

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ SAAD DAHLAB BLIDA-1

Faculté de Technologie

Département des énergies renouvelables

MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme master

Spécialité : Energies renouvelables

Option : Conversion Photovoltaïque

Thème :

**Etude et dimensionnement d'un système hybride photovoltaïque-
réseau pour alimenter un chalet**

Présenté par :

CHAOU Riyad

MESBAHI Dalila

Soutenu devant le jury composé par :

M. T.DOUMAZ	MAA	USDB	Président
Dr. M.M.BOUZAKI	MCB	USDB	Encadreur
Dr. A.BENAHMED	MCB	USDB	Examineur

Année universitaire 2021.

Remerciement

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

Nous tenons à remercier toutes les personnes sans lesquelles ces années d'études n'auraient été que le pâle reflet de celles que nous avons passées.

*Nos sincères remerciements à notre encadreur **Mr DOUMAZ** d'avoir dirigé ce travail en nous prodiguant conseils et encouragements, qu'il trouve ici notre reconnaissance pour sa patience et sa disponibilité.*

*Nous tenons à remercier le président **DOUMAZ** ainsi que les membres de jury monsieur **BOUZAKI ET** monsieur **BENAHED**, qui ont accepté d'examiner et de corriger notre travail.*

Nous remercions les enseignants du département des énergies renouvelable, qui ont participé à l'aboutissement de nos études.

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

Dédicace

Je dédie ce travail

A ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

A mes parents ; qui je dis, quoique je Fasse je ne pourrai estimer vos valeur Celle qui m'a ouvert les yeux sur ce monde, pour Son affection, son soutien indéfectible, celle qui a Souffert et qui souffre toujours pour me donner le Souffle de la continuité * **chère maman** * Et celui qui m'a inspiré le sens du sacrifice et de Patience ; notre exemple, vous êtes toujours le père, l'enseignant et le Maître* **cher papa** *

A Mes chers Frères, sœurs, Beaux-frères, et ma Belle-sœur qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant ces années d'étude.

Spécialement à Toi **Mimi**

A mes très chers Neveux (**Abdou, Yasser, Islam et Youcef**)

A tous mes amis(Mayou, Madi,Amel, Fifi, Boba et Bobo)qui ont toujours été présents et qui n'ont ménagé aucun effort pour me bénéficier avec leur aide et leurs suggestions.

A toi mon **Binôme Ryadh** Pour ton soutient moral, ta patience et ta compréhension tout au long de ce projet.

La mémoire de tous les êtres chers que j'ai perdus.

A vous chers lecteur

Dalila



Dédicace

Je dédie ce travail

A mes très chers parents, source de vie,

D'amour et d'affection

A mes chers frères (Aghiles, Dilan, Djaoued)

Source de joie et de bonheur

A toutes ma famille Noufel, Yousra, Louiza, Rania,

Yasmine,

Source d'espoir et de motivation

A tous mes amies,

Particulièrement **Amine,**

A mon binôme,

Dalila pour son énorme soutien et sa patience durant tout ce
travail

A vous chers lecteurs.

Ryadh



ملخص

هذا العمل مخصص لدراسة تركيب هجين (شبكة ضوئية-شبكة كهربائية) معد لتجهيز شاليه في الشريعة بولاية البلدية. يتطلب استخدام مثل هذا النظام معرفة خصائص معينة لبعض العناصر التي يتكون منها النظام، بناءً على المعلومات الفعلية لموقع التثبيت. لهذا الغرض، تم إجراء دراسة على المعدات المستخدمة، ومن ناحية أخرى، تم إجراء دراسة حول حجم العناصر المكونة لهذا النظام باستخدام الطريقة التحليلية وأيضاً طريقة باستخدام برنامج، النتائج التي تم الحصول عليها من المحاكاة تحدد بدقة مكونات النظام. وخيراً، ننهي عملنا بدراسة الربحية الاقتصادية لمشروعنا.

Résumé

Ce travail a pour l'étude d'une installation Hybride (photovoltaïque-Réseau) destiné pour alimenter un chalet à Chréa la wilaya de Blida. L'utilisation d'un tel système nécessite de connaitre certaines caractéristiques de certains éléments que constituent le système, En se basant sur les paramètres réels du site de l'installation. Dans ce but, une étude a été effectuée sur les appareillages utilisés D'un autre côté, une étude sur le dimensionnement des différents éléments envisagés a été faite en utilisant la méthode analytique et aussi une méthode à l'aide de logiciel PVsyst, Les résultats obtenus à partir de simulation détermine avec précision les composants de système Enfin, nous terminons notre travail par une étude de rentabilité économique de notre projet.

Abstract

This work is for the study of a Hybrid installation (photovoltaic-Network) intended to supply a chalet in the area of Chréa, Based on the actual parameters of the site of the installation. To this end, a study was carried out on the equipment used; we propose a using the analytical method and a method through a computer program the results obtained from simulation accurately determines system components.

Finally, we end our work with an economic profitability study of our project.

Sommaire

Chapitre 01 Généralité sur les énergies solaire photovoltaïque.....	Error! Bookmark not defined.
1.1. Introduction	18
1.2. Energies solaire	18
1.2.1. Le Potentiel Solaire en Algérie.....	18
1.2.2. Durée de l'ensoleillement :	19
1.3. Rayonnement solaire.....	20
1.4. Technologie solaire.....	22
1.4.1. L'effet photovoltaïque.....	22
1.4.2. Les cellules photovoltaïques :	22
1.4.3. Les différentes technologies de cellules solaires	23
1.4.3.1. Comparaison des technologies des cellules PV	24
1.4.4. Principe de fonctionnement.....	25
1.4.5. Le schéma électrique d'une cellule photovoltaïque.....	26
1.4.6. Paramètre des cellules photovoltaïques	27
1.4.7. Effet des variations climatiques sur la cellule PV	28
1.6. Conclusion :.....	30
Chapitre 02 Système Photovoltaïque Raccordé Au Réseau	Error! Bookmark not defined.
2.1. Introduction	32
2.2. Le système photovoltaïque.....	32
2.2.1. Différents types de système Photovoltaïque	32
2.2.2. Le module photovoltaïque.....	34
2.2.2.1. Définition de module photovoltaïque :	34
2.2.2.2. Associations de cellules photovoltaïques	35
2.2.2.4. Choix de L'orientation et l'inclinaison du panneau.....	37

2.2.2.5. Protections classiques d'un générateur photovoltaïque	38
2.2.3. Le système de stockage.....	38
2.2.3.1. Critères de choix des batteries :	38
2.2.3.2. Les caractéristiques principales d'une batterie	39
2.2.3.3. Les différents types de batteries	40
2.2.3.4. Raccordement de batteries.....	40
2.2.4. Système de conversion.....	41
2.2.4.1. Critère de choix d'un convertisseur.....	41
2.2.4.2. Caractéristiques d'un convertisseur :	42
2.2.5. Régulateur de charge.....	42
2.2.5.1. Les différents types de régulateur	42
2.2.5.2. Critères de choix des régulateurs.....	44
2.2.6. Compteur photovoltaïque	45
2.2.7. Divers	45
2.2.7.1. Câblage électrique.....	45
2.2.5. Charges (utilisateurs)	47
2.2.6. Protection d'un système photovoltaïque	47
2.2.7. Coffret de raccordement.....	49
2.3. Conclusion.....	50
Chapitre 03 méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque .. Error! Bookmark not defined.	
3.1. Introduction	52
3.2. Dimensionnement d'un système photovoltaïque.....	52
3.3. Méthode analytique de dimensionnement.....	53
3.3.1. Localisation du site	53
3.3.2. Energie Solaire récupérable.....	53
3.3.2.2. Ombrage et repérage des masques	54
3.3.2.3. Donnée météorologique	54

3.3.3. Consommation énergétique	55
3.3.3.1. Besoins de l'utilisateur en électricité	55
3.3.3.2. Evaluation des besoins	56
3.3.4. Dimensionnement de l'onduleur	59
3.3.5. Dimensionnement de stockage :	60
3.3.7. Dimensionnement du régulateur.....	62
3.3.8. Plan de câblage	63
3.3.9. Surface du champ photovoltaïque	68
3.4. Simulation à l'aide du logiciel PVsyst.....	69
3.4.1. Présentation de logiciel de simulation PVsyst :	69
3.4.2. Préface du logiciel	69
3.4.3. Caractéristiques de notre site.....	71
3.4.5. Conception du projet.....	73
3.4.6. Les étapes de conception d'un système PV autonome	73
3.4.7. Résultats de la simulation et discussions	81
3.5. Conclusion.....	89
Chapitre 04 Etude Economique	Error! Bookmark not defined.
4.1. Introduction	91
4.2. Estimation du prix de notre installation photovoltaïque autonome	91
4.3. Conclusion :	93

Conclusion Général

Annexes

Liste des figures

Figure 1-1 : Le potentiel solaire en Algérie [3].....	19
Figure 1-2 : Analyse spectral du rayonnement solaire [6].....	21
Figure 1-3 : composants du rayonnement solaire [9].	22
Figure 1-4 : stercteur basique d'une cellule solaire . [11].....	23
Figure 1-5 : Les différents types de cellule solaire.	24
Figure 1-6: Principe de fonctionnement d'une cellule solaire [16].	25
Figure 1-7: modèle de la cellule PV avec prise en compte de perte en tension et courant de fuie [18].	26
Figure 1-8 : Influence de l'éclairement sur P(V), I(V) [22].	29
Figure 1-9 : Influence de la température sur P(V), I(V) [22].....	30
Figure 2-1 : Les différents composants d'un système photovoltaïque.....	Error! Bookmark not defined.
Figure 2-2 : Système Autonome [23].	33
Figure 2-3 : Système connecté au réseau [24].	33
Figure 2-4 : Système hybride [25].....	34
Figure 2-5 : Module photovoltaïque [26].	35
Figure 2-6 : Caractéristique résultante d'un regroupement Ns cellules en série [27].....	36
Figure 2-7 : Caractéristique résultante d'un regroupement Np cellules en parallèle [27].	Error!
Bookmark not defined.	
Figure 2-8 : Caractéristique courant-tension de cellule/module (série/parallèle) [27].....	Error!
Bookmark not defined.	
Figure 2-9 : L'inclinaison et l'orientation d'un panneau [28].	37
Figure 2-10 : Protection des modules par diodes anti retour et by-pass [29].	38
Figure 2-11 : Branchement des batteries [31].	41
Figure 2-12 : Le rôle d'un onduleur [32].	41
Figure 2-13 : Régulateur solaire PWM [34].	43
Figure 2-14 : Onduleur solaire MPPT [34].....	44
Figure 2-15 : Connecteur MC4 [36].	45
Figure 2-16 : Câble mono conducteur PV [36].	45
Figure 2-17 : schéma de protection d'une installation PV coté DC [38].	48

Figure 2-18 : Le boîtier de raccordement [39].	49
Figure 3-1 : La position géographique de chréa [42].	53
Figure 3-2 : Chalet Chréa.	56
Figure 3-3 : Interface de logiciel PVsyst.	69
Figure 3-4 : Coordonnées géographique de ‘ Blida.	71
Figure 3-5 : Paramètre climatique de Blida.	72
Figure 3-6 : Angle d’orientation.	74
Figure 3-7 : Horizon du Chréa.	75
Figure 3-8 : Consommation journalière de l’utilisateur	76
Figure 3-9 : Distributions des heures d’utilisation dans la journée.	76
Figure 3-10 : Appel de puissance au cours d’une journée.	77
Figure 3-11 : Les paramètres de la batterie.	76
Figure 3-12 : Nombre de module et le type de régulateur de notre système. ... Error! Bookmark not defined.	
Figure 3-13 : Schéma simplifié d’une installation PV autonome.	80
Figure 3-14 : Energie incidence de référence sur e plan des panneaux.	81
Figure 3-16 : Distribution annuelle de rayonnement incidente.	82
Figure 3-17: Distribution annuelle de la puissance en sortie du champ PV.	83
Figure 3-18 :L’energie fournie à ‘utilisateur au profil horaire de la journée	84
Figure 3-19 :Diagramme de comparaison entre le besion energetique et l’energie fournie à l’utilisateur.	85
Figure 3-20 : Les Production normalisées.	86
Figure 3-21 :Diagramme des pertes du système sur ‘année entière.	88
Figure A : Fiche technique d’une batterie 12V 260Ah.	94
Figure B : Fiche technique d’un panneau 310W.	95
Figure C : Fiche technique d’un onduleur de 3KW.	99
Figure D : Les différentes sections des câbles au cuivre.	100

Listes de Tableaux

Tableau 1-1 : Ensoleillement reçu en Algérie par région climatique [4] [5].	19
Tableau 1-2 : Différents technologie des cellules photovoltaïque [14].	24
Tableau 3-1 : Irradiation mensuelle de la région de chréa (logiciel Psys 6.1.8).	55
Tableau 3-2 : Besoins énergétiques journaliers.	57
Tableau 3-3 : Besoins journaliers après amélioration.	58
Tableau 3-4 : Bilan énergétique.	87
Tableau 4-1 : Etude économique du système PV.	92

Nomenclature

Aut : autonomie en jours.

Cacc : capacité d'accumulateur.

Cbat : capacité de la batterie (Ah).

Cp : coefficient de perte.

CC : courant continu.

DA : Dinard algérien.

DC : direct courant.

E : l'énergie journalière consommée par cette Equipment (Wh/j).

Ec : besoins énergétiques journaliers (Wh/j).

Ep : Energie produite (wh/j).

Eph : Energie de photon.

ff : Facteur de forme.

h : est la constante de Planck.

Icc : courant de court de circuit [A].

Impp : courant de puissance maximale.

Iph : photo-courant produit par une cellule solaire.

Irmoy : irradiation moyenne.

KWh : Kilo watt heure.

MPPT: Maximum power point tracking.

Nbat : nombre de batteries.

Nm : nombre de modules.

Pc : puissance crête.

Pon La puissance de l'onduleur

Pmax : la puissance maximale d'un module.

Pmpp : Puissance au Point de puissance maximale [W].

PV : Photovoltaïque.

q: charge élémentaire d'un électron.

Rs : Résistance Série.

S : la section des câbles.

Sch : la surface totale du champ.

Smod : la surface d'un module.

SEH : Système d'énergie hybride.

U : la tension de système : la tension nominal

Umpp Tension de puissance maximale [V].

Vco Tension de circuit ouvert [V].

λ : Longueur d'onde.

μm : Micro mètre.

η_{ond} : rendement d'onduleur.

ρ : La résistivité du cuivre.

Introduction Générale

Introduction Générale

Le soleil peut satisfaire tous nos besoins si nous apprenons à exploiter rationnellement l'énergie qu'il rayonne vers la terre. Il brille dans le ciel depuis presque 5 milliards d'années et les scientifiques ont calculé qu'il est à la moitié de son existence. Nous avons du mal à imaginer qu'au cours d'une année le soleil diffuse vers la terre quatre mille fois plus d'énergie que celle consommée par toute la population mondiale.

Aujourd'hui il paraît insensé de ne pas en profiter car nous avons les moyens technologiques nécessaires. De plus il faut considérer que cette source d'énergie est gratuite, propre et inépuisable. Cette énergie pourrait par ailleurs nous libérer de notre dépendance aux énergies fossiles ou aux autres alternatives peu sûres ou polluantes.

L'Algérie, de par sa situation géographique, bénéficie des conditions favorables à l'utilisation des énergies renouvelables, en particulier l'énergie solaire d'origine photovoltaïque et l'introduction de ces nouvelles énergies pourrait être aisément envisagée sur de nombreux sites.

L'Algérie dispose également d'un important potentiel en énergie solaire et qui n'attend qu'une bonne exploitation.

L'exploitation directe de l'énergie solaire relève une technologie bien distincte c'est de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire photovoltaïque.

Elle provient de la transformation directe d'une partie de rayonnement solaire en énergie électrique, cette conversion d'énergie s'exécute par le biais d'une cellule dite cellule photovoltaïque basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée au soleil.

L'association de plusieurs cellules photovoltaïque en séries/parallèles donne lieu à un générateur photovoltaïque.

Ces panneaux photovoltaïques associés à des onduleurs, des batteries et des régulateurs constituent un système photovoltaïque. Ils peuvent être reliés au réseau électrique.

Cette énergie produite sous forme continue, ce qui n'est pas adéquat dans le cas où on veut raccorder ce dernier avec le réseau de distribution. Pour cela il faut concevoir un système capable de transformer l'énergie continue en énergie alternatif, cette conversion se passe par le biais d'un onduleur commandé afin de contrôler l'amplitude.

Ce pendant le couplage de différentes sources d'énergie dans un système d'énergie hybride doit être performant dans la production et compétitive en termes de coût et de propreté (écologique).

Dans ce contexte le travail de recherche présenté dans ce mémoire participe à l'étude d'un (SEH) PV-Réseau électrique, couplant une ressource renouvelable (soleil) et une ressource électrique (réseau électrique) soit l'impact de l'un sur le plan écologique et l'autre sur le coût.

Le raccordement au réseau électrique local a été effectué pour répondre aux exigences de consommation croissante de la structure.

En raison des coupures de courant souvent de courtes durées mais dérangeantes et de l'amélioration recherchée de la qualité des conditions de travail et d'accueil proposé aux usagers, l'acquisition d'un nouveau parc de batteries réduit a été mise à l'étude.

Le dimensionnement est l'objectif de notre travail, dans lequel on se propose de déterminer la taille optimale de notre installation solaire dans le but d'alimenter un chalet dans la région de chréa la wilaya de Blida.

Le déroulement de ce mémoire se fera de la manière suivante :

Le premier chapitre est consacré au potentiel solaire en Algérie, puis nous nous intéressons à présenter la construction et les différentes technologies des cellules photovoltaïques ainsi que leur principe de conversion.

A la fin de ce chapitre un état de l'art concernant le SEH sera présenté

Le deuxième chapitre est consacré aux installations solaires photovoltaïques. Nous présentons tout d'abord des différents composants d'un système photovoltaïque connecté au réseau qui sont actuellement établis dans la pratique.

Le troisième chapitre a pour le but de dimensionner un système Hybride (Photovoltaïque-Réseau électrique) avec la méthode analytique et à l'aide d'un logiciel de simulation (PVsyst), et enfin les résultats seront discutés.

Le quatrième chapitre fera l'objet de la rentabilité économique.

Ce travail s'achève par une conclusion générale.

Enfin, des fiches techniques relatives aux composants choisis sont présentés en annexes.

Chapitre 01

Généralité Sur L'énergie solaire Photovoltaïque

1.1. Introduction

Traditionnellement, le terme hybride faisait référence à deux sources de production telles que l'énergie éolienne et solaire, mais dans le monde solaire, le terme «hybride» désigne une combinaison de stockage d'énergie solaire et d'énergie qui est également connectée au réseau électrique.

Pour mieux comprendre le mode de fonctionnement de cette énergie, nous allons parler dans ce chapitre d'une manière générale du gisement solaire, de la conversion photovoltaïque ainsi leurs caractéristiques principales.

