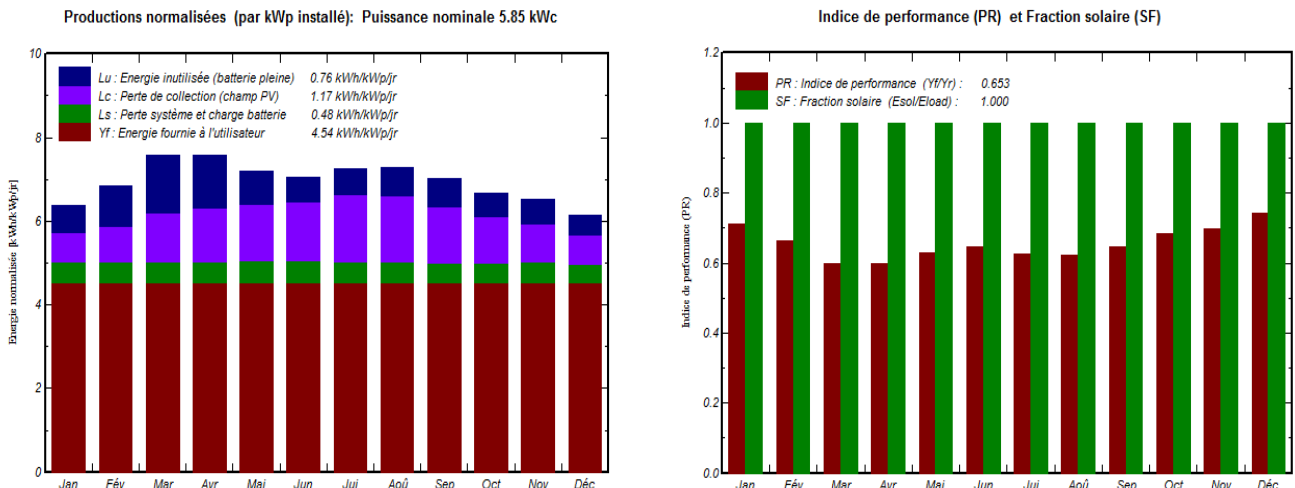


Figure IV.15: l'indice de performance et l'énergie produite

Tableau IV.1 : bilans et les résultats principaux

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E Avail kWh	Eunused kWh	E Miss kWh	E User kWh	E Load kWh	SolFrac
Janvier	118.3	194	993	118.3	0	824	824	1
Février	132.4	187.8	947	155.5	0	744.2	744.2	1
Mars	192	230.2	1121	249.8	0	824	824	1
Avril	218.1	221.3	1066	219.8	0	797.4	797.4	1
Mai	242.3	216.5	1026	146.8	0	824	824	1
Juin	243.3	204.1	946	99.1	0	797.4	797.4	1
Juillet	253.2	218.3	983	111.9	0	824	824	1
Août	227.7	219.7	995	122.3	0	824	824	1
Septembre	184.3	205.6	961	118.3	0	797.4	797.4	1
Octobre	153.2	201.9	969	98.1	0	824	824	1
Novembre	123.8	191.9	951	102.4	0	797.4	797.4	1
Décembre	108.6	186.5	951	85.2	0	824	824	1
Année	2197.2	2477.5	11910	1627.6	0	9701.7	9701.7	1

E Miss: énergie manquante

EUser: énergie fourni à l'utilisateur

ELoad: besoin d'énergie de l'utilisateur

SolFrac: fraction solaire (Eutile/ Ebesoin)

GlobHor: l'irradiation globale horizontale

GlobEff: Le rayonnement effectif sur les collecteurs

EAvail: énergie solaire disponible

Eunused : énergie inutilisée (batterie chargée)

IV.6.4. La page 4 : montre le diagramme des pertes

Ce diagramme est ce intéresse le plus le concepteur du système, après avoir noté les résultats de la production et l'indice de performance, on va examiner le diagramme obtenu on détail :

a) Irradiation global horizontal

L'irradiation global horizontale annule égale a 2197.2 KWh/m2/an correspond au choix de notre site, il peut croitre ou diminuer suivent la position géographique de site.

b) Global incident plan captures

On a un gain de 15.6 % qui due au choix d'inclinaison de 35°.on peut incliner les panneaux par l'attitude de notre site (32.5°), mais à 35° les pertes sont nuls et la production d'énergie est optimale.

