



République Populaire Démocratique Algérienne
Université Saad DAHLAB, BLIDA 1
Faculté de Technologie
Département des Énergies Renouvelables



Mémoire
MASTER ACADEMIQUE
Domaine
Sciences et technologies
Filière
Energies renouvelables
Spécialité
Conversion Photovoltaïque

Thème

**Etude et réalisation d'une installation PV
off-grid de 2.7 kWc**

Présenté par :

- M. LAZIZ Ayoub
- M. BOUTALEB Walid

Soutenu devant le jury composé par :

M ^{me} B.AMROUCHE	MCA	USDB	Président
M. M. OUALI	MRB	UDES	Encadreur
M.M.M. BOUZAKI	MCB	USDB	Examineur
M. A. BENAHMED	MCB	USDB	Examineur
M ^{me} R. BELLATRECHE	MAA	USDB	Co-Encadreur

06 Juillet 2022

ملخص :

من بين أنواع الأنظمة الكهروضوئية لدينا النظام الكهروضوئي خارج الشبكة منشأة غير متصلة بشبكة الكهرباء. هذا يعني أن كل الطاقة المنتجة يتم تخزينها واستخدامها في الموقع. بشكل أساسي. في هذا العمل الذي تم تنفيذه على مستوى فرقة التبريد والتكييف بواسطة الطاقة الكهربائية المتجددة (FCEER) / قسم التبريد ومعالجة المياه بالطاقات المتجددة (FTEER) بوحدة تطوير المعدات الشمسية UDES، بو إسماعيل، تيبازة عرضنا في هذا العمل إنشاء تركيب كهروضوئي بقوة 2.7 كيلواط ونتائج دراسة تجريبية على أداء الطاقة لهذا التثبيت. يتضمن الأخير أبعادًا تحليلية وعددية للتركيب الكهروضوئي. الطريقة المتبعة لإنشاء المحطة الشمسية المستقلة كانت جد مفيدة من أجل تحسين أدائها، سيسمح التحليل الموسع بتوصيف محدد للتركيب من أجل استخدامه لأنظمة تكييف الهواء.

الكلمات الدالة : الكهروضوئية، الشبكة، الطاقة، التركيب، الشمسية، المستقلة.

Résumé :

Parmi les types de systèmes PV, on a le système photovoltaïque autonome désigne une installation qui n'est pas connectée au réseau électrique. Dans ce travail, réalisé au niveau de l'équipe Froid et Climatisation par Energie Electrique d'origine Renouvelable (FCEER)/la division Froid et Traitement d'eau par Energies Renouvelables (FTEER) de l'unité de développement des équipements renouvelables UDES, Bou Ismail-Tipasa, nous présentons la réalisation d'une installation PV de 2.7 kWc et les résultats d'une étude expérimentale sur les performances énergétiques de cette installation. Cette dernière comporte un dimensionnement analytique et numérique de l'installation PV. la méthodologie suivie dans l'implémentation de l'installation autonome était très bénéfique et cruciale pour l'optimisation des performances. Une analyse étendue permettra une caractérisation spécifique de l'installation afin d'être exploitée pour les systèmes de climatisation.

Le mot clés: Photovoltaïque, Réseau, Energie, Installation, Solaire, Autonome.

Abstract:

Among the types of PV systems, we have the off-grid photovoltaic system, which is an installation that is not connected to the electrical grid. In this work, carried out at the level of the team Refrigeration and Air Conditioning by Electrical Energy of Renewable Origin (FCEER)/the division Refrigeration and Water Treatment by Renewable Energies (FTEER) of the unit of development of the solar equipments UDES, Bou Ismail, Tipasa, we present the realization of a PV installation of 2.7 kWp and the results of an experimental study on the energetic performance of this installation. The latter includes an analytical and numerical dimensioning of the PV installation. The methodology followed in the implementation of the stand-alone system was very beneficial and crucial for performance optimization. An extended analysis will allow a specific characterization of the installation to be exploited for air conditioning systems

Keywords: Photovoltaic, Grid, Energy, Installation, Solar, Off grid.

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail à :
Nos très Chers parents, pour leurs sacrifices, et qui n'ont jamais
cessé de nous encourager,
Que Dieu nous les gardes.
A qui nous adressons nos vœux les plus ardents de santé et de
longue vie.
A nos Chères frères et sœurs en particulier

Ayoub LAZIZ & Walid BOUTALEB

Remerciements

Nous remercions ALLAH, le Tout Puissant, le Miséricordieux, de nous avoir guidés sur le chemin de la lumière et du savoir durant nos années d'études.

Nous remercions l'ensemble du Jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre modeste travail.

C'est avec un grand plaisir, que nous adressons nos sincères remerciements à notre encadreur Dr. Maamar OUALI pour sa supervision, ses conseils, et son assistance durant ce travail.

Nous remercions également à Mme R. OUALI pour son aide et encouragement.

Nous remercions également à Mr. Djebirat qui nous a aidé à terminer notre projet et aussi pour son encouragement et ses conseils

Nous remercions sincèrement tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui ont fait face à leurs réflexions avec leurs paroles, écrits, conseils et critiques et ont accepté de nous rencontrer et de répondre à nos questions durant notre cursus.

Nous remercions nos parents, nos familles qui ont toujours été à nos côtés.

Nous remercions nos amis de l'université Saad Dahleb BLIDA1.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet en particulier le Dr. Mohamed DJEBIRET Directeur de la Division FTEER/UDES pour le soutien qu'il nous a apporté...

Merci à Tous...

Nomenclature :

UDES : Unité de développement des équipements solaires

PFE : Projet de fin d'étude

FCEEOR : Froid climatisation énergies renouvelables origines renouvelables

FTEER : Froid et traitement d'eau par énergie électrique

PV : Photovoltaïque

SPPV : Système des panneaux photovoltaïques

RSM : La méthodologie de la surface de réponse

PVPS : Photovoltaïque power système

SAPV : Stand Alone photovoltaïque

GH : Gisement horizontale

GHM : Gisement horizontale moyenne

P : Puissance

E_j : Energie journalière

T : Temps

P_c : La puissance crête

C : La capacité de batterie

N_j : L'autonomie

D : Décharge maximale

V : Tension

Sommaire

Résumé	
Dédicace	
Remerciements	
Nomenclature	
Sommaire	
Liste des Figures	
Liste des Tableaux	
Introduction Générale	1
Chapitre 1 : Présentation de l'UDES & Généralités & Bibliographie	3
I.1.Introduction	4
I.2. Présentation de l'UDES	4
I.2.1. Définition	4
I.2.2. Les missions de l'UDES	4
I.2.3 Les différentes divisions et équipes de l'UDES	5
I.2.3.1. La division EER	5
I.2.3.2. La division FTEER	7
I.3. Spectre et rayonnement solaire	8
I.3.1. Rayonnement solaire direct	9
I.3.2. Rayonnement solaire diffus	9
I.3.3. Rayonnement solaire réfléchi	9
I.3.4. Rayonnement solaire global	10
I.4. Potentiel du gisement solaire en Algérie	10
I.5. Energie Photovoltaïque	10
I.5.1. Effet Photovoltaïque	11
I.5.2. Différentes technologies des cellules solaires	11
I.5.3. Module Photovoltaïque	12
I.5.4. Installations photovoltaïque	14
I.5.5. Système de stockage	15
I.5.6. Système de conversion	17
I.5.7. Système de régulation	19
I.6. Avantages et inconvénients d'une installation photovoltaïque	20
I.6.1. Avantages des installations PV	20
I.6.2. Inconvénients des installations PV	20
I.7. Revue bibliographique	21
I.8 Conclusion	25
Chapitre 2 : Dimensionnement d'une installation photovoltaïque	27
II.1. Introduction	27
II.2. Objectif du dimensionnement	27
II.3. Méthodes de dimensionnement PV	27
II.4. Définition des besoins électriques	27

II.5. Régions d'implantation de l'installation PV	28
II.5.1. Région côtière	28
II.5.2. Principaux massifs	28
II.5.3. Le Sahara	28
II.6. Dimensionnement d'une installation PV Off-Grid pour les trois régions	29
II.6.1. Dimensionnement théorique	29
II.6.2. Dimensionnement numérique	33
II.7. Conclusion	42
Chapitre 3 Réalisation et étude des performances d'une installation PV Off-Grid	44
II.1. Introduction	44
II.2. Conception et Réalisation	44
II.2.1. Conception de l'installation photovoltaïque	44
II.2.2. Structures, équipements et implémentation	45
II.2.3. Influence de la température	50
II.3. Caractérisation des Performances de l'installation Photovoltaïque	51
II.3.1. Paramètres d'influences et Acquisition	51
II.3.2. Mesure des paramètres électrique	52
II.3.3. Caractérisation de l'installation Photovoltaïque	54
II.4. Conclusion	58
Conclusion générale	60
Références bibliographiques	61

Liste des Figures

Figure I.1 : L'unité de développement des équipements solaire UDES	4
Figure I.2 : Les divisions et les équipes d'UDES	4
Figure I.3 : Spectre du rayonnement solaire	8
Figure I.4 : Rayonnements Solaires	9
Figure I.5 : Potentiel du gisement solaire en Algérie	10
Figure I.6 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	11
Figure I.7 : Première technologie de cellules photovoltaïques	12
Figure I.8 : Nouvelle génération des cellules photovoltaïques	12
Figure I.9 : Module photovoltaïque monocristallin	12
Figure I.10 : Caractéristique I-V et la caractéristique P-V	13
Figure I.11 : Systèmes autonomes (Off-Grid)	14
Figure I.12 : Système photovoltaïque connecté au réseau	14
Figure I.13 : Systèmes photovoltaïques hybrides	15
Figure I.14: Batteries lithium-ion	16
Figure I.15: Batteries Nickel cadmium	17
Figure I.16 : Types des batteries Plomb Acide	17
Figure I.17 : Symbole d'un convertisseur (onduleur) DC/AC	18
Figure I.18 : Schéma de principe d'un Onduleur en demi-pont	18
Figure I.19 : Schéma de principe d'un Onduleur en pont H	18
Figure I.20 : Symbole d'un convertisseur DC/DC	19
Figure I.21 : Régulateur de charge photovoltaïque PWM, MPPT	19
Figure I.22 : Caractéristiques I(V), P(V) des modules photovoltaïques	21
Figure I.23 : Puissance de la charge et l'éclairement solaire	22
Figure I.24 : Puissance en fonction de l'irradiation et de la température technologie PV amorphes	24
Figure.II.1.a : Configuration de l'installation PV Régulateur PWM	31
Figure.II.2.b : Configuration de l'installation PV Régulateur MPPT	32
Figure.II.3 : Fenêtre d'accueil du logiciel numérique PVSYST version 7.2	35
Figure.II.4 : Informations du projet	35
Figure.II.5 : Choix et introduction du site d'implantation	36
Figure.II.6 : Paramètres météorologiques du site de Bou-Ismaïl	36
Figure.II.7 : Besoins électrique	37
Figure.II.8 : Distribution horaire	38
Figure.II.9 : Orientation du panneau (Azimut et Inclinaison)	38
Figure.II.10 : Choix et schéma d'assemblage des batteries	39
Figure.II.11 : Définition des modules PV	40
Figure.II.12 : Définition du système de régulation	40
Figure.II.13 : Schéma simplifié de l'installation PV	41
Figure.II.14 : Résultats de la simulation	41
Figure.III.1: Schema d'installation PV Off-Grid	44
Figure III.2. Estimations mensuelles de l'irradiation solaire à Bou Ismaïl	45
Figure.III.3 : Structure métallique et modules PV installés avec plaque signalétique	45
Figure.III.4 : Angle d'inclinaison des modules	46

Figure.III.5 : Champ Photovoltaïque UDES/Bou-Ismaïl, Tipaza, orientation et espacement	47
Figure.III.6 : Régulateur de charge MPPT	47
Figure.III.7 : Onduleur DC/AC 2kW et Batterie solaire	48
Figure.III.8 : Assemblage de l'armoire électrique de contrôle	49
Figure.III.9 : Câblages des panneaux PV	50
Figure.III.10 : Association des batteries solaire	50
Figure.III.11 : Emplacement des thermocouples avec et sans isolation	51
Figure.III.12 : Data-logger et camera thermique	51
Figure.III.13 : Software de contrôle et d'acquisition Solar Station Monitor V1.95	52
Figure.III.14 : logiciel d'acquisition et d'analyse des températures <i>Testo-Comsoft-Software</i> version 5.6	52
Figure III.15 : Interface de logiciel solar station	53
Figure.III.16 : La courbe de courant en temps réel	53
Figure.III.17 : La courbe de tension en temps réel	54
Figure.III.18 : La courbe de puissance en temps réel	54
Figure.III.19 : I-V Tracer avec le pyranomètre60	55
Figure.III.20 : Caractéristique I-V de trois strings	56
Figure.III.21 : Caractéristique P-V de trois strings	57
Figure.III.22 : dissipation thermique au niveau de l'armoire de contrôle de l'installation PV57	
Figure.III.23 : Températures du champ photovoltaïque (Camera thermique)	58
Figure.III.24 : Evolution des températures des modules PV durant les 24h	58

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Répartition du rayonnement solaire à limite supérieure de l'atmosphère	8
Tableau I.2: Répartition du rayonnement solaire à la surface de la terre	9
Tableau I.3 : Potentiel du gisement solaire de l'Algérie	10
Tableau II.1 : Irradiation journalière pour les trois régions d'Algérie	28
Tableau II.2 : Charges électriques	29
Tableau II.3 : Besoins d'énergie journalière pour notre système	30
Tableau II.4 : Caractéristiques des modules PV	30
Tableau II.5 : Détermination de la tension du système	30
Tableau II.6 : Caractéristiques de système PV pour la région côtière de l'Algérie	33
Tableau II.7 : Caractéristiques de système PV pour la région hauts plateaux et Sahara	33
Tableau II.8 : Coordonnées géographiques de (Bou Ismaïl, Sétif, Tamanrasset)	34
Tableau II.9 : Paramètres météorologiques di site de Bou-Ismaïl	37
Tableau II.10 : Résultats de PVSYST pour les trois sites, Bou-Ismaïl, Sétif et Tamanrasset	42
Tableau III.1 : Gisement solaire	45
Tableau III.2 : Caractéristiques technique du régulateur	48
Tableau III. : Caractéristiques de trois chaines	55

Introduction Générale

Introduction Générale

Les générations futures feront face à deux défis majeurs énergie et environnement la demande mondiale de l'énergie augmente continuellement en raison de la croissance de la population mondiale et du développement économique associé. Cette augmentation s'accompagne d'une diminution des réserves naturelles, avec un impact négatif sur l'environnement impliquant une élévation significative de la moyenne mondiale des températures (Réchauffement climatique).

L'énergie solaire photovoltaïque est une source énergétique renouvelable, propre, illimitée et sûre, elle représente une alternative énergétique viable pour la production d'électricité. Avec un potentiel énergétique important à l'échelle des activités humaines sur l'ensemble du globe. l'électricité d'origine photovoltaïque présente une solution future bon marché et durable comparait aux énergies fossiles (pétrole, gaz et charbon). Toutefois, l'intermittence du solaire photovoltaïque (jour/nuit, faible irradiation,...) implique l'obligation d'intégrer des systèmes de stockage d'énergie (chimique, thermique ou hydraulique) pour contribuer à l'amélioration des performances des installations PV et assurer une alimentation électrique continue et stable aux consommateurs.

L'Algérie possède un gisement solaire parmi les plus élevés dans le monde, la durée moyenne d'ensoleillement dans le Sud algérien (Sahara) est de 3500 heures, ce potentiel peut constituer un facteur important de développement durable dans cette région. L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m^2 est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de $1700 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$ au Nord et $2263 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$ au sud du pays[1].

Notre travail vise à implémenter et caractériser une installation solaire photovoltaïque hors réseau (Off-Grid) avec stockage par batterie solaire au niveau du site de Bou-Ismaïl, Tipaza. Ce travail s'appuie sur un pré-dimensionnement et conception de l'installation par méthode analytique et numérique. L'étude est accompagnée par une simulation d'implantation de la station solaire sous différents climat algérien.

la réalisation de notre projet de fin d'étude PFE a été effectuée au niveau de l'Unité de Développement des Equipements Solaire UDES, Bou Ismail, Tipasa au Laboratoire Froid et Climatisation par Energies Electrique d'Origine Renouvelable (FCEEOR) de Division de Froid et Traitement d'Eau par Energies Renouvelables (FTEER). Le manuscrit comprend trois chapitres :

le premier chapitre, traite dans une première étape l'aspect du rayonnement et du gisement solaire, et spécialement du potentiel solaire de l'Algérie. Dans une deuxième étape, on aborde les différentes technologies de cellules solaires, ainsi que les types et configuration des installations photovoltaïques. Enfin, on termine par une revue bibliographique sur les installations Off-grid.

le deuxième chapitre a pour objectif d'une part, le pré-dimensionnement d'une installation Off-grid au niveau du site de l'UDES, Bou-Ismaïl/ Tipaza (région côtière) via deux méthodes de dimensionnements PV analytique et numérique. D'autre part, d'effectuer une étude numérique comparative avec les régions des hauts plateaux et du Sahara par le logiciel PVSYST.

Enfin, le troisième chapitre porte dans une première étape sur la conception et la réalisation d'une installation PV Off-grid de 2700Wc. On procède au choix des équipements selon la disponibilité suivi par la réalisation et l'implémentation des différents éléments sur site. Dans une seconde étape, on effectue l'acquisition des données et la caractérisation des performances énergétiques de l'installation ; courbe I (V) courbe P(V), ainsi que la répartition du champ thermique au niveau des modules PV et de l'armoire du contrôle.

L'ensemble des résultats obtenus, aussi bien qualitatifs que quantitatifs, seront enfin résumés dans le cadre d'une conclusion générale.

Chapitre 01

Généralités & Bibliographie

Chapitre 01

Présentation d'UDES & Généralités & Bibliographie

I.1. Introduction :

L'énergie solaire est l'une des sources d'énergie propres et renouvelables les plus utilisées. Elle est produite à partir des technologies photovoltaïques (lumière) ou thermiques (chaleur). L'énergie solaire a connu une avance considérable ces dernières années en raison de sa facilité d'utilisation, sa disponibilité et son prix, et particulièrement la branche photovoltaïque. Le présent chapitre, traite dans une première étape l'aspect du rayonnement et du gisement solaire, et spécialement du potentiel solaire de l'Algérie. Dans une deuxième étape on aborde les différentes technologies de cellules solaires, ainsi que les types et configurations des installations photovoltaïques. Enfin, on termine par une revue bibliographique sur les installations Off-grid.

I.2. Présentation d'UDES :

I.2.1. Définition :

L'Unité De Développement Des Equipements Solaires a été Créée par Arrêté N° 008 Du 9 Janvier 1988 de La Présidence de La République (Journal Officiel N°06 Du 10 Février 1988). Depuis Le 05 Décembre 2007, date de publication De l'arrêté ministériel portant création des entreprises publiques à caractère scientifique et technique, L'UDES a été intégrée dans L'EPST Centre De Développement Des Energies Renouvelables.



Figure I.1. L'unité de développement des équipements solaire UDES

I.2.2. Les Missions de L'UDES :

- Réaliser des travaux de conception, de dimensionnement et d'optimisation des équipements en énergies renouvelables pour la production de la chaleur, l'électricité, le froid et le traitement des eaux ;
- Mettre en œuvre toutes études et recherches de développement de procédés technologiques de fabrication de prototypes, équipements et des préséries ;
- Etablir des études technico-économiques, d'engineering pour mettre en place des installations pilotes en vue d'assurer le transfert et la maîtrise de nouvelles technologies ;
- Mettre en place les techniques de caractérisation, de tests, de contrôles qualité et de conformité, en vue d'assurer la qualification, l'homologation et la certification des équipements développés.

I.2.3. Les différentes divisions et équipes de l'UDES :

L'organigramme suivant montre la structure et les différentes divisions et les équipes de l'unité de développement des équipements solaire UDES :

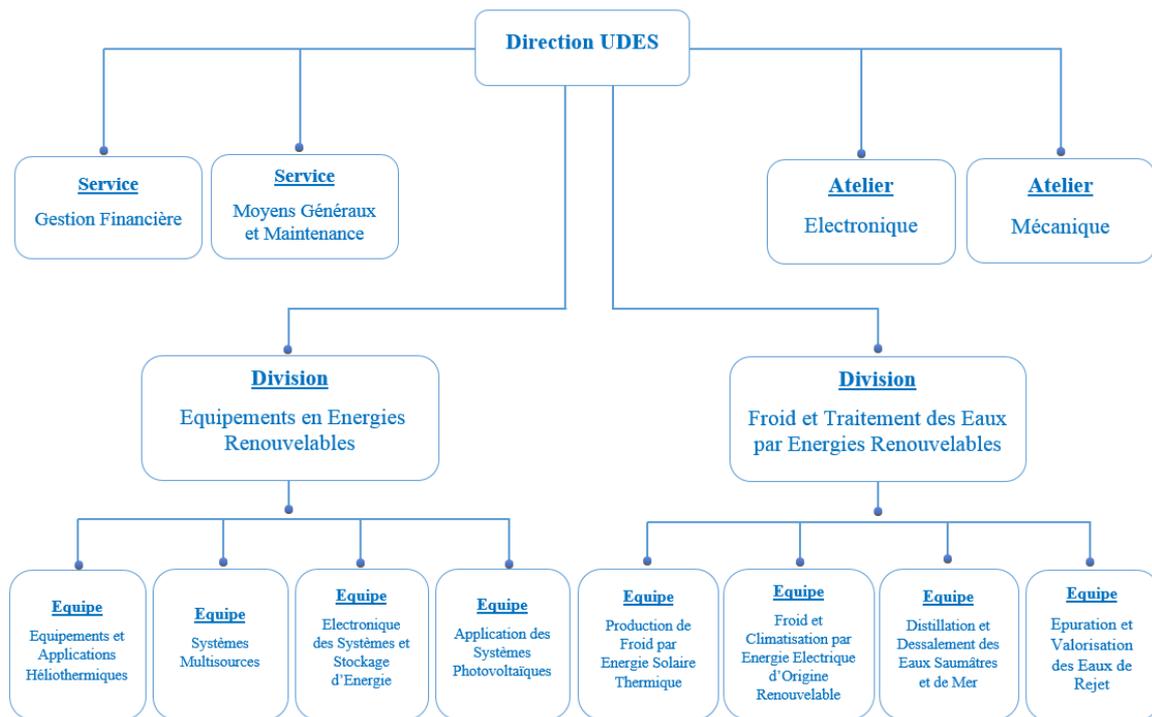


Figure I.2. Les divisions et les équipes d'UDES

I.2.3.1. La Division EER :

a) Définition :

La Division Équipements à Énergie Renouvelable (EER), structure de Recherche et de développement (R&D) de l'Unité de Développement des Équipements solaires, a été créée en

2005 ex. Division photovoltaïque. Notre Division de R&D pluridisciplinaires, développe tout prototype d'équipement et de système fonctionne principalement à base de l'énergie solaire et d'autres énergies renouvelables. Particulièrement des prototypes des systèmes photovoltaïques autonomes et raccordés au réseau, systèmes hybrides et multi sources, systèmes solaire thermique (à concentration, capteurs solaires thermique,...etc.), l'électronique des systèmes et commande (onduleurs, régulateurs,...etc.), les différentes techniques de stockage d'énergie et aussi l'élaboration d'outils numériques qui aide à la décision.

b) Missions :

La Division Équipements à Énergie Renouvelable (EER), est chargée de la R&D et la mise en œuvre des prototypes d'équipements relatifs à l'exploitation et l'utilisation des énergies renouvelables, particulièrement l'énergie solaire.

c) Objectifs :

- La Division EER s'est fixée pour objectifs de contribuer à la réussite des programmes nationaux de recherche et de développement de la DGRSDT, des programmes des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique de l'état, par le bais de développement des prototypes des équipements qui contribuent au croissance de l'industrie nationales, assurant certains taux d'intégration des produit nationaux et de minimiser la facture d'importation des équipements et des coûts des études et des expertises dans le domaine des énergies renouvelables.
- Maîtrises des systèmes à énergies renouvelables qui contribuent aussi au développement des zones rurales éloignés ou difficiles d'accès au réseau électrique, et améliorer les conditions de vie des citoyens Algériens.
- Contribuer aux différentes formations et encadrement dans le domaine des énergies renouvelables (formation des installateurs, des universitaires, graduation, des doctorants et des chercheurs).
- Valorisation et dissémination des résultats de recherche dans le domaine.

d) Expertise/prestation de service de la division EER :

- Formations sur les installations photovoltaïques autonomes,
- Formations sur le chauffe-eau solaire,
- Formation Logiciel COMSOL multi-physics,
- Caractérisation thermique des capteurs solaires (photovoltaïque et thermique),
- Formation sur l'Énergie Eolienne,
- Formation LabVIEW et l'acquisition en temps réel des données,
- Formation sur l'Intelligence Artificielle appliqué dans le domaine des énergies renouvelables,
- Dimensionnement des systèmes PV (PV-Syst),
- Dimensionnement des systèmes Hybrides (Homer),
- Mesure le spectre lumineux de 360 à 780 nm,
- Tests expérimentaux des onduleurs photovoltaïques raccordés au réseau,
- Formation sur les installations du pompage Solaire,
- Etude et Dimensionnement des systèmes PV raccordés au réseau,
- Diagnostic et maintenance des systèmes photovoltaïques,
- Caractérisation des cellules et modules photovoltaïques,

- Formation en SolidWorks,
- Formation en séchage solaire,
- Simulation SILVACO des structures photoniques et microélectroniques innovantes.

e) Plateforme et bancs d'essai de la Division EER :

- Plateforme maison solaire intelligent,
- Plateforme de test des différentes technologies photovoltaïques raccordées au réseau,
- Plateforme de test des systèmes multi-sources
- Plateforme de séchage solaire des produits agricoles,
- Plateforme éducative destinée aux élèves des écoles et des lycéens,
- Banc d'essai traqueur solaire PV à concentration,
- Banc d'essai de test des cellules et modules PV,
- Banc d'essai de caractérisation des onduleurs connectés au réseau,
- Banc d'essai de pompage PV de l'eau,
- Banc d'essai des onduleurs de pompage PV,
- Banc d'essai simulateur solaire indoor.