1.2. Energies solaire

L'énergie solaire convertit directement le rayonnement lumineux (solaire ou autre) en électricité, la distance entre la terre au soleil environ 150 million de kilomètre et la vitesse de la lumière est d'un peu plus de 300000 Km/S.

1.2.1. Le Potentiel Solaire en Algérie

Le potentiel solaire est la quantité totale d'irradiation d'énergie solaire reçue sur une surface de région donnée pendant du temps dans une localisation spécifique.

En Algérie, le potentiel est le plus important de tout le bassin méditerranéen [1] :

- 1169.440 TWh/an,
- 5.000 fois la consommation Algérienne en électricité,
- 60 fois la consommation de l'Europe des 15 (estimée à 3.000 TWh/an).

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

L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m² est de l'ordre de 5KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700KWh/m²/an au nord et 2263kwh/m²/an au sud du pays [2].

Au Sahara, ce potentiel peut constituer un facteur important de développement durable s'il est exploité de manière économique.

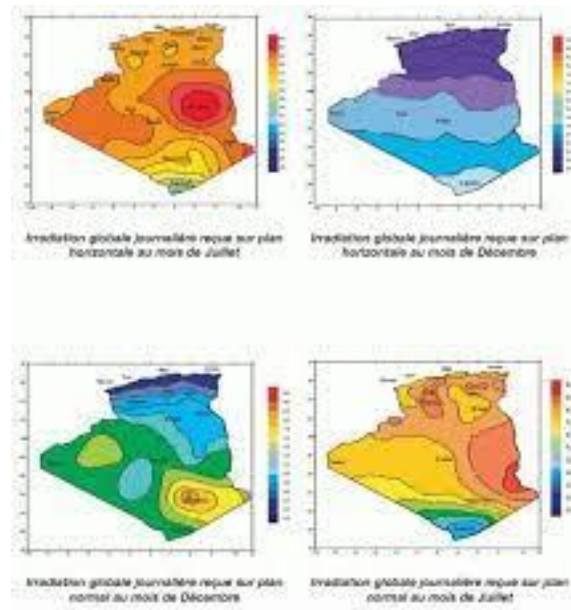


Figure 1-1 : Le potentiel solaire en Algérie [3].

Le tableau suivant indique le taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie :

Tableau 1-1 : Ensoleillement reçu en Algérie par région climatique [4] [5].

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie	4 %	10 %	86%
Durée moyenne d'ensoleillement (Heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m2/an)	1700	1900	2650

Ce gisement solaire dépasse les 5 milliards de G Wh/an. Le volet de l'énergie solaire le plus utilisé dans notre pays est le solaire photovoltaïque, Les autres volets solaire, thermique et thermodynamique, restent toujours au stade expérimental.

Toutefois, la complexité des procédés de fabrication des modules photovoltaïques et les rendements de production faibles entraînent des coûts très élevés, ce qui freine son Développement.

1.2.2. Durée de l'ensoleillement :

La durée d'insolation correspond au nombre d'heures dans la journée, entre le lever et le coucher du soleil, où celui-ci est bien visible. Le relevé est fait au moyen de l'héliographe de Campbell– Stokes

dans lequel une sphère de cristal concentre les rayons du soleil sur un papier qu'il brûle en se déplaçant. Ainsi, seuls les moments où le soleil est bien visible sont enregistrés ; on parle alors de durée d'insolation réelle ou effective et dépend du fait que le soleil levé soit visible du point d'observation ou caché par les nuages. Au défaut de l'héliographe, il est possible à partir du calcul du mouvement astronomique relatif du soleil et de la terre d'évaluer la durée théorique du jour ; c'est-à-dire, celle qu'il y aurait si les nuages ne cachaient pas le soleil. Cette durée est calculée en fonction de la latitude du site et de la déclinaison apparente qui elle-même dépend de la période de l'année considérée.

1.3. Rayonnement solaire

Le soleil tire son énergie de réactions thermonucléaires se produisant dans son noyau.

L'énergie émise par le soleil est sous forme d'ondes électromagnétiques dont l'ensemble forme le rayonnement solaire, compris dans une bande de longueurs d'ondes qui varient de 0,22 à 10 μm , ce rayonnement est composé de grains de lumière appelés photons, l'énergie de chaque photon est directement liée à la longueur d'onde par la relation suivante :

$$E_{ph} = \frac{h * c}{\lambda} \quad (1.1)$$

Avec :

h : est la constante de Planck

C : est la vitesse de la lumière

λ : longueur d'onde.

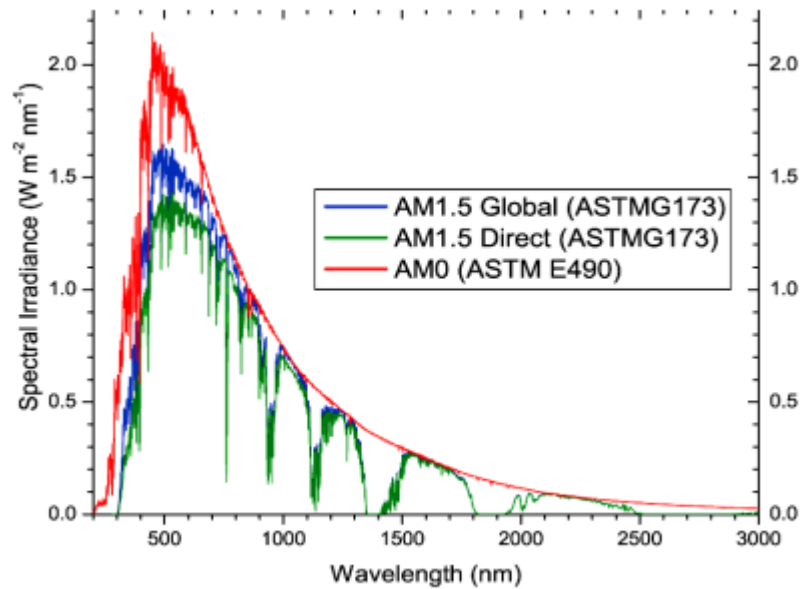


Figure 1-2 : Analyse spectrale du rayonnement solaire [6].

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire se modifie à cause de l'absorption par les gaz présents dans l'atmosphère, la diffusion par les molécules et d'autres paramètres comme les nuages, l'albédo, la température ambiante, le vent, l'humidité relative et les aérosols ou particules polluantes. Ces paramètres dépendent aussi du lieu géographique, de la saison, de l'heure de la journée et des conditions météorologiques du moment [7].

Au niveau du sol le rayonnement solaire peut être absorbé et diffusé, pour cela on distingue plusieurs composants.

➤ **Le rayonnement direct**

Les rayons du soleil atteignent le sol sans subir de la modification (sans diffusion par l'atmosphère). Les rayons restent parallèles entre eux. [8]

➤ **Le rayonnement diffus**

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire rencontre des obstacles tels que les nuages, la poussière, etc. Ces obstacles ont pour effet de répartir un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux dans toutes les directions. [8]

➤ **Le rayonnement réfléchi L'albédo**

C'est le résultat de la réflexion des rayons lumineux sur une surface réfléchissante par exemple : la neige ; cette réflexion dépend de l'albédo (pouvoir réfléchissant) de la surface concernée.

Le rayonnement global est tout simplement la somme de ces diverses contributions comme le Montre la figure suivante : [8]

➤ Rayonnement global

Est la somme de tous les rayonnements reçus, y compris le rayonnement réfléchi par le sol et les objets qui se trouvent à sa surface. Il est mesuré par un pyromètre ou un Solarimètre sans écran.



Figure 1-3 : composants du rayonnement solaire [9].

1.4. Technologie solaire

1.4.1. L'effet photovoltaïque

Le terme photovoltaïque est d'origine Grecque, il est composé de deux mots : photo qui signifie la « lumière » et le nom de l'inventeur de la pile électrique « Alessandro Volta » [10].

L'effet photovoltaïque est la conversion directe d'une partie de la lumière émise par le soleil (photons) en énergie électrique par le biais de cellule photovoltaïque lorsque sa surface est exposée à la lumière, elle aussi connue sous le nom de photopile.

1.4.2. Les cellules photovoltaïques :

La cellule photovoltaïque ou encore photopile est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériaux semi-conducteurs et transforme directement

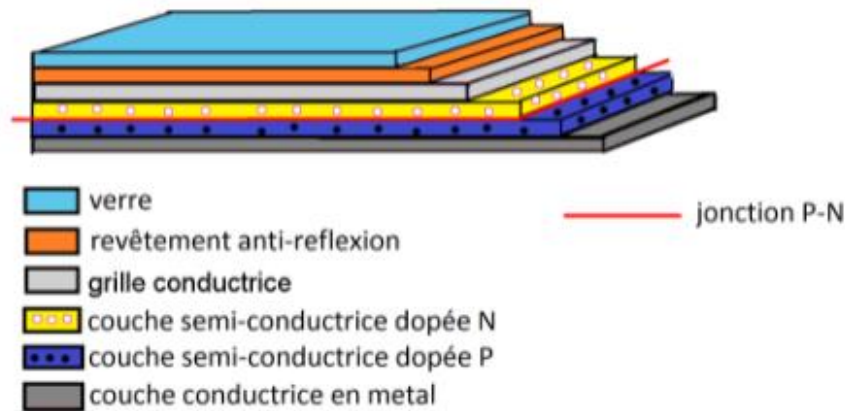


Figure 1-4 : structure basique d'une cellule solaire . [11]

l'énergie lumineuse en énergie électrique. Les cellules photovoltaïques sont constituées :

- D'une fine couche semi-conductrice (matériau possédant une bande interdite, qui joue le rôle de barrière d'énergie que les électrons ne peuvent pas franchir sans excitation extérieure, et dont il est possible de faire varier les propriétés électriques) tel que le silicium, qui est un matériau présentant une conductivité relativement bonne.
- D'une couche antireflet permettant une pénétration maximale des rayons solaires.
- D'une grille conductrice sur le dessus ou cathode et d'un métal conducteur sur le dessous ou anode.

Les plus récentes possèdent même une nouvelle combinaison de multicouche réfléchissant juste en dessous de semi-conducteur, permettant à la lumière de rebondir plus longtemps dans celui-ci pour améliorer le rendement.

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3V et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température et du vieillissement de la cellule. [11]

1.4.3. Les différentes technologies de cellules solaires

Il existe différents types de cellules solaires. Chaque type de cellule est caractérisé par son rendement et son coût. Les principaux types de cellules qui existent actuellement sont [12]-[13].

➤ **Les cellules monocristallines**

Elles sont composées d'un silicium cristallisé en un seul cristal c'est pourquoi sa couleur est uniforme.

➤ **Les cellules poly cristallines**

Les cellules poly cristallines sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé sous forme de cristaux multiples, on peut donc différencier les cristaux.

➤ **Les cellules amorphes**

Elles ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé.

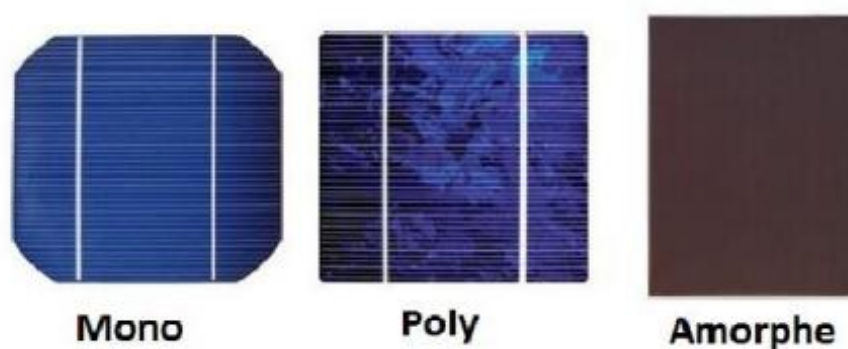


Figure 1-5 : Les différents types de cellule solaire.

1.4.3.1. Comparaison des technologies des cellules PV

Tableau 1-2 : Différents technologie des cellules photovoltaïque [14].

Matériau	Rendement	Longévité	Caractéristiques	Principal utilisation
Silicium monocristallin	12 à 18%(24,7% en laboratoire)	20 à 30 ans	-Très performant, - Stabilité de production, -Méthode de production toits, façades . . . coûteuse et laborieuse.	Aérospatial, modules pour toits, façades . . .
Silicium poly cristallin	11 à 15% (19,8% en laboratoire)	20 à 30 ans	-Adapté à la production à grande échelle - Stabilité de production, - plus de 50% du marché génération . . . mondial	Modules pour toits, façade génération . . .
Amorphe	5 à 8 % (13% en		-Peut fonctionner sous la lumière fluorescente, -	

	laboratoire)		Fonctionnement si faible lumière, - Fonctionnement par temps couvert, -Fonctionnement si ombrage partiel, -La puissance de sortie varie dans le temps. En début de vie, la puissance délivrée est de 15 à 20% supérieur à la puissance nominale et se stabilise après quelque mois.	
--	--------------	--	---	--

Il y a d'autres types des cellules PV comme les cellules en matériaux organiques (Rendement d'environ de 3,6%) et les cellules tandem [15].

1.4.4. Principe de fonctionnement

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet Photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température de la cellule [16]. La figure (1-6) illustre une cellule PV typique

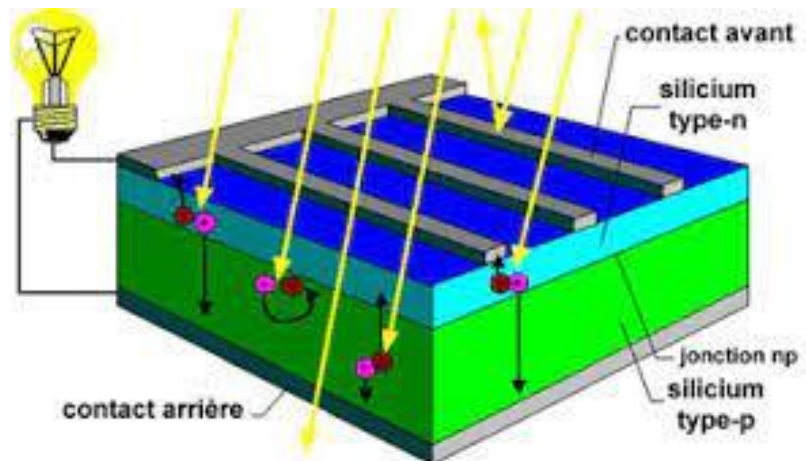


Figure 1-6: Principe de fonctionnement d'une cellule solaire [16].

La couche supérieure de la cellule est composée de silicium dopé par un élément de valence supérieure dans la classification périodique, c'est à dire qui possède plus d'électrons sur sa couche de valence que le silicium. Le silicium possède 4 électrons sur sa couche de valence : on peut donc utiliser des éléments de la colonne de l'oxygène, par exemple le Phosphore P.

Cette couche possédera donc en moyenne une quantité d'électrons supérieure à une couche de silicium pur. Il s'agit d'un semi-conducteur de type N.

La couche inférieure de la cellule est composée de silicium dopé par un élément de valence inférieure au silicium. Il peut s'agir de Bore B. Cette couche possédera donc en moyenne une quantité d'électrons inférieure une couche de silicium pur. Il s'agit d'un semi-conducteur de type P.

Lorsqu'on met ces deux semi-conducteurs en contact (de manière à ce qu'il puisse y avoir conduction), on crée une jonction PN, qui doit permettre le passage des électrons entre les deux plaques. Cependant, dans le cas d'une cellule photovoltaïque, le gap du semi-conducteur de type N est calculé de manière à ce que le courant ne puisse pas s'établir seul : il faut qu'il y ait un apport d'énergie, sous forme d'un photon de lumière, pour qu'un électron de la couche N soit arraché et vienne se placer dans la couche P, créant ainsi une modification de la répartition de la charge globale dans l'édifice [17].

La tension maximale de la cellule est d'environ 0.6 V pour un courant nul, cette tension est nommée tension de circuit ouvert V_{co} . Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées ; il est appelé courant de court-circuit I_{sc} et dépend fortement du niveau d'éclairement.

1.4.5. Le schéma électrique d'une cellule photovoltaïque

Le schéma électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque est représenté à la figure (1-7) :

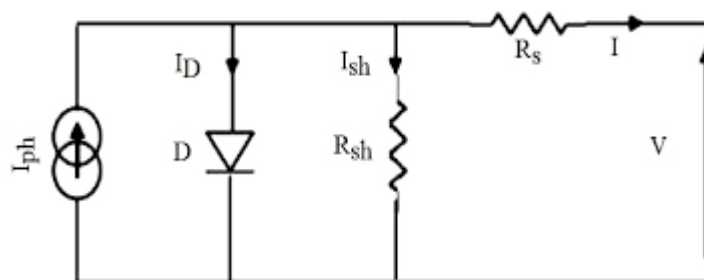


Figure 1-7: modèle de la cellule PV avec prise en compte de perte en tension et courant de fuite[18].

La résistance Série R_s est due à la contribution des résistances de base et du front de la jonction et du contact face avant et face arrière la résistance shunt R_{sh} due à un courant de fuite au niveau de la jonction [18].

Avec :

I_{ph} : Photo-courant du module.

I_o : Courant de saturation inverse de la diode.

n : Facteur d'idéalité de la jonction ($1 \leq n \leq 1.5$).

q : Charge de l'électron ; k , Constante de Boltzmann.

T : Température des cellules variant en fonction de l'éclairement et de la température ambiante

V_t est la tension thermique du module pour un nombre N_s de cellules en série et définie par:

$$V_t = \frac{N_s \cdot K T}{q} \quad (1.2)$$

L'équation du modèle du générateur photovoltaïque est donné par :

$$I = I_{ph} - I_o \left(\exp \left(\frac{V + I \cdot R_s}{n \cdot V_t} \right) - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (1.3)$$

1.4.6. Paramètre des cellules photovoltaïques

- **La puissance :**

Puissance fournie par la cellule est tout simplement le produit du courant et de la tension.

A partir de la caractéristique courant-tension, il est intéressant de dessiner le graphe de la puissance ($P = U \times I$) en fonction de la tension U , qu'on appelle aussi caractéristique puissance-tension. La caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque met en évidence un point de puissance maximum **PMPP** (**MPP** signifie en anglais **Maximal Power Point**, soit Point de Puissance Maximale). Ce point de puissance maximale est le produit d'un courant et d'une tension donnés. On appelle respectivement **IMPP** et **UMPP** le courant et la tension correspondant au point de puissance maximale, c'est-à-dire tel que :

$$IMPP \times UMPP = PMPP \quad (1.3)$$

- **Courant de court-circuit I_{cc}**

C'est le courant pour lequel la tension aux bornes de la cellule ou du générateur PV est nulle, ce courant se confond avec le photo-courant I_{ph} [19].