c) Facteur d'IAM sur global

La perte de 2.5 % pour la limite de collection des irradiances rasantes varie en fonction de la latitude. Afin de minimiser cette valeur on peut utiliser des panneaux à verre structuré ou changer le site beaucoup plus au sud

d) Perte due au niveau d'irradiance

Cette perte de 0.1 % est due aux niveaux de lumière faible ou le courant PV est consommé en interne par la résistance shunt des cellules. Cette résistance n'est pas modifiable par le concepteur

e) Perte due à la température champ

La perte 12.5 % est la plus importante dans notre système, elle due au température ambiante (plus que la température ambiante est élevé cette perte devient impotente).

f) Perte pour qualité des modules

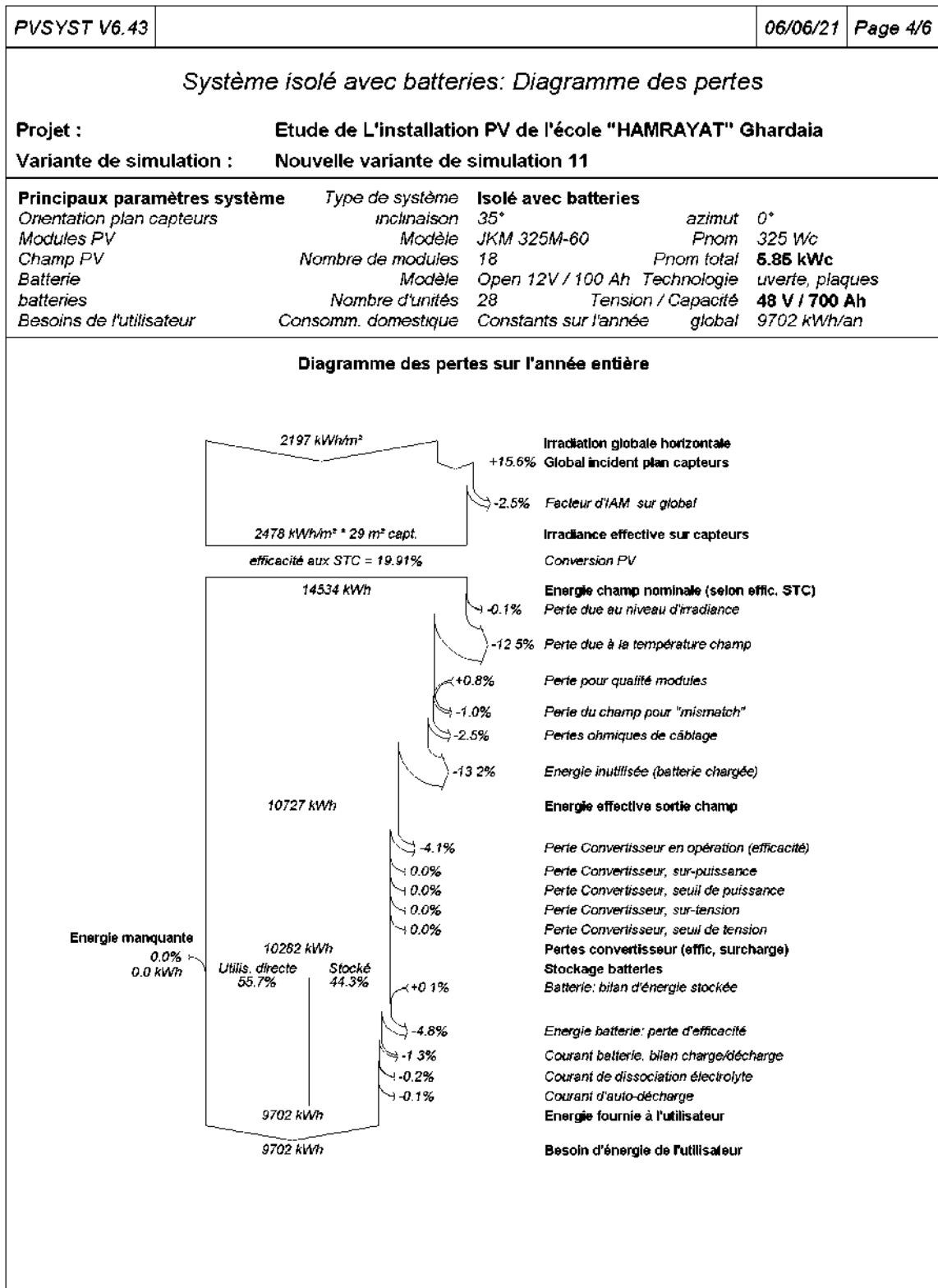
Elle dépend de la qualité de module dans notre cas, elle est négligeable.