I.2.3.2. Division de FTEER :

a) Définition :

La division froid et traitement des eaux par énergies renouvelables a comme objectif d'utiliser les énergies renouvelables en général et l'énergie solaire en particulier dans le domaine de la production de froid domestique et industriel, le traitement des eaux de rejets et traitement des eaux de mer et les eaux saumâtres. Ces domaines sont intégrés dans différents secteurs tels que l'agriculture, l'habitat, l'industrie et la santé, afin de rationaliser et optimiser l'énergie ainsi que la réutilisation des eaux traitées.

b) Axes de recherches de la Division FTEER :

- Rationalisation et optimisation de l'énergie pour la réfrigération et la climatisation dans le domaine de l'habitat,
- Intégration du froid d'origine thermique dans le bâtiment,
- Développement des systèmes de production du froid solaire pour l'entreposage et la conservation des produits agro-alimentaires, pharmaceutiques et vaccins,
- Développement des systèmes de Dessalement et distillation de l'eau de mer et des eaux saumâtres par l'intégration des énergies renouvelables et de l'intelligence artificielle,
- Concevoir, dimensionner, étudier et optimiser le fonctionnement des procédés propres pour le traitement de l'eau par l'intégration de l'énergie solaire.

c) Types des projets de recherche développés au sein de la division FTEER :

- Projets à impacts socio-économique
- Projets internes Epst CDER
- Projets internationales
- Projets en collaboration avec les universités nationales dans le cadre des formations

d) Expertise/prestation de service de la division FTEER :

- Prototypage des systèmes de production du froid et climatisation par énergie solaire thermique: Etude, conception et réalisation.
- Formation sur les Techniques Expérimentales, Mesures et Acquisitions dans le domaine de la Réfrigération et Climatisation Solaire
- Formation sur l'Initiation à la Modélisation et à la simulation numérique. CFD et Bond-Graph
- Formation sur l'élaboration des membranes organiques utilisées pour le traitement des eaux
- Formation sur les systèmes de dessalement des eaux par séparation membranaire couplée à l'énergie solaire photovoltaïque
- Formation sur le Dessalement solaire des eaux par procédé thermique et réalisation de prototypes
- Synthèse des matériaux / Calcination
- Formation dans le domaine de l'épuration des eaux usées en utilisant différents procédés d'épuration par énergies renouvelables[2]

I.3. Spectre et rayonnement solaire :

Le spectre du rayonnement solaire est proche de celui d'un corps noir dont la température est d'environ 5800 K. La moitié du spectre du rayonnement solaire se situe dans la partie visible à ondes courtes du spectre électromagnétique (Figure I.3). L'autre moitié se situe principalement dans la partie proche de l'infrarouge, avec une partie dans la zone ultraviolette du spectre (Tableau I.1) [3].

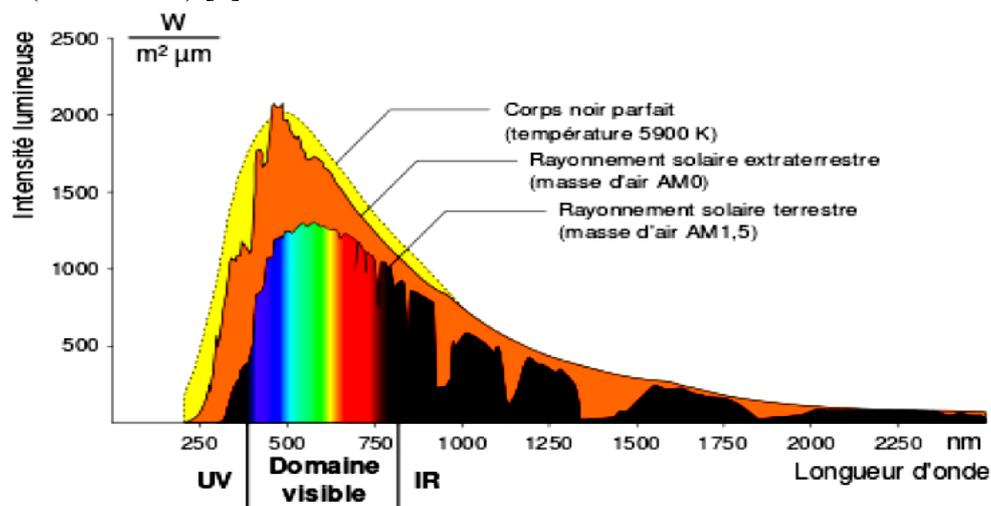


Figure I.3 : Spectre du rayonnement solaire

La répartition en (%) de la longueur d'onde du spectre du rayonnement solaire à la limite supérieure de l'atmosphère est décrite dans le tableau I.1

Tableau I.1: Répartition du rayonnement solaire à limite supérieure de l'atmosphère[4]

Répartition (%)	Longueur d'onde λ (nm)	Lumière
9	$\lambda < 400$	Ultraviolet
47	$400 < \lambda < 800$	Visible
44	$800 < \lambda < 3.000$	Infrarouge proche

Cependant, à la surface de la terre, la nouvelle répartition du spectre du rayonnement solaire est représenté (Tableau I.2).

Tableau I.2: Répartition du rayonnement solaire à la surface de la terre [4]

Répartition (%)	Longueur d'onde λ (nm)	Lumière
0,25	280 $<\lambda <$ 315	UV moyen
4,75	315 $<\lambda <$ 400	UV proche
44	400 $<\lambda <$ 800	visible
51	800 $<\lambda <$ 2.350	Infrarouge

Lors du passage dans l'atmosphère, il est nécessaire de connaître le spectre de rayonnement reçu au sol pour quantifier l'énergie produite par le générateur photovoltaïque dans une application donnée. On distingue quatre 04 types du rayonnement, l'ensemble des rayonnements solaires reçu sur une surface terrestre est représenté (Figure I.4).

I.2.1. Rayonnement solaire direct : Le rayonnement direct est le rayonnement solaire atteignant directement la surface terrestre depuis le soleil. Il dépend de l'épaisseur de l'atmosphère que la radiation solaire doit traverser et de l'inclinaison des rayons par rapport au sol. le pyréliomètre est l'instrument qui permet de mesurer l'intensité du rayonnement direct. Il doit être muni d'un dispositif chargé de l'orienter en permanence vers le soleil [5].

I.2.2. Rayonnement solaire diffus : Le rayonnement diffus se manifeste lorsque le rayonnement solaire direct se disperse dans les nuages et les particules atmosphériques. Le rayonnement diffus résulte de la diffraction de la lumière par les nuages et les molécules diverses en suspension dans l'atmosphère, et de sa réfraction par le sol. Il s'agit donc d'un rayonnement qui ne suit pas une direction définie par le soleil en direction du point d'observation à la surface de la Terre[6].

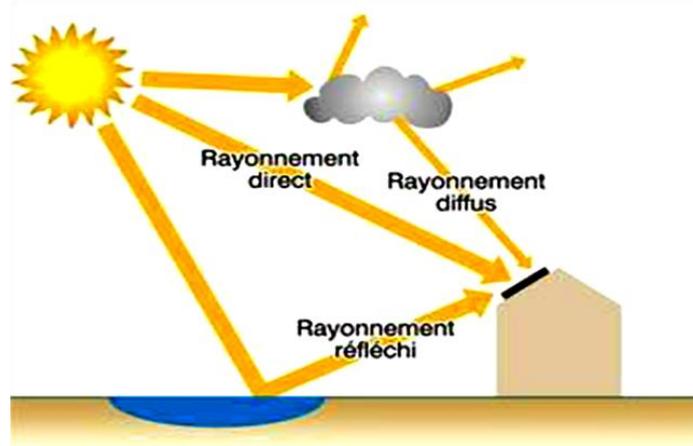


Figure.I.4 : Rayonnements Solaires

I.2.3. Rayonnement solaire réfléchi : Le rayonnement solaire réfléchi est la partie du rayonnement solaire incident réfléchi par la surface de la terre en raison de l'effet albédo. L'albédo est le coefficient de réflexion (c). Les valeurs de c sont généralement comprises entre 0 et 1 ou sont exprimées en pourcentage. Elle est donnée par la relation entre l'énergie rayonnante réfléchie par une surface par rapport à l'énergie incidente. La Terre a une

valeur moyenne de 40 % ($c = 0,4$). A l'altitude albédo de la Terre, on ajoute les radiations réfléchies par les particules atmosphériques dans l'espace[7].

I.2.4. Rayonnement solaire global : Le rayonnement global est subdivisé en rayonnements directs, diffus et reflété par le sol.

I.3. Potentiel du gisement solaire en Algérie :

Selon l'Agence Spatiale Allemande, le taux d'irradiation solaire enregistré par satellites dans le Nord du Grand Sahara montre des niveaux d'ensoleillement exceptionnels de l'ordre de 1200 kWh/m²/an (Figure I.5). Par contre, les meilleurs taux d'irradiation solaire en Europe sont de l'ordre de 800 kWh/m²/an limités à la partie sud de l'Europe.

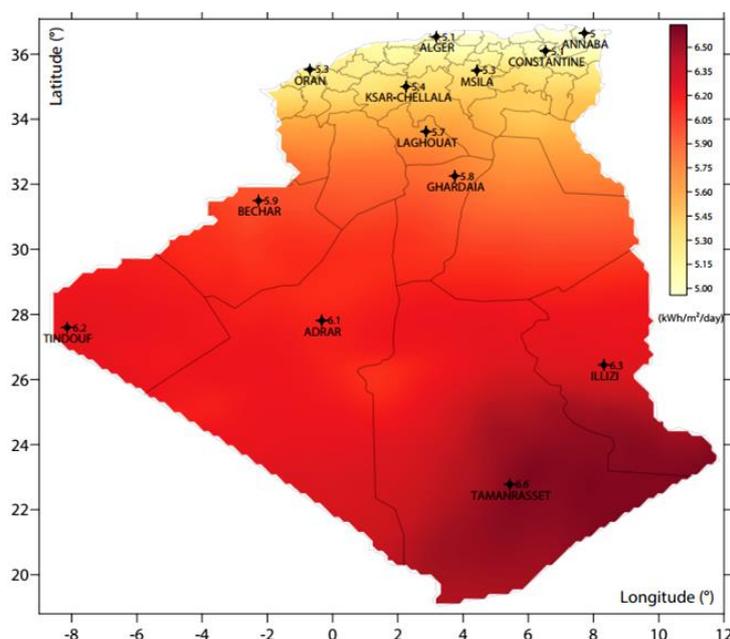


Figure I.5 : Potentiel du gisement solaire en Algérie

Le Tableau I.3 résume le potentiel du gisement solaire de l'Algérie. On remarque qu'à l'exception de la région côtière, la majorité du territoire national est considérée parmi les zones les plus ensoleillées du globe terrestre[8].

Tableau I.3: Potentiel du gisement solaire de l'Algérie [8]

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Superficie par rapport à toute l'Algérie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (Heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (kWh/m ² /an)	1700	1900	2650

I.4. Energie Photovoltaïque :

L'énergie photovoltaïque s'appuie sur la conversion directe de lumière solaire en électricité par absorption des photons dans un matériau semi-conducteur. Cette absorption génère une

production et transport de charges électriques positives et négatives dans la cellule photovoltaïque(Figure I.6) [9].

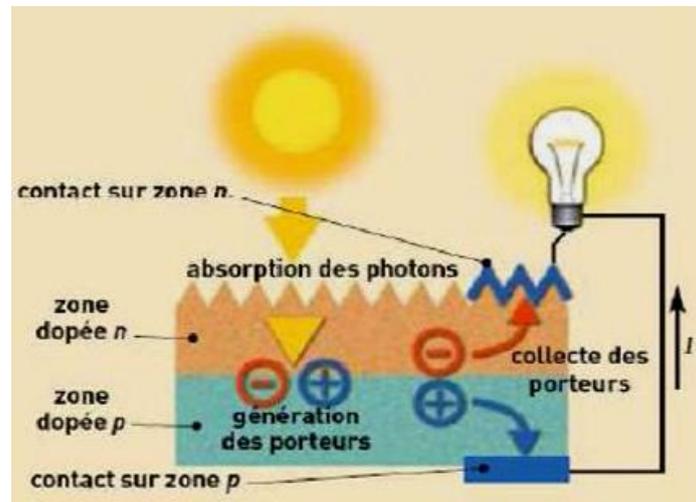


Figure I.6 :Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque[9]

I.4.1. Effet Photovoltaïque : L'effet photovoltaïque a été découvert par les physiciens français *Antoine César Becquerel* et son fils *Alexandre Edmond Becquerel*. Cet effet photovoltaïque est le procédé permettant de transformer l'énergie lumineuse issue du soleil en une énergie exploitable par l'homme en l'occurrence en électricité.

II.4.2. Différentes technologies des cellules solaires : Ils existent plusieurs types des cellules photovoltaïques :

- a) **Cellules monocristallins :** Les plus performantes sur le marché en matière de rendement 17% dans les moyens et grands éclairagements avec une gamme d'éclairément de 100 à 1000 W/m². Toutefois, leur prix reste élevé. Il offre un usage extérieur de forte et moyenne puissance[10].
- b) **Cellules poly-cristallins :** Ce type de cellules photovoltaïque est le plus répandu actuellement. Leurs caractéristiques électriques sont similaires aux monocristallins. Toutefois, leurs performances sont moins bonnes 12 à 14% notamment pour les éclairagements modérés, avec une gamme d'éclairément : 200 à 1000 W/m² par contre elles sont moins chères du fait que leur fabrication est moins complexe[10].
- c) **Cellules amorphes :** Avec un gap optique plus élevé que le silicium cristallin, elles exigent de ce fait une tension plus forte, les courants générés dans ce cas sont nettement plus faibles. Les cellules amorphes sont de ce fait moins puissantes que celles produites à base de silicium cristallin. Elles présentent un rendement électrique de 5 à 7 % (jusqu'à 9% pour les multi-jonctions). Par contre, en couche très mince, celles-ci réagissent à tous les seuils d'éclairéments de 20 lux à 1000 W/m². Leur technologie de fabrication est moins onéreuse et permet de réaliser de petits formats de panneaux. Leur caractéristiques majeures sont peu sensibles aux températures élevées [10].

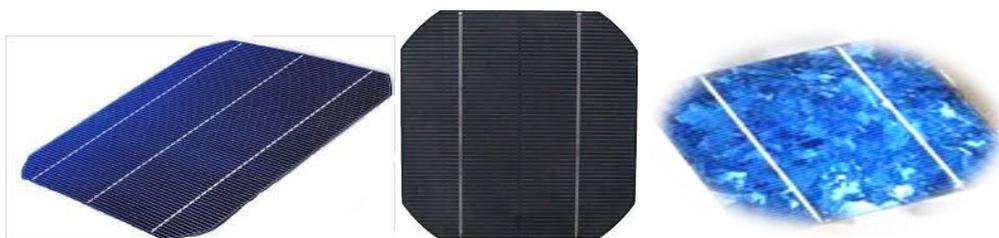


Figure I.7 : Première technologie de cellules photovoltaïques

- d) Cellules en couche mince CdTe :** Ce type de cellules photovoltaïques n'est pas fabriqué à partir de silicium mais de tellure de cadmium (CdTe). Une couche d'absorption en tellure de cadmium est placée sur un support de verre puis couverte par une autre plaque de verre qui vient sceller hermétiquement le panneau. Cette technologie permet d'augmenter le rendement des modules photovoltaïques, tout en diminuant le coût grâce à une meilleure capacité d'absorption de la lumière. En contrepartie, la toxicité des produits utilisés à la fabrication de cette cellule est son major inconvénient[11].
- e) Cellules organiques :** Les cellules photovoltaïques organiques ont connu le meilleur taux de croissance parmi les différentes filières photovoltaïques durant les 12 dernières années. Son développement à grande échelle est aujourd'hui freiné par la faible mobilité des porteurs de charges dans le matériau, limitant le rendement, et la faible durée de vie des cellules. Sur ce dernier point, des améliorations sont attendues dans les procédés d'encapsulation contre la dégradation des cellules qui est principalement due aux réactions avec l'eau et l'oxygène lors d'une exposition à l'air[11].

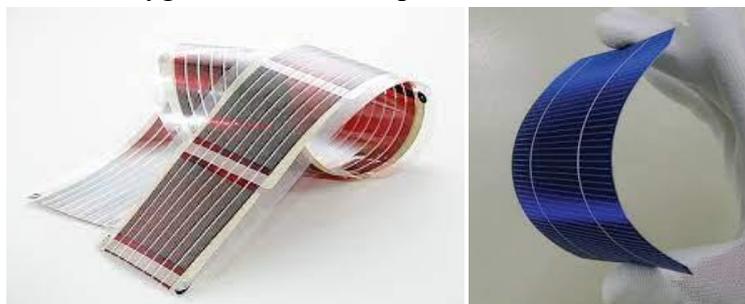


Figure I.8 : Nouvelle génération des cellules photovoltaïques

I.4.3. Module Photovoltaïque :

Un module photovoltaïque (Figure I.9) est un dispositif technologique énergétique à base des cellules photovoltaïques destiné à convertir le rayonnement solaire en énergie électrique. La cellule photovoltaïque élémentaire constitue un générateur électrique de très faible puissance au regard des besoins de la plupart des applications domestiques ou industrielles. En effet, une cellule élémentaire de quelques dizaines de centimètres carrés délivre, au maximum, quelques watts sous une tension très faible. Les modules photovoltaïques sont par conséquent réalisés par association d'un grand nombre de cellules élémentaires (série ou parallèle)[12].



Figure I.9 : Module photovoltaïque monocristallin

Les modules PV peuvent être connectés en série pour augmenter la tension ou en parallèle pour augmenter le courant. Cette collection s'appelle le domaine photovoltaïque.

a) **Caractéristiques d'un module photovoltaïque** : Le choix des panneaux photovoltaïques nécessite la comparaison de leurs caractéristiques. En présence du soleil, chacune de ces cellules produit un courant I en ampère (A) et une tension U en volt (V), Le produit de ces deux grandeurs donne une puissance P , exprimée en Watt (W). Le module est caractérisé par deux courbes principales (Figure.8) ; la courbe courant-tension et la courbe puissance telle que :

Voc : tension circuit ouvert (*Open Circuit*) indique la tension présente aux bornes du panneau débranché.

Isc : courant de court-circuit (*Shorted Circuit*) indique le courant maximum que peut délivrer le panneau en court-circuit.

Le produit des deux grandeurs **Voc** et **Isc** nous donne la puissance du module. Le Point de Puissance Maximum (PPM ou **MPP** en anglais) sur cette courbe correspond au produit de deux caractéristiques particulières à savoir:le courant de puissance maximale noté **Impp** (ou I_{ppm}) et la tension de puissance maximale notée **Vmpp** (ou V_{ppm}) [13].

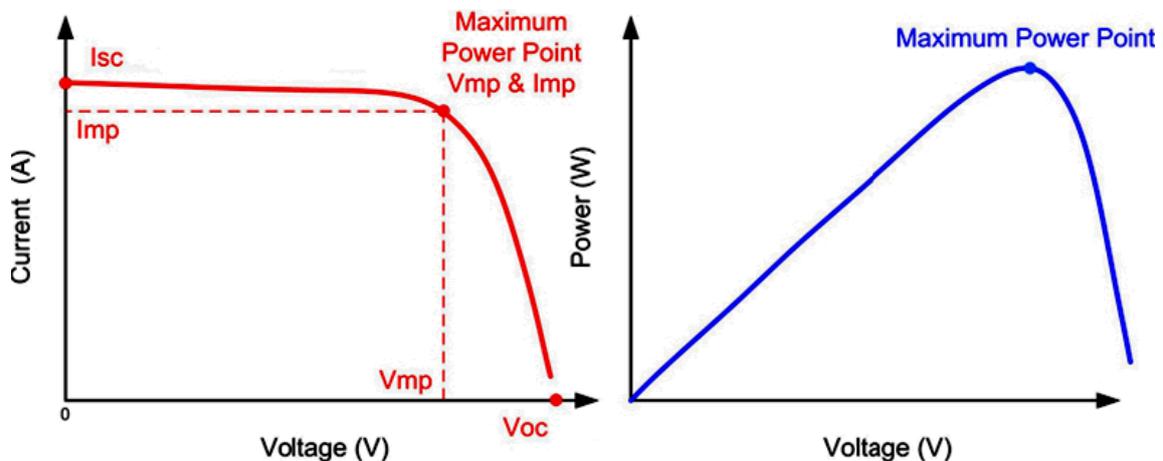


Figure I.10 : Caractéristique I-V et la caractéristique P-V [13]

- b) Facteur de forme FF :** C'est le rapport entre la puissance maximale délivrée par le module et la puissance calculée par la multiplication de la tension de circuit-ouvert et le courant de court-circuit. Le facteur FF indique la performance du module, plus il s'approche de l'unité plus le panneau est performant[14].
- c) Rendement :** L'efficacité photovoltaïque est un facteur très important pour les modules Photovoltaïques. Il est défini comme le taux de conversion énergétique des cellules photovoltaïques. En d'autres termes, l'efficacité est le pourcentage d'énergie solaire convertie en produire de l'électricité grâce à des cellules solaires. Il décrit ses composants et définit leur performance. Le rendement η est le rapport entre la puissance électrique fournie par le module et la puissance incidente.

$$\eta = \frac{P_U}{P_{in}} \dots (1)$$

I.4.4. Installations photovoltaïque :

- a) Systèmes autonomes (Off-Grid) :** Ce type de montage est adapté aux installations ne pouvant être raccordées au réseau. L'énergie produite doit être directement consommée et/ou stockée dans des accumulateurs pour permettre de répondre à la totalité des besoins (Figure I.11) [15].



Figure I.11 : Systèmes autonomes (Off-Grid)

- b) Système photovoltaïque connecté au réseau :** on distingue deux solutions pour l'utilisation des système PV connecté ; avec injection totale et surplus (Figure I.12)

- Injection totale : la totalité de l'énergie électrique produite par les capteurs photovoltaïques est envoyée pour être revendue sur le réseau de distribution. Cette solution est réalisée avec le raccordement au réseau public en deux points, le compteur de consommation du producteur et le nouveau branchement au réseau disposant de deux compteurs production/non-consommation (Vérification d'un éventuel soutirage frauduleux) [15].

- **Injection de surplus** : Cette solution est réalisée avec le raccordement au réseau public en un point : l'utilisateur consomme l'énergie qu'il produit avec le système solaire et l'excédent est injecté dans le réseau. Quand la production photovoltaïque est insuffisante, le réseau fournit l'énergie nécessaire. Un seul compteur supplémentaire est ajouté au compteur existant [15].

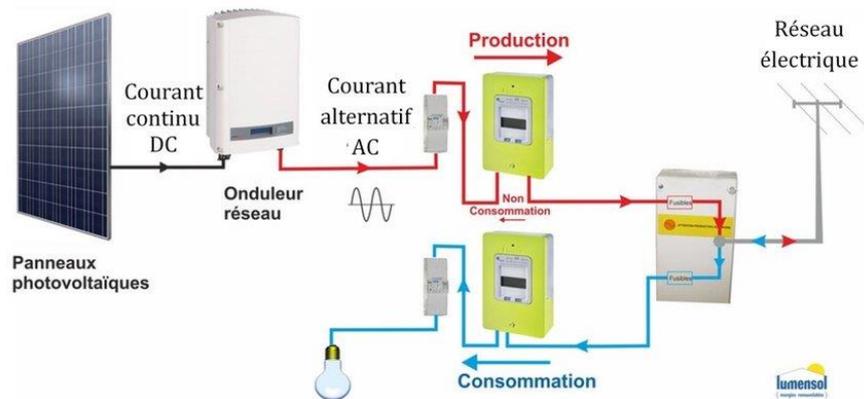


Figure I.12 : Système photovoltaïque connecté au réseau

c) **Systèmes photovoltaïques hybrides** : Un système de production hybride est un système combinant deux sources d'énergie (ou davantage) utilisées conjointement, incluant souvent (mais pas nécessairement) une unité de stockage, et raccordé à un réseau de distribution local (mini-réseau). Les panneaux photovoltaïques produisant du courant continu (CC) et les mini-réseaux fonctionnant en courant alternatif (CA). Le cœur d'un système hybride est constitué d'un onduleur multifonctionnel capable de convertir les courants continu et alternatif, de contrôler les systèmes de production et de stockage, ainsi que de fixer la tension et la fréquence du mini-réseau [16] (Figure I.13).