- **Tension à circuit ouvert V_{co}**

C'est la tension pour laquelle le courant débité par le générateur photovoltaïque est nul (c'est la tension maximale d'une photopile ou d'un générateur photovoltaïque) [19].

- **Rendement énergétique**

C'est le rapport entre la puissance électrique maximale fournie par la cellule $P_{\max}(I_{opt}, V_{opt})$ et la puissance solaire incidente. Il est donné par :

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{inc}} = \frac{I_{opt} \cdot V_{opt}}{P_{inc}} \quad (1.4)$$

Avec :

P_{inc} est égale au produit de l'éclairement et de la surface totale des photopiles.

Ce paramètre reflète la qualité de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique [19].

- **Facteur de forme ff**

Ce facteur représente le rapport entre la puissance maximale P_{\max} fournie par la cellule ou générateur et la puissance optimale. Il représente la mesure de la qualité de la cellule ou d'un générateur, il est défini par la relation [20].

$$ff = \frac{P_{\max}}{I_{cc} \cdot V_{co}} = \frac{I_{opt} \cdot V_{opt}}{I_{cc} \cdot V_{co}} \quad (1.5)$$

La valeur des 4 paramètres ci-dessus dépend d'un certain nombre de paramètres Dont :

- Le niveau d'éclairement de la cellule.
- La température de la cellule.

1.4.7. Effet des variations climatiques sur la cellule PV

La température et l'éclairement sont deux paramètres qui influent sur la caractéristique courant-tension d'une cellule PV, tel que la variation de ces paramètres implique un changement de cette caractéristique.

1.4.7.1. Variation du rayonnement

La variation du rayonnement (l'ensoleillement) entraîne une variation du Courant proportionnelle à cette dernière et une variation de la tension relativement faible

En effet, le courant de court-circuit est une fonction linéaire de l'éclairement alors que la tension de circuit ouvert est une fonction logarithmique[21].

L'augmentation du rayonnement entraine aussi une augmentation de puissance(figure 1-8).

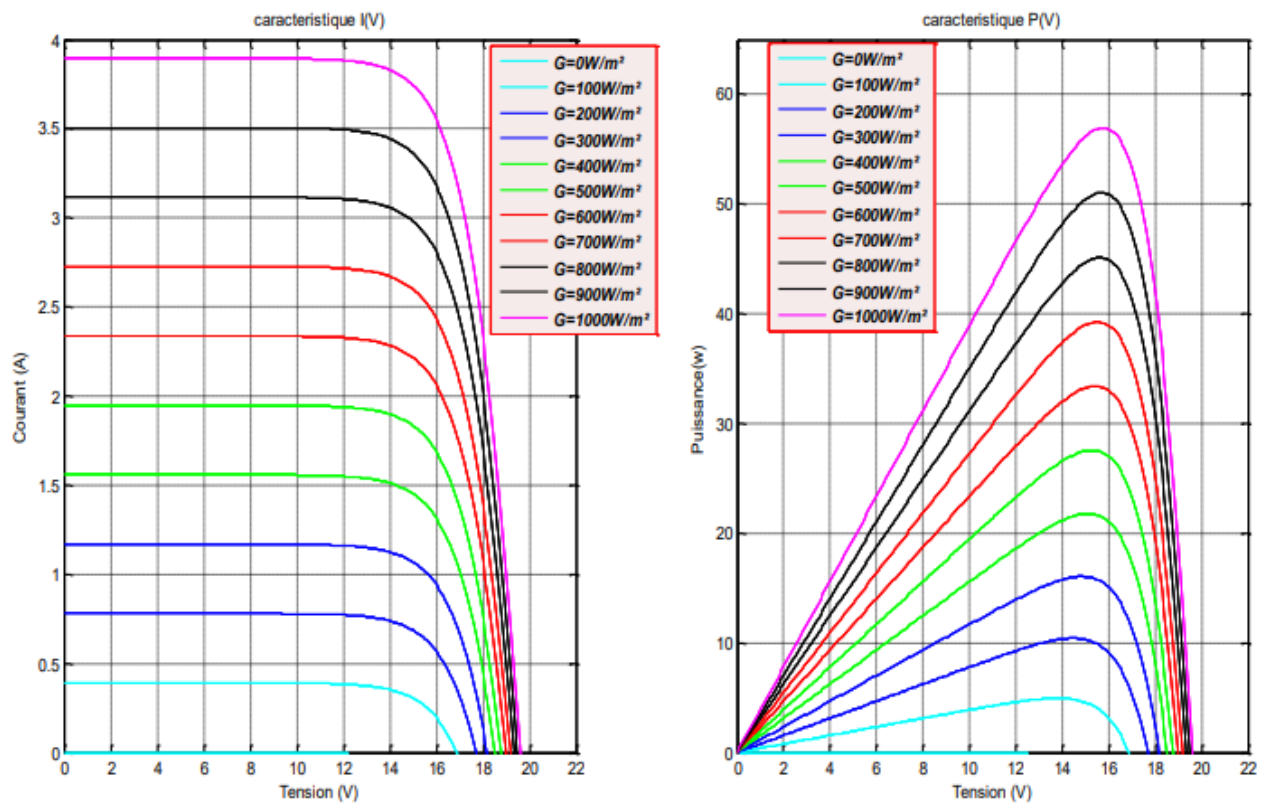


Figure 1-8 : Influence de l'éclairement sur P(V), I(V) [22].

1.4.7.2. Variation de la température

La température a une faible influence sur le courant de court-circuit puisqu'il varie légèrement, mais la tension du circuit ouvert baisse proportionnellement à l'élévation de la température, par conséquent la puissance diminue comme montrer par les figures (1-9).

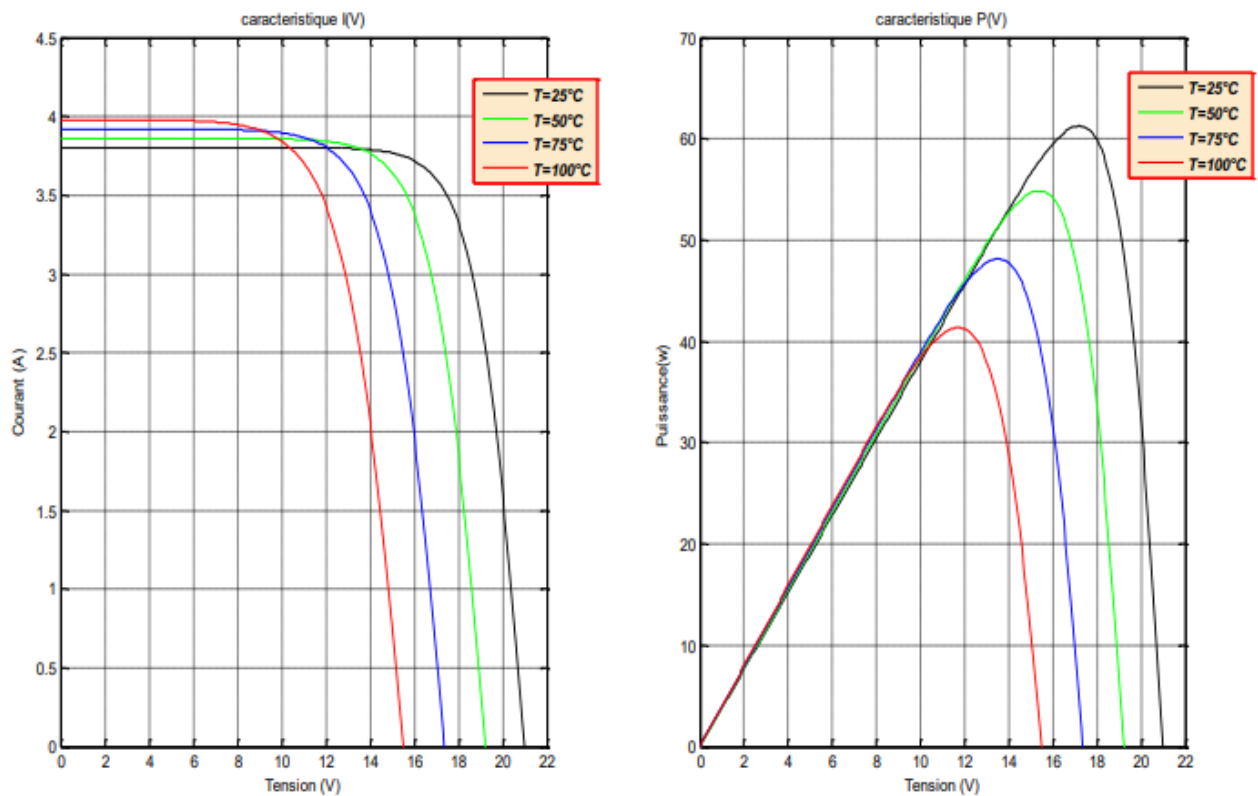


Figure 1-9 : Influence de la température sur P(V), I(V) [22].

1.6. Conclusion :

Dans ce premier chapitre, un bref aperçu est présenté concernant les gisements solaires, et particulièrement celui disponible en Algérie puis un état des technologies solaires couramment employé actuellement est exposé ainsi que le principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque.

Chapitre 02 :

Systeme Photovoltaïque

Raccordé Au Réseau

2.1. Introduction

Dans ce chapitre nous décrivons la conception d'un système photovoltaïque et le principe de fonctionnement de chaque élément le constituant, Enfin, en parlerons sur la protection de système photovoltaïque et en terminant ce chapitre par une conclusion.

2.2. Le système photovoltaïque

Un système photovoltaïque est constitué d'un générateur photovoltaïque et d'un ensemble de composants électriques (convertisseur, batterie de stockage avec son régulateur de charge, câblage et protection) qui permettent d'adapter la puissance électrique produite aux spécifications des récepteurs, ils sont montrés par la figure (2-1) ci-dessous.

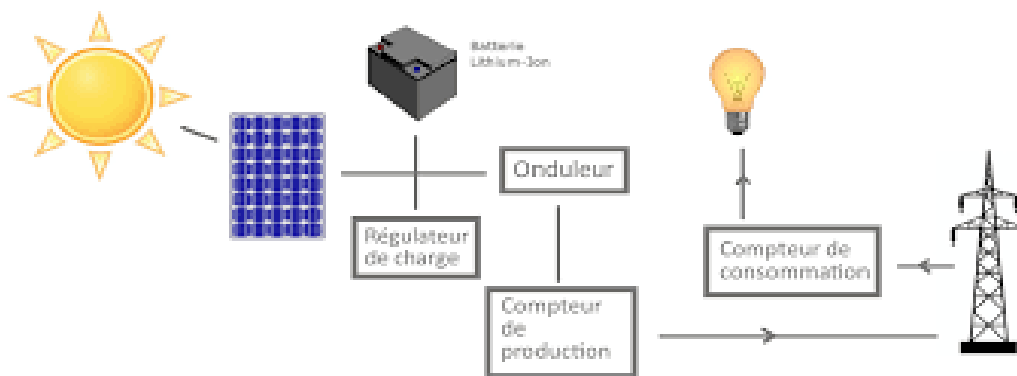


Figure 2-1 : les différents composants d'un système photovoltaïque.

2.2.1. Différents types de système Photovoltaïque

➤ système autonome

En site isolé, le champ photovoltaïque (Panneaux solaires) peut fournir directement l'énergie électrique nécessaire pour faire fonctionner les récepteurs (éclairage et équipement domestique) [23].

On distingue deux types selon les besoins de la charge :

-Système autonome sans batterie Ce type de système ne requiert pas de stockage d'électricité, soit parce que la production d'énergie des cellules est suffisante sous un faible éclairage.

-Système autonome avec batterie. C'est le système photovoltaïque le plus commun. Le champ PV sert de chargeur pour la batterie. L'électricité peut alors être utilisée en tout temps. (Ex. l'éclairage d'une maison dans la nuit).

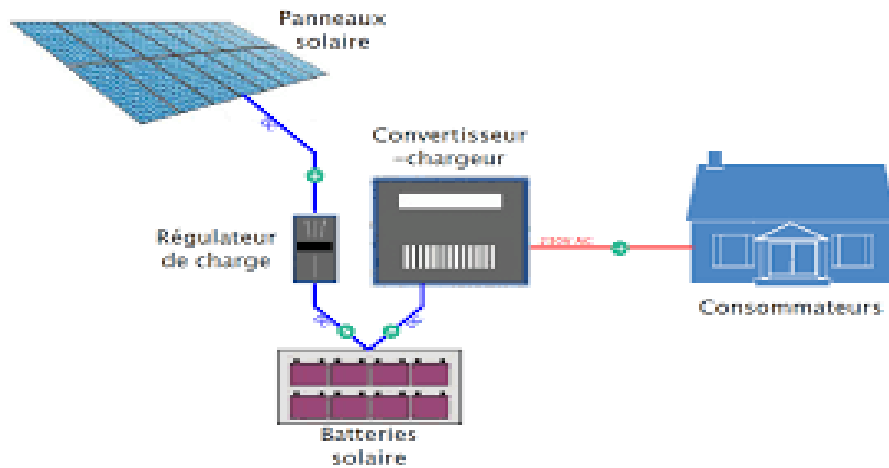


Figure 2-2 : Système Autonome [23].

➤ Système raccordé au réseau

Un tel système s'installe sur un site raccordé au réseau. Généralement sur des habitations ou des entreprises qui souhaitent recourir à une forme d'énergie renouvelable et qui bénéficient d'un bon ensoleillement [24].

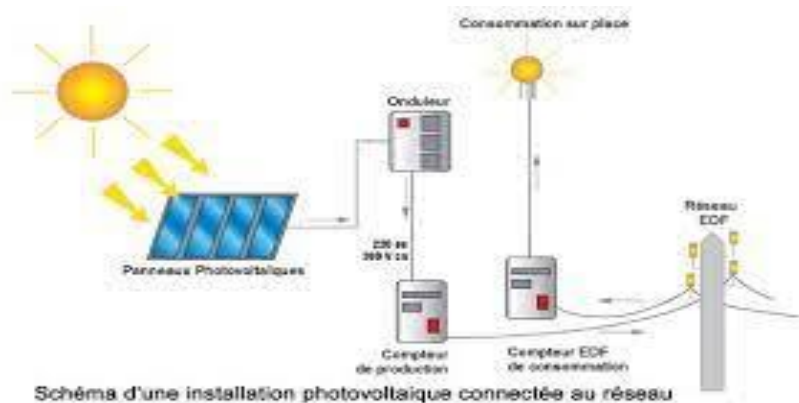


Figure 2-3 : système connecté au réseau [24].

➤ Système hybride

Il s'agit de systèmes qui regroupent des sources d'énergie de nature différentes telle une installation éolienne, un générateur diesel ou une centrale de cogénération en plus du générateur photovoltaïque. Ce type d'installation est utilisé lorsque le générateur photovoltaïque seul ne couvre pas toute l'énergie requise [25].

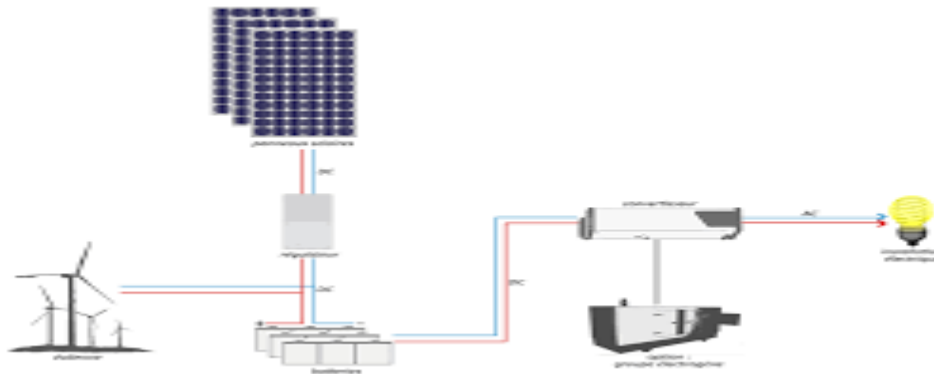


Figure 2-4 : système hybride [25].

2.2.2. Le module photovoltaïque

2.2.2.1. Définition de module photovoltaïque :

Le module photovoltaïque est un ensemble de cellules solaires assemblées pour générer une puissance électrique exploitable lors de son exposition à la lumière.

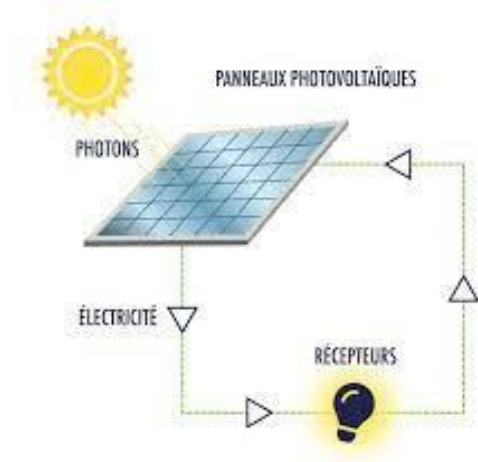


Figure 2-5 : Module photovoltaïque [26].