g) Pertes ohmiques de câblage

Cette perte de 2.5 % due aux câbles on peut l'abaisser si on augmente les sections des câbles.

h) Perte de convertisseur en opération (efficacité): 4.1 %

i) Les restes des pertes sont dues à la batterie à l'état charge et décharge



IV.6.5. La page 5 : l'étude économique de l'installation

Le tableau (III.11) est le devis estimatif et quantitatif des principaux composants de l'installation photovoltaïque qu'on a dimensionnée.

Tableau IV.2 : Le coût d'installation du système photovoltaïque

Désignation	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Module-mono 325W	18	28,000.00	504,000.00
Batteries (12V/100Ah)	28	32,000.00	896,000.00
Contrôleur	1	180,000.00	180,000.00
Support et Construction câblage	18	1,000.00	18,000.00
Armoire de Protection	1	5,000.00	5,000.00
Ingénierie	1	16,000.00	16,000.00
Transport et montage	1	20,000.00	20,000.00
TOTAL HT			1,644,000.00
TVA 19%			312,360.00
TOTAL TTC			1,956,360.00
Coût d'énergie utilisé			
Energie solaire utilisée (Kwh/an)			9,702.00
Energie en excès (batterie pleine Kwh/an)			1,628.00
Coût de l'énergie utilisée (DZD/Kwh)			29.20

IV.7. Résultats et Discussions

Dans le cas étudiée nous avons fait le dimensionnement de l'installation solaire PV autonome de l'école par deux méthodes : La première utilise un modèle théorique, les calculs exigent un système PV se compose de 21 panneaux (7 panneaux en chaîne série, et 3 panneaux en chaîne parallèle), 28 batteries, onduleur de 600 V/ 12KW. La deuxième est basée sur le logiciel PVsyst qui nous donne la main pour faire une étude de dimensionnement à haute précision, le système PV autonome dimensionné contient : 18 panneaux (2 panneau en série avec 9 strings), 28 batteries, contrôleur MPPT.

Donc on a un différence de 3 pour les panneaux et ses associations par rapport au modèle qui basée sur le logiciel PVsyst. L'association de modèle théorique permet de Produit un faible courant et une tension désirer pour le fonctionnement normale du l'onduleur par contre l'association de la simulation se produit une tension faible et un courant insuffisant qui influent sur le choix du câble et provoquer l'échauffement par effet joule. Ainsi que cette déférence

entre le modèle théorique et la simulation par le logiciel est justifié par les critères et les conditions dont les quels le logiciel PVsyst se fonctionne.

Alors en prendre le modèle théorique qui est raisonnable, c'est à dire en point de vu économique.

IV.8. Conclusion

Le logicielle PVsyst est une technique de dimensionnement des installations photovoltaïques autonomes optimisée permet de simuler un système photovoltaïque avec une prise en compte de tous les aspects (paramètres géographique, besoins de l'utilisateur, définition des Caractéristiques du Batterie et panneaux, évaluation du coût de l'installation...etc), Ceci a permis de faire une meilleure estimation des pertes qui peuvent affecter le rendement global.

Suite à notre étude du système d'installation d'une chaine photovoltaïque, il est important d'évaluer le coût annuel total de notre système. Alors, nous procédons à la détermination économique et énergétique du coût global actualisé du kWh fourni. Le prix du kWh produit par cette installation solaire photovoltaïque dépend des coûts fixes à l'investissement initial (achat du matériel et travaux) et surtout de la durée considérée pour l'amortissement de l'investissement.

Conclusion général

Conclusion générale

L'objectif de notre travail est l'étude d'une installation photovoltaïque pour une habitation domestique, en prend comme modèle d'étude une école primaire située à GHARDAIA au sud de l'Algérie.

Aujourd'hui, l'énergie photovoltaïque est devenue progressivement une source d'énergie à part entière. Elle est sollicitée de plus en plus pour produire de l'énergie électrique. C'est d'abord parce que cette énergie solaire photovoltaïque est une énergie propre, silencieuse, disponible et gratuite. L'énergie photovoltaïque résulte de la transformation directe de la lumière du soleil en électricité aux moyens des dispositifs photovoltaïques qui sont des cellules généralement à base de silicium cristallin qui reste la filière la plus avancées sur le plan technologiques et industriel.