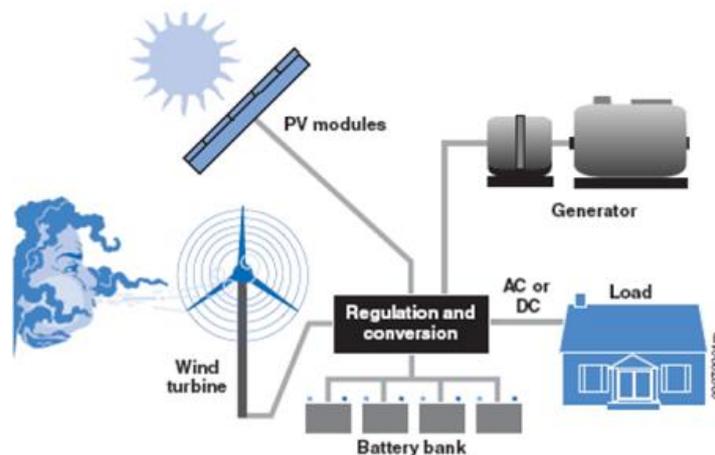


Figure I.13 : Systèmes photovoltaïques hybrides

I.4.5. Système de stockage :

La production d'énergie par les systèmes photovoltaïques 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" afin de mieux adapter le générateur PV en fixant la tension du système[17].

Le Stockage électrochimie offre une excellente solution au phénomène d'alternance de l'énergie photovoltaïque.

La batterie est le principal élément dans un système photovoltaïque autonome, où transite l'énergie électrique fournie par le générateur. Toutefois, la batterie d'accumulateur reste l'élément le plus fragile. Sa durée de vie est étroitement liée de la manière dont elle est chargée et déchargée[18] ainsi que aux conditions d'utilisation en particulier la température. La batterie est constituée d'un couple électrochimique composé de deux électrodes séparées par un électrolyte et aux interfaces desquelles interviennent des réactions d'oxydation ou de réduction qui cèdent ou absorbent des électrons. Les ions ainsi générés circulent dans l'électrolyte. Pour avoir une grande énergie stockée, il faut un grand nombre d'électrons échangés par mole ainsi qu'une réaction entre un élément très oxydant et un autre très réducteur. Il faut en outre une parfaite réversibilité des processus électrochimiques et des matériaux à faible masse ou volume molaire[19].

a) Batteries Lithium-ion : Les batteries lithium-ion (Figure.12) sont déjà très largement utilisées dans tous les appareils électroniques grand public, comme les ordinateurs et téléphones portables [20]. Le fonctionnement des batteries au lithium est basé sur l'échange entre les électrodes d'ions lithium accompagné d'un mouvement des électrons. L'ion lithium est un ion dur. Il est très petit et sa charge est localisée ce qui en fait un candidat de choix pour les batteries fonctionnant par échange d'ions[21].

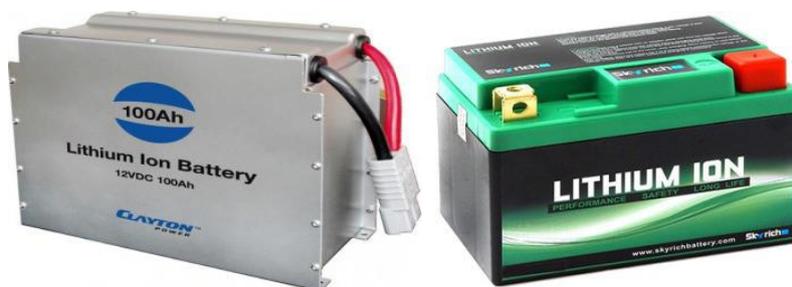


Figure I.14 : Batteries lithium-ion

b) Batteries Nickel- Cadmium: Un système d'accumulateur Ni-Cd (Figure.13) est un système de stockage d'énergie basé sur des réactions électrochimiques de charge/décharge qui se produisent entre une électrode positive (cathode) contenant de l'oxyde-hydroxyde de nickel en tant que matériau actif et une électrode négative (anode) qui est composée de cadmium métallique. Les électrodes sont séparées par une membrane perméable qui permet aux électrons et aux ions de circuler entre elles. Les électrons et les ions sont immergés dans un électrolyte composé d'une solution aqueuse d'hydrogénation de potassium qui ne subit pas de changements significatifs pendant le fonctionnement.

Pendant la décharge, l'oxyde-hydroxyde de nickel se combine avec l'eau et produit de l'hydroxyde de nickel et un ion hydroxyde. L'hydroxyde de cadmium est produit à l'électrode négative. Pour charger la batterie, le processus peut être inversé [22].



Figure I.15: Batteries Nickel cadmium

c) Batteries Plomb- Acide: Elles se composent de deux électrodes (positive et négative) et d'un électrolyte, l'électrode positive est en dioxyde de plomb (PbO_2) et la négative en plomb. L'électrolyte est une solution d'acide sulfurique (H_2SO_4) qui permet au flux d'ions de passer entre les deux électrodes et de créer un courant. Une batterie au plomb pour application photovoltaïque est composée de plusieurs éléments de tension nominale de 2V chacun. Les configurations les plus courantes sont 6 ou 12 éléments en série pour atteindre une tension de batterie de 12V ou 24V. La tension d'une batterie au plomb varie en fonction du courant qui y transite, de son état de charge et de son état de santé[23]. Les batteries au Plomb Acide sont très fragiles. Elles sont sensibles aux surcharges, aux charges partielles, aux décharges profondes, aux charges trop rapides et aux températures au-dessus $20^\circ C$. Elles sont disponibles sous différents types: Batterie ouverte, AGM, Gel (Figure I.16).



Figure I.16 : Types des batteries Plomb Acide [24]

Ces différentes batteries ont des durées de vie différentes, en général, les batteries de 12V (ouverte) à gel ou AGM dispose d'une durée de vie entre 7 ans et 12 ans. La batterie de 2V électrolyte liquide "ouverte" ou gel : durée de vie possible jusqu'à 20 ans[24]. Dans un système photovoltaïque la batterie représente environ 15% des investissements initiaux, mais sur une durée d'exploitation de vingt ans, elle dépasse en général les 50 % du coût global du système[25].

I.4.6. Système de conversion : Une centrale solaire photovoltaïque est constituée d'un ensemble de panneaux solaires, connectés à un ou plusieurs onduleurs.

a) Conversion DC/AC : La fonction principale de l'onduleur (Figure.15) est de créer au niveau de sa sortie une tension alternative réglable en fréquence et en valeur efficace à partir d'une tension continue en entrée[26].

Suivant leurs topologies, on distingue deux classes d'onduleurs monophasés :

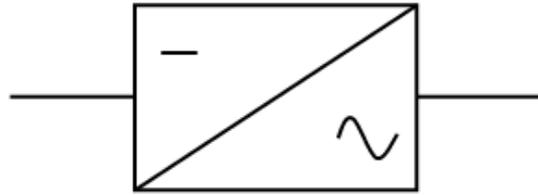


Figure I.17 : Symbole d'un convertisseur (onduleur) DC/AC

- Onduleur monophasé en demi-pont: Constitué principalement d'une source de tension continue E , et de deux interrupteurs de puissance notés K_1 et K_2 à commande complémentaire. La durée de conduction de chacun des interrupteurs est alors d'un demi-cycle (180°) correspondant à la fréquence du signal de sortie requis [27]. Le schéma de principe d'un tel onduleur monté en demi-pont est représenté (Figure I.18).

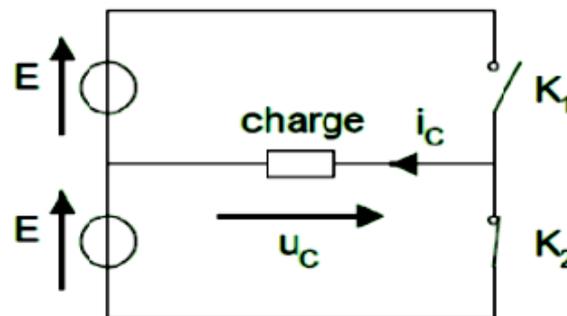


Figure I.18 : Schéma de principe d'un Onduleur en demi-pont [27]

- Onduleur monophasé en pont (Pont H): Constitué de deux bras, chaque bras se compose de deux interrupteurs (Figure I.19). Les interrupteurs choisis, constituent bien une cellule de commutation. Leur fonctionnement doit être complémentaire afin de ne jamais court-circuiter la source continue V_e . La liaison entre $K_1 - K_4$ et $K_2 - K_3$ montrent qu'ils sont complémentaires (ils ne peuvent pas être ouverts ou fermés en même temps) [27].

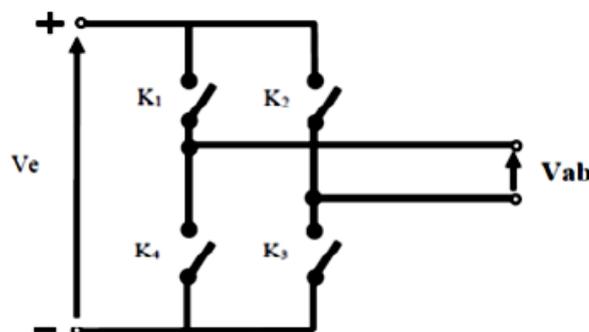


Figure I.19 : Schéma de principe d'un Onduleur en pont H[27]

b) Conversion DC/DC : L'utilisation des convertisseurs DC/DC (Figure I.20) permet le contrôle de la puissance électrique dans les circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé[28]. Pour ce type de convertisseur statique, la gamme de puissance que l'on peut traiter s'étend de quelques watts, à une trentaine de

kilowatts environ. Cependant, l'apparition de composants de puissance sans cesse plus performants, tout comme la définition de nouvelles structures (multi niveau en particulier), permettent d'envisager le traitement de puissances plus élevée. Nous distinguons deux types de convertisseurs DC/DC

- Convertisseurs appelés hacheurs, qu'ils soient abaisseurs, élévateurs ou bien dévolteurs survolteurs, qui correspondent aux applications moyenne et forte puissance.
- Alimentations à découpage, qui correspondent aux applications de petites puissances. Elles constituent l'alimentation de tout matériel électronique en générale[29].

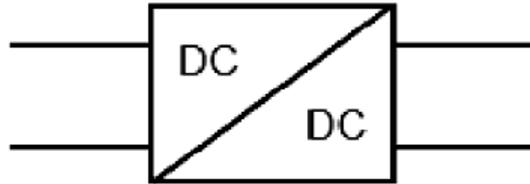


Figure I.20 : Symbole d'un convertisseur DC/DC

I.4.7. Système de régulation : La fonction principale d'un régulateur de charge photovoltaïque est le contrôle de la charge et décharge de la batterie afin de la protéger des risques de surcharge et des courants trop élevés (prolonger la durée de vie de la batterie). En charge, les premiers 70 % ou 80 % de la capacité de la batterie sont faciles à aboutir, mais les derniers 20 % ou 30 %, importants pour une durée de vie plus longue de la batterie, requièrent plus d'attention et donc plus de complexité[25].

Un régulateur de charge appelé aussi contrôleur de charge (Figure.19) est un système ou appareil électronique fonctionnant de façon complètement automatique auquel sont raccordés le générateur (modules PV) la batterie ainsi que d'éventuels équipements de l'installation[30].



Figure I.21 : Régulateur de charge photovoltaïque PWM, MPPT

Deux familles de contrôleurs de charge sont utilisées dans les systèmes solaires PV. La première famille est basée sur la modulation de largeur d'impulsion (PWM) et la seconde sur le suivi du point de puissance maximale (MPPT).

a) Régulateur PWM (Pulse Width Modulation) : La commande PWM offre un rapport cyclique variant selon l'énergie à fournir à la batterie afin de réaliser une charge à tension constante. Celui-ci est un peu plus subtil que le « tout ou rien ». Les régulateurs solaires traditionnels intégrant la technologie PWM relient les panneaux solaires au banc de batteries. Dans cette utilisation directe, la tension de sortie des panneaux est réduite à la tension nominale des batteries[30].

b) Régulateur MPPT (Maximum Power Point Tracker) : Il contient un microprocesseur et un convertisseur de tension qui permet de tirer toute l'énergie du module photovoltaïque malgré les variations de production de ces générateurs. L'idée est d'introduire un étage intermédiaire entre le module PV et la batterie qui sera constitué par le convertisseur DC/DC. Les régulateurs MPPT traquent la tension V_{mp} des modules, ils balayent une plage de tension en entrée pour déterminer constamment à quel point se trouve la puissance maximale délivrée par les modules. Ainsi, il prélève la puissance à cette tension V_{mp} et la renvoie vers les batteries sous une tension plus basse, ce qui a pour effet d'augmenter le courant de charge. La puissance est égale au produit de la tension et du courant, si la tension est réduite, le courant augmente nécessairement pour maintenir le ratio entrée/sortie égal. Pour un rendement de 100% : Puissance d'Entrée = Puissance de Sortie[30].

I.5. Avantages et inconvénients d'une installation photovoltaïque

Comme toutes les sources d'énergies, le système photovoltaïque présente des avantages mais aussi des inconvénients

I.5.1. Avantages des installations PV [31, 32]:

- Les systèmes photovoltaïques sont fiables : aucune pièce employée n'est en mouvement. Les matériaux utilisés (silicium, verre, aluminium), résistent aux conditions météorologiques extrêmes.
- Un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant jusqu'au *MégaWatt*.
- Combinable avec d'autres sources d'énergie pour augmenter le rendement du système.
- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologiques car le produit est non polluant, silencieux, et n'entraîne aucune perturbation du milieu.
- Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé
- Sur les sites isolés, l'énergie photovoltaïque offre une solution pratique pour obtenir de l'énergie électrique à moindre coût.

I.5.2. Inconvénients des installations PV [31, 33] :

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15%.
- L'énergie issue du générateur photovoltaïque est continue, donc il doit être transformé par l'intermédiaire d'un onduleur.
- Le stockage de l'énergie électrique par des batteries est nécessaire, par conséquent le coût du système photovoltaïque augmente.
- Les panneaux contiennent des produits toxiques et la filière de recyclage n'est pas encore existante.
- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes.

I.6. Revue bibliographique

S. Meunier et al proposent une méthode d'optimisation de la conception des SPPV pour la consommation domestique basée sur une approche interdisciplinaire, dans le but de déterminer la taille du SPPV et la localisation dans le village pour maximiser le développement socio-économique. Le coût du cycle de vie du SPPV. L'approche étudiée inclut l'impact socio-économique (dans un sens positif) ainsi que la localisation du système comme variables d'optimisation, et les résultats montrent qu'elle peut réduire le coût du SPPV et augmenter l'impact socio-économique dans ces systèmes, et cette approche peut également être appliquée à d'autres installations PV, par exemple des centrales photovoltaïques[34].

Dans le même contexte, *Y. Jbari et S. Abderafiont* analysé la faisabilité du concept de traitement des eaux (osmose inverse) par énergie solaire PV (installation off-grid), ainsi que l'évaluation de la viabilité économique et environnementale d'une telle installation. L'optimisation de la consommation d'énergie a été réalisée en utilisant la méthodologie de la surface de réponse RSM, suivant le plan composite central appliqué à deux variables indépendantes qui sont le taux de conversion et le débit d'alimentation. Les résultats obtenus montrent que le taux de conversion doit être optimisé pour réduire la consommation d'énergie. Cependant, la consommation d'énergie spécifique obtenue (région d'Oujda) est de 0,41 kWh/m³ pour un taux de conversion optimal d'environ 75 % correspondant à un débit d'alimentation maximal de 100 m³/h[35].

H. Belmili et al, on étudiés l'optimisation des installations photovoltaïques autonomes. L'énergie produite par les panneaux solaires photovoltaïques est utilisée immédiatement (pompage, ventilation,..) ou stockée dans des batteries pour une utilisation différée telle que l'éclairage. Le courant continu produit alimente directement des appareils prévus à cet effet ou est transformé en 230Valternatifs. Parmi les données les plus importantes que l'installateur doit savoir sont les caractéristiques du générateur PV qui va être installé. Cette fenêtre (Figure.20) a été conçue autour des modèles mathématiques décrivant le fonctionnement du générateur PV et l'influence de la température et du rayonnement solaires sur ces caractéristiques. Elle visualise la caractéristique I(V) et P(V) aux différentes conditions (CTS et hors CTS), aussi que l'identification des paramètres du générateur[36].

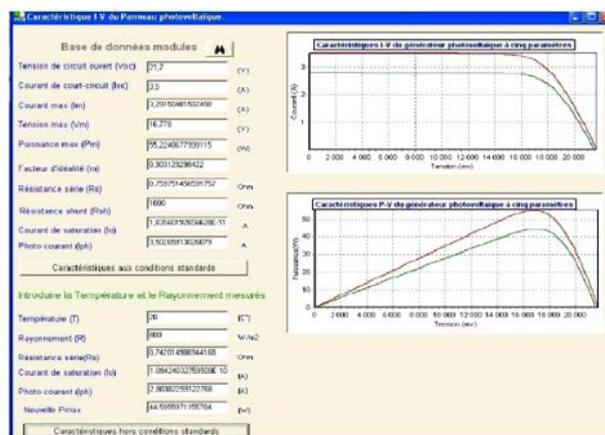


Figure I.22 : Caractéristiques I(V), P(V) des modules photovoltaïques[36]

M. Debbab et al, ont développés une méthodologie complète par simulation dans le but d'optimisation et dimensionnement des installations photovoltaïque autonome. La simulation est basée sur le concept d'utilisabilité horaire. Les résultats obtenus montrent que la solution basé sur la durée de vie des panneaux est plus adapté comparais à celle des batteries[37].

A. Semache et al, ont simulé les performances énergétiques électriques d'une habitation à énergie positive en milieu suburbain en se basant sur les données réelles de consommation électrique. Les calculs sont effectués à l'aide du logiciel Homer. Le bilan énergétique électrique annuel de l'habitation montre que 63% de l'énergie consommée est assurée par le photovoltaïque et seulement 37% est soutiré du réseau électrique (Figure.21)[38].

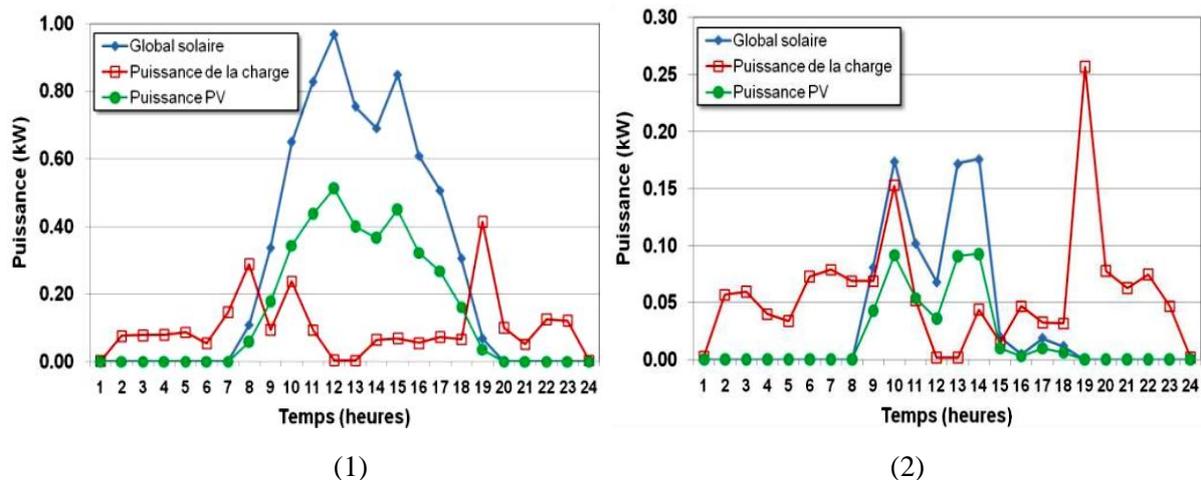


Figure I.23 : Puissance de la charge et l'éclairage solaire
(1) journée ensoleillée, (2) journée mal ensoleillée[38]

Les résultats montrent un bilan d'énergie positif de 46 kWh/an, ce qui confirme l'obtention de la performance habitat à énergie positive. La quantité d'énergie produite de source solaire photovoltaïque est une contribution dans la réduction de la consommation d'énergie de source fossile et de la même occasion de diminuer les émissions des gaz à effet de serre[38].

L'intégration des installations Off-grid présente une alternative intéressante pour les régions du sud algérienne. *R. Djeffal et al*, ont effectué une analyse économique et environnementale d'un système autonome à alimentation hybride photovoltaïque/diesel pour l'alimentation en énergie électrique d'un habitat dans les sites isolés possédant un gisement solaire considérable. L'utilisation des installations hybrides de production de l'énergie est largement justifiée sur tous les plans : possibilité technique, viabilité économique et surtout l'intérêt environnemental évident qu'offre cette alternative, en particulier pour les sites isolés (popularité dispersée et des vastes terrains). Sur le plan environnemental, la fraction de l'énergie produite par les ressources renouvelables est de 41 %, ce qui diminue sensiblement la quantité de fuel à utiliser et par suite réduire les émissions des gaz polluants (-83 % d'émission de CO₂)[39].

L'hybridation des installations ou les multi-sources permet de mieux intégrer les systèmes électriques renouvelables. *K.K. Mawugno et al*, on fait une étude sous *Matlab/Simulink* afin de déterminer liaison d'une centrale hybride éolienne-solaire au réseau de distribution en

appliquant une méthodologie de modélisation et de commande par modulation de largeur d'impulsion pour l'ensemble au moyen d'un modèle continu. Les auteurs ont conclu que pour maintenir le courant en phase avec la tension, il faut donc augmenter la valeur du bus continu u en introduisant un paramètre de dimensionnement α lié à la valeur efficace des tensions simples du réseau E ou en augmentant par l'intermédiaire du régulateur l'apport de la centrale solaire[40].

H. El-houari et al, ont procédé à un dimensionnement complet du système SAPV (*Tazouta, Maroc*) avec évaluation annuelle des performances du système par une simulation sur la base de données météorologique horaire. Le système proposé est capable de répondre à la charge électrique quotidienne de 3,8 kWh/j durant toute l'année avec des modules PV d'une capacité de 1080Wc et de 670 Ah de stockage sur batterie et avec une fraction solaire moyenne d'environ 79,1%. L'analyse du coût du cycle de vie du système SAPV est estimée à 10.195\$ avec un coût initial et le coût unitaire de l'électricité respectivement de 4859\$ et 0,57\$/kWh. Cependant, une solution optimisée a été déterminée à l'aide de l'outil Homer Pro, indiquant que le coût unitaire de l'énergie peut tomber à 0,35 \$/kWh en réduisant la capacité PV à 615Wc et en augmentant la part du générateur diesel. L'utilisation du PV dans ces systèmes peut atténuer la pollution environnementale et permettre de prendre des mesures correctives, notamment dans les régions où la pollution atmosphérique atteint des niveaux alarmants[41].

D. Frame et al, ont examiné la durabilité des déploiements d'énergies renouvelables en particulier les systèmes photovoltaïques hors réseau (Off-grid) destinés à améliorer les installations éducatives et sanitaires en Afrique subsaharienne (Gambie et Malawi) ainsi que les récentes tentatives de la définition du cadre énergétique durable. Non seulement un modèle de déploiement durable est nécessaire pour ce type de système PV, mais une méthode complète d'évaluation de l'impact de l'amélioration de l'approvisionnement en énergie est également nécessaire. Les systèmes PV opérationnels apport aux communautés un accès accru à l'éducation, aux bien vivre et aux commerces de proximités[42].

L'angle d'installation des systèmes photovoltaïques hors réseau est un paramètre d'influence important. K. Cheng et al, ont démontrés théoriquement que les angles d'installation optimaux de la ville de Yulin et de la ville de Yan'an en Chine sont respectivement de 40° et 30° et les capacités de production mensuelles minimales sont de 1.44 kWh/Wp et 1.32 kWh/Wp. Les auteurs se sont basés sur le modèle de circuit équivalent des modules photovoltaïques et les conditions météorologiques. La non prise en compte de l'influence des angles optimaux d'installation diminuera les performances des capacités installées respectivement de 0,17kWh/Wp (11.6%) et 0,19kWh/Wp (14.6%) pour les des deux sites étudié [43].

M.P. Monfort et al, ont présentés un modèle simple mais précis pour l'évaluation de la performance d'un système PVPS' multi-pompes off-grid, avec un suivi solaire à un axe et un contrôle de la fréquence variable des pompes à grande échelle. Le modèle présenté est validé sur une installation PVPS de 357 kWp à 2 pompes. L'amortissement est estimé à 10 ans[44].

La technologie des modules photovoltaïque est un facteur d'influence important dans l'implémentation des installations PV.J. Quevedo et al, ont effectuée une étude comparative entre modules photovoltaïques monocristallins et amorphe dans la zone équatoriale à une

hauteur de plus de 2500 mètres au-dessus du niveau de la mer, sur la base des indices de performance de la norme IEC61724. L'étude vise à caractériser le comportement de chaque technologie sous différentes conditions climatiques à impact direct sur la production d'énergie telles que la température et l'irradiation. Ainsi que, les pertes associées au ratio de performance de l'installation en considérant la puissance maximale que chaque disposition de panneaux peuvent produire. L'obtention d'un facteur de performance d'environ 89% pour une installation photovoltaïque avec technologies hybride est discutée. D'autre par, les changements de température affectent dans une moindre mesure l'énergie produite par les modules amorphes (Figure.22) soit -0,2% pour chaque degré °C et de -0,41% par degré °C pour les modules monocristallins[45].