2.2.2.2. Associations de cellules photovoltaïques

➤ Association en série

Le regroupement en série permet d'augmenter la tension de sortie. Les cellules se voient traverser par le même courant et la caractéristique résultante est obtenue par l'addition des tensions. Pour un groupement de n cellules montées en série figure (2-6), la tension U_s a pour expression générale

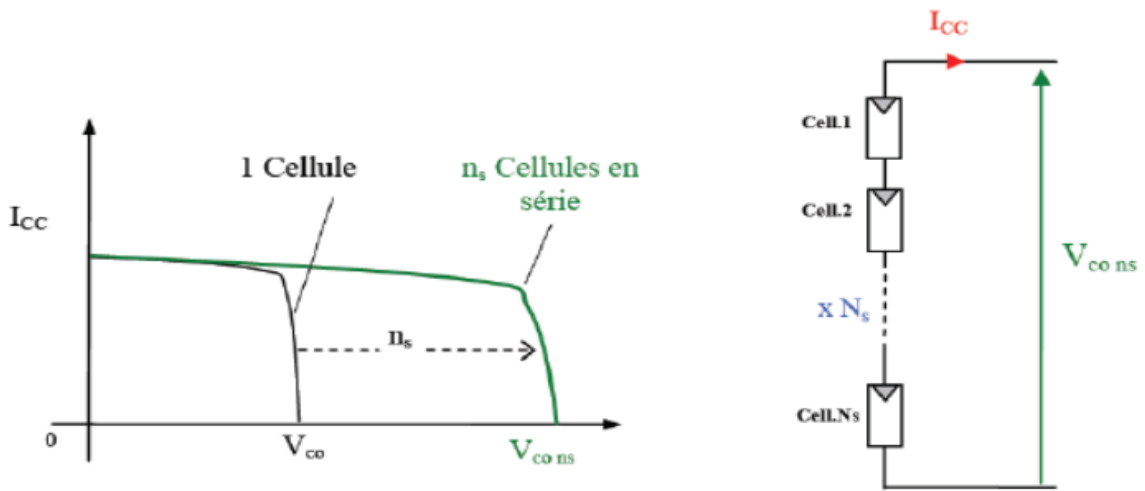


Figure 2-6 : Caractéristique résultante d'un regroupement Ns cellules en série [27].

$$U_s = n * U_c \quad (2.1)$$

➤ Association en parallèle

Le regroupement en parallèle (figure 2-7) permet d'augmenter le courant de sortie. Pour un regroupement de n cellules montées en parallèle. Pour ce regroupement, la tension est commune à toutes les cellules. le courant de sortie I_s a pour expression générale :

$$I_s = n * I_{cc} \quad (2.2)$$

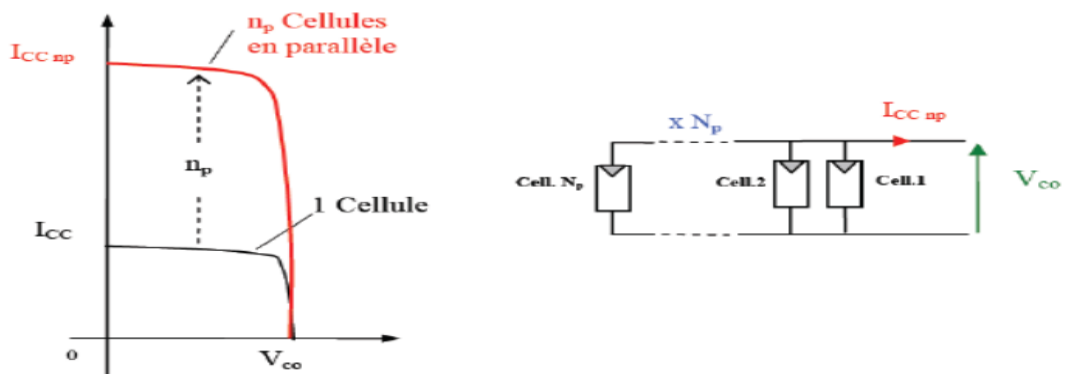


Figure 2-7 : caractéristique résultante d'un regroupement Np cellules en parallèle [27].

➤ Association en série/parallèle

Le regroupement en série/parallèle de cellules photovoltaïques figure (2-8) permet d'obtenir les courants et tensions désirés.

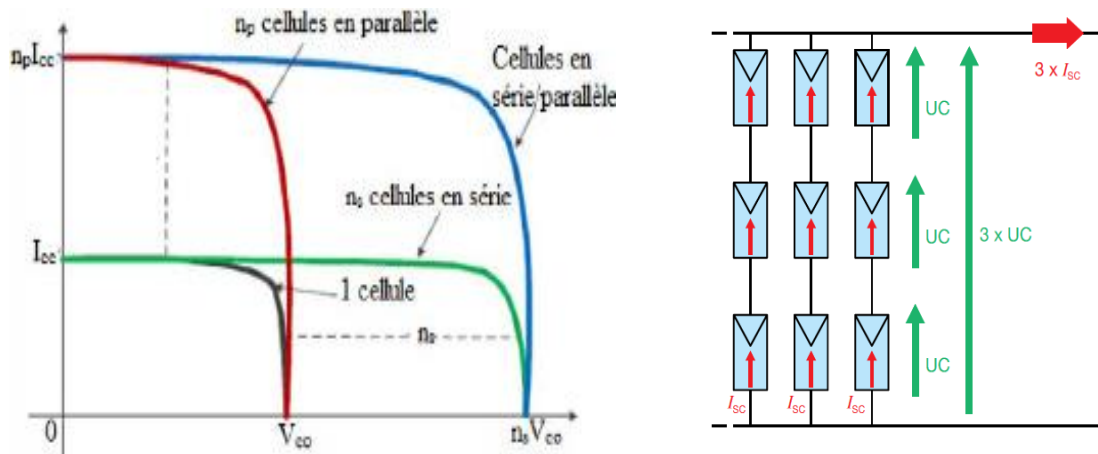


Figure 2-8 : caractéristique courant-tension de cellule/module (série/parallèle) [27].

2.2.2.4. Choix de L'orientation et l'inclinaison du panneau

L'orientation des modules doit être vers le sud pour les sites de l'hémisphère Nord, et vers les nord pour les sites l'hémisphère Sud [28]

Il faut que la surface soit perpendiculaire aux rayons solaires pour produire un maximum d'énergie, comme il est difficile de modifier plusieurs fois dans l'année l'inclinaison des modules on choisir généralement une valeur moyenne sur l'année. [28]

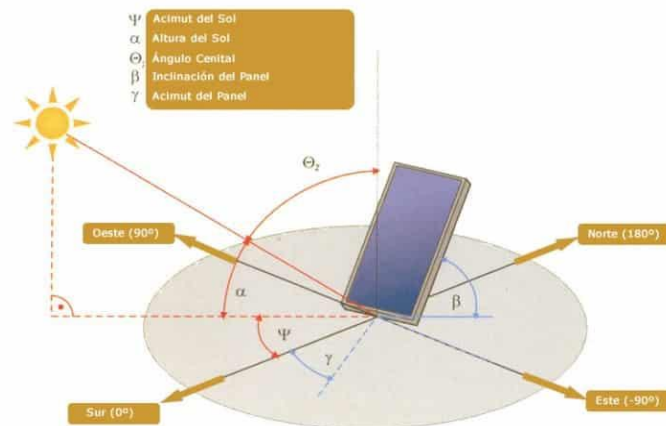


Figure 2-9 : L'inclinaison et l'orientation d'un panneau [28].

2.2.2.5. Protections classiques d'un générateur photovoltaïque

Lorsque nous concevons une installation photovoltaïque, nous devons assurer la protection électrique de cette installation afin d'augmenter sa durée de vie en évitant notamment des pannes destructrices liées à l'association des cellules et de leur fonctionnement en cas d'ombrage. Pour cela, deux types de protections sont classiquement utilisés dans les installations actuelles [29] :

- la protection en cas de connexion en parallèle de modules PV pour éviter les courants négatifs dans les GPV (diode anti-retour).
- la protection lors de la mise en série de modules PV permettant de ne pas perdre la totalité de la chaîne (diode by-pass) et éviter les points chauds.

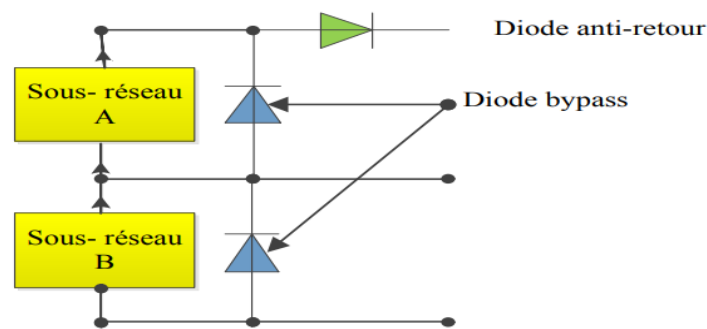


Figure 2-10 : protection des modules par diodes anti retour et by-pass [29].

2.2.3. Le système de stockage

Le stockage d'énergie dans les installations photovoltaïques a l'objectif de fournir d'énergie à tout moment, quelles que soient les séquences d'ensoleillement. Le stockage est assuré par des batteries (accumulateurs)

Les batteries sont des accumulateurs d'énergie, ont une durée de vie et un nombre de cycles prédéterminés à l'avance par le climat (température ambiante) et par le type d'utilisation que l'on va en faire (profondeur de décharge). Le coût de l'investissement et le coût induit par leur durée de vie, vont dépendre de leur qualité de fabrication et du type de technologie.

2.2.3.1. Critères de choix des batteries :

- Durée de vie très longue (plusieurs années).
- Tension de service en (V).

- Capacité en (Ah).
- Résistant à des cycles de vie nombreux et irréguliers
- Rendement élevé.
- Autodécharge très faible.
- Pas de maintenance nécessaire. [30]

2.2.3.2. Les caractéristiques principales d'une batterie

- **Capacité**

La capacité d'une batterie est la quantité d'énergie que l'on peut stocker et que l'on peut restituer par celle-ci sous tension nominale ; elle est exprimée en ampère-heure (Ah). [30]

- **Rapports de chargement et déchargement**

Si la batterie est chargée ou est déchargée à un rythme différent que celui spécifié, la capacité disponible peut augmenter ou diminuer. Généralement, si la batterie est déchargée à un rythme plus lent, sa capacité augmentera légèrement. Si le rythme est plus rapide, la capacité sera réduite. [30]

- **Durée de vie et nombre de jour d'autonomie**

Un accumulateur peut être chargé puis déchargé complètement un certain nombre de fois avant que ses caractéristiques ne se détériorent. Par ailleurs, quel que soit le mode d'utilisation de l'accumulateur, il y'a une durée de vie totale exprimée en année (ou en nombre de cycles). [30]

Le nombre de jour d'autonomie est la période pendant laquelle la batterie assure le fonctionnement du récepteur jusqu'à sa décharge, sans la recharger

- **Profondeur de décharge**

La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie qui est utilisé pendant un cycle de charge/décharge. [30]

- **La tension d'utilisation**

C'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge. [30]

- **Le rendement**

C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur. [30]

- **Le taux d'autodécharge**

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

2.2.3.3. Les différents types de batteries

- **Batteries au plomb**

Les batteries au plomb fermées avec un électrolyte gélifié. Elles ont l'avantage d'être sans entretien, facilement manipulable (pas de fuite) avec une stabilité parfaitement contrôlée par le fabricant Elles ont les inconvénients d'être plus chères et d'avoir une durée de vie plus courte.

Elles fournissent en général environ 400 cycles à 80 % de décharge.

- **Batteries au nickel**

Les NiMH ont une grande densité énergétique et peuvent être complètement déchargée sans porter préjudice à leur durée de vie.

Elles ont l'inconvénient d'être de faible capacité Elles fournissent en général entre 500 et 700 cycles à 80 % de décharge.

- **Batteries au Lithium**

Elles sont réservées aux systèmes photovoltaïques portables où leur grande capacité de décharge (six fois mieux que le plomb étanche) est leur grand intérêt. Leur prix est encore prohibitif mais elles fournissent en général, environ 1 300 cycles à 100 % de décharge.

2.2.3.4. Raccordement de batteries

Dans les systèmes photovoltaïques on utilise trois types de raccordement des batteries :

- **Raccordement série :**

Dans ce type on doit augmenter la tension des batteries afin d'obtenir la tension voulu 12, 24 ou 48V mais la capacité reste telle quelle est.

- **Raccordement parallèle :**

Le cas contraire ici on veut augmenter la capacité des batteries tandis que et la tension ne change plus.

- **Raccordement mixte ou (série parallèle)**

Dans ce cas on joue sur les deux grandeurs tension et capacité selon les besoins alors on va raccorder un ensemble en série pour avoir une telle tension (24V ou 48V par exemple) et le même autre ensemble en parallèle pour augmenter la capacité (Ah).

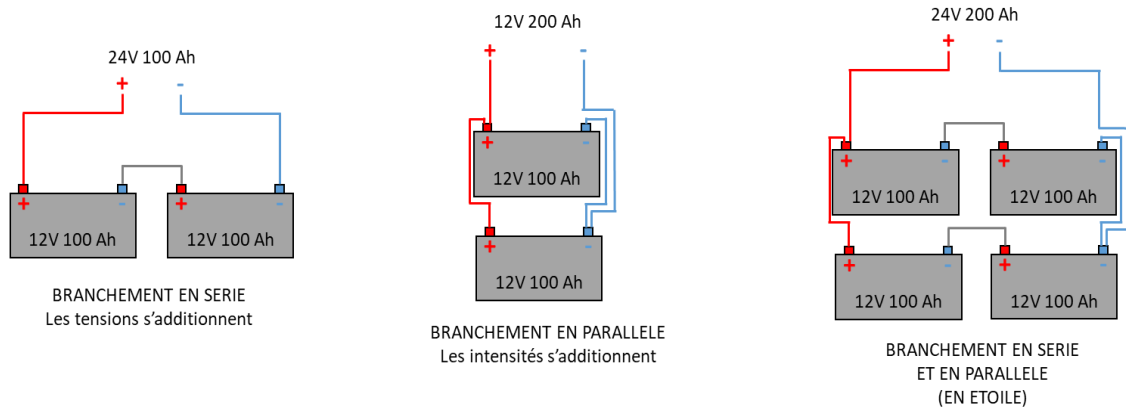


Figure 2-11 : Branchement des batteries [31].

2.2.4. Système de conversion

Dans un système d'énergie hybride, un convertisseur-chargeur, comme son nom l'indique est un appareil qui remplit le rôle de convertisseur, et de chargeur de batterie à la fois.

Ce type d'appareil est généralement utilisé pour les alimentations de secours, votre chargeur de batterie fonctionne lorsque le réseau est disponible pour garder vos batteries chargées. Lorsque le réseau public est indisponible, le chargeur passera en convertisseur et vous alimentera grâce aux batteries chargées.

➤ Onduleur

Un convertisseur d'énergie est un équipement que l'on dispose généralement soit entre le champ PV et la charge (sans stockage avec charge en continu, il portera le nom de convertisseur continu-Continu), soit entre la batterie et la charge (il sera alors appelé onduleur ou convertisseur continu-alternatif). [32]

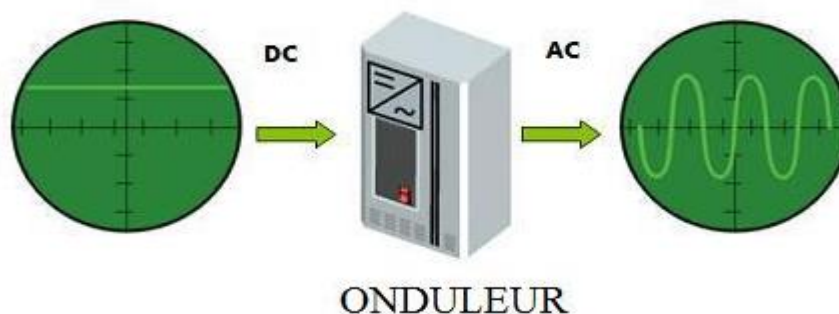


Figure 102 : Le rôle d'un onduleur [32].

2.2.4.1. Critère de choix d'un convertisseur

Plusieurs critères vont intervenir dans le choix de cet appareil électronique sophistiqué :

- une qualité élevée limitant les pannes et interventions sur site.
- un rendement élevé pour maximiser la production d'énergie. Un haut rendement implique peu de pertes thermiques et une température de fonctionnement plus basse améliorant la fiabilité et la durée de vie des composants.
- un service local efficace.
- un rapport prix/qualité élevé.
- une bonne facilité de montage.
- un paramétrage aisé au démarrage.
- des interfaces permettant le suivi à distance.
- La réputation du fabricant est encore un paramètre important. Il est fortement déconseillé d'utiliser des appareils inconnus même si leur prix peut paraître alléchant.

2.2.4.2. Caractéristiques d'un convertisseur :

Un onduleur solaire se caractérise généralement par :

- Puissance nominale.
- Puissance au pic (puissance au démarrage qui doit être plus).
- Forme d'onde (purement sinusoïdale ou carrée).
- Tension d'entrée.
- Tension de sortie.
- Plage de tension d'entrée
- Protection contre Court-circuit, surcharge, température élevée, baisse tension de batterie.

2.2.5. Régulateur de charge

Le régulateur est un élément très efficace dans les installations solaire malgré son faible coût (5% de coût total) [33], cet élément contrôle les flux d'énergie, pour protéger la batterie d'accumulation et maximiser sa durée de vie, et évite les surcharges et les décharges. Au plus le régulateur peut régler la recharge par autre source [33].

Il y a plusieurs techniques soit mesure de tension soit courant entrant et sortant pour la régulation de batterie, mais en effet la plus utilisée est la mesure de tension à cause de sa simplicité [33].

2.2.5.1. Les différents types de régulateur

➤ Régulateur shunt « tout ou rien »

C'est le modèle le plus répandu car simple à fabriquer. Le principe du circuit est un simple aiguillage : tout le courant du panneau passe normalement dans la batterie et lorsque le seuil de

coupure est atteint, tout le courant passe dans l'interrupteur (peut être MOSFET, transistor bipolaire...) [33].

➤ **Régulateur shunt linéaire**

Ce type de régulateur maintient une tension constante aux bornes de la batterie lorsque celle-ci atteint sa pleine charge. La puissance non utilisée du panneau en fin de charge doit être dissipée par le transistor en parallèle [33]

➤ **Régulateur série « tout ou rien »/ linéaire**

Ce régulateur devient de plus en plus répandu et devrait à terme supplanter le régulateur shunt. L'interrupteur de charge est ici en série avec la batterie et il s'ouvre lorsque la fin de charge est atteinte [33].

➤ **Régulateur PWM**

Les régulateurs solaires PWM (Pulse Wide Management) possèdent un bon rendement et permettent d'optimiser la charge de la batterie. C'est à l'heure actuelle les régulateurs présentant le meilleur rapport prix/performance.

Les régulateurs PWM (Pulse With Modulation) sont les plus utilisés dans les installations photovoltaïques autonomes. Ils permettent d'améliorer la recharge des batteries. Pour compléter la recharge complète, ils séparent le courant fournis par les panneaux et l'envoi vers les batteries sous forme d'impulsions. Ces impulsions sont modulées (+oulongues, +ou- fréquentes) par la lecture précise du régulateur aux bornes de la batterie. Cela lui permet de connaître son niveau de charge. Le rôle des régulateurs PWM ne se limite pas seulement la recharge complète de la batterie, ils permettent aussi de limiter la sulfatation des plaques des batteries grâce aux impulsions hautes fréquences. Il existe plusieurs sortes de



Figure 2-13 : Régulateur solaire PWM [34].

régulateurs PWM, certains ont des fonctions de base et d'autres plus complexes, sont équipés de logiciels qui gèrent en permanence l'état de la batterie.

➤ Régulateurs MPPT

Les régulateurs solaires MPPT (Maximum Power point Tracking) quant à eux exploitent au maximum l'énergie fournie par les panneaux en faisant varier leurs tensions en fonction de la luminosité. Selon les conditions, ils peuvent être jusqu'à 35% plus performants que les régulateurs PWM.



Figure 2-14 : Régulateur solaire MPPT [34].

Les régulateurs MPPT (Maximum Power Point Tracking) possèdent une technologie avancée qui recherche en permanence le point de puissance maximum. Ce qui permet de tirer les meilleures performances des panneaux photovoltaïques. En plus de fournir une augmentation d'énergie à une installation, ils optimisent la charge de la batterie et prolonge leur durée de vie. Les régulateurs MPPT balayent la tension du panneau pour trouver le point de sortie de puissance maximum.

Ils sont capables d'adapter la tension fournie par le panneau pour l'aligner à la tension que la batterie peut recevoir.