Actuellement, les panneaux solaires à base de silicium monocristallin offrent les meilleurs rendements de conversion et une bonne durée de vie. Dans tout le bassin méditerranéen, il existe un gigantesque réservoir d'énergie solaire situé au nord du continent africain et particulièrement la région Sud de l'Algérie. Le potentiel de ce type d'énergie dans le sud algérien appelé également GSA (grand Sahara algérien) est le plus important.

Comme on a déjà mentionné la réalisation d'une installation photovoltaïque exige une méthode de dimensionnement de haute précision se passe tout d'abord par le calcul de la consommation, nous avons établi un bilan énergétique des appareils électriques existants dans l'école où nous avons trouvé que la consommation globale est 26630 Wh /j .Le dimensionnement par le modèle théorique exige un système PV qui se compose de : 21 panneaux de 325W, 28 batteries de 12V/100Ah et un onduleur de 12000W qui assure la conversion du courant continu en courant alternatif, et de câblage qui relie les différents composants de ce système. A l'aide des critères sur lesquelles le logiciel PVsyst se base, La simulation de projet résulte un système PV ou l'ensemble des éléments des ces systèmes dimensionnées nous donne : 18 panneaux, 28 batteries, et un contrôleur de charge MPPT. La réalisation de cette installation résulte un système PV très coûteuse dont investissement brut égale environ deux million Dinars Algérien. A Fin de minimiser ce chiffre, nous proposons comme solution de remplacer, les lampes fluorescente par des lampes économiques, les

climatiseurs par des climatiseurs solaires qui consomment 1/5 de la puissance. Pour les fortes consommations, le raccordement au réseau est indispensable, cette installation permet de minimiser le nombre des batteries d'un côté et de minimiser le coût d'un autre côté.

Références Bibliographique

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] H. MAHIEU, «Physiques des semi-conducteurs et composants électroniques », Masson 4 ème Edition, 1998.
- [2] M. GARCIA, « Outils d'évaluation technico-économique et d'aide à la conception des centrales solaires thermodynamiques du futur », Thèse de l'Ingénieur en Sciences, spécialité, Energétique et Environnement, Université de Perpignan, (2007), pp. 235.
- [3] I. VISA et al, « One-DOF mechanisms for dual-axis solar tracking », In Proc of SYROM, Brasov, Romania, Springer Pub, (2014), pp 481-491.
- [4] L.MILOUDI, « Solar Tracking with Photovoltaic Panel», Energy Procedia, 2013.
- [5] M. BENCHERIF, « Modélisation de systèmes énergétiques photovoltaïques et éoliens intégration dans un système hybride basse tension », Thèse de Doctorat en Physique énergétique et matériaux, Université Abou- bekr BELKAID Tlemcen, 2012.
- [6] F. KININGER, « photovoltaic systems technology », university of kassel, 2003.
- [7] B. BELQASSIM et M. FILALI, « étude et réalisation d'un circuit de commande avec MPPT d'un hacheur pour système photovoltaïque ».
- [8] T. MARKVART et L. CASTANER, Practical Handbook of Photovoltaic Fundamentals and Applications Science, edition 2003.
- [9] X. DAGUENET et al, « Numerical investigation of an original concept of ceramic high temperature pressurized-air solar receiver », Proceedings of 16th SolarPACES International Symposium, Perpignan, France, (2010), pp21-24
- [10] F. COLLADO, J. GUALLAR, Design of solar power plants heliostat by heliostat: the blocking factor, Proceedings of 15th Solar PACES International Symposium, Berlin, Germany, (2009), pp 15-18
- [11] J. ROYER, T. DJIAKO, E. SCHILLER, B.S. SYLE, « pompage photovoltaïque », Éditions Multi Mondes Québec CANADA, PP29
- [12] Z. SEN, « Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques », Springer-Verlag London Limited, 2008, PP73, 74, 77, 87, 89
- [13] R. BERNARD, G. MENGUY, M. SCHWARTZ, «Le rayonnement solaire conversion thermique et applications », Technique et documentation Lavoisier, 2ème édition 1980.
- [14] M. ISLAM, K. AHAMMAD, T. PATHAN, « Analysis of Maximum Possible Utilization of Solar Radiation on a Solar Photovoltaic Cell with a Proposed Model », International Journal of Modeling and Optimization, 2011
- [15] P .STEPHANE, « Nouvelles Architectures Distribuées de Gestion et de Conversion de l'Energie pour les Applications Photovoltaïques », Thèse de Doctorat, Université Toulouse III - Paul Sabatier France, (2009).
- [16] A. MEFTI, M. Y BOUROUBI, H. MIMOUNI, Evaluation du potentiel énergétique solaire, Bulletin des Energies Renouvelables, N°2, P12, décembre 2002.