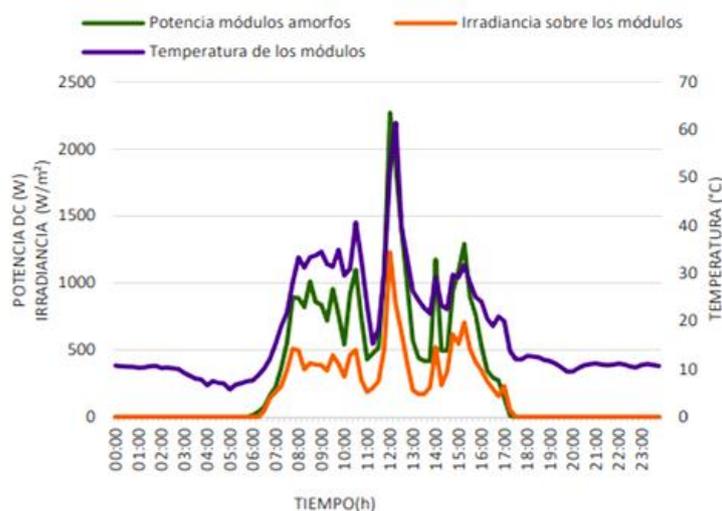


Figure I.24 : Puissance en fonction de l'irradiation et de la température technologie PV amorphes[45]

Les installations photovoltaïques Off-grid de faible puissance doivent assurer les niveaux d'énergie nécessaire au bénéficiaire de l'installation. En même temps, elle doit être conforme aux règlements et aux normes légales. Après examen des paramètres de fonctionnement à savoir ; variations de tension, des courants, des harmoniques de tension et de courant. Les auteurs concluent que l'installation étudiée remplit bien les conditions exigences nécessaires pour éventuel connexion au réseau électrique [46].

N. M. Kumar et al, ont étudié les performances énergétiques d'une installation PV d'une puissance de 10 kWc pour un angle d'inclinaison optimales. L'angle d'inclinaison et l'angle d'azimut sont optimisés à l'aide de l'outil de simulation PVGIS. Le système proposé est simulé dans PVGIS pour tenir compte de la production d'énergie PV mensuelles et annuelles. Les auteurs ont examiné l'influence des variations de production dues à l'angle d'incidence, les effets spectraux, la température et les faibles irradiations. Ils ont conclu que une étude de faisabilité est nécessaire avant de procéder à l'implémentation [47].

J. Mikhail et al, ont analysés la durabilité environnementale du cycle de vie des installations domestiques et communautaires utilisant des ressources hybride ; diesel, solaires et éoliennes couplées à un stockage chimique par batterie. Au niveau des ménages, les systèmes hybrides solaires photovoltaïques (PV) et éoliens avec stockage ont des impacts de 17 à 40 % inférieurs à ceux des installations autonomes équivalentes par kWh produit. Les Batteries constituent un

point sensible pour l'environnement, puisqu'elles représentent jusqu'à 88 % des impacts du cycle de vie d'un système énergétique domestique. Les résultats suggèrent qu'un système PV à l'échelle d'un foyer intégré dans un micro-réseau avec éoliennes communautaires et des batteries Li-ion est la configuration la plus durable sur le plan environnemental[48].

I.7.Conclusion :

On a présenté dans ce chapitre plusieurs points importants sur l'énergie solaire et le système photovoltaïque, des notions sur le spectre et le rayonnement solaire, ainsi que l'importance du potentiel solaire algérienne. On a abordé le principe de l'effet photovoltaïque, les différentes technologies de la cellule PV et les configurations en passant par les équipements PV à savoir ; module PV, batteries, régulateur et onduleur et leurs descriptions. On a terminé la première partie du chapitre par les avantages et les inconvénients des installations photovoltaïque.

Dans la seconde partie du chapitre, on a essayé d'effectuer une analyse bibliographique des paramètres de performance principaux (température, angle d'inclinaison, hybridation,...) pour un fonctionnement optimal des installations PV Off-grid. Une importance particulière est accordé à la viabilité de ce type d'installation sur les deux aspects durabilité/environnemental, ainsi que à l'exploitation stratégique de ces installations sur le plans domestique et communautaire (pompage d'eau, sanitaire et éducation).

Chapitre 02

Dimensionnement d'une Installation Photovoltaïque

Chapitre 02

Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

II.1. Introduction :

Le dimensionnement des systèmes solaires exige une analyse précise du besoin électrique et des différents facteurs pouvant influencer leurs rendements, données météorologiques et environnements d'installation. La connaissance du rayonnement solaire et ces composantes sur des surfaces inclinées et orientées est nécessaire, voir indispensable pour tout dimensionnement d'installation solaires. Cependant, dans les stations météorologiques le rayonnement solaire global est mesuré sur des surfaces horizontales[49]. De nombreux aspects doivent être pris en compte pour votre installation PV à savoir ; le site d'implantation, le type de panneaux que vous utilisez, l'orientation et l'inclinaison du système, le choix de la régulation et du système de conversion (onduleur), les connexions électriques et bien sûr l'alimentation que vous allez installer.

Le présent chapitre a pour objectif d'une part, le pré-dimensionnement d'une installation Off-grid au niveau du site de l'UDES, Bou-Ismaïl/ Tipaza (région côtière) via deux méthodes de dimensionnements PV analytique et numérique. D'autre part, d'effectuer une étude numérique comparative avec les régions des hauts plateaux et du Sahara par le logiciel PVSYST.

II.2. Objectif du dimensionnement :

Le dimensionnement ayant une incidence sur le prix, la qualité et la pérennité d'un système photovoltaïque en site isolé, il constitue une étape cruciale lors de la mise en place du système. Ainsi, lorsque l'on cherche à optimiser le dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome, le but est de déterminer l'ensemble des paramètres de dimensionnement du système afin de minimiser les différents coûts, tout en assurant l'alimentation du consommateur sans interruption [50].

II.3. Méthodes de dimensionnement PV :

Il existe deux méthodes de dimensionnement des installations photovoltaïque ; une méthode analytique ou théorique qui base sur des calculs et des équations et une méthode numérique en utilisant le logiciel PVSYST, Ces méthodes permettent de dimensionner une installation photovoltaïque pour satisfaire les besoins électrique d'une consommation bien déterminée.

II.4. Définition des besoins électriques :

La définition de la demande d'électricité est un travail préalable important qui conditionne la taille du champ photovoltaïque et du parc de batteries. Une sous-estimation de la demande d'électricité peut entraîner des défaillances opérationnelles (coupure de courant, vieillissement prématuré de la batterie), tandis qu'une surestimation de la demande d'électricité peut augmenter considérablement les coûts d'installation.

Le calcul de la demande d'électricité comprend le calcul de l'énergie électrique qu'un utilisateur consomme quotidiennement. Ainsi, la demande d'électricité sera exprimée en Wh/jour (ou kWh/jour).

II.5. Régions d'implantation de l'installation PV :

En raison de la diversité climatique et de l'étendue du territoire national algérien. On a choisi de dimensionner l'installation photovoltaïque Off-grid pour les trois régions ou zones climatique de l'Algérie à savoir ; la région côtière, les hauts plateaux et la région saharienne. Les conditions climatiques détermineront les principales oppositions zonales.

II.5.1 Région côtière :

Les régions côtières jouissent d'un climat méditerranéen, agréable en hiver (12 °C à Alger) et supportable en été (25 °C dans la même ville). L'humidité y est forte et les précipitations relativement abondantes : avec 762 mm de moyenne concentrés sur quelques mois d'automne et de printemps. Le temps d'été est déterminé par la remontée en latitude des hautes pressions sahariennes. Mais le temps s'altère à partir de l'automne et jusqu'au printemps. Parallèlement, la température se trouve refroidie. Naturellement, ces conditions évoluent selon la situation, en fonction de l'altitude et de la position.

II.5.2. Principaux massifs :

Sur les principaux massifs, les précipitations augmentent et les températures diminuent. Mieux abrité, l'Oranais est nettement plus sec que l'Algérois et le Constantinois. La ligne isohyète des 400 mm, qui marque la limite de précipitations englobe à l'est les hautes plaines du Constantinois et le massif de l'Aurès, mais laisse à l'écart les hauts plateaux steppiques occidentaux. Le climat est relativement sec et chaud l'été avec des gradients de températures important entre la nuit et le jour.

II.5.3. Le Sahara :

Au sud de l'Atlas saharien, les régions sahariennes restent sous l'influence permanente de masses d'air anticycloniques. C'est le désert. Les températures y sont élevées toute l'année, et les précipitations très faibles (moins de 150 mm par an) et irrégulières. In Salah, au centre du Sahara algérien, n'enregistre que 15 mm de précipitations annuelles pour une moyenne thermique de 25,4 °C[51]. Cependant, on relève des températures phénoménales dans d'autres zones du sud qui atteignent parfois les 50°C sous l'ombre.

L'irradiation moyenne journalière reçue en kWh/m² pour les trois régions est indiqué (Tableau.4).

Tableau.II.1 : Irradiation journalière pour les trois régions d'Algérie

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Energie moyenne reçue (kWh/m ² /jour)	4.65	5.20	7.26

II.6. Dimensionnement d'une installation PV Off-Grid pour les trois régions :

Le pré-dimensionnement effectué comprend deux méthodes théorique et numérique

II.6.1. Dimensionnement théorique : Le dimensionnement portera sur la région côtière, par la même méthode on le reproduira pour les deux autres régions (haut plateaux et Sahara). Le dimensionnement s'effectue suivant quatre étapes ; estimation de la consommation, dimensionnement du champ PV suivi du bac de stockage et enfin du avec la régulateur et/ou onduleur.

a) *Estimation de la consommation* : les charges électrique adoptées dans notre étude sont représentés (Tableau.5).

Tableau.II.2 : Charges électriques

Charge	Puissance/P (W)	Quantité/N	Utilisation/T (heure/jour)
Lampes LED	18	06	06
Réfrigérateurs	59	02	10
Ordinateur	400	01	8

Le calcul de la puissance de charge et d'énergie journalière de l'installation photovoltaïque :

$$P_{\text{charge}} = P \times N \dots \dots \dots (1)$$

Suivant l'équation (1) on à :

$$P_{\text{LED}} = 18 \times 6 = 108 \text{ W}$$

$$P_{\text{PC}} = 400 \times 1 = 400 \text{ W}$$

$$P_{\text{Réfrigérateur}} = 59 \times 2 = 118 \text{ W}$$

$$P_{\text{Charge}} = P_{\text{LED}} + P_{\text{PC}} + P_{\text{Réfrigérateur}}$$

$$P_{\text{Charge}} = 626 \text{ W}$$

$$E_j = P \times N \times T \dots \dots \dots (2)$$

$$E_j = 6 \times 18 \times 6 = 648 \text{ Wh}$$

$$E_j = 400 \times 1 \times 8 = 3200 \text{ Wh}$$

$$E_j = 59 \times 2 \times 10 = 1180 \text{ Wh}$$

$$E_j = 5028 \text{ Wh/j}$$

Le tableau.6 montre les besoins électriques du consommateur

Tableau.II.3 : Besoins d'énergie journalière pour notre système

Appareils	P(W)	T(h)	P*N(W)	P*N*T(Wh)
LED	18W	6h	108	650
PC	400W	8h	400	3200
Réfrigérateur	59W	10h	118	1200
			626W	5028Wh

b) Dimensionnement du champ PV :

La région côtière de l'Algérie a une irradiation journalière de 4.65 kWh/m²/j (Tableau.II.1)

La puissance crête :

$$P_c = \frac{E_j}{k \cdot E_i} \dots\dots\dots(3)$$

$$P_c = \frac{5028}{0.65 \times 4.65} = 1664Wc$$

E_j : Energie journalière

E_i : Energie de l'irradiation

k : coefficient qui tient compte de plusieurs facteurs. Pour les systèmes avec parc de batteries, le coefficient k est en général compris entre 0.55 et 0.75, la valeur approchée que l'on utilise pour les systèmes avec batteries est de k= 0.65

Suivant la disponibilité on a choisi des panneaux photovoltaïques avec la technologie si-monocristallin. Le Tableau II.4 présente les caractéristiques suivantes :

Tableau II.4 : Caractéristiques des modules PV

Type de module	Technologie	P max	Imp	Vmp	Isc	Vco
CEM150M-36	Monocristallin/36cellule	150W	8.11A	18.5V	8.59A	22.9V

Le nombre de panneaux N est :

$$N = P_c / P_{\text{max module}} \dots\dots\dots(4)$$

$$N_{\text{panneaux}} = \frac{1664}{150} = 11.09$$

Sois un totale de **12 modules**

La détermination de la tension du système est conditionnée par la puissance crête (Tableau II.5)

Tableau II.5 : Détermination de la tension du système

P _c	<500Wc	500Wc à 2KWc	>2KWc
Tension du système	12V	24V	48V

L'installation utilise une tension de 24V

c) **Dimensionnement de la capacité de stockage** : on a opté pour une autonomie d'une journée et demie (1.5 j).

$$C = \frac{N_j * E_j}{D * V} \dots\dots\dots (5)$$

$$C = \frac{1.5 * 5028}{0.8 * 12} = 786 \text{ Ah}$$

Nj : l'autonomie, D : Décharge maximale il dépend de type de batterie, V : Tension de batterie

Le nombre de batteries : $N_{\text{Batteries}} = \frac{786}{200} = 3.9$ on majore à **4** batteries pour augmenter l'énergie stockée, pour une autonomie d'une journée la capacité C=524Ah, sois N=2.6 minore à **2** batteries afin de disposer d'une tension de sortie de 24V.

d) **Dimensionnement de régulateur** :

La puissance du régulateur et conditionné par la puissance installé

$$P_{\text{Régulateur}} > P_{\text{c installe}} \quad P_{\text{c installe}} = 1664 \text{ Wc}$$

Ainsi que la différence de potentiel dans l'installation :

$$V_{\text{Régulateur}} = V_{\text{Générateur}} = V_{\text{onduleur}} = 24 \text{ V}$$

Si non il sera obligé d'installer des convertisseurs DC/DC. Le choix du régulateur conditionne du fait le câblage des modules (série/parallèle), sois le nombre de chaines (Figure II.1).

- **Régulateur PWM** : On propose un assemblage de 6 chaines donc 2 panneaux en séries et 6 panneaux en parallèle pour atteindre la puissance crête. Les régulateurs PWM ont une tension d'entrée pas très élevée il ne faut pas la dépasse (23V ou 55V max).

02 Panneaux en séries fournissent une tension de 45.8V

06 Chaines en parallèle fournissent un courant de 51.54A

Donc notre système fournit une puissance globale = $45.8 \times 51.54 = 2360 \text{ Wc}$

$$I_{\text{Régulateur}} = I_{\text{CC}} \times N_{\text{P en parallèle}} = 8.59 \times 6 = 51.54 \text{ A}$$

D'après les résultats on choisit un régulateur PWM de 12V/24V et 60A et $V_{\text{co}} > 45.8$

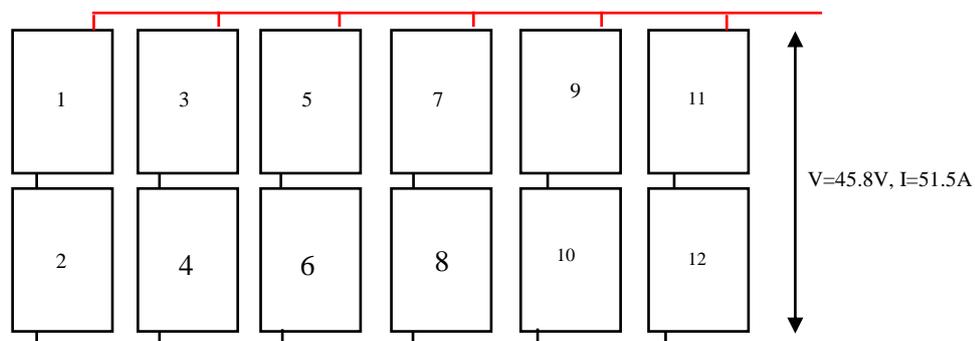


Figure II.1.a : Configuration de l'installation PV Régulateur PWM

- **Régulateur MPPT** : On propose un assemblage de 2 chaînes donc 6 panneaux en séries et 2 parallèles pour gagner en tension du fait que les régulateurs MPPT acceptent une tension d'entrée plus élevée par rapport aux PWM (75V, 100V, 150V et jusqu'à 250V).

06 Panneaux en séries fournissent une tension de 137.4V

02 Chaînes en parallèle fournissent un courant de 17.18A

Donc notre système fournit une puissance globale = $137.4 \times 17.18 = 2360Wc$

$I_{Régulateur} = I_{CC} \times N_{P \text{ en parallèle}} = 8.59 \times 2 = 17.18A$

D'après les résultats on choisit un régulateur MPPT de 12V/24V et 20A et $V_{co} > 137.4$ une marge de sécurité est imposée par le fabricant de l'ordre de 15%.

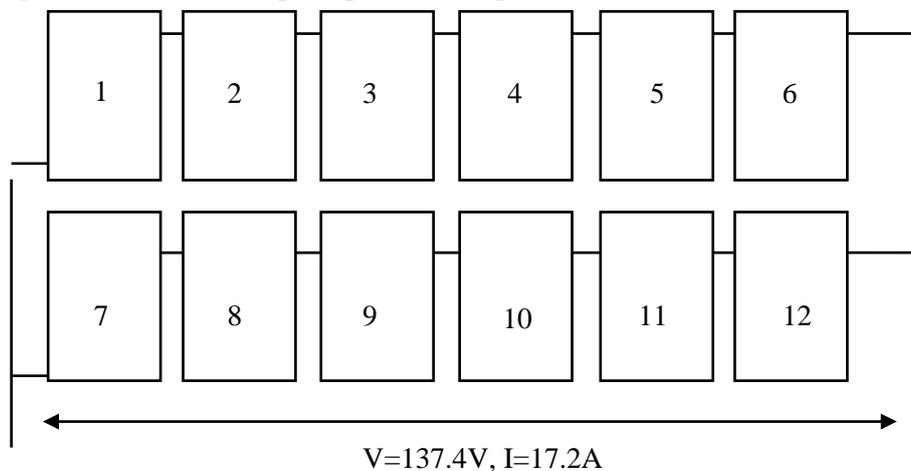


Figure II.2.b : Configuration de l'installation PV Régulateur MPPT

e) Dimensionnement de l'onduleur :

La puissance de l'onduleur doit satisfaire la condition : $P_{Onduleur} > P_{Charge} > 626W + Divers$

$$P_{Onduleur} = \frac{P_{charge} \times 1.25}{0.9} \dots \dots \dots (6)$$

$$P_{Onduleur} = \frac{726 \times 1.25}{0.9} = 1008W$$

1.25 : Coefficient de correction

0.9 : Rendement de l'onduleur

$P_{Charge} = 626 + Divers$, le divers = 100W soit la puissance de la Charge est de 726W

L'implémentation d'une installation photovoltaïque Off-grid au niveau du site de Bou-Ismail pour satisfaire une énergie journalier égale à 5028Wh et une autonomie de 1.5 jour nécessite l'utilisation des équipements PV dont les caractéristiques sont présentées (Tableau.9).

Tableau II.6 : Caractéristiques de système PV pour la région côtière de l'Algérie (Bou-Ismaïl)

Région côtière Bou-Ismaïl		
Module PV	<u>12 modules</u> de 150W (2 en série et 6 chaînes)	12 modules de 150W (6 en série et 2 Chaînes)
Batteries	4 batteries de 200Ah et 12V (2 en série et 2 en parallèle)	4 batteries de 200Ah et 12V (2 en série et 2 en parallèle)
Régulateur	PWM sup 51.54A et $V_{co} > 45.8$, 12V/24V	MPPT sup 17.18A et $V_{co} > 137.4$, 12V/24V
Onduleur	1500W/24V	1500W/24V

Les résultats du dimensionnement des deux régions hauts plateaux et Sahara sont présentés Tableau.10

Tableau II.7 : Caractéristiques de système PV pour la région hauts plateaux et Sahara

Région hauts plateaux		
Module PV	<u>10 modules</u> /150W (2 en série et 5 Chaîne)	10 modules/150W (5 en série et 2 chaînes)
Batteries	4 batteries, 200Ah/12V (2 en série et 2 en parallèle)	4 batteries de 200Ah/12V (2 en série et 2 en parallèle)
Régulateur	PWM sup 42.95A et $V_{co} > 45.8$, 12V/24V	MPPT sup 17.18A et $V_{co} > 114.5$, 12V/24V
Onduleur	1500W/24V	1500W/24V
Région saharienne		
Module PV	<u>08 modules</u> /150W (02 en série et 4 Chaînes)	08 modules/150W (04 en série et 2 en parallèle)
Batteries	4 batteries de 200Ah et 12V (2 en série et 2 en parallèle)	4 batteries de 200Ah/12V (2 en série et 2 en parallèle)
Régulateur	PWM sup 34.36A et $V_{co} > 45.8$, 12V/24V	MPPT sup 17.18A et $V_{co} > 91.6$, 12V/24V
Onduleur	1500W/24V	1500W/24V

II.6.2. Dimensionnement numérique :

On utilise l'outil numérique PVSYST version 7.2.4 pour faire ce dimensionnement

a) **Logiciel PVSYST** : PVSyst est un programme de conception et de simulation de systèmes photovoltaïques. Il est conçu pour être utilisé par des architectes, ingénieurs et chercheurs pour développer un projet. PVSyst dispose d'une grande base de données météorologique pour un certain nombre de sites dans le monde entier. Il permet également l'insertion manuelle de données mesurées pour les sites qui ne sont pas inscrits dans le logiciel[52][47]. L'utilisateur doit fournir certaines entrées au logiciel, les variables de simulation sont :

- Données météorologiques
- Irradiance incidente dans le plan du collecteur

- Facteurs d'énergie incidents
- Comportement de la matrice PV (champ)
- Pertes de l'onduleur
- Conditions de fonctionnement du système
- Utilisation de l'énergie
- Rendement
- Indice de performance normalisée

Il présente les résultats sous la forme d'un rapport complet qui comprend des graphiques et des tableaux spécifiques. Les données peuvent être exportées pour être utilisées dans d'autres logiciels.

b) **Présentation des sites** : On a choisi de dimensionner l'installation PV sur PVSYST[53] pour trois wilayas en Algérie (Figure.24) avec des climats complètement différent:

- Tipaza : La commune de Bou-Ismaïl est située au Nord-est de la wilaya de Tipaza au bord de la mer Méditerranée, à environ 25 km à l'Est de Tipaza et à environ 35 km au Sud-ouest d'Alger.
- Sétif : La ville Sétif au Nord-est de l'Algérie et le chef-lieu de la wilaya de Sétif. Située à 252 km à l'est-sud-est d'Alger et à 127 km à l'ouest de Constantine, la ville culmine à 1100 m d'altitude.
- Tamanrasset : La commune de Tamanrasset est le chef-lieu de la wilaya. Située à 1900 km au sud d'Alger, à 450 km à vol d'oiseau au Sud-ouest de Djanet et à environ 400 km au nord de la frontière malienne.

Le tableau.1 résume les coordonnées géographiques de chaque site :

Tableau II.8 : Coordonnées géographiques de (Bou Ismaïl, Sétif, Tamanrasset)[53]

Site d'implantation PV	Bou Ismaïl	Sétif	Tamanrasset
Coordonnées géographiques	36° 38' 33" nord 2° 41' 24" est	36° 09' 00" nord 5° 26' 00" est	22° 47' 13" nord 5° 31' 38" est

c) **Méthodologie de dimensionnement numérique** :

Site de Bou Ismaïl, Tipaza

Etape 01 : On clique sur l'icone de l'outil numérique PVSYST, on affiche la fenêtre suivante pour choisir le type d'installation. Dans notre cas une installation isolé (Off-grid) avec système de stockage par batteries solaire (Figure II.3).