2.2.5.2. Critères de choix des régulateurs

- Consommation interne :(Choisir la bonne intensité de courant et la bonne tension) [35].
- Précision des seuils : Les seuils de coupure et de décalage du régulateur doivent rester stables à plus ou moins 2% de leur valeur nominale durant la vie du système [35].

- Facilités de montage : Les bornes de connexion doivent être facilement accessibles et permettre le câblage avec des sections suffisantes.
- Garantie : Les régulateurs sont garantis pour un an en général [35].

2.2.6. Compteur photovoltaïque

➤ Injection totale

Toute 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 raccordement du consommateur qui reste identique avec son compteur de consommation (on ne peut pas utiliser sa propre production).

- Le nouveau branchement permettant d'injecter l'intégralité de la production dans le réseau, dispose de deux compteurs :

- l'un pour la production ;
- l'autre pour la non-consommation (permet de vérifier qu'aucun soutirage frauduleux n'est réalisé).

➤ 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.

2.2.7. Divers

2.2.7.1. Câblage électrique

Une installation photovoltaïque comprend plusieurs types de câble en fonction des contraintes électriques ou extérieure. Le câblage entre les modules photovoltaïque et l'onduleur intègre une connectique particulière pour éviter les risques de chocs électriques pendant l'installation. Enfin toutes les parties métallique d'une installation photovoltaïque Sont interconnectées et reliées à la même prise en terre.

➤ Connectique

Une connectique débrochable spécifique au photovoltaïque

est utilisée sur la partie courant continu (modules photovoltaïques, boîtes de jonction, coffret DC, onduleurs)

pour faciliter l'installation et réduire les risques de chocs électrique.

L'installation des connecteurs sont obligatoire lorsque la tension V_{ocmax} entre chaque module PV et à l'extrémité de chaque chaîne PV est supérieure à 60 V.



Figure 2-15 : Connecteur MC4 [36].

➤ Câble PV

Les câbles reliant les modules au coffret de protection courant continu sont spécifiques au photovoltaïque et ses contraintes.

Les câbles utilisés sont communément appelés câble PV. Ce sont des câbles mono conducteurs en cuivre ou en aluminium d'isolement équivalent à la classe 2.



Figure 2-16 : Câble mono conducteur PV [36].

2.2.7.2. Coupure et sectionneur

Dans une installation photovoltaïque, il est indispensable de pouvoir de couper le courant, afin d'effectuer par exemple des opérations de maintenance :

➤ Interrupteur

Appareil mécanique de connexion capable de couper le courant.

➤ Sectionneur

Appareil mécanique de connexion qui satisfait, en position d'ouverture aux prescriptions spécifiées pour la fonction de sectionnement.

➤ Interrupteur-sectionneur

Interrupteur qui, dans sa position d'ouverture, satisfait aux conditions d'isolement.

➤ **Disjoncteur**

Un dispositif électromécanique, voire électronique, de protection dont la fonction est d'interrompre le courant électrique en cas d'incident sur un circuit électrique.

Il est capable d'interrompre un courant de surcharge ou un courant de court-circuit dans une installation.

Suivant sa conception, il peut surveiller un ou plusieurs paramètres d'une ligne électrique.

2.2.5. Charges (utilisateurs)

Il existe deux types d'appareils alimentés par le système, celles qui fonctionnent en courant continu comme des équipements de télécommunications, le pompage d'eau, et celles en courant alternatif dans les cas d'usage domestique, ce cas nécessite un onduleur.

L'utilisation de l'énergie photovoltaïque doit être pensée en termes d'économie de l'énergie. Il est donc plus avantageux de chercher des consommateurs fonctionnant en courant continu plutôt que d'ajouter un onduleur et un consommateur [37].

2.2.6. Protection d'un système photovoltaïque

Chaque élément de ce système doit être protégé par des organes convenables à sa nature et principe de fonctionnement sans oublier le raccordement de cet élément avec des câbles qui remplissent les conditions d'utilisation de point de vue section ou construction et pour cela on va mettre chaque élément avec la protection qui correspond :

➤ **Protection courant continu**

Une protection courant continue est exigée en amont de l'onduleur.

Il est donc placé entre les modules photovoltaïques et l'onduleur.

Il comporte au minimum un dispositif de coupure et de sectionnement général DC sur la liaison principale.

➤ **Protection courant alternatif**

Une protection courant alternative est exigée en aval de l'onduleur.

Il est donc placé entre l'onduleur et le réseau de distribution.

Il comporte au minimum un dispositif de coupure et de sectionnement général AC sur la liaison principale.

➤ La mise à terre

D'une installation impacte directement la sécurité des personnes. Cette étape cruciale est souvent négligée ou mal réalisée. Nous vous conseillons vivement de faire appel à un électricien qualifié pour réaliser cette partie de l'installation si vous ne vous sentez pas à l'aise dans ce domaine. La mise à la terre des châssis et autres pièces métalliques présentes dans l'installation est destinée à assurer la protection du matériel et des personnes en cas de surtension dû à la foudre. Dans un premier temps, il faut évaluer dans quelle zone à risque vous vous trouvez.

➤ Le parafoudre

Sert uniquement à protéger contre les coups de foudres indirects. Lorsque la foudre tombe proche de votre installation, le champ magnétique induit par ce phénomène provoque une augmentation de la tension dans le circuit électrique de votre installation PV. La surtension engendrée peut alors détériorer de manière irréversible vos panneaux et micros onduleurs // convertisseur.

➤ Protection de découplage

Toutes les installations photovoltaïques raccordées au réseau doivent comporter une protection de découplage, c'est-à-dire un dispositif de coupure automatique du réseau qui intervient en cas de

sortie

de plages de

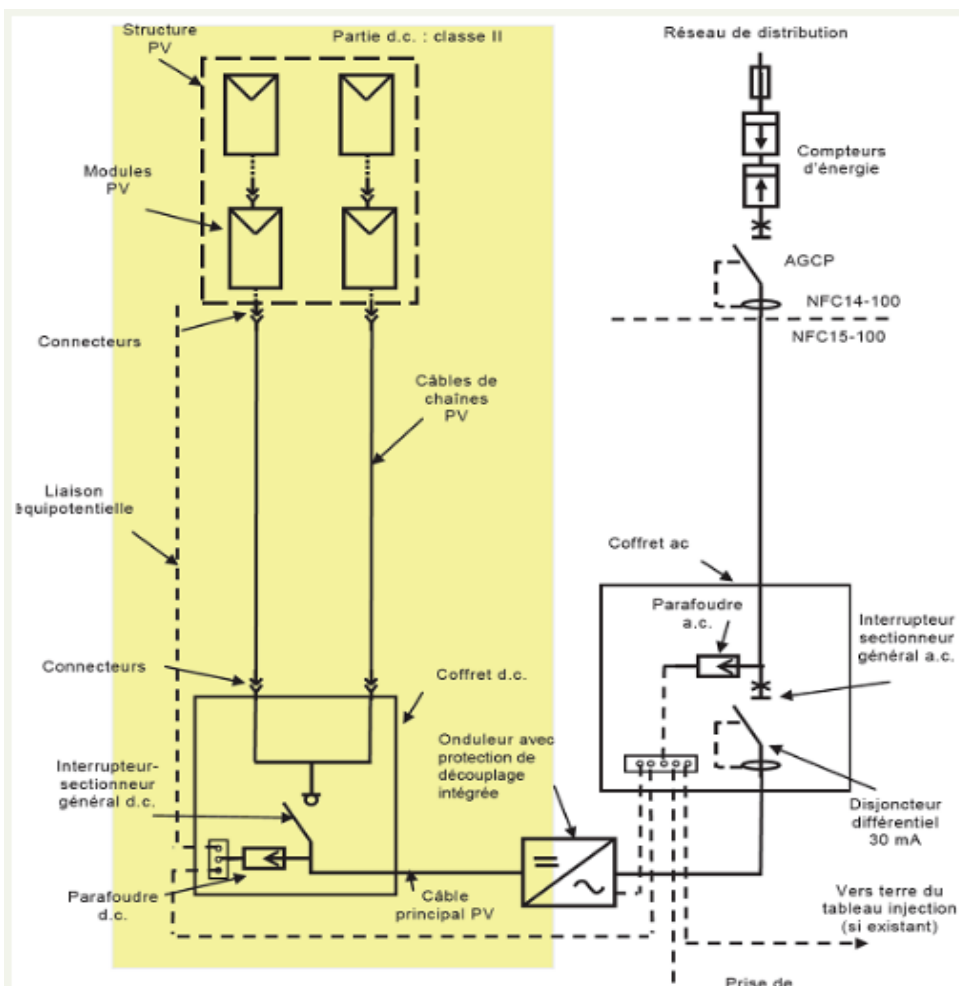


Figure 2-17 : schéma de protection d'une installation PV coté DC [38].

fonctionnement de l'onduleur en tension ou fréquence. Cette protection de découplage est intégrée ou non à l'onduleur.

2.2.7. Coffret de raccordement

Dans les installations comportant plusieurs chaînes, chaque chaîne est conduite au coffret de raccordement du générateur.

Le coffret de raccordement contient les bornes de raccordement, les coupe-circuit et en option les fusibles de chaîne.

On monte également dans le coffret de raccordement des dispositifs de protection contre les surtensions ainsi qu'un interrupteur général DC.[39]

Il a été introduit plus récemment dans la plupart des grandes installations des éléments de surveillance de chaîne signalant les dérangements éventuels à l'exploitant.



Figure 2-18 : Le boîtier de raccordement [39].

2.3. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents composants d'une installation Solaire photovoltaïque avec leurs rôles, principes de fonctionnements, les caractéristiques et les critères de chaque composant sélectionné ainsi que les éléments entrant dans la protection du système dans le but de protéger l'installation et les personnes, Le bon fonctionnement de cette installation requiert un bon dimensionnement de ces composants. Dans le chapitre suivant, on va entamer le dimensionnement du système photovoltaïque dont fera l'objet de notre travail.

Chapitre 03

Méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque

3.1.Introduction

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

Des logiciels ont été mis sur pied à partir de ces modèles physiques. Ils représentent des outils d'aide au dimensionnement des systèmes PV. Beaucoup de travaux de recherche relatifs au dimensionnement des systèmes PV sont réalisés à partir de ces logiciels, les logiciels les plus utilisés sont : PVsyst, PV*SOL, PVGIS et Archélios.

Ces logiciels constituent pour la plupart, des outils d'aide à la décision dans des projets sur des systèmes PV [40].

Dans ce chapitre, nous allons faire un dimensionnement analytique et à l'aide d'un logiciel dans le but de mieux comprendre les étapes utiles au dimensionnement d'un système Hybride (photovoltaïque -réseau électrique) pour alimenter un chalet, et nous présentons les résultats de la simulation de ce système à l'aide du logiciel PVsyst et ensuite on fait une comparaison.

3.2. Dimensionnement d'un système photovoltaïque

« Dimensionner », c'est fixer la « taille », les caractéristiques optimales de chaque élément D'un système dont on connaît la configuration.

La réalisation des installations photovoltaïques exige une méthode de calcul et de dimensionnement de haute précision, l'installation sous dimensionnée reste une installation qui manque de fiabilité.

La maîtrise du dimensionnement global est basée sur les différentes caractéristiques techniques de sous-systèmes constituant l'installation photovoltaïque. Le dimensionnement se fait en passant par les étapes suivantes :

- Détermination des besoins de l'utilisateur : puissance des appareils et durée d'utilisation.
- Chiffrage de l'énergie solaire récupérable selon l'emplacement et la situation géographique.
- Dimensionnement de l'onduleur.
- Définition de la capacité des batteries et choix de la technologie.
- Choix des modules photovoltaïques.
- Dimensionnement et choix du régulateur.
- Choix des câbles.

Le résultat d'une étape influence directement le résultat des étapes suivantes. Certes, il est facile de calculer approximativement qui permettent de déterminer les dimensions des panneaux pour pouvoir couvrir les besoins en consommation d'une localité concrète [41].

3.3. Méthode analytique de dimensionnement

3.3.1. Localisation du site

La localisation du site consiste à définir le lieu de l'implantation de notre système photovoltaïque en donnant les différentes coordonnées géographiques (latitude, longitude et altitude) et des fois des informations moins importantes concernant le site.

On propose d'alimenter une habitation en énergie photovoltaïque qui se trouve dans les montagnes de Chréa.

La commune de Chréa est située au sud de la [wilaya de Blida](#), sur les hauteurs de la ville de [Blida](#), à environ 18 km au sud-est de Blida et à environ 64 km au sud-ouest d'Alger

Les coordonnées géographiques de la région de Chréa se présentent comme suit :

Latitude : 36.4256°, Longitude : 36° 25' 32" Nord, 2° 52' 36" Est Altitude 1 560 m

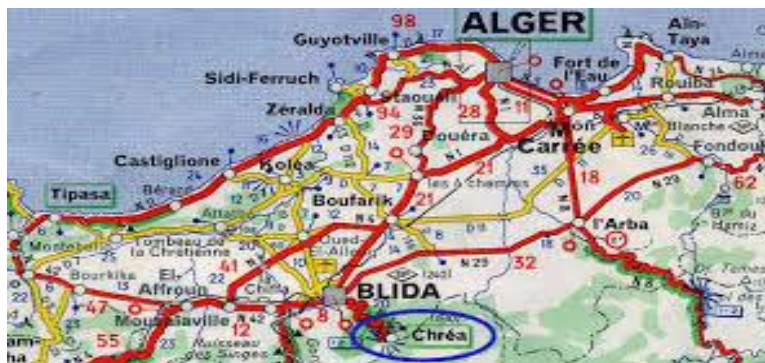


Figure 3-1 : La position géographique de Chréa [42].

3.3.2. Energie Solaire récupérable

3.3.2.1. Etude d'inclinaison et orientation des panneaux

La position des modules photovoltaïques par rapport au rayonnement solaire influence directement sur leur production énergétique. Il est important de bien placer les panneaux pour les utiliser au maximum de leurs possibilités. L'orientation est le point cardinal vers lequel est tournée la face active du panneau (sud, nord, sud-ouest,...).

L'orientation idéale d'un panneau l'hémisphère photovoltaïque obéit à une règle qui consiste à l'orienter vers l'équateur.

Ce qui donne l'orientation vers :

- Le sud dans nord.
- Le nord dans l'hémisphère sud.

En ce qui concerne l'inclinaison, on tiendra compte de la période de l'année la moins ensoleillée pour optimiser la production de l'énergie. Les panneaux doivent donc récupérer l'énergie d'un soleil dont la hauteur est faible.

Cette inclinaison va être fixée par la latitude (distance angulaire d'un point quelconque du globe par rapport à l'équateur) et sera sensiblement égale à la latitude ou légèrement supérieure pour les sites les plus éloignés de l'équateur.

3.3.2.2. Ombrage et repérage des masques

Il arrive que les modules soient placés face à un type d'obstacle comme les bâtiments, montagnes, arbres. Etc.... Lui masquant le soleil.

Ces effets d'ombrage sur le rayonnement reçu sont très difficiles à estimer intuitivement, cependant, il faut faire attention aux ombrages partiels et même ponctuels puisqu'ils influent sur la production d'énergie et provoque un déficit de production important dont il faut tenir compte.

3.3.2.3. Donnée météorologique

La conception des systèmes photovoltaïques nécessite la connaissance du rayonnement solaire utile sur le site d'installation. Cette connaissance est l'un des paramètres essentiels de l'étude préalable. Pour un besoin électrique donné, plus l'énergie solaire reçue est grande, moins est le nombre de panneaux solaires à installer et inversement. En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire est absorbé et diffusé au sol. L'influence de l'atmosphère provoque la diffusion et l'absorption d'une partie du rayonnement incident.

En Algérie :

- La durée d'ensoleillement journalière minimale est de : 2 h/jour
- La durée d'ensoleillement journalière maximale est de : 8h/jour
- En général on prend la moyenne de : 5 h/jour.

3.3.3. Consommation énergétique

3.3.3.1. Besoins de l'utilisateur en électricité

Un système bien adapté nécessite l'évaluation du besoin énergétique des applications à alimenter qui se traduit par la puissance à mettre en œuvre.

Il s'agit d'estimer la consommation d'équipements supposés connus. L'objectif est d'obtenir la consommation totale moyenne par jour et par période (été, hivers, vacances...).

L'énergie totale moyenne nécessaire chaque jour E (Wh/j) est la somme des consommations énergétiques des divers équipements constituant le système à étudier, à savoir la télévision, les lampes d'éclairage, les appareils électroniques, etc... ;

Elle est donnée par la loi suivante [43] :

$$E = P_i * t_i \quad (3.1)$$

Avec :

E : l'énergie journalier consommé par cette Equipment (Wh/j).

P_i : puissance de cet Equipment.

t_i : la dure d'utilisation de l'Equipment.

➤ Irradiations mensuelles (I_r) de Site de chréa

Tableau 3-1 : Irradiation mensuelle de la région de chréa (logiciel Psys 6.1.8).

mois	Jan	Fev	Mar	Avr	mai	juin	Juil	aout	sep	oct	nov	dec	Annuel
I_r (KWh/m ² /jour)	2.57	3.47	4.68	5.80	6.51	7.26	7.26	6.51	5.34	3.82	2.69	2.23	Moy 4.85

Avec :

I_r = irradiation Global journalière (Wh/m²/jour).

Le mois le plus défavorable de la région de chréa est le mois de décembre ($G=2230$ Wh/m² /jour).

➤ **Description de l'habitation**

L'habitation choisie pour faire l'objet de notre étude est un Chalet, ce dernier est constitué à 3 chambres, une cuisine et W.C.



Figure 3-2 : Chalet Chréa.

3.3.3.2. Evaluation des besoins

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

Le tableau ci-dessous représente le canevas à remplir pour n'importe quelle étude de la puissance que vous souhaiteriez consommer, valeur qui vous permettra de configurer le dimensionnement du champ photovoltaïque comme celui des batteries dans un projet d'installation. Il impose de connaître les caractéristiques de consommation des appareils que vous souhaitez utiliser.

On a résumé les besoins énergétiques de chalet dans le tableau suivant :

Tableau 3-2 : Besoins énergétiques journaliers.

Appareil	Nombre	Puissance unitaire(w)	Puissance(W) P*N	Duré d'utilisation	Besoins énergétiques journaliers (Wh/j)
Lampes	9	75	675	10	6750
Lampes externe	6	75	450	12	5400
Climatiseur	1	2500	2500	7	17500
réfrigérateur	1	300	300	24	300
Machine à laver	1	500	500	2	1000
Bain d'huile	1	2000	2000	9	18000
Tv smart	1	75	75	8	600
Tv	1	100	100	5	500
Chargeur	5	10	50	1	50
			Pt=5635 W		
				Ec= 50070 Wh/j	

➤ Proposition d'un profil de consommation énergétique

Après avoir fait une étude de la consommation énergétique de ce chalet Nous constatons que la consommation électrique journalière de cette habitation est très élevée, environ 50.07KWh/j. Pour réduire la consommation électrique, nous avons opté pour une amélioration concernant les outils et matériels électronique utilisé dans ce chalet pour but de diminuer sa consommation d'énergie ainsi utilisé une installation avec un prix qui sera aux yeux du propriétaire extrêmement raisonnable.