- [17] D. RÉAUX, « Cellules photovoltaïques à hétérojonctions de silicium (a-Si :H/c-Si) : modélisation des défauts et de la recombinaison à l'interface », thèse de Doctorat en physique, université de paris-saclay, 2017.
- [18] T. MAMBRINI, « Caractérisation de panneaux solaires photovoltaïques en conditions réelles d'implantation et en fonction des différentes technologies », thèse de doctorat en physique, université paris-sud, 2014.
- [19] H. ASSIA, « Modélisation du transfert radiatif dans les strates supérieures d'un module photovoltaïque », mémoire de master en Energétique et environnement, université de M'hamed Bougara Boumerdes, 2017.
- [20] H. KAMELIA, « Modélisation D'une Cellule Photovoltaïque Etude Comparative », mémoire de magister, UMMTO, 2012.
- [21] A. LABOURET et M. VILLOZ « Energie solaire photovoltaïque ». Edition Le moniteur, Dunod, 2ème Edition, 2005
- [22] R. ABDELHALIM, « Etude et régulation d'un circuit d'extraction de la puissance maximale d'un panneau solaire », Mémoire de magister en électrotechnique, Université Mentouri de Constantine, 2009.
- [23] M.G. VILLALVA, J.R. GAZOLI and E.R. FILHO, « Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays », IEEE Transaction on powr electronics, Vol.24, No 5, 1198-1208, May 2009.
- [24] A. BENHAMOU, « Optimisation d'un nouveau système de séchage solaire modulaire pour plantes aromatiques et médicinales », Thèse de doctorat, Université de Abou Bekr Bkaid Tlemcen, 2010.
- [25] B. HALOUMA, « Contribution à la modélisation du problème de Hot Spot dans les modules solaire Photovoltaïque occultées », Mémoire de magister en électrotechnique, Université Mentouri de Constantine, 2008.
- [26] B. Sidi Mohammed El Amine, « Modélisation du Comportement Thermique de Quelques Dispositifs Solaires », Thèse de doctorat en Physique, Université de Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2009.
- [27] M. CAPDEROU, Atlas solaire de l'Algérie, O.P.U, 1986.
- [28] Evaluation du potentiel énergétique solaire, article CDER, - N° 2 Décembre 2002.
- [29] B. SENOUCI, « Énergies renouvelables en Algérie », Fondation Friedrich Ebert, Algérie, 2012.
- [30] F. BENZAID, « Stratégie Nationale pour le développement des Energies Renouvelables », 7ème Salon International Electro-Automation & Energy, Direction des Energies Renouvelables et de la Maitrise de l'Energie, Alger, le 19 mai 2013.
- [31] S. POIGNANT, « l'énergie photovoltaïque », Rapport D'information, Assemblée Nationale Constitution du 4 Octobre 1958 Treizième Législature, 2009
- [32] M. TELIDJANE, « Modélisation des panneaux photovoltaïques et adaptation de la cyclostationnarité pour le diagnostic », Thèse de doctorat en spécialité traitement de signal, université de Jean Monnet Saint-Etienne, Lyon, 2017.