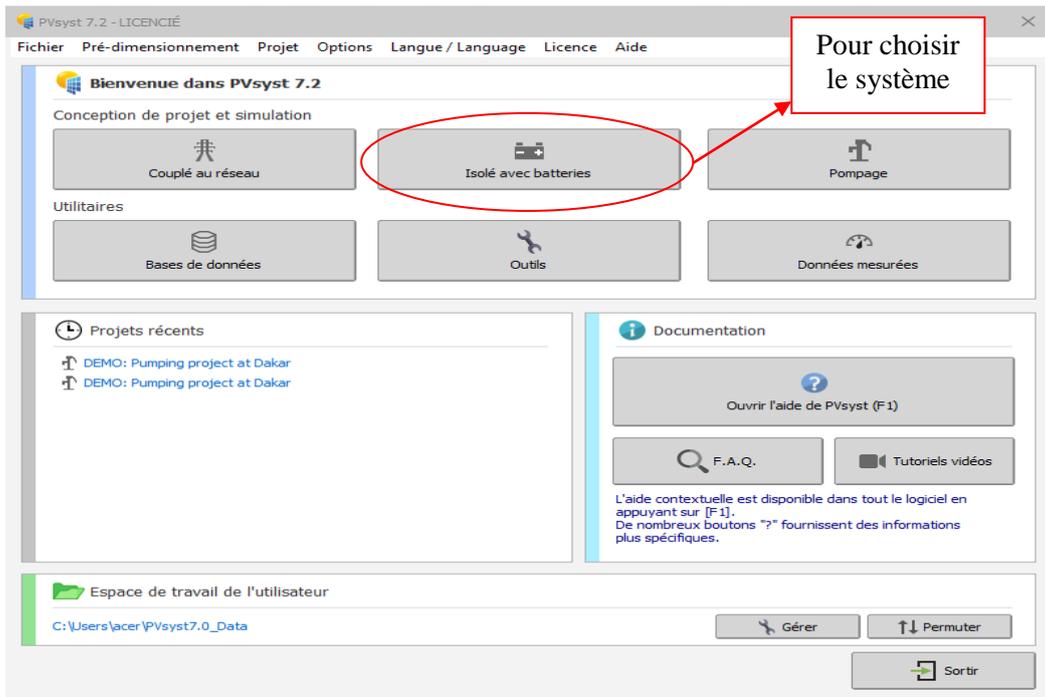


Figure .II.3 : Fenêtre d'accueil du logiciel numérique PVSYST version 7.2

Etape 02 : Introduire les informations de l'utilisateur et définir le projet (Figure II.4)

Titre : PFE : Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

Client : Unité de développement des équipements solaires UDES, Bou Ismaïl, Tipaza

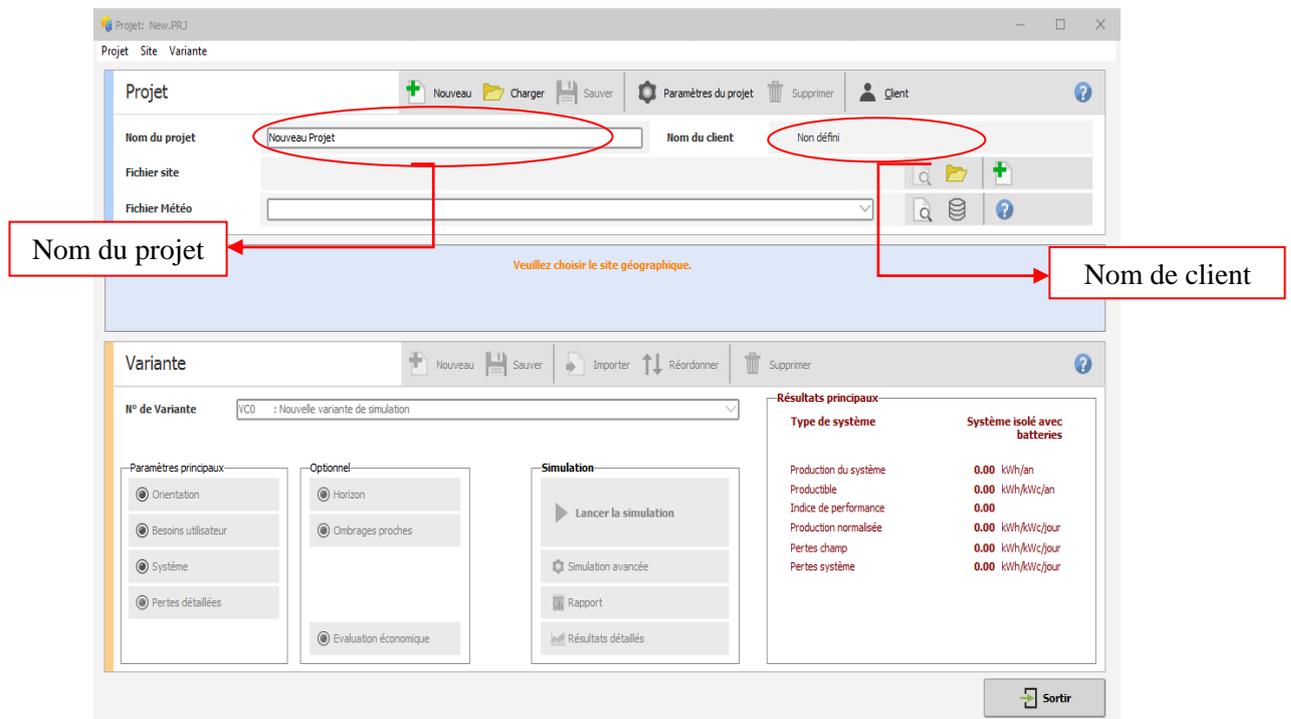


Figure.II.4 : Informations du projet

Etape 03 : Obtention du site d'implantation avec choix du site c'est une étape très importante dans le dimensionnement photovoltaïque, le site de Bou Ismaïl wilaya de Tipaza ne figure pas sur le logiciel. On a ajouté la commune de Bou Ismaïl avec les coordonnées géographiques sur PVSYST ; Latitude : 36° 38' 33" nord, Longitude : 2° 41' 24", Altitude : Min = 0 m, Max = 210 m et superficie : 14 km². On clique sur nouveau site et nous remplissons les coordonnées géographiques, PVSYST identifie directement le site et nous affichons la fenêtre (Figure.27).

Etape 04 : Les coordonnées météorologique du site sont obtiens via des sites internet telle que métronom, et PVGIS. La version de PVSYST 7.2.4 nous permet d'importer les paramètres météorologiques directement sans aller à Google. On à choisit la base de données PVGIS et on obtient les paramètres météorologiques du site de Bou-Ismaïl (Figure II.5).

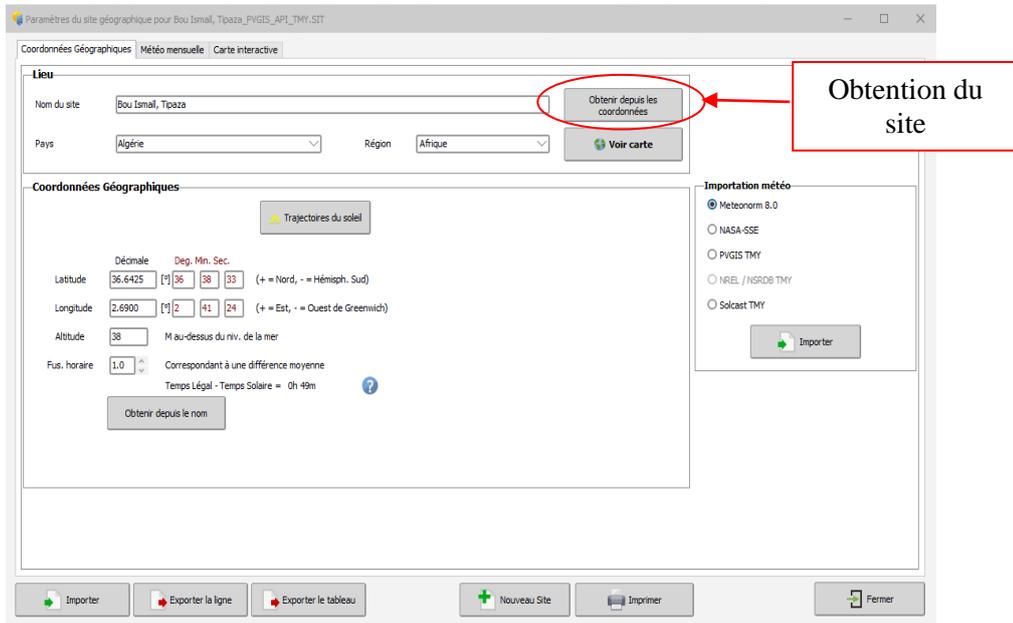


Figure.II.5 : Choix et introduction du site d'implantation

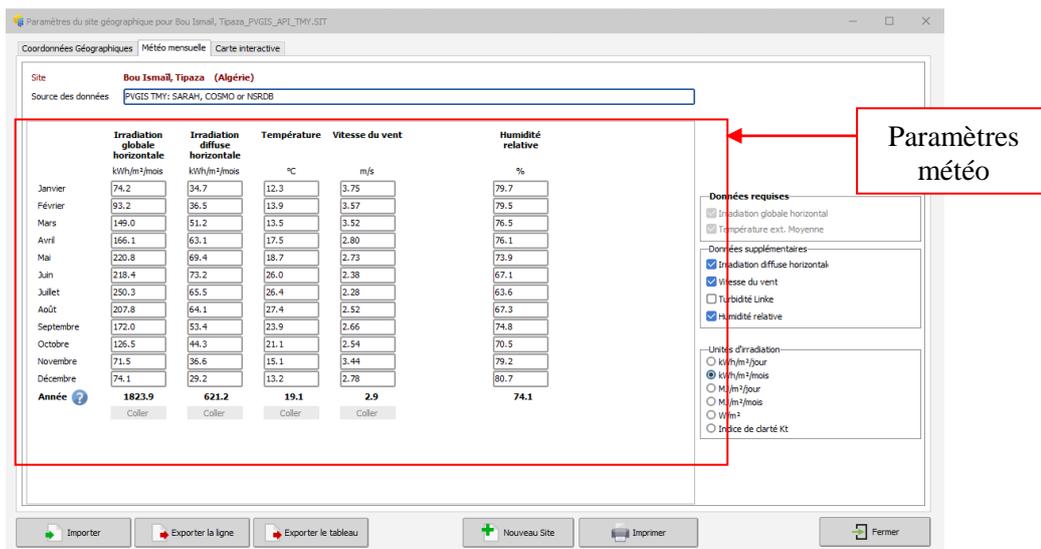


Figure. II.6 : Paramètres météorologiques du site de Bou-Ismaïl

Le tableau.I.9 indique les coordonnées météorologiques mensuelles moyennes du site Bou Ismaïl (Figure II.6).

Tableau. II.9 : Paramètres météorologiques di site de Bou-Ismaïl [54]

Mois	Irradiation globale horizontale kWh/m ² /mois	Irradiation diffuse horizontale kWh/m ² /mois	Température °C	Vitesse du vent m/s	Humidité relative %
Janvier	74.2	34.7	12.3	3.75	79.7
Février	93.2	36.5	13.9	3.57	79.5
Mars	149.0	51.2	13.5	3.52	76.5
Avril	166.1	63.1	17.5	2.80	76.1
Mai	220.8	69.4	18.7	2.73	73.9
Juin	218.4	73.2	26.0	2.38	67.1
Juillet	250.3	65.5	26.4	2.28	63.6
Août	207.8	64.1	27.4	2.52	67.3
Septembre	172.0	53.4	23.9	2.66	74.8
Octobre	126.5	44.3	21.1	2.54	70.5
Novembre	71.5	36.6	15.1	2.44	79.2
Décembre	74.1	29.2	13.2	2.78	80.7
Année	1823.9	621.1	19.1	2.9	74.1

Etape 05 : Les besoins électriques sont introduit (Figure II.7). On clique sur OK pour enregistrer tous les données qu'on a insérer et passé a la spécification des heures en cliquant sur distribution horaires et on a choisi la distribution indiquant dans cette fenêtre (Figure II.8).

Définition des usages domestiques journaliers pour l'année.

Nombre	Appareil	Puissance	Util. journ.	Distrib. horaire	Daily energy
6	Lampes LED	18 W/lampe	6.0 h/jour	Spécifiez heures	648 Wh
1	PC	400 W/app	8.0 h/jour	Spécifiez heures	3200 Wh
0	Appareils domestiques	0 W/app	0.0 h/jour		0 Wh
1	Refrigerateur	1.2 kWh/jour	24.0 h/jour	OK	1200 Wh
0	Machines à laver linge/vaisselle	0.0 W moy.	2.0 h/jour		0 Wh
0	Autres utilisations	0 W/app	0.0 h/jour		0 Wh
0	Autres utilisations	0 W/app	0.0 h/jour		0 Wh
	Consomm. de veille	1 W tot	24 h/jour		24 Wh
Energie journalière totale					5072 Wh/jour
Energie mensuelle					152.2 kWh/mois

Définition consommation par
 Années
 Saisons
 Mois

Utilis. Week-end ou semaine
 Utilisation seulement pendant
 7 jours dans la semaine

Besoins électriques

Appareil no 1: Veuillez définir la distribution horaire ! (2ème page)

Modèle: Charger, Sauver, Autre profil, Annuler, OK

Figure.II.7 : Besoins électrique

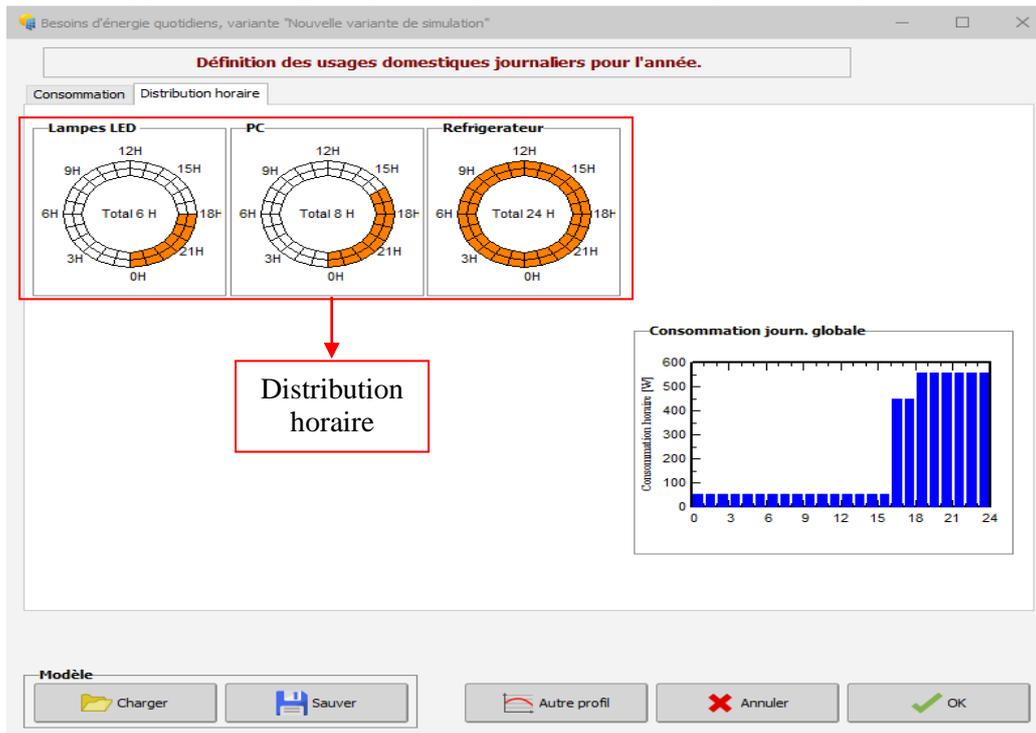


Figure.II.8 : Distribution horaire

Etape 06 : Orientation, on clique sur orientation pour déterminer l'inclinaison et l'azimut optimal pour notre installation PV on doit minimiser les pertes jusqu'au 0% en jouant sur l'azimut et l'inclinaison pour diminuer les pertes mais avant on change l'optimisation par rapport a l'irradiation annuelle et on choisit le type de champ plan incliné fixe (Figure II.9). Suivant la fenêtre, le Facteur de transposition est égale à 1.15, les pertes sont de 0% et le global sur plan capteurs 2098 kWh/m².

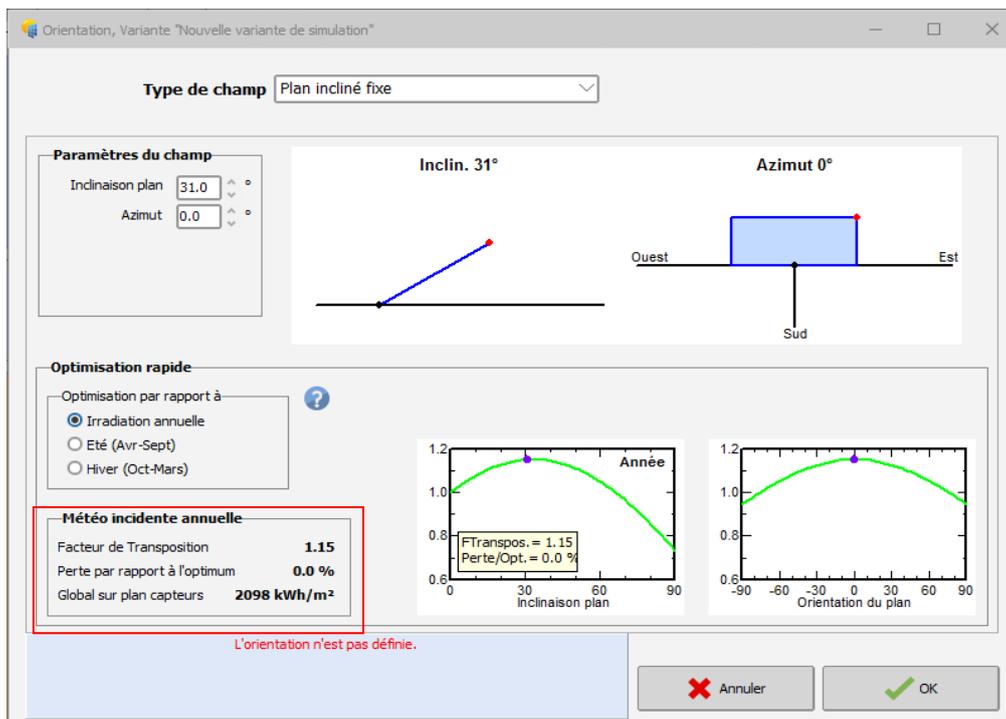


Figure.II.9 : Orientation du panneau (Azimut et Inclinaison)

Etape 07 : Type d'équipements utilisés (on clique sur système pour effectuer notre choix). On commence par le choix de batterie, on sélectionne une autonomie d'une journée après on détermine le type de batteries qu'on utilise (batteries de 200Ah et 12V). Le logiciel PVSYST détermine automatiquement le nombre de batteries et leur schéma d'assemblage comme indiqué dans la fenêtre (Figure II.10).

- Nombre de batteries : 2 batteries en série
- Tension batteries : 24 V
- Capacité conseillée : 249 Ah

Pour le choix des modules PV on clique sur champ et on ajoute les caractéristiques de module si elles ne figurent pas. Les caractéristiques sont introduites à partir de la fiche technique du fabricant en cliquant sur (ouvrir) comme l'indique la fenêtre (Figure.33). Après la sélection du module ajouté, PVSYST dimensionne les tensions:

- V_{mpp} à $60C^{\circ}$ = 16.2 V, V_{co} à $-10C^{\circ}$ = 25.2 V
- Nombre de modules 12 panneaux de surface $17m^2$
- Puissance nominale du générateur PV (STC) = 1800Wc
- Assemblage 2 panneaux en série et 6 chaînes en parallèle.

The screenshot shows the 'Définissez le pack de batteries' window in PVSYST. It includes a procedure section, a table for selecting battery specifications, and a summary of system requirements.

Procédure

1. - Pré-dimensionnement : Définissez les conditions de pré-dimensionnement (P.L.O.L., autonomie, tension batterie)
2. - Stockage : Définissez le pack de batteries (les cases défaut approchent les suggestions du pré-dimensionnement)
3. - Conception champ PV : Définissez le champ PV (Module PV et mode de contrôle). Conseil : commencez avec un régulateur universel !
4. - Appoint : Définissez un éventuel groupe électrogène

Définissez le pack de batteries

Trier les batteries selon tension capacité fabricant

Tous les fabricants | 12 V | 200 Ah | Pb Sealed Gel | MPG 12V 200 | Narada | Ouvrir

Toutes les techno.

2	<input checked="" type="checkbox"/> batteries en série	Nombre de batteries	2	Tension du pack batteries	24 V
1	<input checked="" type="checkbox"/> batteries en parallèle	Nombre d'éléments	12	Capacité globale	200 Ah
100.0	% Etat d'usure initial (nb. de cycles)			Energie stockée (80 % DOD)	3.8 kWh
100.0	% Etat d'usure initial (statique)			Poids total	134 kg
				Nbre de cycles à 80 % DOD	1000
				Energie totale stockée durant la vie de la batterie	4392 kWh

Température batterie en opération

Mode tempér. : Fixée (local tempéré)

Température fixée : 20 °C

La température est importante pour la durée de vie de la batterie. Une augmentation de 10 °C diminue la durée de vie "statique" d'un facteur 2.

Veillez choisir le module PV !

Besoins utilis.

Utilis. domestique	Puissance moy.	211 W
Fraction nuit	Énergie jour	5.1 kWh

Pack de batteries

1 en parallèle, 24 V	Capacité	200 Ah	
Autonomie	0.8 jr	Energie stockée	3.8 kWh

Champ PV

1 chaînes de 1 modules	Puissance nom.	Wc	
PV/PLoad	-47.3	Énergie moy. jour	0.0 kWh

Régulateur

Universel, couplage direct		
Courant PV max.	A	Seuils selon tension

Buttons: Annuler, OK

Figure.II.10 : Choix et schéma d'assemblage des batteries

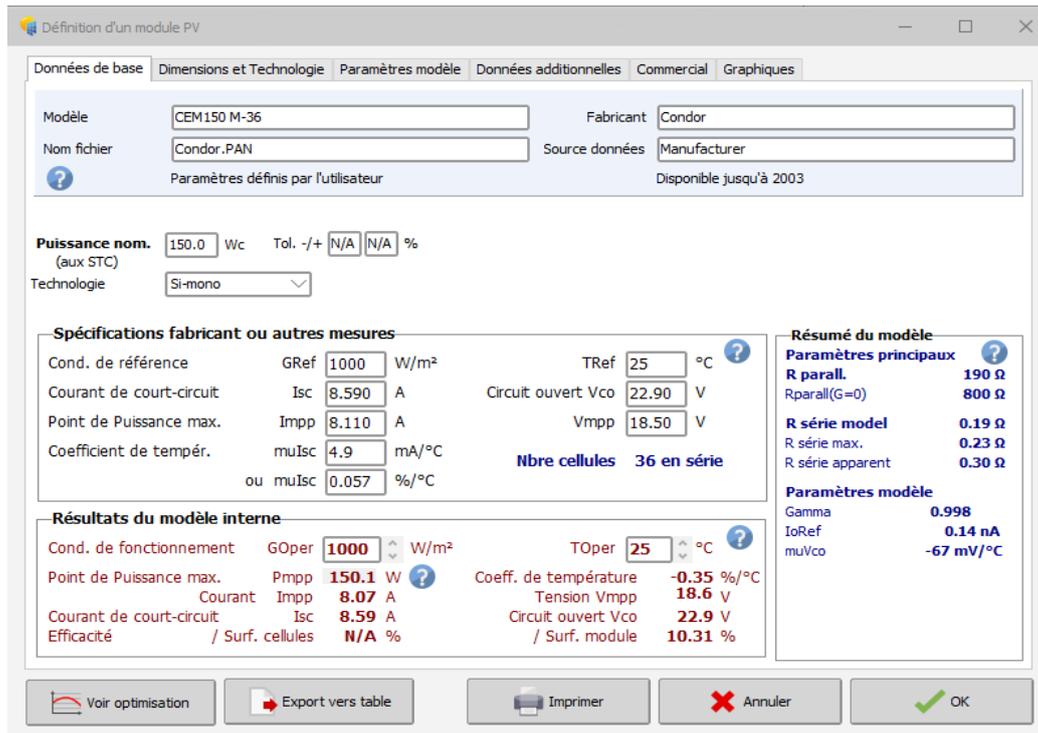


Figure.II.11 : Définition des modules PV

Enfin, le choix de régulateur. On clique sur régulateur universel et on choisit convertisseur MPPT PVSYST directement nous a donné le régulateur compatible avec notre installation (Figure II.12).

- régulateur MPPT de puissance 1000W
- Courant de charge maximal 83A
- Courant de décharge maximal 23A

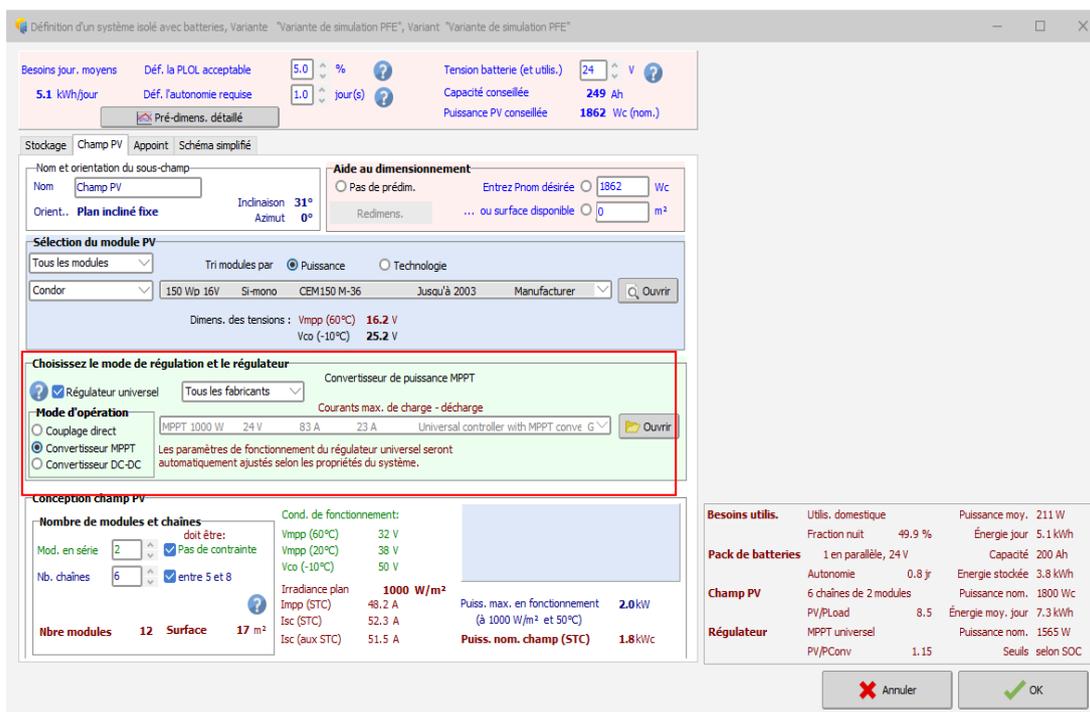


Figure.II.12 : Définition du système de régulation

PVSYST propose un schéma simplifié de l'installation PV (Figure II.13) avec les différents éléments et équipements l'installation étudié.