Le tableau ci-dessous représente les outils et la consommation énergétique après l'amélioration :

Tableau 3-3 : Besoins journaliers après amélioration.

Appareil	Nombre	Puissance unitaire(w)	Puissance(W) P*N	Duré d'utilisation	Besoins énergétiques journaliers (Wh/j)
Lampes	9	15	135	5	675
Lampe photo cellules					
Frigo	1	35	35	24	840
Machine à laver	1	1200	1200	2	2400
ordinateur	1	70	70	4	280
Tv smart	1	75	75	8	600
Tv	1	100	100	5	500
Divers	1	500	500	2	1000
			Pt=2115 W		
				Ec= 6295wh/j	

Avec :

Ec : besoins énergétiques journaliers (Wh/j).

Pt: Puissance Totale des équipements (W).

➤ **Calcul de l'énergie produite :**

$$EP = \frac{Ec}{Cp} \quad (3.2)$$

Ep : Energie produite (wh/j)

Cp : coefficient de perte (0.65)

$$EP = \frac{6295}{0.65} = 9684.61 \left(\frac{wh}{j} \right)$$

➤ **Puissance crête d'un générateur photovoltaïque**

La puissance crête des panneaux à installer dépend de l'irradiation du lieu d'installation.

On la calcule en appliquant la formule suivante :

$$P_c = \frac{Ep}{FR} \quad (3.3)$$

Avec :

P_c : Puissance crête du champ photovoltaïque (W_c).

FR : Facteur régional .

$$P_c = \frac{9684.61}{5} = 1936.92 \text{ (wc)}$$

Nous constatons que les solutions proposées sont efficaces, elles permettent de réduire la consommation journalière de l'habitation jusqu'à 6,295 KWh/j avec un gain d'énergie de 43,7KWh/j.

La consommation peut être également réduite par le changement du comportement des membres de la famille. On peut donc réaliser des économies d'énergie en adoptant les bons gestes sans réduire le confort et la qualité de vie.

3.3.4. Dimensionnement de l'onduleur

Les paramètres de dimensionnement sont :

•Tension d'entrée Côté DC

L'onduleur doit être adapté à la tension du système imposé par le parc de batteries. Les fabricants prévoient généralement des tensions d'entrée de 12 V, 24 V ou 48 V.

•Tension de sortie Côté AC

L'onduleur imposera un signal de sortie adaptée aux appareils qu'il alimente, par exemple (cas général) :

-- Tension et fréquence de sortie : En Algérie nous utilisons du 220 VAC, 50 Hz

•Puissance nominale

L'onduleur doit être dimensionné de manière à ce que sa puissance nominale couvre la somme des Puissances de tous les utilisateurs que l'on souhaite utiliser en même temps.

Notre puissance totale est de : $P_t = 2115 \text{ W}$, supposant que tout l'outillage fonctionne au même temps, donc notre onduleur doit pouvoir fournir cette puissance.

Donc la puissance d'onduleur est données Par :

$$P_{ond} = \frac{P_t}{\eta_{ond}} * 1.25 \quad (3.4)$$

Avec :

P_{ond} : puissance d'onduleur en VA.

P_t : puissance totale en W.

η_{ond} : rendement d'onduleur (0.9), Facteur de correction (1.25).

$$P_{ond} = \frac{2115}{0.9} * 1.25 = 2937.5 \text{ W}$$

Donc il nous faut utiliser un onduleur (hybride) de : **3000 w, 48 V.**

3.3.5. Dimensionnement de stockage :

Pour assurer la continuité de l'alimentation pendant les jours de mauvais temps, on prévoit un système de stockage qui se compose généralement de batterie. la capacité qui doit être installée dépend de la tension V_{bat} et de la profondeur de décharge (PDD= 0.8) de la batterie, ainsi que

L'énergie consommée par la charge (E_c) et le nombre de jour d'autonomie pendant lesquels les batteries initialement chargées pour assurer les besoins en électricité sans que les modules fonctionnent.

Le modèle et les caractéristiques de la batterie solaire utilisée (voir annexe A) :

-Tension : 12 V,

Capacité : 260 Ah.

On estime le nombre de jours d'autonomie à 3 jours, ($A_{ut} = 3$ jours).

➤ La capacité de la batterie

La capacité de la batterie est donnée en Ampère-heure (Ah) par :

$$C_{acc} = \frac{E_c * A_{ut}}{PDD * V_{bat}} \quad (3.5)$$

Avec :

C_{acc} : capacité d'accumulateur (Ah).

A_{ut} : autonomie en jours.

E_c : Energie totale consommée par jour (Wh /J).

Vbat : tension de la batterie.

PDD : profondeur de décharge (0.8).

Cbat : capacité batterie 260ah.

$$C_{acc} = \frac{6295 * 3}{0.8 * 12} = 1967.1 \text{ Ah}$$

➤ Nombre de batteries

Le nombre de batterie est déterminé par la formule suivante :

$$N_{bat} = \frac{C_{acc}}{C_{bat}} \quad (3.7)$$

$$N_{bat} = \frac{1967.1}{260} = 7.5 \text{ Batterie}$$

Donc on aura besoin **8batteries**.

➤ Raccordement de batteries :

On aura besoin de **4Batteries** en séries Avec **2** en parallèles.

3.3.6. Dimensionnement et calcul du Modules photovoltaïque

Le nombre des modules photovoltaïques est calculé en fonction des caractéristiques du module choisi et de la puissance crête du générateur.

On prend un panneau photovoltaïque mono cristallin 310W /45V, il développe 310w pour un rayonnement de 1000 w/m².

Le modèle et les caractéristiques du panneau solaire utilisé (voir annexe B) :

Le nombre de module pour fournir la puissance de l'installation est déterminé par l'équation suivante :

➤ Nombre Total de modules

$$N_m = \frac{P_c}{\text{puissance de module}} \quad (3.8)$$

Avec :

Nm : Nombre de modules.

Pc : Puissance crête.

Puissance de module : 310 W.

$$Nm = \frac{1936.92}{310} = \mathbf{6.2 \text{ moduls}}$$

Donc on aura besoin **3 en parallèles 2 en série**.

3.3.7. Dimensionnement du régulateur

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

- **Tension nominale** : (12, 24, ou 48V DC) : elle doit être celle du champ photovoltaïque.

-**Courant d'entrée** : c'est le courant de charge maximal que les modules sont susceptibles de débiter à un instant donné qui doit être supporté sans problème par le régulateur. Pour estimer ce courant, le plus sûr est de prendre 1,3 fois le courant de court-circuit total des modules.

Et pour les régulateurs qui assurent aussi la protection décharge (fonction délestage) :

- **Courant de sortie** : c'est le courant total maximal que peuvent tirer les récepteurs simultanément, Ce courant dépend du mode d'utilisation des récepteurs.

• Tension nominale

C'est la tension du système :

$$U = \mathbf{48V}$$

• Courant d'entrée

C'est le courant de charge maximal :

$$I(\text{reg}) > I_{max} \\ I_{max} = \mathbf{1.3 * Nm (\text{parallele}) * ICCmod} \quad (3.9)$$

ICCmod = 9.9A (voir l'annexe B).

$$I_{max} = \mathbf{1.3 * 3 * 9.9}$$

$$I_{max} = \mathbf{38.61 A}$$

• Courant de sortie

On suppose que les récepteurs fonctionnent au même temps, ils tirent donc au total un courant de :

$$I_{tot} = \frac{P_{tot}}{U} \quad (3.10)$$

$$I_{tot} = \frac{2115}{48} = 44.06 \text{ A}$$

D'une autre façon, plus sûr en tenant compte du rendement de l'onduleur :

$$I_{tot} = \frac{P_{tot}}{U * \eta_{ond}} \quad (3.11)$$

On prend comme exemple : $\eta_{ond} = 0,93$

$$I_{tot} = \frac{2115}{48 * 0.93} = 47,37 \text{ A}$$

Donc on aura :

$$I_{tot} = 47,37 \text{ A}$$

Le régulateur à insérer doit donc être un modèle qui marche avec 48V et il doit supporter : 38.61A (courant d'entrée).

47,37A (courant de sortie).

Dans le cas où il est recommandé de connecter l'onduleur directement aux batteries, le courant de sortie du régulateur ne sera pas pris en compte.

3.3.8. Plan de câblage

Une fois le système constitué, il reste d'envisager son installation pratique, on doit se préoccuper du câblage, afin d'assurer la cohérence de l'ensemble. En effet on sait à quel point les chutes de tension dans les câbles pouvaient être pénalisantes.

Dans cette partie, on donne un aperçu de calcul des câbles nécessaires à la connexion des différents panneaux photovoltaïques, quant aux autres connexions (régulateur, appareils, onduleur) elles restent tributaires des conditions de réalisation sur le site. La chute de tension admise à travers un câble étant de 2% de la tension appliquée sur le champ de batteries de stockage.

La résistance R d'un conducteur (en ohms) est directement proportionnelle à

- Sa résistivité (0.01786 mm² /m à 20°C pour le cuivre).
- Sa longueur L (en mètres).
- Inversement proportionnelle à la section S (en mm²) de ce conducteur.

On prend les pertes tolérables à 2%, notre tension du système est de 48V, donc :

$$\Delta U_{\max} = U \cdot 2\% \quad (3.12)$$

$$\Delta U_{\max} = 0.96 \text{ V}$$

➤ **Détermination de la section des conducteurs reliant les panneaux et le boîtier de raccordement.**

On a :

$$\Delta U_{\max} = R \times I_{\max} \quad (3.13)$$

À partir de là :

$$R = \frac{\Delta U_{\max}}{I_{\max}} \quad (3.14)$$

Avec :

ΔU_{\max} : la chute de tension maximale.

R : la résistance.

I_{\max} : le courant maximal.

U_{\max} : la tension à la puissance maximale du module.

I_{\max} est le courant de sortie d'un panneau à sa puissance nominale :

$$I_{\max} = \frac{P_{\max}}{U_{\max}} \quad (3.15)$$

Avec

I_{\max} : le courant maximal.

P_{\max} : la puissance maximale d'un module.

U : la tension d'utilisation.

$$I_{\max} = \frac{310}{33.0}$$

$$I_{\max} = 9.39 \text{ A}$$

Donc :

$$R = \frac{0.96}{9.39}$$

$$R = 0.102 \Omega$$

La résistance R est en fonction des paramètres constitutifs du câble selon la formule :

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} \quad (3.16)$$

Avec

R : la résistance (Ω).

ρ : la résistivité ($\Omega \cdot m$).

L : la longueur du câble (m).

S : la section (mm^2).

Et enfin :

$$S = \frac{\rho \cdot l}{R} \quad (3.17)$$

$$S = \frac{1.7 \times 10^{-8} \times 6}{0.102}$$

$$S = 0.6 \text{ mm}^2$$

Ce qui donne : (voir annexe D)

$$S = 1,5 \text{ mm}^2$$

On a pris :

La résistivité du cuivre : $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$

La longueur des câbles : $l = 6m$

• Détermination de la section des conducteurs reliant le boîtier de raccordement et le régulateur.

On a :

$$I_{\max} = \frac{P_c}{U} \quad (3.18)$$

Avec

I_{\max} : le courant maximal.

P_c : la puissance crête du champ.

U : la tension d'utilisation.

Alors :

$$P_c = N_{\text{mod}} \times P_{\max} \quad (3.19)$$

$$P_c = 6 \times 310 = 1860 \text{ Wc}$$

Avec

P_c : la puissance crête du champ.

N_{mod} : nombre total de modules.

P_{max} : la puissance max d'un module.

Donc :

$$I_{max} = \frac{1860}{48}$$

$$I_{max} = 38.75 \text{ A}$$

Et :

$$R = \frac{0.96}{38.75}$$

$$R = 0.02 \Omega$$

Enfin :

$$S = \frac{1.7 \times 10^{-8} \times 12}{0.02}$$

$$S = 10.2 \text{ mm}^2$$

Ce qui donne : (voir annexe D)

$$S = 16 \text{ mm}^2$$

On a pris :

La résistivité du cuivre : $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$

La longueur des câbles : $l = 12m$

• **Détermination de la section des conducteurs reliant le régulateur et le parc batteries.**

On sait que pour la liaison régulateur-batterie la chute de tension doit être au-dessous de 0,2V si on veut garder une bonne précision de régulation, donc : $\Delta U_{max} = 0,2 \text{ V}$

Le courant maximal reste le même provenant du boîtier de mise en parallèle au régulateur :

$$I_{max} = 38.75 \text{ A}$$

Donc :

$$R = \frac{0,2}{38.75}$$

$$R = 5 \times 10^{-3} \Omega$$

Enfin :

$$S = \frac{1.7 \times 10^{-8} \times 4}{5 \times 10^{-3}}$$

$$S = 13 \text{ mm}^2$$

Ce qui donne : (voir annexe D)

$$S = 16 \text{ mm}^2$$

On a pris :

La résistivité du cuivre : $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$

La longueur des câbles : $l = 4m$

➤ **Détermination de la section des conducteurs reliant le parc batteries et l'onduleur.**

On a :

$$I_{\max, \text{ bat}} = \frac{P_{\max, \text{ ond}}}{U} \quad (3.120)$$

Avec :

I_{\max} : le courant maximal.

$P_{\max, \text{ ond}}$: la puissance maximale de l'onduleur.

U : la tension d'utilisation

$$I_{\max, \text{ bat}} = \frac{2937.5}{48}$$

$$I_{\max, \text{ bat}} = 61.19 \text{ A}$$

Donc :

$$R = \frac{0.96}{61.19}$$

$$R = 0.01 \Omega$$

Enfin :

$$S = \frac{1.7 \times 10^{-8} \times 3}{0.03}$$

$$S = 5.1 \text{ mm}^2$$

Ce qui donne : (voir annexe D)

$$S = 6 \text{ mm}^2$$

On a pris :

La résistivité du cuivre : $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.

La longueur des câbles : $l = 3 \text{ m}$.

La puissance maximale que l'onduleur doit fournir : $P_{\text{max,ond}} = 2937.5 \text{ W}$

3.3.9. Surface du champ photovoltaïque

$$S_{\text{ch}} = S_{\text{m}} \times N_{\text{m}} \quad (3.21)$$

Avec

S_{ch} : la surface totale du champ.

S_{mod} : la surface d'un module.

N_{mod} : le nombre total de modules.

Ce qui donne : (voir annexe B)

On a pris les dimensions de notre module :

Longueur : 1650mm.

Largeur : 992 mm

Donc :

$$S_{\text{mod}} = 1.650 \times 0.992$$

$$S_{\text{mod}} = 1.636 \text{ m}^2$$

Et on a :

$$N_{\text{mod}} = 6$$

Enfin :

$$\text{Sch} = 1.636 \times 6$$

$$\text{Sch} = 9.816 \text{ m}^2$$

3.4. Simulation à l'aide du logiciel PVsyst

3.4.1. Présentation de logiciel de simulation PVsyst :

PVSYST est un logiciel conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais aussi un outil pédagogique très utile. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche économique avec guide dans le développement d'un projet.

Après l'installation de la version 6.8.1 du logiciel, on lance ce dernier et on suit l'ordre des étapes afin d'effectuer notre dimensionnement.

3.4.2. Préface du logiciel

On lance le logiciel PVSYST, l'interface suivante s'affiche :

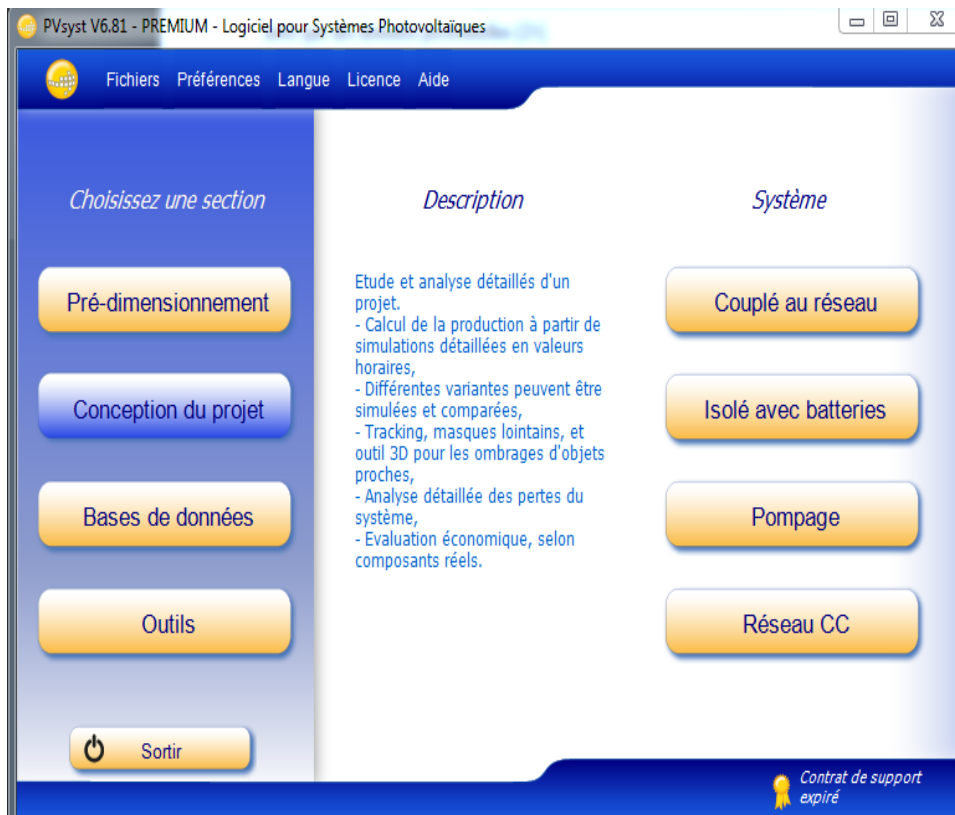


Figure 3-3 : Interface de logiciel PVsyst.

➤ **Pré-dimensionnement :**

C'est l'étape qui préside d'un projet.

Dans ce mode, les évaluations de rendement du système sont effectuées très rapidement dans les valeurs mensuelles, en utilisant seulement un très peu de caractéristiques ou de paramètres généraux du système, sans spécifier les composants du système réel. Une estimation approximative du coût du système est également disponible.

Pour les systèmes autonomes cet outil permet à la taille de la capacité de puissance de PV et la batterie nécessaire, compte tenu du profil de charge et la probabilité que l'utilisateur ne sera pas satisfaite ((« perte de charge" LOL probabilité, ou de manière équivalente la "fraction solaire" souhaitée).

➤ **Conception du projet**

Il vise à réaliser une conception approfondie du système en utilisant des simulations horaires détaillées. Dans le cadre d'un « projet », l'utilisateur peut effectuer différents essais de simulation du système et de les comparer.