- [33] A.C. Pastor, « Conception et Réalisation de Modules Photovoltaïques Electroniques », Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, France, 2006.
- [34] M.L. LOUAZANE, « Contribution à l'optimisation des systèmes photovoltaïques utilisés pour l'irrigation dans les zones sahariennes – Application zone de Ouargla », Thèse de Doctorat en Sciences Maîtrise d'Energie, université el Hadj LAKHDAR Batna, 2015.
- [35] A. ADAINE, « Optimisation numérique de cellules solaires à très haut rendement à base d'InGaN », Thèse de doctorat en spécialité physique, Université de lorraine, 06 juillet 2018.
- [36] R. KHENFER, « Détection et isolation de défauts combinant des méthodes à base de données appliquées aux systèmes électro-énergétiques », Thèse de doctorat en science option automatique, Université FERHAT ABBES - SETIF 1, Algérie, 05 Mars 2015.
- [37] S. VIGHETTI, « Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau: Choix et dimensionnement des étages de conversion », Université de Grenoble, Génie Electrique 11 Octobre 2010.
- [38] Xuan-Linh DANG, « Contribution à l'étude des systèmes Photovoltaïque (PV)/Stockage distribués. Impact de leur intégration à un réseau fragile », Thèse de doctorat en Electrotechnique, L'école normale supérieur de Cachan, 26 May 2014.
- [39] A. LABOURET and M. VILLOZ, « Energie solaire photovoltaïque », 4ème édition, Dunod, October 2009.
- [40] A. Houari, « Contribution a l'étude de micro-réseaux autonomes alimentés par des sources photovoltaïques », Thèse de doctorat en électronique, université Lorraine, décembre 2012.
- [41] O. DARANFED, « Elaboration et caractérisation de couches absorbantes des cellules solaires en couches minces à base de Cu_2ZnSnS_4 », Thèse de Doctorat, Département de physique, Université Mentouri de Constantine 1, 2013.
- [42] A. LABOURET, M. VILLOZ, « Energie solaire photovoltaïque », Dunod, 3ème édition 2006.
- [43] M. BENHADDADI, G. OLIVIER, « Dilemmes Energétiques », Presses de l'Université du Québec PUQ, 2008.
- [44] J.F. REYNAUD, « Recherches d'optimums d'énergies pour charge/décharge d'une batterie à technologie avancée dédiée à des applications photovoltaïques », Thèse de doctorat en génie électrique, Délivré par l'Université Toulouse III – Paul Sabatier, Le 4 Janvier 2011.
- [45] L. ABBASSEN, « Etude de la connexion au réseau électrique d'une centrale photovoltaïque », Mémoire de Magister En Electrotechnique Option machines électriques, Université Mouloud Mammeri de Tizi-ouzou, 2011.
- [46] Z. MEZIANI, « modélisation de modules photovoltaïques », Mémoire de Magister Option Microélectronique, Université de Batna, 2012.
- [47] S. SILVESTRE, A. BORONAT ET A. CHOUDER, « Study of Bypass Diodes Configuration on PV Modules », Applied Energy, 2009.

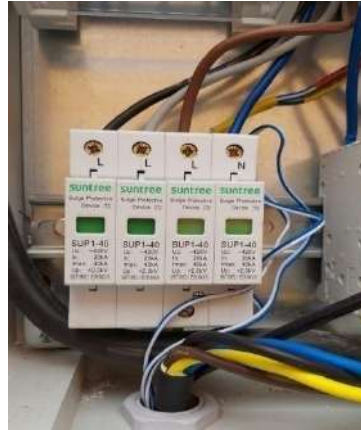
- [48] E.D. DORADO, A.S. GARCIA, C. CARRILLO et J. CIDRAS, « Influence of the Shadows in Photovoltaic Systems with different Configurations of Bypass Diodes », In International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, 2010.
- [49] L. BUN, « Détection et Localisation de Défauts pour un Système PV », Thèse de Doctorat, Laboratoire G2ELAB Université de Grenoble France, 2011.
- [50] A. EL-FERGANY, « Efficient Tool to Characterize Photovoltaic Generating Systems using Mine Blast Algorithm », Electric Power Components and Systems, 2015.
- [51] N. ACHAIBOU, « Introduction à l'Etude du Système de Stockage dans un Système Photovoltaïque », Rev. Energ. Ren : Valorisation 1999.
- [52] C.SEMASSOU, « AIDE A LA DECISION POUR LE CHOIX DE SITES ET SYSTEMES ENERGETIQUES ADAPTES AUX BESOINS DU BENIN », Thèse de doctorat en mécanique, Université de Bordeaux 1, France, 15 décembre 2011.
- [53] N. ACHAIBOU, A. MALEK, N. BACHA, « Modèle de vieillissement des batteries plomb acide dans l'installation PV ». N. spécial (CHEMSS), pp 61-66, 2000.
- [54] A. ZERGA, F. BENYAROU et B. BENYOUSEF, « Optimisation du rendement d'une cellule solaire NP au silicium monocristallin », Rev .Energ. Ren : physique Energétique, 1998, pp.95-100.
- [55] S. IAMARENE, « Dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour un site (BTS, BSC) du réseau télécom watania », Mémoire de master en électrotechnique, Université de Abderahmane MIRA BEJAIA, 2012.
- [56] Cours sonelgaz « l'énergie solaire photovoltaïque », documentation SKTM, Ghardaïa.
- [57] S. ABOUDA, « contribution a la commande des systèmes photovoltaïque : application aux systèmes de pompage », Thèse de doctorat en électrotechnique, université de Reims Champagne-Ardenne et l'Université de Sfax, le 14 avril 2015.
- [58] M.S. SAOUD, « Optimisation de la gestion de l'énergie photovoltaïque utilisée dans une zone agricole », Thèse de doctorat option automatique, Université BADJI MOKHTAR – annaba, 2017.
- [59] K. KASSMI, M. HAMDAOUI, et F. OLIVIE, « Conception et Modélisation d'un Système Photovoltaïque Adapté par une Commande MPPT Analogique », Revue des Energies Renouvelables, Vol.10, N°4, pp. 451 - 462, 2007.
- [60] H. YOTTO, « Etude et conception d'une mini centrale PV », Mémoire de master, IE Bénin, 2011.
- [61] G. CHATEIGNER, M. BOES, « Manuel de génie électrique », Dunod, 2007.
- [62] S. BELAKEHAL, « Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables », Thèse de Doctorat en sciences, Université de Constantine, 2010.