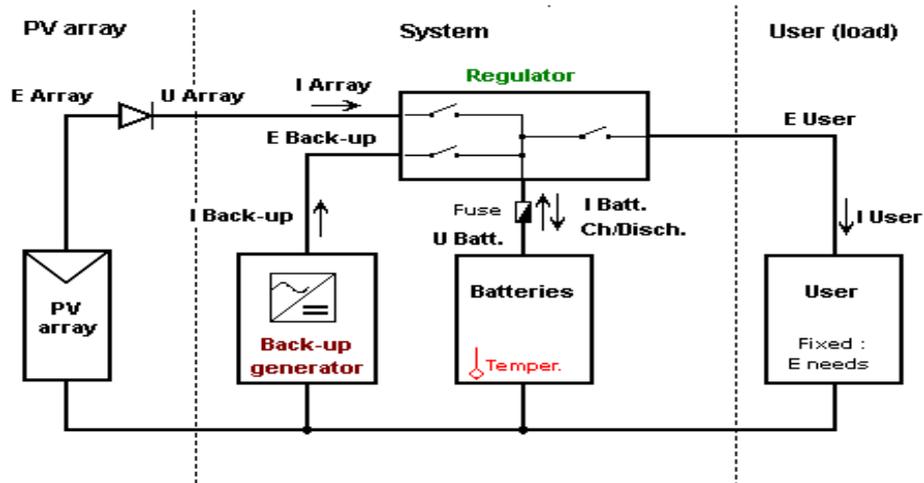


Figure.II.13 : Schéma simplifié de l'installation PV

Etape 08 : On clique sur lancer la simulation et on aura la fenêtre (Figure II.14) qui résume les résultats de la simulation effectuée. Les détails de résultats obtenus par PVSYST sont regroupés dans un rapport sous forme PDF. Pour le site de Sétif et Tamanrasset on suit les mêmes étapes (Tableau I.10).

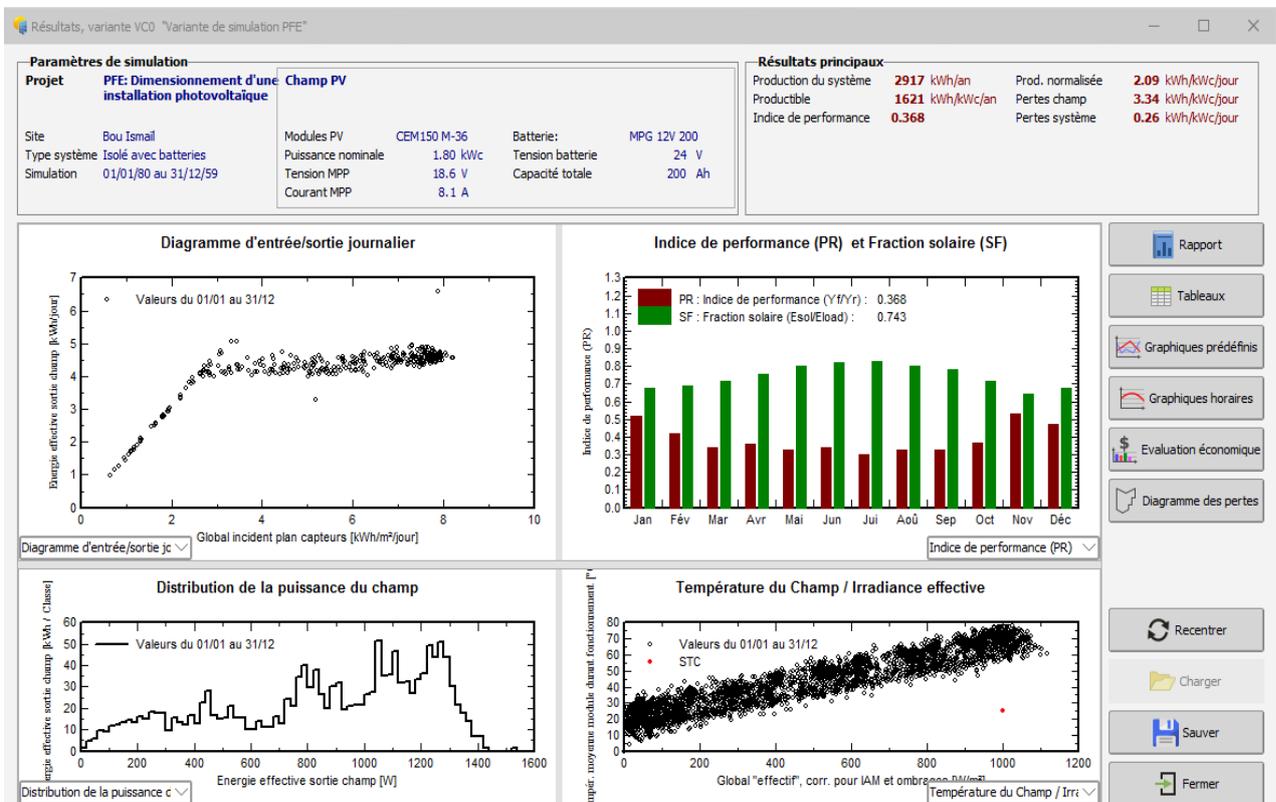


Figure.II.14 : Résultats de la simulation

Tableau.II.10 : Résultats de PVSYST pour les trois sites, Bou-Ismaïl, Sétif et Tamanrasset

Site	Batterie	Champ PV	Régulateur	Production du système
Bou Ismaïl	02 batteries 12V/200Ah associé en série	12 Modules 2 en série et 6 Chaines en parallèle	MPPT puissance 1000W courant de charge max 83A courant de décharge max23A	2917 kWh/an
Sétif	02 batteries 12V/200Ah associé en série	10 Modules 2 en série et 5Chaines en parallèle	MPPT puissance 1000W courant de charge max 69A courant de décharge max23A	2513 kWh/an
Tamanrasset	02 batteries 12V/200Ah associé en série	06 Modules 2 en série et 3Chaines en parallèle	MPPT puissance 1000W courant de charge max 41A courant de décharge max23A	1758 kWh/an

II.7. Conclusion :

Les dispositifs photovoltaïques nécessitent une méthode de calcul et une méthode de sélection de haute précision. Une installation sous-dimensionnée est toujours une installation peu fiable, et une installation surdimensionnée nous coûtera plus cher.

De manière générale, la maîtrise de la sélection globale repose d'une part sur les différentes caractéristiques techniques des sous-systèmes (générateurs photovoltaïques, cellules, régulateurs et convertisseurs) qui composent une installation photovoltaïque, ainsi que sur les méthodes de sélection utiles. Les résultats de dimensionnement sont conditionnés par les paramètres de base qui sont les paramètres météorologiques et le profil de consommation.

Les résultats obtenus par les deux méthodes de dimensionnement théoriques et numérique (PVSYST) pour les trois régions climatique de l'Algérie (Côtière, hauts plateaux et saharienne) sont en très bon accord. On a observé une différence au niveau du nombre de module photovoltaïque installés du fait de l'intensité de l'irradiation et sa durée. La puissance installée se répercute systématiquement sur le courant maximum supporté par le régulateur MMPT utilisé. Cette différence entraîne une diminution du coût financier de l'installation et la rendent plus attractif. Cependant, il ne faut pas négliger l'influence des conditions d'utilisation extrême au niveau du sud algérien (température, vent de sable et dégradation des équipements).

Chapitre 3

Réalisation et Etude des Performances d'une Installation PV Off-Grid

Chapitre 3

Réalisation et étude des performances d'une installation PV Off-Grid

III.1. Introduction :

Le chapitre trois traite la conception et la réalisation d'une installation PV Off-Grid. On a procédé au choix des équipements disponible, ainsi que l'acquisition des données et la caractérisation des performances énergétiques de l'installation ; courbe I (V) courbe P(V).

III.2. Conception et Réalisation :

III.2.1. Conception de l'installation photovoltaïque :

Selon la disponibilité des équipements et le pré-dimensionnement effectué Chapitre 02, on a proposé un raccordement des 18 modules de 150Wc qui prend en considération les caractéristiques du régulateur de charge $I_{max}=60A/V_{co}=150V$ (Figure III.1). La capacité de stockage est estimée à 9600Wh, soit 9.6kWh

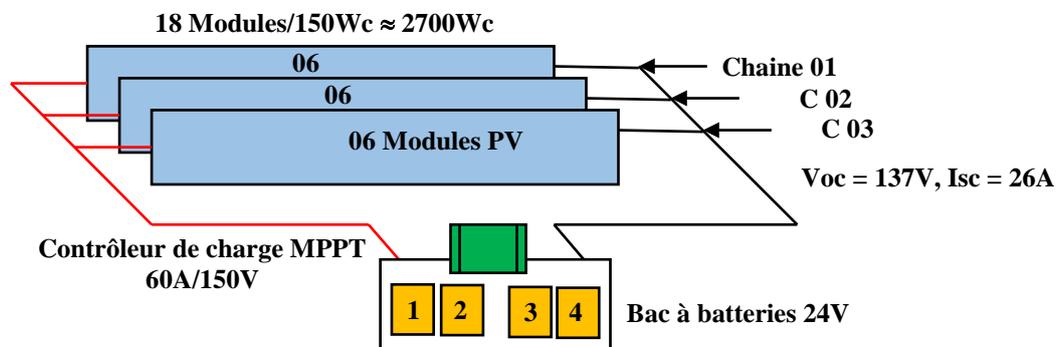


Figure.III.1: Schéma d'installation PV Off-Grid

La variation d'irradiation annuelle du site est tracée à partir du logiciel PVGIS. Le logiciel contient une base de données climatique pour chaque site dans le monde. On a utilisé les valeurs d'irradiations des années 2019 et 2020 (Figure III.2). On relève les irradiations globales de l'année 2020 et on calcule l'irradiation globale moyenne.

Gh : Gisement horizontal global / mois

Ghm : Gisement horizontal moyenne /mois

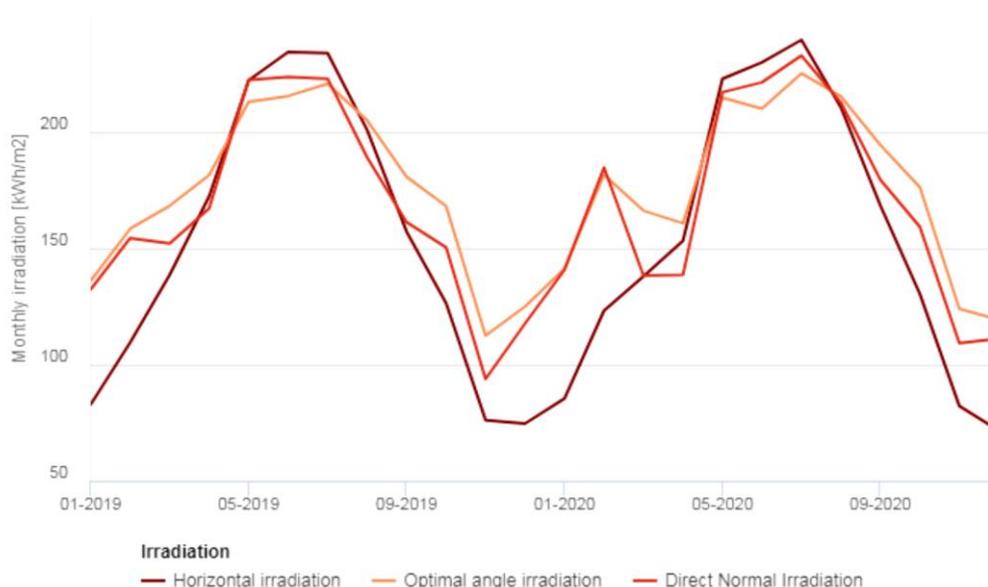


Figure III.2 : Estimations mensuelles de l'irradiation solaire à Bou Ismaïl[55]

Le mois le moins favorable est Décembre avec une valeur d'irradiation moyenne de **3.84 kWh/m²**(Tableau III.1). PVGIS nous donné une valeur de latitude de **36.643°**, généralement l'inclinaison des module est égale latitude de lieu.

Tableau.III.1 : Gisement solaire[55]

Mois	Gh	Ghm
Janvier	141.32	4.55
Février	181.7	6.48
Mars	166.18	5.36
Avril	160.79	5.35
Mai	214.74	6.92
Juin	210.1	7.00
Juillet	225.21	7.26
Août	215.31	6.94
Septembre	194.36	6.47
Octobre	176.29	5.68
Novembre	124.01	4.13
Décembre	119.25	3.84

III.2.2.Structures, équipements et implémentation :

a) Installation des panneaux photovoltaïque : Afin d'installer des panneaux photovoltaïques, la structure idéale est celle qui s'incline vers le sud avec une inclinaison (entre 19° et 37° en Algérie) et surtout sans aucun obstacle d'ombre (arbres, bâtiments voisins, etc.). On a installé les modules PV sur la terrasse de l'UDES face sud avec une structure métallique galvanisée et

a 100% boulonnier. On a utilisé 18 modules photovoltaïques de fabrication nationale avec une technologie monocristalline d'une puissance de 150Wc (Figure III.3).



Figure.III.3 : Structure métallique et modules PV installés avec plaque signalétique.

- Influence de l'angle d'incidence : L'angle d'incidence, c'est l'angle formé par les rayons du Soleil et le plan du module. Il joue un rôle majeur pour les rendements du panneau. Il est défini par l'équation :

$$R = \sin \alpha \times 100$$

R : Le rendement et α : L'angle d'incidence

Le module atteint son rendement maximal lorsque les rayons de soleil arrivent perpendiculairement sur ce dernier, il est conditionné en partie par l'angle d'inclinaison des modules. On a essayé de respecté ce points au maximum dans notre cas $\alpha = 33^\circ \pm 2$ (Figure III.4) pour avoir des modules avec un angle d'incidence égale a 90° .

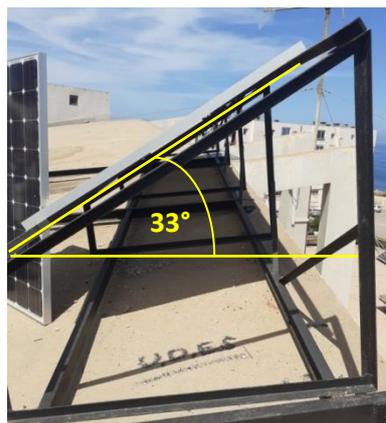


Figure.III.4 : Angle d'inclinaison des modules.

Les modules inclinés avec un angle de moins de 45° présente une production d'énergie importante en été (cas de notre installation) mais faible en hiver. Inversement, si le panneau est incliné d'un angle de plus de 45° , la production d'énergie sera importante en hiver mais faible en été.

- Influence de l'orientation : On a oriente les installations photovoltaïques vers le sud car les rayons du Soleil viennent plus du Sud que des autres directions par rapport à notre emplacement (Figure.40). Cependant, lorsque le Soleil est au zénith, le rayonnement est le plus Intense.
- Distance entre les panneaux : On à laisser une distance de 1 cm entre modules afin de minimiser l'effet du vent perpendiculaire sur le panneau qui peut les endommager et casser la structure. Une distance égale a la longueur de panneau PV, sois environ 1.5 m pour est laisse entre la première chaine et la seconde pour éviter l'ombrage qui minimise le rendement et peut endommager complètement le panneau PV (Figure III.5).

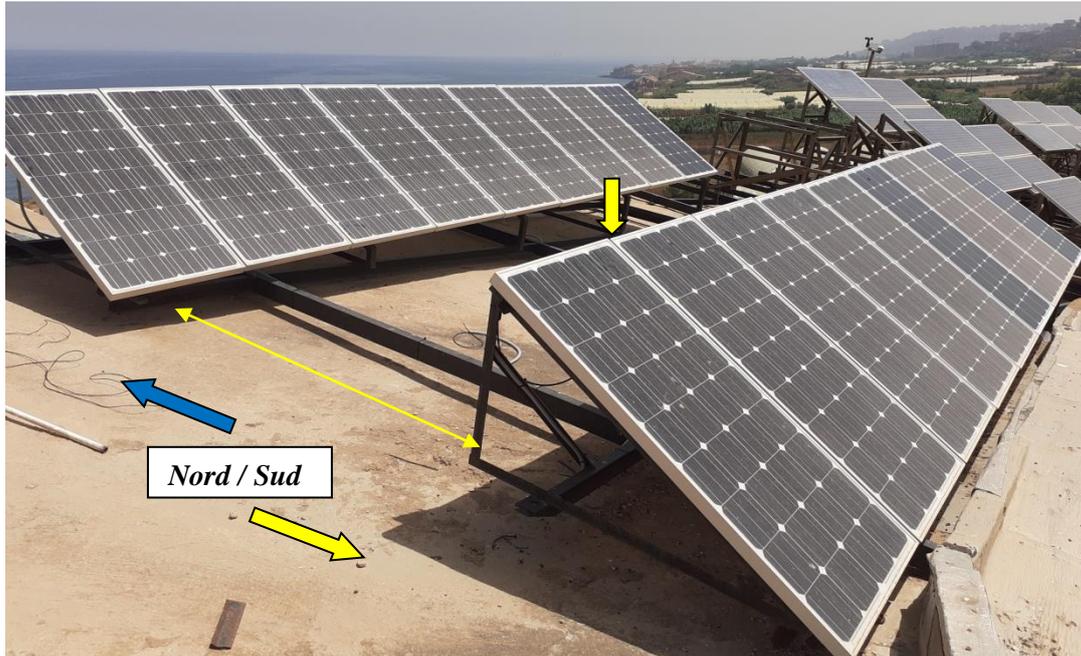


Figure.III.5 : Champ Photovoltaïque UDES/Bou-Ismaïl, Tipaza, orientation et espacement

b) **Système de régulation de charge et de conversion** : On a utilisé un régulateur de charge MPPT de la marque EPEVER model Tracer6415AN (Figure III.6).

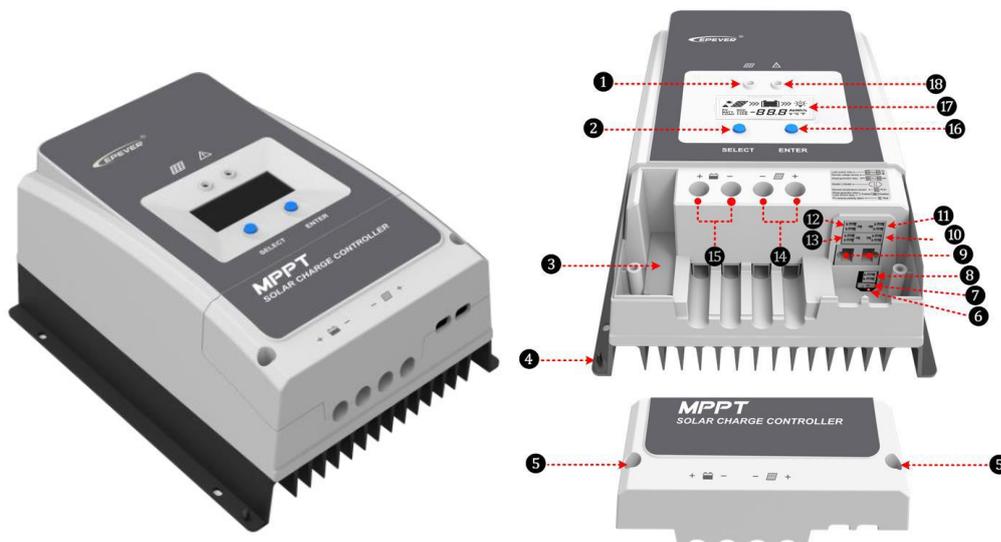


Figure.III.6 : Régulateur de charge MPPT

1 : Indicateur de charge, 2 : Botton select, 3 : Fusible externe, 4 : Borne de mise à la terre, 5 : Trou de vis M4, 6 : (Inversion de polarité PV) indicateur d'alarme, 7 :Commutateur d'activation de contact sec (générateur/charge), 8 : interface RTS, 9 :RS485 port (5VDC/200Ma), 10 :(Utilitaire/Générateur) contact sec ON interface, 11 :RBVS interface, 12 :(Charge) interface de contact sec, 13 :(Utilitaire/Générateur) contact sec OFF interface, 14 :Bornes photovoltaïques, 15 : Bornes batteries , 16 : Botton Enter, 17 : LCD, 18 : Indicateur de défaut

Les caractéristiques du régulateur (Tableau III.2) ont conditionnées notre choix pour la mise en place du champ PV (assemble de 6 modules en série et 3 chaînes en parallèle pour ne pas dépasser la tension de charge maximale du régulateur 150V, mais si en prend en considération la marge de sécurité du constructeur son $V_{co} = 138V$.

Le champ PV fournit une puissance de 2700Wc plus grande que la puissance de charge nominale de régulateur. Toutefois ce type de régulateur accepte une puissance PV maximale égale à 2250W en 24V. Cependant, le générateur PV ne produit pas une puissance plus grande à 2250W selon les paramètres météorologiques de la région.

Tableau.III.2 : Caractéristiques technique du régulateur

Model	Rated charge current	Rated charge power	Max. PV power	Max. PV open circuit voltage
Tracer6415AN	60A	1500W/24V	2250W/24V	150V

Onduleur : on a utilisé un onduleur DC/AC d'une puissance de 2000W (Figure III.7). Avec afficheur LCD, qui indique en temps réel le niveau de charge des batteries.



Figure.III.7 : Onduleur DC/AC 2Kw et Batterie solaire

L'installation photovoltaïque est destinée à alimenter les charges du second laboratoire de l'équipe de Froid et Climatisation par Energies électricité d'Origine Renouvelables :

- 01 réfrigérateur AC de 0.416 KWh/24H
- 01 réfrigérateur DC de puissance unitaire égale à 59W
- 7 Lampes de 18 W
- 01 PC d'acquisition

c) **Système de stockage par Batterie** : on a utilisé des batteries étanche à AGM-gel de 200Ah et 12V, avec un assemblage série/parallèle pour avoir une tension au niveau du bac de 24V (Figure.43). La tension de batterie doit être égale à la tension de l'onduleur 24V et ne dépasse pas un courant de charge de 60A.

d) Câblage de l'armoire électrique : On choisit le bon emplacement et la meilleure distribution pour les équipements qu'on va mettre dans l'armoire électrique, et on les fixe sur la plaque métallique de l'armoire. On câble les bornes photovoltaïques du régulateur avec le bornier de champ PV par des câbles souples de 6 mm^2 car le courant qui passe dans ces câbles n'est pas très important et on passe par le sectionneur (Figure III.8) pour isoler le champ PV en cas de besoin.