Il doit définir l'orientation du plan (avec la possibilité de suivre des plans ou un hangar de montage), et de choisir les composants spécifiques du système. Il est assisté dans la conception du réseau de PV (nombre de modules PV en série et parallèle), étant donné un modèle d'onduleur choisi, la batterie ou de la pompe. Dans une deuxième étape, l'utilisateur peut spécifier des paramètres plus détaillés et analyser les effets fins comme comportement thermique, le câblage, la qualité du module, inadéquation et l'angle d'incidence des pertes, l'horizon (loin ombrage), ou ombrages partiels d'objets près de la baie, un etc... Pour les systèmes de pompage, plusieurs conceptions de système peuvent être testés et comparés les uns aux autres, avec une analyse détaillée des comportements et de l'efficacité.

Les résultats comprennent plusieurs dizaines de variables de simulation, qui peuvent être affichées dans les valeurs mensuelles, quotidiennes ou horaires, et même transférés à d'autres logiciels.

La "perte Diagramme" est particulièrement utile pour identifier les faiblesses de la conception du système.

Un rapport d'ingénieur peut être imprimé pour chaque exécution de la simulation, y compris tous les paramètres utilisés pour la simulation, et les principaux résultats.

Une évaluation économique détaillée peut être effectuée en utilisant les prix des composants réels, les coûts supplémentaires et les conditions d'investissement.

➤ Outils

Permet de modifier les bases de données et d'utiliser des outils du programme sans pour autant créer un projet complet

3.4.3. Caractéristiques de notre site

➤ Cordonnées géographique du site

Au début on doit d'abord donner le nom de notre site à étudier, le pays et la région (continent), puis introduire les coordonnées géographiques du lieu (latitude, longitude et l'altitude) obtenues à partir du site PVGIS ou bien choisies à partir de la carte interactive disponible sur le logiciel.

The screenshot shows a software window with the following elements:

- Navigation tabs: **Coordonnées Géographiques** (selected), **Météo mensuelle**, **Carte interactive**
- Buttons: **Voir carte** (top right)
- Lieu** section:
 - Nom du site:
 - Pays:
 - Région:
 - Obtenir depuis les coordonnées (button)
- Coordonnées Géographiques** section:
 - Trajectoires du soleil (button)
 - Latitude: Decimal [°] Deg. min. sec. (+ = Nord, - = Hemisph. Sud)
 - Longitude: [°] min. sec. (+ = Est, - = Ouest de Greenwich)
 - Altitude: M au-dessus du niv. de la mer
 - Fus. horaire: Correspondant à une différence moyenne
 - Temps Légal - Temps Solaire = 0h 49m
 - Obtenir depuis le nom (button)
- Importation météo** section:
 - Meteonorm 7.2
 - NASA-SSE
 - PVGIS TMY
 - NREL / NSRDB TMY
 - Importer (button)
- E/S tableaux (Excel)** section:
 - Importer (button)
 - Exporter la ligne (button)
 - Exporter la table (button)
- Bottom navigation: **Nouveau Site**, **Imprimer**, **Fermer**

Figure 3-4 : Coordonnées géographique de “ Blida.

➤ Données météorologiques

Pour avoir les données météorologiques on doit d'abord choisir la source de nos données soit Meteonorm 7.1, soit NASA-SSE, figure (3-4) puis on clique sur le bouton « Importer ».

Après avoir localisé le site, on clique sur le bouton « importer » pour importer les données météorologiques du site dans PVSYST, ces données mensuelles représentent l'irradiation, la température moyenne et la vitesse du vent :

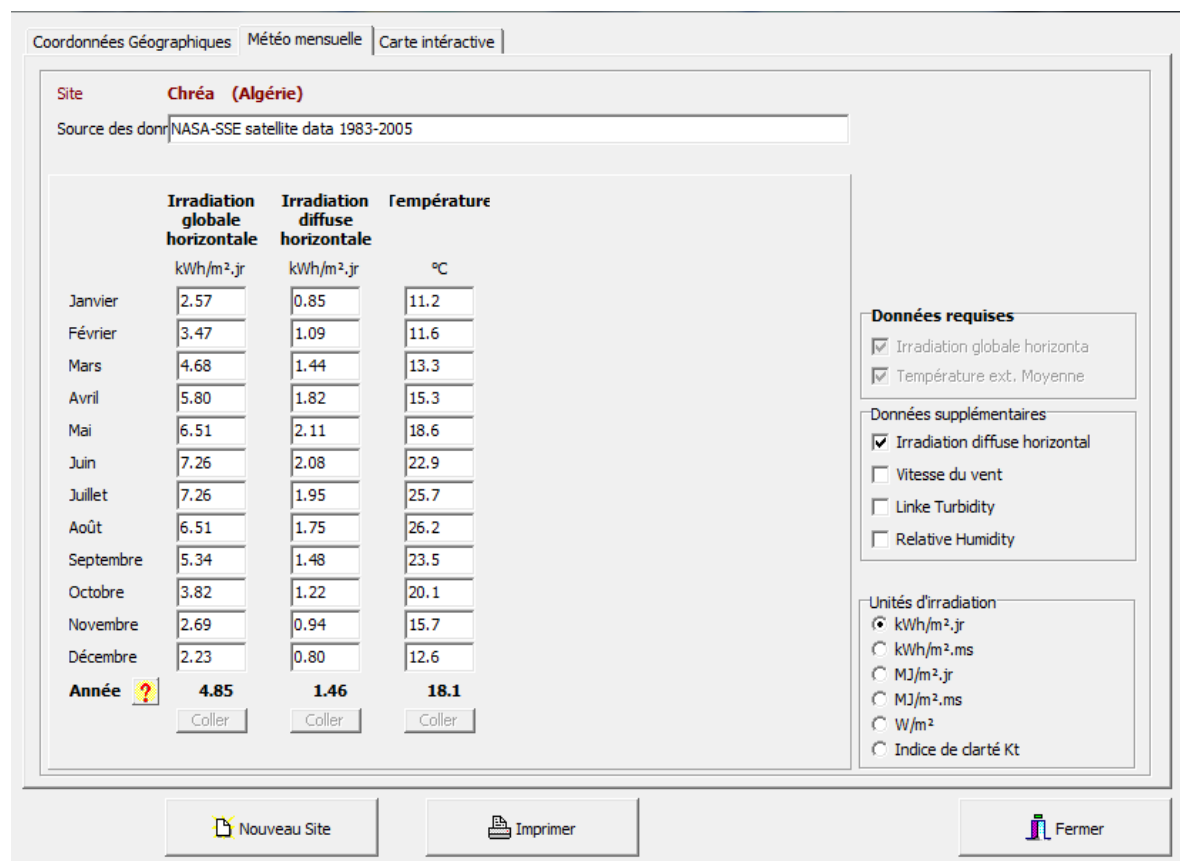


Figure 3-5 : Paramètre climatique de Blida.

D'une autre façon on peut avoir ces données à partir du site PVGIS

PVGIS : (PhotovoltaicGeographical Information System) Fournit un accès sur l'Internet aux données sur le rayonnement solaire et la température et aux outils d'évaluation de la performance PV pour n'importe quel endroit en Europe et en Afrique, ainsi que dans une grande partie de l'Asie.

Une fois ces étapes sont suivies, on clique sur « OK », on sauvegarde nos données.

3.4.5. Conception du projet

On clique sur « conception du projet » et on choisit « isolé avec batteries ». On retrouve ici le même fonctionnement que dans "preliminary design" mais avec beaucoup plus de paramètres. Encore une

fois, on choisit le type d'installation : connecté au réseau, déconnecté du réseau, système de pompe solaire ou connecté à un réseau continu. On aura plusieurs néanmoins plus d'étapes : choix du projet et de ses variables, orientation du panneau solaire, définition de l'horizon (ombre lointaines), définitions des ombres proches, définition du système et enfin résultats. Les étapes définitions des ombres lointaines et proches sont facultatives, mais si on utilise la définition des ombres proche, il n'est pas très important de s'attarder sur le positionnement (inclinaison et azimuth) du panneau car on pourra le modifier dans la définition des ombres proches.

3.4.6. Les étapes de conception d'un système PV autonome

Cela donne une procédure étape par étape lors de la définition d'un système autonome en PVsys :

➤ **Orientation des modules PV**

On clique sur « Orientation » pour qu'on introduise notre angle optimal d'inclinaison, il est nécessaire de choisir des orientations et inclinaisons favorables à la production d'énergie. Pour la simulation en technologie de silicium Mono cristallin, nous avons choisi un plan incliné fixe d'une inclinaison 36° (par rapport à l'horizontale) comme l'illustre la figure (3-6) c'est l'inclinaison optimale donnée par le logiciel PVsyst.

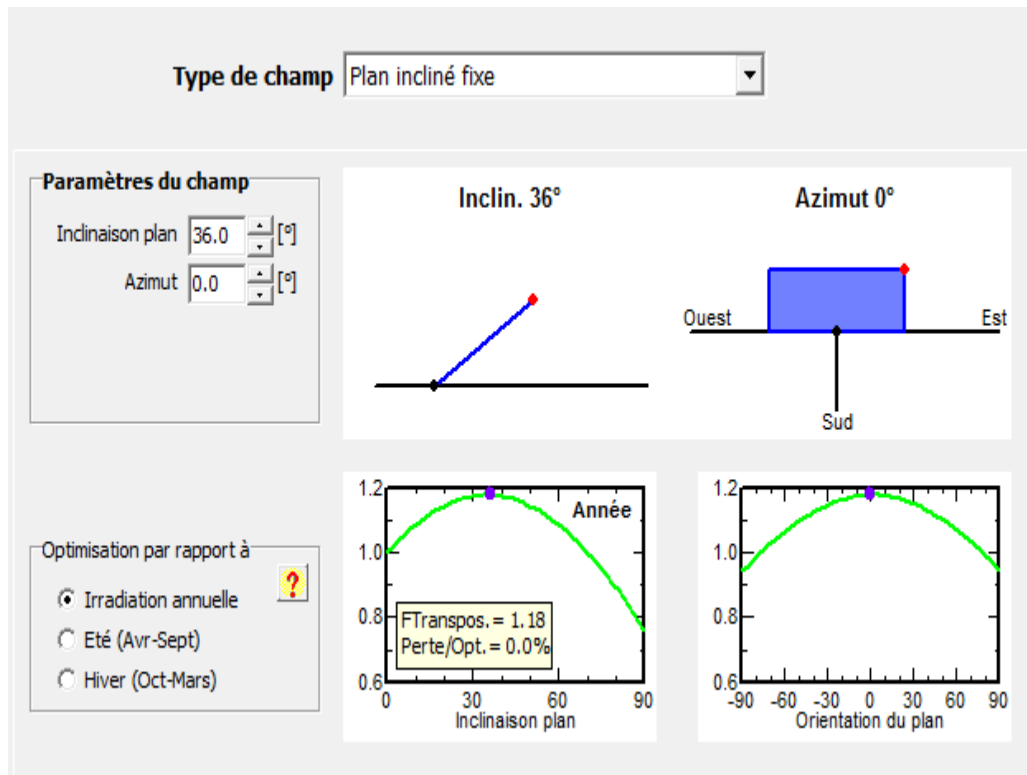


Figure 3-6 : angle d'orientation.

➤ Définition d'un profil de l'horizon

Est une opération très simple avec l'outil graphique PVsyst. L'horizon est une ligne brisée superposée sur le diagramme de trajectoire du soleil, qui peut contenir un nombre quelconque de hauteur / points d'azimut.

Une fois ces coordonnées sont introduites, on peut avoir la figure de la trajectoire du soleil disponible à notre lieu.

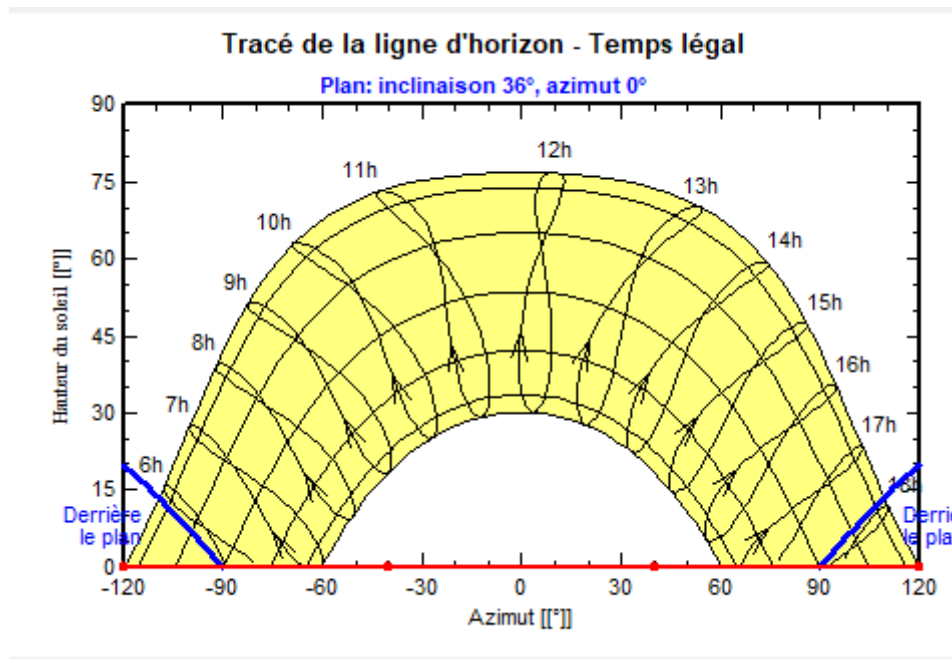


Figure 3-7 : horizon du Chréa.

➤ La définition des besoins de l'utilisateur

Par défaut pour les petits systèmes, cela est proposé comme une liste des appareils ménagers et les détails de leur utilisation (peut être saisonnière ou mensuelle).

Après avoir introduit l'angle d'inclinaison on passe à donner les besoins d'utilisateur (consommation journalière), donnés par la figure suivante :

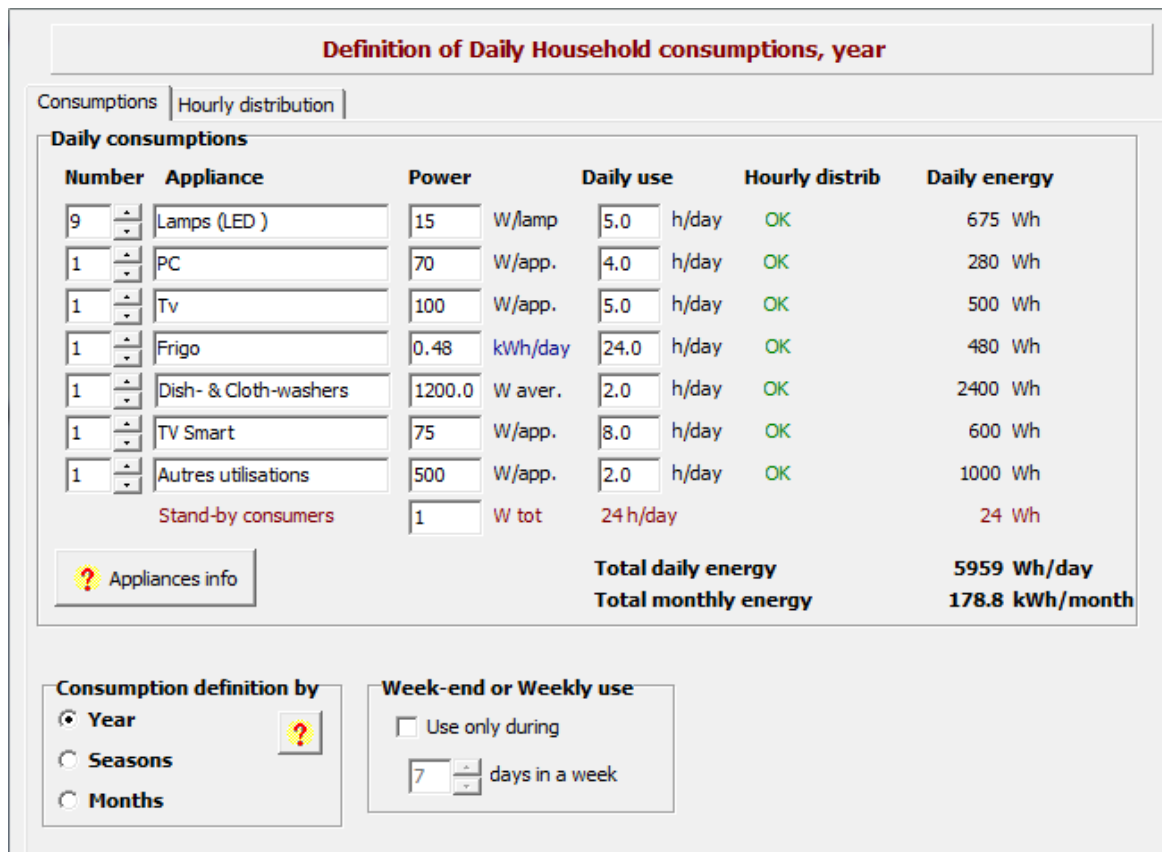


Figure 3-8 : Consommation journalière de l'utilisateur

Après avoir introduit les différents outils utilisés ainsi que leurs nombres, leurs puissances et le temps d'utilisation pendant une journée, on clique sur « Hourly distribution » pour répartir les heures d'utilisation dans la journée pour chaque outil, et cela pour pouvoir estimer à quelle heure dans la journée on va avoir un appel de puissance le plus important, comme la figure suivante le montre :

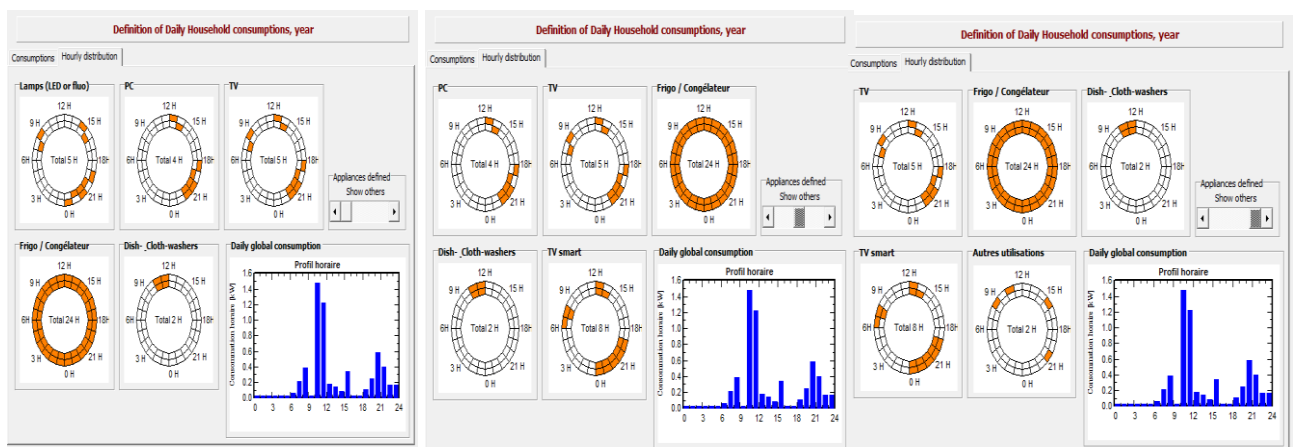


Figure 3-9 : Distributions des heures d'utilisation dans la journée.