- [63] W. BOUCHERITTE, « Convertisseurs multi-niveaux dans les systèmes PV Connectés au réseau », Mémoire de Magister en Electrotechnique, Option Energies renouvelables, Université Mohamed KHIDER, Biskra, 2013.
- [64] F. SCHIMPF et L.E. NORUM, « Grid Connected Converters for Photovoltaic », State of the Art, Ideas for Improvement of Transformer less Inverters. In Proceedings of Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics, 2008, page 6.
- [65] R. LARONDE, « Fiabilité et durabilité d'un système complexe dédié aux énergies renouvelables Application à un système photovoltaïque », Thèse de doctorat en Sciences de l'ingénieur, Université angers, 30 septembre 2011.
- [66] R. MECHOUMA, « Contribution à l'étude des onduleurs dans les systèmes photovoltaïques : Application pour les charges commerciales », Thèse de doctorat, Université HADJ LAKHDAR–Batna, Mars 2015.
- [67] G. Olivier, « Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur », Thèse de doctorat en Electrotechnique de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, 2002.
- [68] M. BELHADJ, « Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome », Mémoire de Magister option Microélectronique Photovoltaïque, Université de Bechar, 2008.
- [69] Y. THIAUX, « Optimisation des profils de consommation pour minimiser les coûts économique et énergétique sur cycle de vie des systèmes photovoltaïques autonomes et hybrides. Evaluation du potentiel de la technologie Li-ion ». Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure de Cachan, juillet 2010
- [70] R. TCHUIDIAN et M.J. TCHANA NKOUIMI, « Outil d'aide au dimensionnement des systèmes photovoltaïques domestiques », Revue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°3 (2009), p 523- 532.
- [71] C. ADEDJOUMON, « Projet solaire photovoltaïque viable en milieu rural », juin 2009.
- [72] E. FABRIZIO, « Modélisation des systèmes multi énergies dans les bâtiments », Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, juillet 2008.
- [73] A. CHARIK, « Détermination de l'angle optimal d'inclinaison de capteur solaire à M'Sila », Mémoire de master Option Energétique, Université de M'sila, 2016.
- [74] T. BEN KHEMMOU, « Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque intégrée au bâtiment : Cas d'un laboratoire au CDER », Mémoire de master Spécialité Réseaux électriques, Université mouloud MAMMARI de TIZI-OUZOU, 28 septembre 2014.
- [75] FOGELMAN et R. MONTLOIN, « Installations Photovoltaïques dans l'habitat isolé », livre édité par EDISUD, 1983.
- [76] D.THEVENARD, G.LENG, S.M. ARTEL, « The RETScreen model for assessing potential PV project » PV Horizon: Workshop on photovoltaic hybrid systems, Montreal, 10 September 2001.