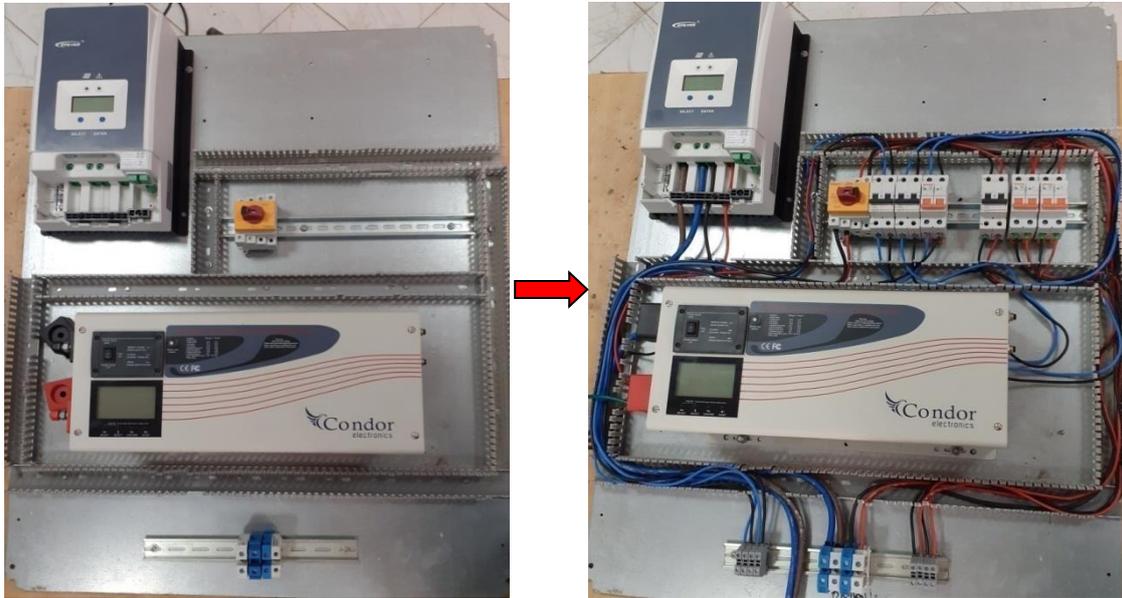


Figure III.8. Assemblage de l'armoire électrique de contrôle

On câble les bornes de batteries du régulateur avec le bornier de batteries avec des câbles souples de 20 mm^2 parce que le courant qui passe dans ces câbles est très important et pour éviter les problèmes. Enfin, on ajoute les systèmes de protection ou disjoncteurs AC de 16 et 32 A. Le régulateur et l'onduleur disposent d'une protection interne.

e) Câblage des modules photovoltaïques : le câblage des modules PV s'est effectué avec une association série parallèle pour augmenter le courant et la tension fournie par le générateur PV, on dispose de 18 modules et on veut les exploiter tous, d'après les caractéristiques du régulateur on a associé 6 panneaux en série pour avoir 3 chaînes et les 3 chaînes on les assemble en parallèle (Figure III.9). On a utilisé des jonctions MC4 normales et en Y pour faciliter le travail. On a mesuré la tension de chaque chaîne pour confirmer que notre câblage est bien fait.

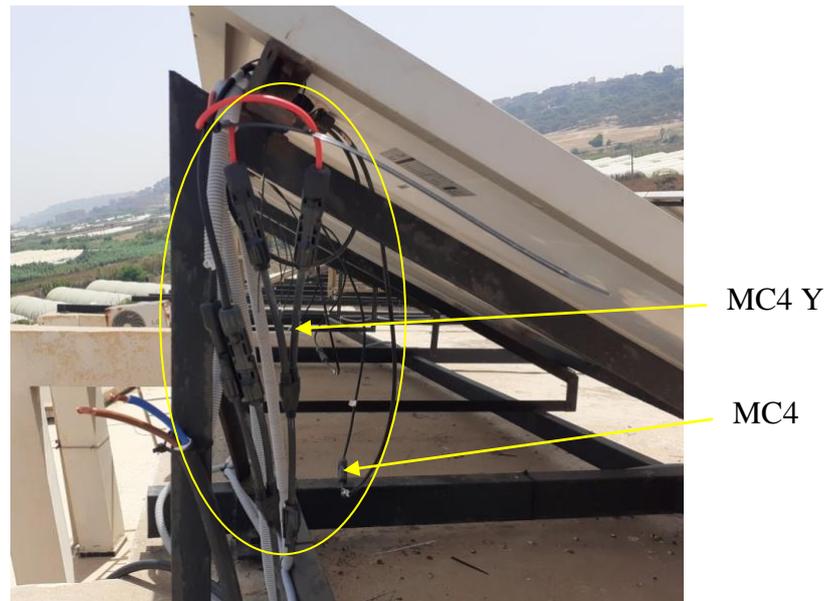


Figure.III.9 : Câblages des panneaux PV

- f) **Câblage de batteries :** On a un système de 24V donc on a assemblé chaque deux batterie de 12V, 200Ah en série et deux en parallèle pour atteindre le 24V. La capacité totale du système de stockage est de 9.6kWh (Figure III.10).

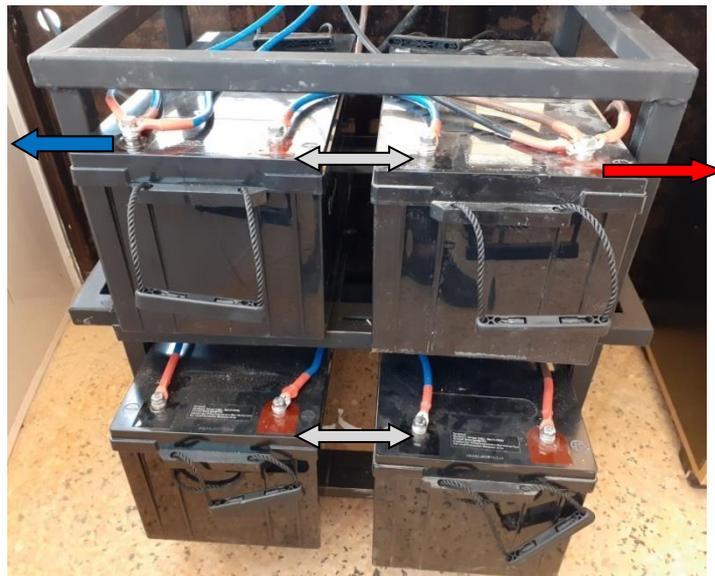


Figure.III.10 : Association des batteries solaire

III.2.3. Influence de la température :

Lorsque la température du panneau augmente, la puissance et la tension de ce dernier diminuent et le courant augmente légèrement. L'effet de la température extérieure a un impact sur leurs performances des modules photovoltaïques. Nous avons branché 04 thermocouples sur différents points de deux panneaux PV parmi les 18 panneaux pour mesurer la température de chaque point. Dans le premier panneau on a branché 3 thermocouples dans 3

points différents de panneau PV avec isolation, et pour le deuxième panneau on a branché un seul thermocouple au milieu du panneau sans isolation (Figure III.11).

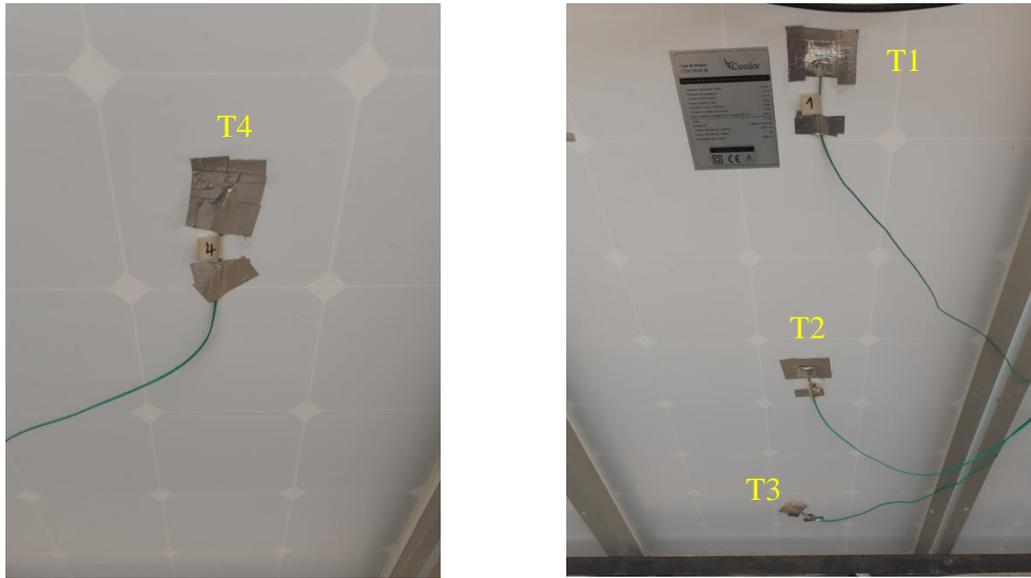


Figure.III.11 : Emplacement des thermocouples avec et sans isolation

On a utilisé un data-logger ou un enregistreur mobile testo 176T4 de données pour afficher, enregistré et suivre l'évolution des températures mesuré par les quatre 04 thermocouples en temps réel et une camera thermique FLIR de grande précision (Figure III.12)



Figure.III.12 : Data-logger et caméra thermique

III.3. Caractérisation des Performances de l'installation Photovoltaïque :

III.3.1. Paramètres d'influences et Acquisition

a) **Paramètres énergétique de l'installation photovoltaïque :** Le suivi et le contrôle des paramètres de l'installation PV est effectué par le logiciel de contrôle *solar station*. Le software est conçu et développé sous C# par la compagnie EPEVER afin de communiquer avec le régulateur de charge MPPT (Tracer6415AN) via une interface PC (connexion par câble CC-USB-RS485-150U). Il offre d'une part, la possibilité de suivre et d'enregistrer les informations des différents éléments de l'installation solaire PV en temps réel à savoir ; la production du champ PV, la capacité de stockage des batteries solaire et l'état de la charge

DC sur une même plateforme. D'autre part, l'interface permet le contrôle et la modification de ces derniers telle que ; le type de stockage, paramètre de charge/décharge des batteries, configuration de fonctionnement (on/off) de la charge,...etc (Figure III.13).

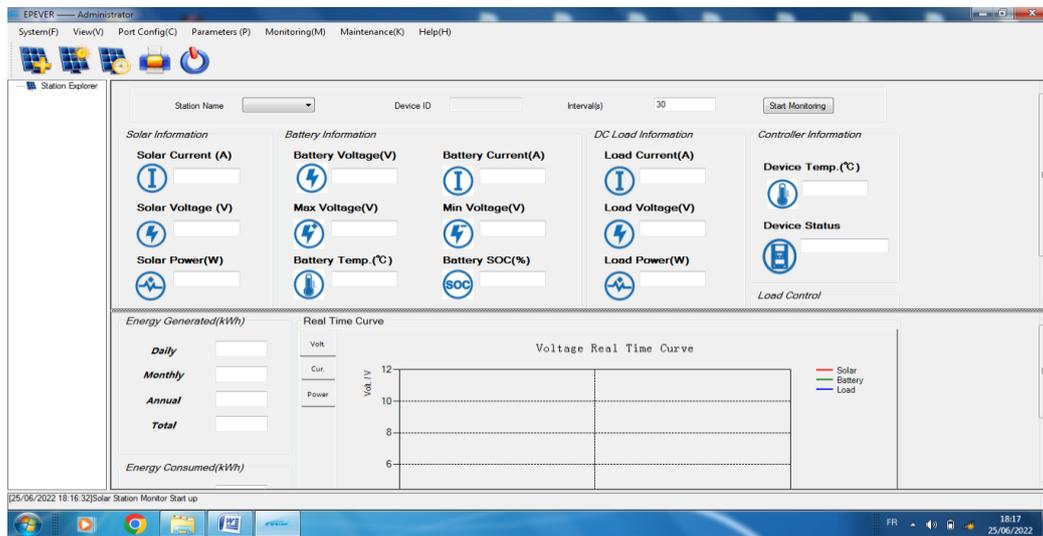


Figure.III.13 : Software de contrôle et d'acquisition Solar Station Monitor V1.95

b) Mesure et acquisition des températures : Le suivi et l'acquisition des températures des modules solaire photovoltaïque est assuré par le logiciel *Testo-Comsoft-Software Basic* version 5.6 SP 6.1.80.32798. Le logiciel permet de configurer la fréquence et l'intervalle d'enregistrement des températures mesurées par les quarts 04 sorties du data-logger (176T4), ainsi que le choix de l'unité et du type des sonde de mesure (Thermocouple type K). L'interface offre la possibilité de transférer les données de l'appareil de mesures au PC via une carte SD ou par câble avec une présentation des températures enregistrées sous forme graphique et tableau (Figure III.14).

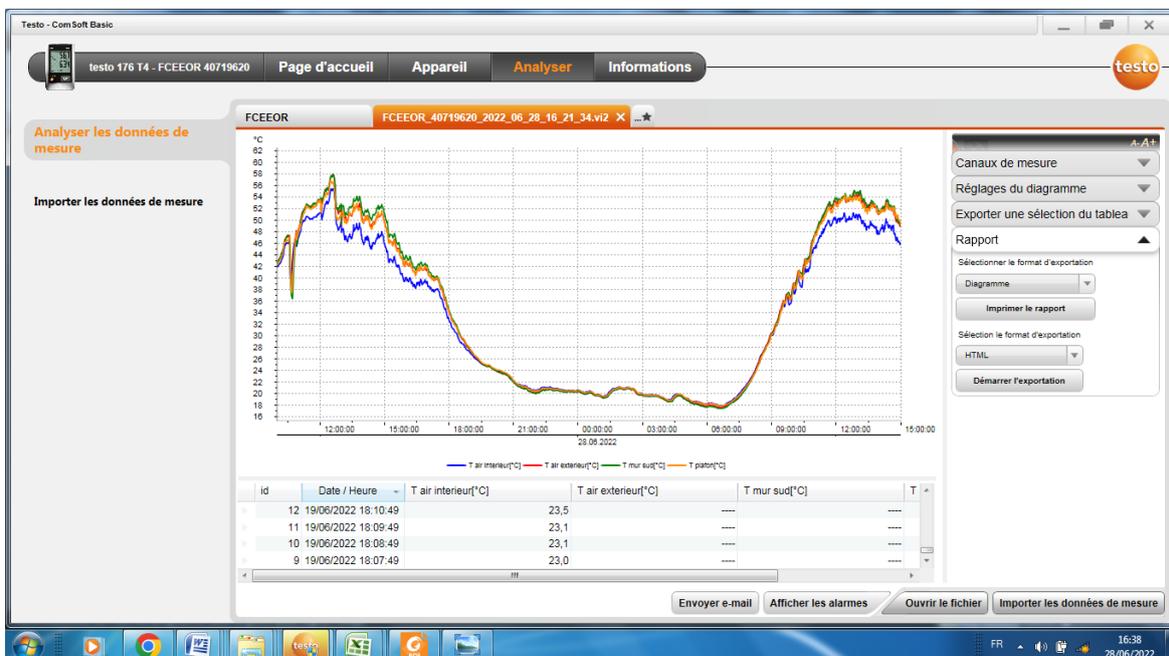


Figure.III.14 : logiciel d'acquisition et d'analyse des températures *Testo-Comsoft-Software* version 5.6

III.3.2. Mesure des paramètres électrique :

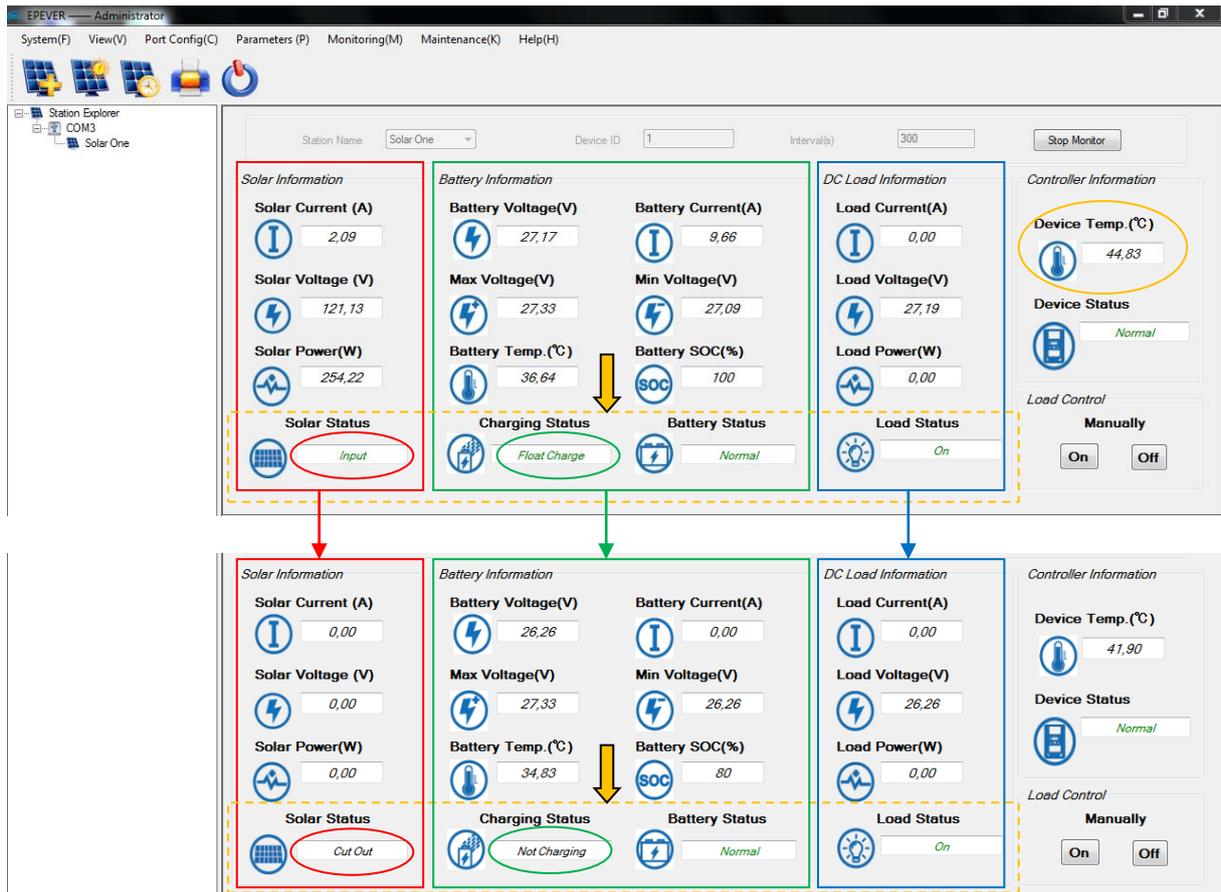


Figure.III.15 : Interface Solar Station en acquisition

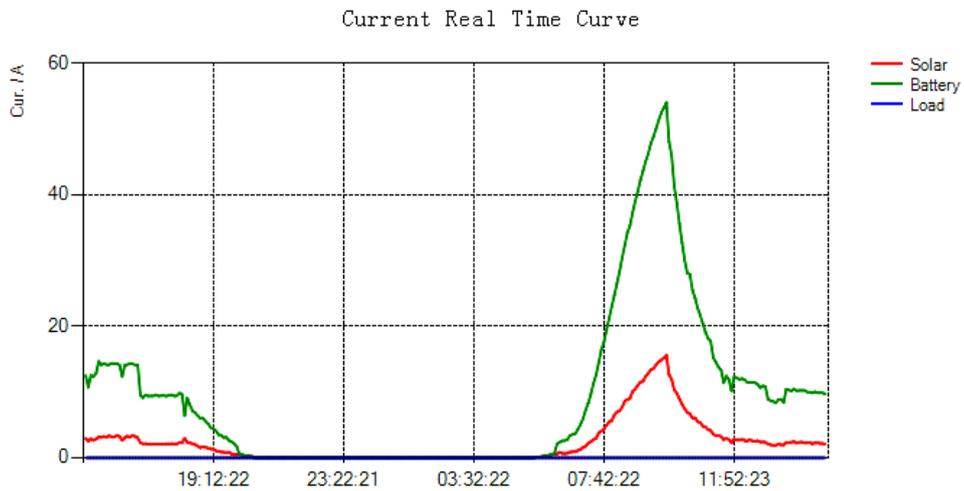


Figure III.16 : La courbe de courant en temps réel

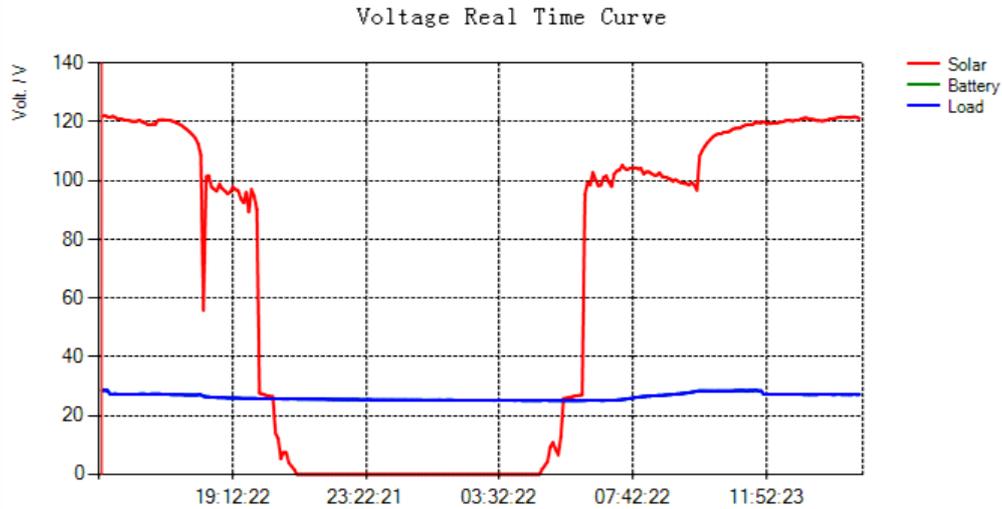


Figure III.17 : La courbe de tension en temps réel

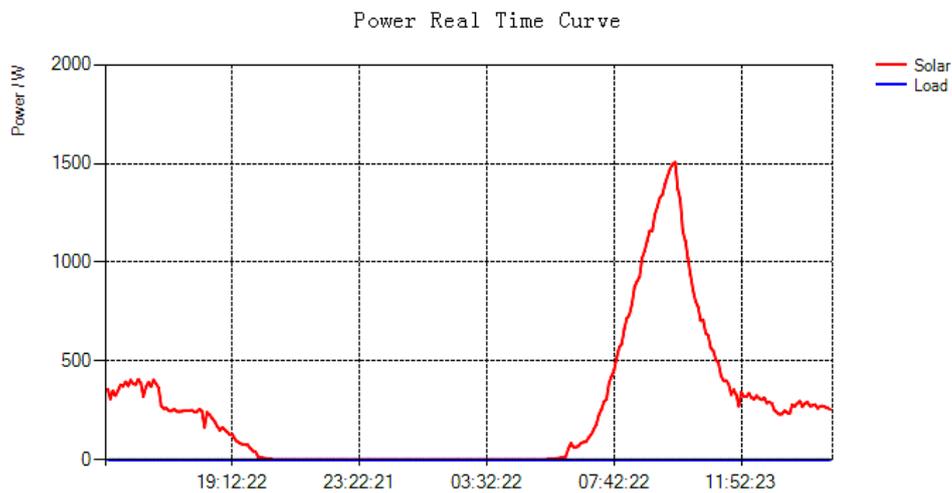


Figure III.18 : La courbe de puissance en temps réel

III.3.3. Caractérisation de l'installation Photovoltaïque :

On a caractérisé notre installation avec un I-V tracer FTV200 avec pyranomètre (testeur de panneaux photovoltaïques) (Figure III.19) et sonde température. L'instrument de caractérisation offre plusieurs atouts qui permet d'avoir une meilleure résolution graphique des courbes IV, une grande bibliothèque de panneau embarquée, et un grand nombre de mesures stockées avec possibilité de faire des mesures sur toutes les technologies de PV (cristallin, couche mince, ...), Tests et mesures suivant les normes internationales, et fonctionnement en charge [56].



Figure.III.19 : I-V Tracer avec le pyranomètre

On a fait la caractérisation des 18 panneaux chaîne par chaîne car si il ya un problème dans un panneau on peut découvrir directement la chaîne de panneau PV défectueux. Nous avons caractérisé l'installation PV le 27/06/2022. Les trois tableaux suivants donnent les caractéristiques de trois chaînes au moment où a fait la caractérisation.

Les caractéristiques sont : le temps, nombre de module dans la chaîne, Isc, Vco, I_{max}, V_{max}, la température, l'éclairement, P_{max}. (Tableau III.3)

Tableau.III.3 : Caractéristiques de trois chaînes

mtime = 11:24:47	mtime = 11:30:08	mtime = 11:32:31
mnpan = 6	mnpan = 6	mnpan = 6
misc = 7,82	misc = 7,89	misc = 7,89
mvoc = 120,18	mvoc = 121,03	mvoc = 121,31
mimpp = 7,16	mimpp = 7,22	mimpp = 7,22
mvmpp = 91,00	mvmpp = 93,19	mvmpp = 92,09
mtemp = 46,83	mtemp = 50,29	mtemp = 50,52
mirr = 956,06	mirr = 962,46	mirr = 964,39
mpmax = 651,56	mpmax = 672,90	mpmax = 664,96
Chaîne 1	Chaîne 2	Chaîne 3

D'après les résultats obtenus par I-V Tracer on peut maintenant tracer la courbe I-V de trois chaînes (Figure III.20).