- [77] F. Trahi, « Prédiction de l'irradiation solaire globale pour la région de Tizi-Ouzou par les réseaux de neurones artificiels. Application pour le dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour l'alimentation du laboratoire de recherche LAMPA », Mémoire de magister, UMMTO, 2011.
- [78] S. BRIGAND « Installations Solaires Photovoltaïque (dimensionnement de l'installation et mise en œuvre maintenance) », février 2011.
- [79] Energie solidaires, « Dimensionnement d'une installation solaire autonome en site isolé », DOSSIER THEMATIQUE - Courrier ES n°05, Janvier 2001.
- [80] Manuel d'utilisation, « SUN2000-(12KTL, 15KTL, 17KTL, 20KTL)-M0 », HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD, Édition 05, 11 décembre 2019.
- [81] A. ZIDANE, « Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque au niveau d'un puits de gaz » Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira de Bejaïa, Juin 2012.
- [82] D. MAZILLE, V. BOITIER, Documentation pour l'utilisation du logicielPV SystV5.(webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://vinc
ent.boit
ier.free.fr/photovoltaïque/Notice%2520PV%2520Syst/notice_PVSyst.pdf).
- [83] C. ROECKER, J. BONVIN, PVSYST. 3.0 Ergonomie et fonctionnalité, Rapport final DIS 21280 / 65847, Université de Genève, (Octobre 2000).
- [84] S. MOUHOUS CHAOUCHI, « Etude statistique du rayonnement solaire sur un plan incliné », thèse de magister, Université Abou Bekr Belkaid, 2012.

Annexe

Annexe 1 : appareillage d'armoire de protection



Annexe 2 : Fixation les supports des panneaux



Annexe 3 : appareils de mesures utilisées



Etude d'une installation photovoltaïque pour une habitation domestique

Résumé : Le développement et l'exploitation des énergies renouvelables ont connu une forte croissance ces dernières années.

L'énergie solaire constitue la ressource énergétique la mieux partagée sur la terre et la plus abondante, une partie de cette énergie peut être exploitée pour produire directement de la chaleur (solaire thermique) ou de l'électricité (solaire photovoltaïque). Le soleil est une source d'énergie naturelle, gratuite et non polluante.

Dans ce mémoire, nous proposons le dimensionnement d'un système photovoltaïque pour alimenter l'école primaire «HAMRAYAT» à la wilaya de Ghardaia dans la commune EL'Attef. Cette étude est réalisée par l'utilisation de logiciel PVsyst de dimensionnement des installations photovoltaïques. On prend en considération la variété des équipements solaires intervenant dans ces installations tels que les panneaux solaires, les batteries solaires d'une part et les conditions météorologiques des sites d'installation (rayonnement et température) d'autre part.

Mot clés : l'énergie solaire, installation photovoltaïque, dimensionnement.

ملخص

شهد تطوير واستغلال مصادر الطاقات المتجددة نموًا قويًا في السنوات الأخيرة. حيث يمثل الإشعاع الشمسي أفضل مصدر طاقة مشترك على الأرض والأكثر وفرة، ويمكن تسخير جزء من هذا الإشعاع لإنتاج الحرارة (الطاقة الحرارية الشمسية) أو الكهرباء (الطاقة الشمسية الكهروضوئية)، كما تعتبر الشمس مصدر طبيعي للطاقة وغير ملوث. في هذه الدراسة، اقترحنا تحديد حجم النظام الكهروضوئي لتزويد المدرسة الابتدائية في ولاية غرداية ببلدية العطف. هذه الدراسة حققت باستخدام برنامج PVsyst لتحجيم أبعاد التركيبات الكهروضوئية. يتم تحديد والنظر في مختلف المعدات الشمسية المكونة لهذا التركيب مثل الألواح الشمسية والبطاريات الشمسية من ناحية والظروف الجوية لمواقع التركيب (الإشعاع ودرجة الحرارة) من ناحية أخرى.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الشمسية، التركيب الكهروضوئي، التحجيم.

Study of a photovoltaic installation for a domestic dwelling

Abstract: The development and exploitation of renewable energies have experienced strong growth in recent years.

Solar energy is the best shared energy resource on earth and the most abundant, part of this energy can be harnessed to directly produce heat (solar thermal) or electricity (solar photovoltaic). The sun is a natural, free and non-polluting source of energy.

In this brief, we propose the sizing of a photovoltaic system to supply the "HAMRAYAT" primary school in the wilaya of Ghardaia in the municipality of EL'Attef. This study is carried out using PVsyst software for dimensioning photovoltaic installations. Consideration is given to the variety of solar equipment involved in these installations such as solar panels, solar batteries on the one hand and the weather conditions of the installation sites (radiation and temperature) on the other.

Keywords: solar energy, photovoltaic installation, sizing.