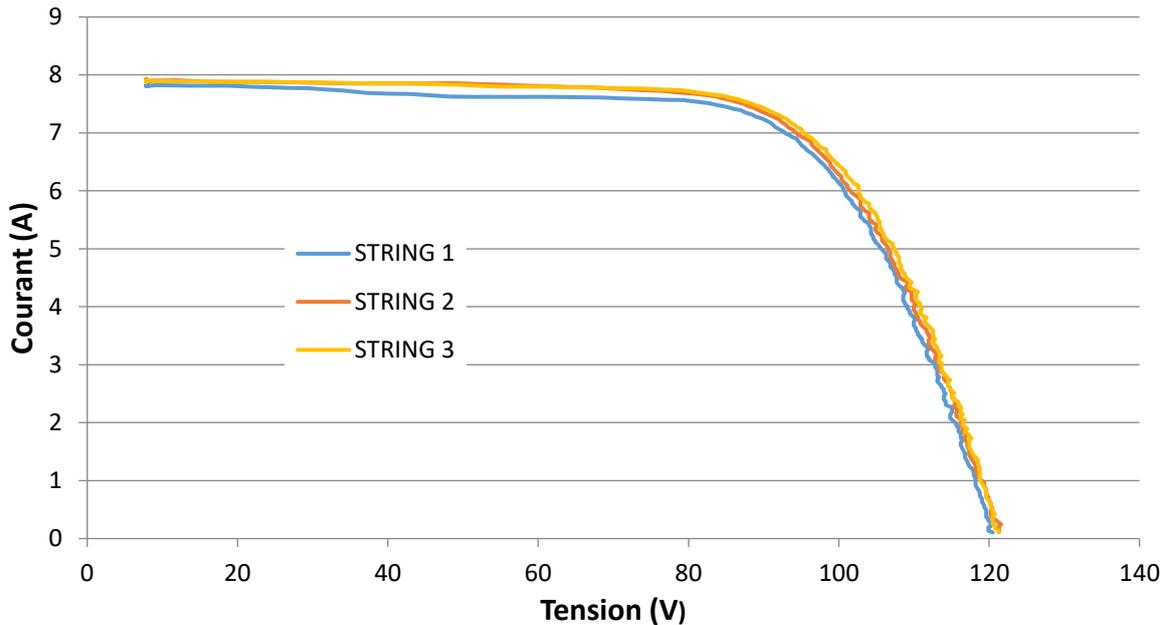


Figure. III.20 : Caractéristique I-V de trois strings

On remarque que toutes les courbes sont identiques, où elles sont stables jusqu'à 80 volts, où leur puissance est maximale est à environ 90 volts et un courant de 7,5 ampères, puis le courant commence à décroître jusqu'à s'absenter à environ 120 volts, mais si on observe bien on remarque que Ya des incertitudes. La courbe de string 1 est un peu décalé par rapport à les autres courbes (2et 1) parce que l'éclairement au moment ou on a fait la caractérisation de la chaine 01 était 956.06 mais pour la chaine 2 et 3 était respectivement 962.45 et 964.39 donc l'éclairement reçu par string 2 et 3 est presque le même mais si on compare entre l'éclairement de string 1 on remarque que ya une grande marge. La même chose par apport a la puissance, la puissance de string 1 est 651.55 de string 2 est 672.90, de string 3 664.96 donc ya une marge entre les trois strings c'est a cause de ca les courbes ne sont pas parfaitement superposé. L'analyse des résultats montre une légère différence.

$962-956=6$ donc la différence d'éclairement entre string 1 et 2 c'est 6

$$6/962=0.006=0.6\%$$

Donc ya une différence égale presque 0.6%

Le string 1 donne $I_{sc}=7.82$ et le string 2 $I_{sc}=7.89$ donc ya une différence de 0.07

$$0.07/7.89=0.0088$$

Donc ya une différence de 0.0088, on conclure que une différence d'éclairement de 0.006 créer une différence de courant de 0.0088.

La caractéristique P-V :

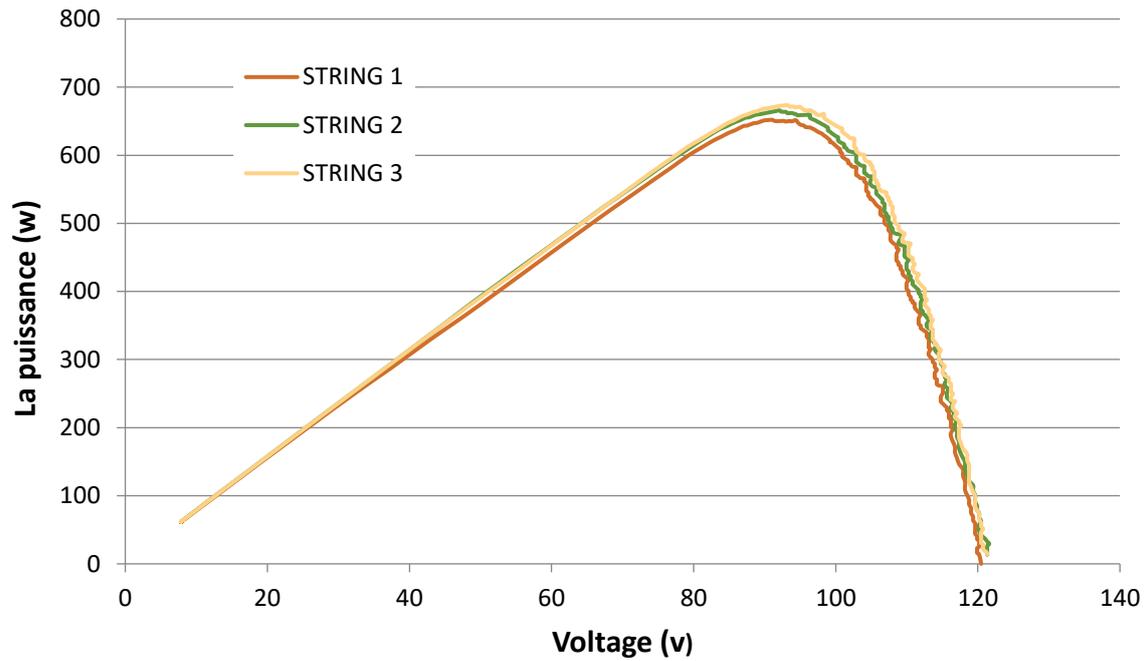


Figure.III.21 : Caractéristique P-V de trois strings

On remarque que la puissance commence à augmenter avec l'augmentation de la tension et arrive à sa valeur maximale presque à la tension 93V après elle commence à diminuer jusqu'à ce que sa valeur soit nulle à la tension presque 120V. Les trois courbes 1, 2 et 3 ne sont pas bien superposées pour la même raison qu'on a déjà citée dans la caractéristique I-V.

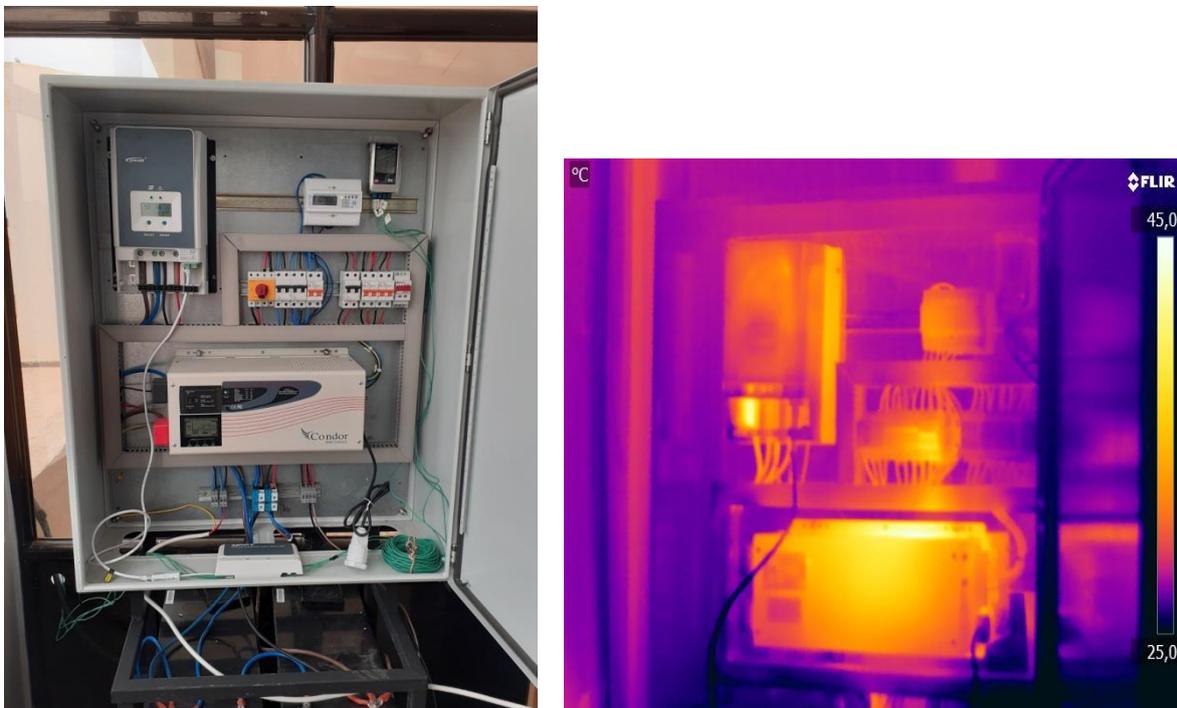


Figure.III.22 : dissipation thermique au niveau de l'armoire de contrôle de l'installation PV

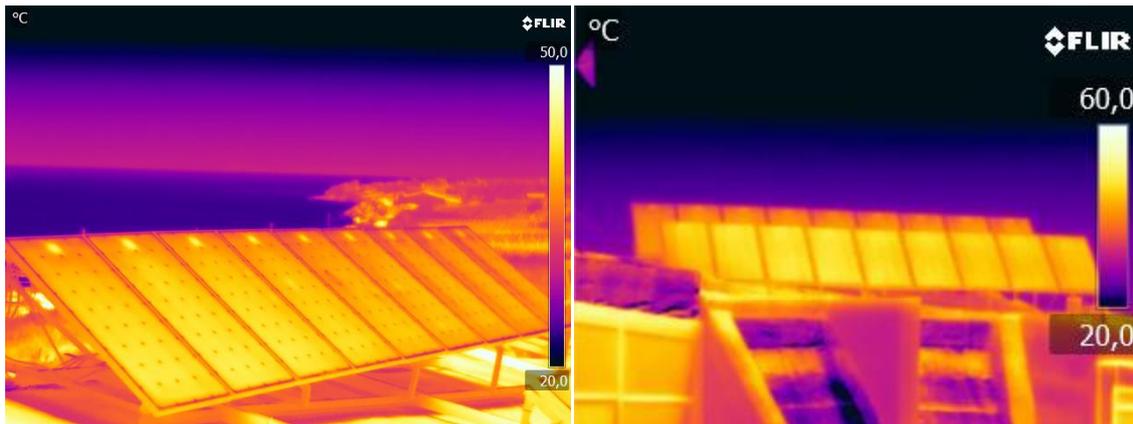


Figure.III.23 : Températures du champ photovoltaïque (Camera thermique).

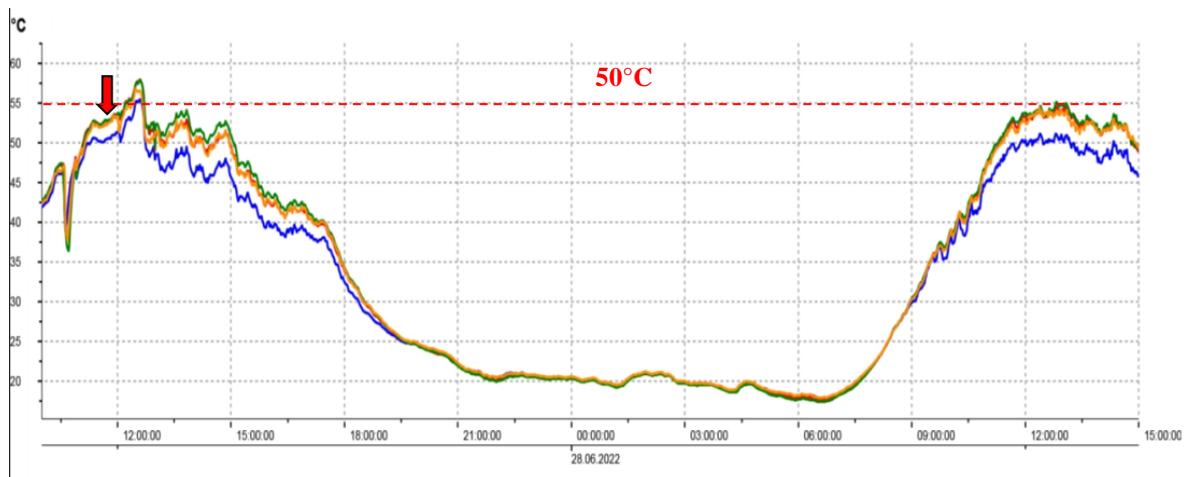


Figure.III.24 : Evolution des températures des modules PV durant les 24h

III.4. Conclusion :

Dans une première étape, on a mis en fonction l'installation PV Off-Grid par l'implémentation de ces différents éléments ; modules PV, régulateur, onduleur, batteries, équipements de protections...ect sur site, ainsi que le câblage de l'armoire électrique et les modules PV. Dans une seconde étape, on a effectué l'acquisition des données et la caractérisation des performances énergétiques de l'installation ; les caractéristiques sont : le temps, nombre de module dans la chaine, I_{sc} , V_{co} , I_{max} , V_{max} , la température, l'éclairement, P_{max} ., ainsi que la répartition du champ thermique au niveau des modules PV et de l'armoire du contrôle. La méthodologie suivie dans l'implémentation de l'installation autonome était très bénéfique et cruciale pour l'optimisation des performances. Une analyse étendue permettra une caractérisation spécifique de l'installation afin d'être exploitée pour les systèmes de climatisation.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire est constitué de deux parties. Une première visant le dimensionnement d'une installation photovoltaïque off-grid dans les trois régions d'Algérie pour alimenter un laboratoire de la division de froid et climatisation par les énergies renouvelables/UEDES. La seconde étape vise la réalisation de l'installation étudiée selon la disponibilité de matériel au niveau de l'unité de développement des équipements solaires Bou Ismail-Tipaza, dans le but d'améliorer la manière de la consommation d'énergie électrique et faciliter son implémentation. Enfin faire l'acquisition et la caractérisation de l'installation PV.

Nous avons commencé par présenter plusieurs points importants sur l'énergie solaire et le système photovoltaïque, des notions sur le spectre et le rayonnement solaire, l'importance du potentiel solaire algérienne ainsi que le principe de l'effet photovoltaïque et les différentes technologies de la cellule PV. On a essayé d'effectuer une analyse bibliographique des paramètres de performance principaux pour un fonctionnement optimal des installations PV Off-grid. Une importance particulière est accordé a la viabilité de ce type d'installation sur les deux aspects durabilité/environnemental, ainsi que à l'exploitation stratégique de ces installations sur le plans domestique et communautaire.

Les résultats obtenus par les deux méthodes de dimensionnement théoriques et numérique (PVSYST) pour les trois régions climatique de l'Algérie (Côtière, hauts plateaux et saharienne) sont en très bon accord. On a observé une différence au niveau du nombre de module photovoltaïque installés du fait de l'intensité de l'irradiation et sa durée. La puissance installée se répercute systématiquement sur le courant maximum supporté par le régulateur MMPT utilisé. Cette différences entraine une diminution du cout financier de l'installation la rendent plus attractif. Cependant, il ne faut pas néglige l'influence des conditions d'utilisation extrême au niveau du sud algérien.

Dans la partie conception et réalisation, on a mis en fonction l'installation PV Off-Grid par l'implémentation de ces différents éléments ; modules PV, régulateur, onduleur, batteries, équipements de protections...ect sur site, ainsi que le câblage de l'armoire électrique et les modules PV. Dans une seconde étape, on a effectué l'acquisition des données et la caractérisation des performances énergétiques de l'installation ; les caractéristiques sont : le temps, nombre de module dans la chaine, I_{sc} , V_{co} , I_{max} , V_{max} , la température, l'éclairement, P_{max} , ainsi que la répartition du champ thermique au niveau des modules PV et de l'armoire du contrôle. La méthodologie suivie dans l'implémentation de l'installation autonome était très bénéfique et cruciale pour l'optimisation des performances. Une analyse étendue permettra une caractérisation spécifique de l'installation afin d'être exploitée pour les systèmes de climatisation.

Références bibliographiques

- [1] Bachir, H. and B. Mohammed, *Etude d'une centrale photovoltaïque alimenté un réseau intelligent*. 2018, Université Ahmed Draïa Adrar.
- [2] UDES. Available from: <http://udes.cder.dz/>.
- [3] tweather, a. *Solar Radiation (definition)*. Available from: <https://ambientweather.com/solarradiation.html>.
- [4] online, m. *Production de l'énergie photovoltaïque à la société Nova Diffusion*. Available from: <https://www.memoireonline.com/02/11/4239/m-Production-de-lenergie-photovoltaique--la-societe-Nova-Diffusion8.html>.
- [5] enr, e. *Rayonnement direct*. Available from: <https://www.edfenr.com/lexique/rayonnement-direct/>.
- [6] enr, e. *Rayonnement diffus*. Available from: <https://www.edfenr.com/lexique/rayonnement-diffus/>.
- [7] solaire, I.e.; Available from: <https://lenergie-solaire.net/qu-est-ce-que-energie-solaire/rayonnement-solaire/propagation>.
- [8] Tetbirt, M.A.D.e.A., *Rafraîchissement solaire par sorption en Algérie*. Unité de Développement des Equipements Solaires, UDES. Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER 42004, Tipaza, Algérie.
- [9] SOLAIRES, C.G.S.L.C.; Available from: <https://fr-static.zdn.net/files/d9e/1059a79cf5cb4e0ca98788107f427c43.pdf>.
- [10] Boukebous, S., *Contribution à L'étude d'une installation photovoltaïque avec stockage connectée auréseau électrique* Thèse de doctorat, Université de Constantine, 2018.
- [11] Eljouad, Z., *Réalisation et caractérisation des cellules photovoltaïques organiques*. Thèse de doctorat, Université d'Angers, 2016.
- [12] Petibon, S., *Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques*. 2009, université de Toulouse.
- [13] perso, D.n.T.e.p. *Panneau photovoltaïque : Caractéristiques*. 01/03/2015; Available from: <https://www.dekloo.net/projets/photovoltaique-autoconsommation/caracteristiques-panneau-photovoltaique/689>.
- [14] Khedidja, A., *Modélisation et Simulation d'un Générateur Photovoltaïque Couplé à un Réseau Électrique*. 2014.
- [15] caillaud, J., *L'énergie solaire photovoltaïque* Lycee des Metiers de l'énergie de la métallurgie et de la vente
- [16] Agency, I.I.E., *Mini-réseaux hybrides PV-diesel pour l'électrification rurale* Rapport IEA-PVPS T9-13:2013
- [17] Achaïbou, N., *Introduction à l'Etude du Système de Stockage dans un Système Photovoltaïque*. Rev. Energ. Ren: Valorisation, 1999: p. 1-6.
- [18] Drif, M., A. Malek, and F. Krim, *Expérimentation d'un Contrôleur de l'Etat de Charge de la Batterie dans un Système Photovoltaïque Autonome*. Rev. Energ, 1999: p. 147-152.
- [19] Multon, B. and J.-M. Peter, *Le stockage de l'énergie électrique. Moyens et applications*. La Revue 3 E. I, 1996: p. pp. 59-64.
- [20] Lazzari, O., *The lithium-ion accumulators in Japan*. 2006.
- [21] VALLVERDU, G.S., *Principe de fonctionnement des batteries au lithium*. 30 janvier 2020, Université de Pau et des pays de l'Adour.

- [22] Lemaire, X., *Off-grid electrification with solar home systems: the experience of a fee-for-service concession in South Africa*. Energy for Sustainable Development, 2011. **15**(3): p. 277-283.
- [23] Riffonneau, Y., *Gestion des flux énergétique dans un système photovoltaïque avec stockage connecter au réseau—Application à l'habitat*. 2009, Université Joseph-Fourier-Grenoble I.
- [24] Energy, V., *Optimisation de la durée de vie des batteries Plomb Acide*.
- [25] Merrouche, W., H. Tebibel, and A. Malek, *Développement sous Proteus® d'un régulateur basé sur un algorithme de charge efficace et sécurisée pour batteries au plomb dans un système photovoltaïque*. Revue des Energies Renouvelables SIENR, 2012. **12**(175-186): p. 25.
- [26] Barrade, P., *Electronique de puissance : Méthodologie et convertisseurs élémentaires*. 2006: Presses polytechniques et universitaires romandes.
- [27] Ibrahim Tahraoui , A.H., *Dimensionnement et etude d'une installation photovoltaïque pour une habitation domestique* 2017, Tlemcen : Université Abou Bekr Belkaid.
- [28] Talha, A. and K. Ameer, *Modélisation Et Commande D'un Générateur Photovoltaïque Muni D'un Régulateur MPPT*.
- [29] Rufer, A. and P. Barrade, *Cours d'électronique de puissance-Conversion DC/DC*. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne, Suisse, 2001.
- [30] Houria, A., *Le régulateur de charge et de contrôle dans un système Photovoltaïque Autonome*. N° 31 2014.
- [31] Amara, K., *Contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque de puissance (1MW) interconnectée au réseau de distribution électrique moyenne tension*. 2015, Université Mouloud Mammeri.
- [32] Boukhers, D., *Optimisation d'un système d'énergie photovoltaïque. Application au pompage*. 2007.
- [33] Nkouimi, M., *Outil d'aide au dimensionnement des systèmes photovoltaïques domestiques*. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception, École National Supérieur Polytechnique de Yaoundé, 2010.
- [34] Meunier, S., et al., *Conception optimale des systèmes photovoltaïques de pompage d'eau en sites isolés avec prise en compte des aspects socio-économiques*. Jeunes Chercheurs En Génie Électrique, Oléron-1114 Juin 2019, 2019: p. 2-7.
- [35] Jbari, Y. and S. Abderafi. *Optimization of off-grid photovoltaic powered reverse osmosis system using response surface methodology*. in *2018 6th International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*. 2018. IEEE.
- [36] Belmili, H., et al., *Optimisation de dimensionnement des installations photovoltaïques autonomes-Exemples d'applications, éclairage et pompage au fil du soleil*. Revue des Energies Renouvelables CICME, 2008. **8**: p. 27-39.
- [37] BOUZID, Z., et al., *Optimisation du Dimensionnement d'une Installation Photovoltaïque Autonome Basée sur le Concept d'Utilisabilité Horaire. Application au Sud de l'Algérie*.
- [38] Semache, A.H., A. Hamidat, and A. Benchatti. *Performances d'énergie électrique d'une habitation à énergie positive en milieu suburbain en Algérie*. in *ICRE2012 Conférence Internationales sur les énergies renouvelables*. 2012.
- [39] Rachid, D., et al., *ANALYSE ECONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE D'UN SYSTEME HYBRIDE AUTONOME PHOTOVOLTAÏQUE/DIESEL DANS LA REGION DE GHARDAÏA (SUD DE L'ALGERIE)*.
- [40] Kodjo, K.M., et al., *Modelisation d'une centrale hybride eolienne a vitesse variable-solaire connectee a un bus continu commun en environnement Matlab/Simulink*. Интернет-журналНауковедение, 2016. **8**(2): p. 106-106.
- [41] El-houari, H., et al., *Design, simulation, and economic optimization of an off-grid photovoltaic system for rural electrification*. Energies, 2019. **12**(24): p. 4735.
- [42] Frame, D., et al. *A community based approach for sustainable off-grid PV systems in developing countries*. in *2011 IEEE power and energy Society General Meeting*. 2011. IEEE.

- [43] Cheng, K., et al. *Research of Best Installation Angle of Off-Grid Photovoltaic Power System in Northern Shaanxi*. in *2012 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*. 2012.
- [44] Monfort, M.P., et al. *Modelling and Evaluating Performance of Large Off-Grid PV Systems for Water Pumping*. in *2018 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)*. 2018.
- [45] Quevedo, J., J. Ruiz, and D. González. *Analysis of a photovoltaic solar installation in accordance to performance parameters of IEC61724*. in *2019 FISE-IEEE/CIGRE Conference - Living the energy Transition (FISE/CIGRE)*. 2019.
- [46] Spunei, E., et al. *Examining the Performances of a Low Power Photovoltaic Installation*. in *2021 12th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*. 2021.
- [47] Kumar, N.M., R.H. Basha, and S. Dasari. *Energy performance of optimally inclined free standing photovoltaic system*. in *2017 International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS)*. 2017. IEEE.
- [48] Aberilla, J.M., et al., *Design and environmental sustainability assessment of small-scale off-grid energy systems for remote rural communities*. *Applied Energy*, 2020. **258**: p. 114004.
- [49] Trahi, F., *Prédiction de l'irradiation solaire globale pour la région de Tizi ousou par les réseaux de neurones artificiels: Application pour le dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour l'alimentation du laboratoire de recherche LAMPA*. 2011, Université Mouloud Mammeri.
- [50] Semassou, C., *Aide à la décision pour le choix de sites et systèmes énergétiques adaptés aux besoins du Bénin*. 2011, EPAC/UAC.
- [51] LAROUSSE. *Algérie : géographie physique*. Available from: https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/Alg%C3%A9rie_g%C3%A9ographie_physique/185613.
- [52] Yadav, P., N. Kumar, and S. Chandel. *Simulation and performance analysis of a 1kWp photovoltaic system using PVsyst*. in *2015 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)*. 2015. IEEE.
- [53] Wikipidea. Available from: <https://www.wikipedia.org/>.
- [54] PVSYST, PVGIS TMY: SARAH, COSMO or NSRDB.
- [55] PVGIS. Available from: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/fr/#DR.
- [56] *DistriMeasure*. Available from: <https://www.distrimasure.com/fr/testeur-de-panneaux-photovoltaiques/2527-i-v-tracer-ftv200-avec-pyranometre-testeur-de-panneaux-photovoltaiques-et-sonde-temperature-chauvin-arnoux-p01160740.html>.