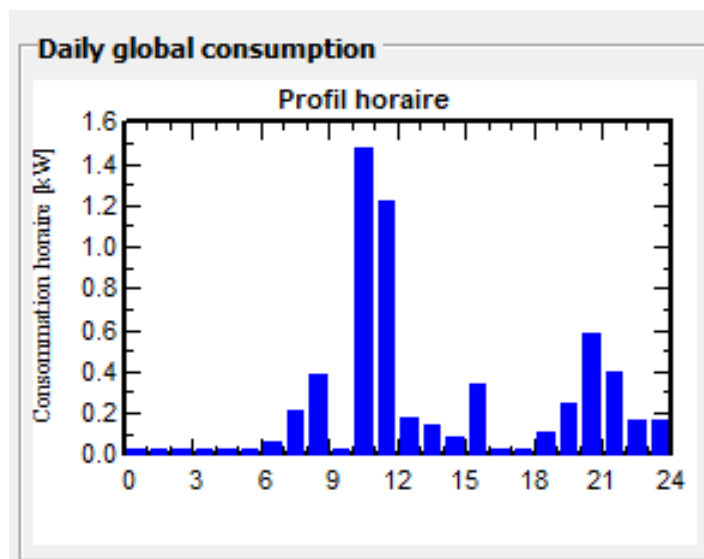


Figure 3-10 : Appel de puissance au cours d'une journée.

A partir du graphe donné dans la figure (3-10) on remarque que l'appel de puissance le plus important dans la journée c'est à 10h du matin, et cela revient à l'utilisation de la machine à laver d'une puissance assez importante (1500 W) à cette heure-ci.

- **La définition du système autonome** : La conception de système est basée sur une procédure rapide et simple :
 - Le système de stockage dans la base de données interne.
 - Choisir les modules PV et le mode de régulation (Régulateur) dans la base de données interne.
- **Système batteries solaires**

Définition de système de stockage : en choisissant un modèle de batterie (page "Storage").

Le programme proposera le nombre de batteries en série et en parallèle, selon les suggestions obtenues dans l'outil de pré-dimensionnement précédent.

Vous devez également définir les conditions de température de fonctionnement pour les batteries, en fonction de votre mise en œuvre du système.

Besoins utilisateur spécifiés | Suggestions de pré-dimensionnement | Résumé du système

Besoins jour. moyens Déf. la PLOL acceptable 10.0 % ?
 6.0 kWh/jour Déf. l'autonomie requise 3.0 jour(s) ?

Tension batterie (et utilis.) 48 V ?
 Capacité conseillée 438 Ah
 Puissance PV conseillée 1512 Wc (nom.)

Pré-dimens. détaillé

Stockage | Champ PV | Appoint | Schéma simplifié

Procédure

Les suggestions de pré-dimensionnement sont basées sur la météo mensuelle, et les besoins de l'utilisateur

1. - Pré-dimensionnement Définissez les conditions de pré-dimensionnement (PLOL, 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 une éventuelle génératrice d'appoint.

Définissez le pack de batteries

Trier les batteries selon tension capacité fabricant

Rolls 12 V 234 Ah Pb Sealed AGM S12-290 AGM Ouvrir

Pb-acide

<input type="text" value="4"/>	<input checked="" type="checkbox"/> batteries en série	Nombre de batteries	8	Tension du pack batteries	48 V
<input type="text" value="2"/>	<input checked="" type="checkbox"/> batteries en parallèle			Capacité globale	468 Ah
		Nombre d'éléments	48	Energie stockée (80% DOD)	18.0 kWh
<input type="text" value="100.0"/>	% Etat d'usure initial (nb. de cycles)			Poids total	626 kg
<input type="text" value="100.0"/>	% Etat d'usure initial (statique)	Energie totale stockée durant la vie de la batterie		Nbre de cycles à 80% DOD	806
				Energie totale stockée durant la vie de la batterie	15644 kWh

Figure 3-11 : Les paramètres de la batterie.

On a choisi un des batteries de 12 V de 234 Ah à une température de 20°C ; les nombres des batteries est 8 branchement comme suite : 4 batterie en chaine série et 2 batterie en chaine parallèle pour obtenir à la sortie d'une tension de 48 V dont la capacité totale est de 468 Ah.

(On pas trouver une batterie de 260V celle d'analytique) .

Donc notre système disposera de 8 batteries c'est exactement à ce qu'on a trouvé dans le calcul analytique (8 batteries), Ces valeurs correspondent totalement à celle trouvées analytiquement.

• **Système Panneaux solaires et Régulateur**

Définition du champ photovoltaïque : Choisir le type de module PV dans la base des données,

Le programme détermine le nombre de modules en série ou en parallèle, selon les conditions PWM de batterie et voltage. Ou puissance PV nécessaire.

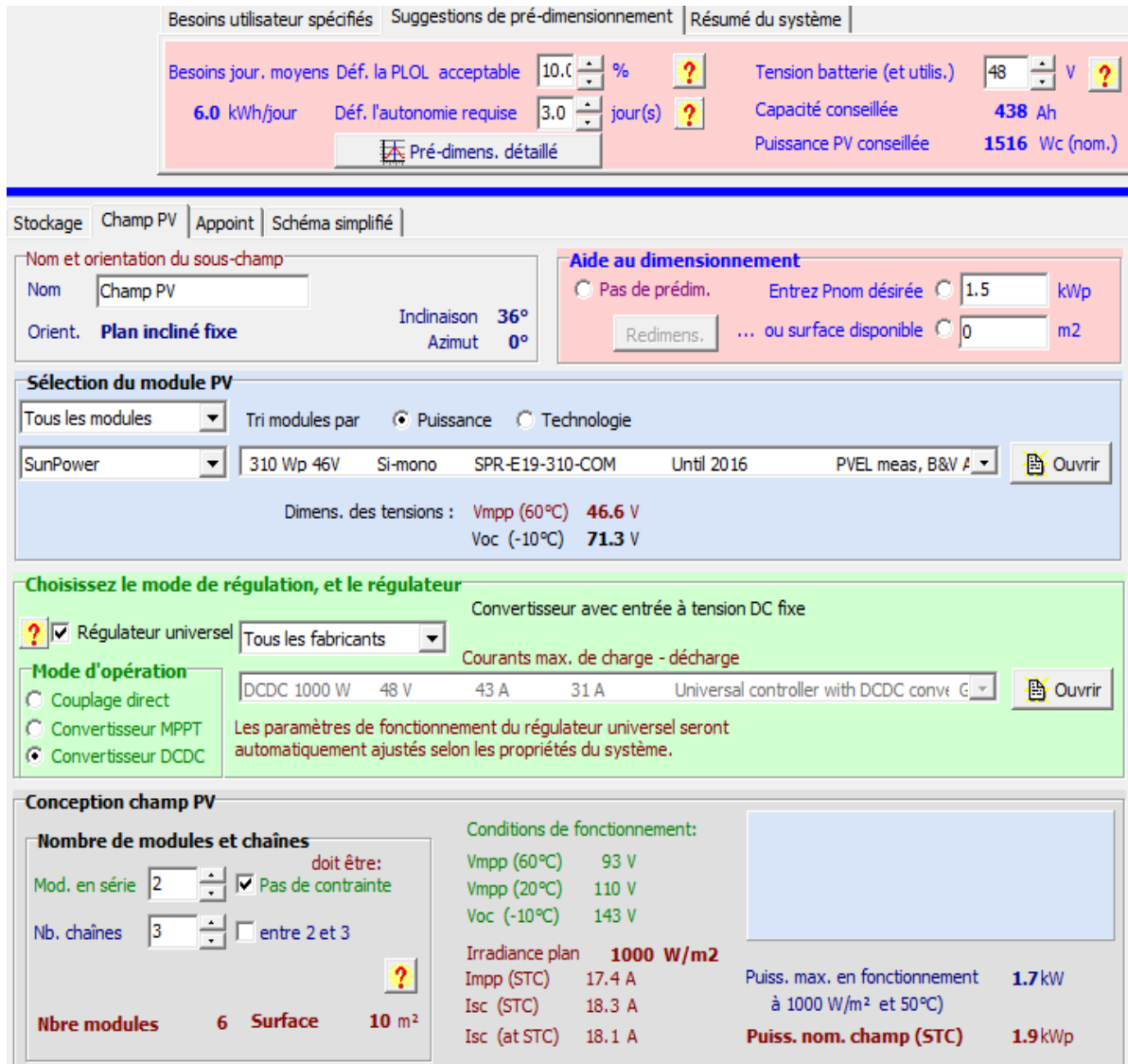


Figure 3-12 : Nombre de module et le type de régulateur de notre système.

PLOL (probabilité loss of load) perte de charge : Cette valeur est la probabilité que les besoins de l'utilisateur ne peuvent pas être fournis (à savoir la fraction de temps lorsque la batterie est déconnectée en raison de la sécurité du régulateur "Low de charge »). Il peut être compris comme le

complément de la « Fraction solaire » (bien qu'elle soit décrite en termes de temps plutôt que de l'énergie).

A partir de la figure on voit que :

- La puissance crête est de : $P_c = 1516 \text{ WC}$.

On a choisi le type de panneau qui convient à une puissance de 310 WC mono puis un convertisseur PWM de 48 V ; on obtenu comme résultat 6 panneaux branchement comme suite : 2 en séries et 3 en parallèle pour une surface de 10 m².

-On choisit un onduleur PWM 1000W/48V/43A-31A.

On remarque que la puissance crête donnée par le logiciel (1516WC) est différente (inférieure) à celle trouvée analytiquement (1936.92 WC), cela reviens à ce que le logiciel ne tient pas compte des pertes en courants d'une façon précise (environs $C_p = 0,75$). ..cela automatiquement va affecter sur le dimensionnement du régulateur ainsi que la surface du champ.

➤ Schéma de l'installation PV

La figure (3.12) représente le schéma de l'installation PV autonome prise en compte dans la simulation :

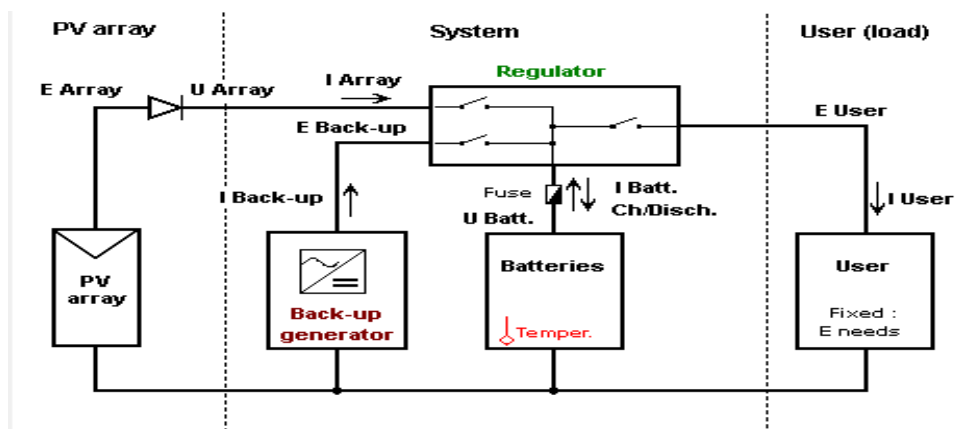


Figure 3-13 : Schéma simplifié d'une installation PV autonome.

3.4.7. Résultats de la simulation et discussions

Les principaux résultats de la simulation sur PVsyst seront présentés sous forme de graphiques et de tableaux et un rapport final sera donné par la suite, et enfin la faisabilité du système en générale sera également discutée.

- **Paramètres du système (Isolé avec batteries)**

Orientation plan capteurs Inclinaison 36° Azimut 0°

- **Caractéristiques du champ de capteurs**

Module PV	Si-mono	
Nombre de modules PV	En série 2 modules	En parallèle 3 chaînes
Nombre total de modules PV	Nbre modules 6	Puissance unitaire 310 Wc
Puissance globale du champ	Nominal(STC) 1.9 kWc	Aux cond. de fonct. 1.7 kWc
Caractéristiques de fonct. à 50°C	Umpp 48.5V	Impp 5.79 A
Surface totale	Surface modules 8m²	

- **Caractéristiques des Batteries**

Caractéristiques du banc de batteries Tension 48 V Capacité nominale 468 Ah

Nombre d'unités 4 en séries x 2 en parallèles.

- **L'énergie incidente**

Pour notre étude le résultat concernant l'énergie incidente de référence sur le plan des panneaux de Chalet est **5.567 KWh/jour** pour un fonctionnement en mode normal.

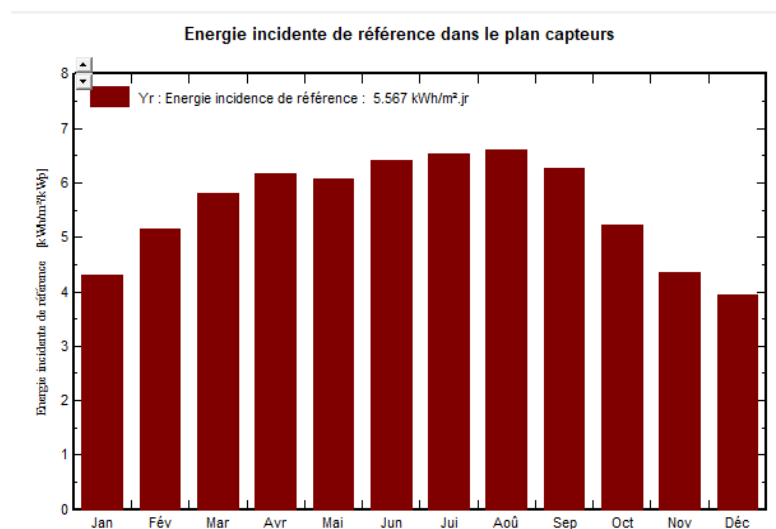


Figure 3-14 : Energie incidence de référence sur e plan des panneaux.

La distribution de rayonnement incidente de cette même énergie le long de l'année est illustrée par la figure ci-après.

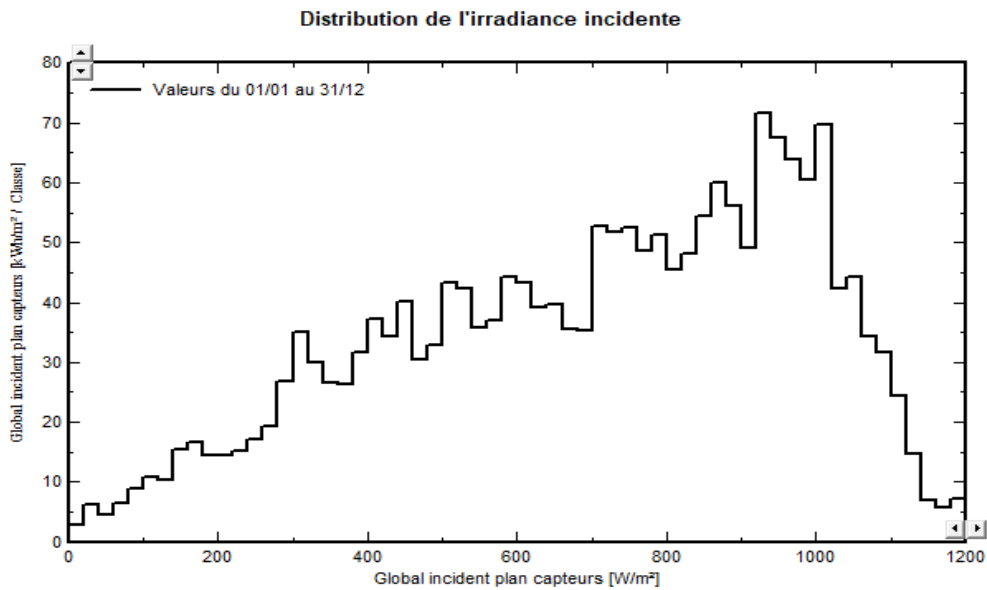


Figure 3-15 : Distribution annuelle de rayonnement incidente

Nous remarquons que la distribution de la puissance en sortie du champ PV varie suivant la même tendance que la distribution du rayonnement incident, à une échelle différente.

En plus des bilans mensuels et annuels, le résultat le plus signifiant est présenté sous forme de diagramme d'Entrée/Sortie reportant, l'énergie produite en fonction de l'énergie effectuée sortie champ, Figure (3-16).

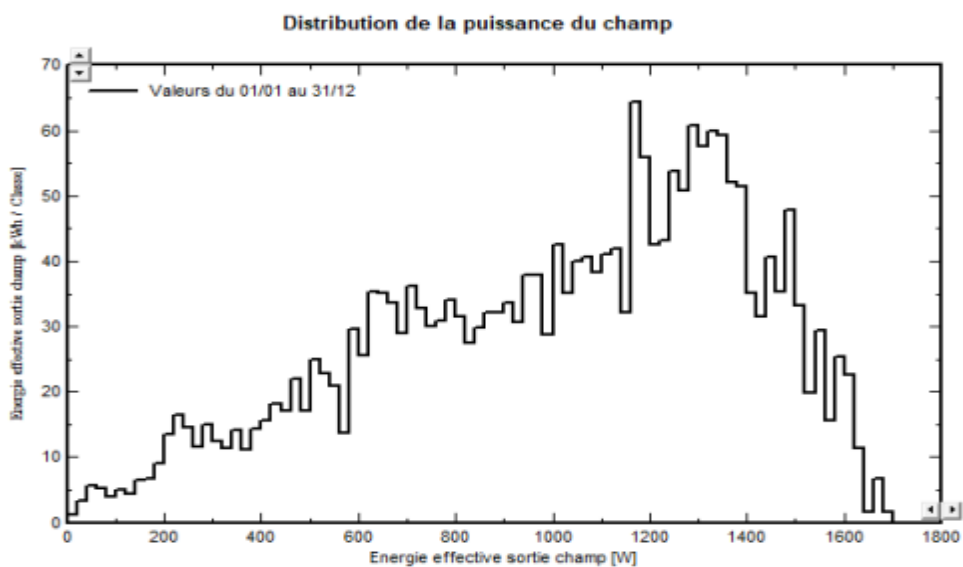


Figure 3-16: Distribution annuelle de la puissance en sortie du champ PV

- **Diagramme d'entrée/sortie journalier**

Le diagramme d'entrée/sortie implique l'énergie produite par le système en fonction de l'irradiation d'entrée. Idéalement l'énergie absorbée devrait augmenter d'une façon linéaire avec l'irradiation à

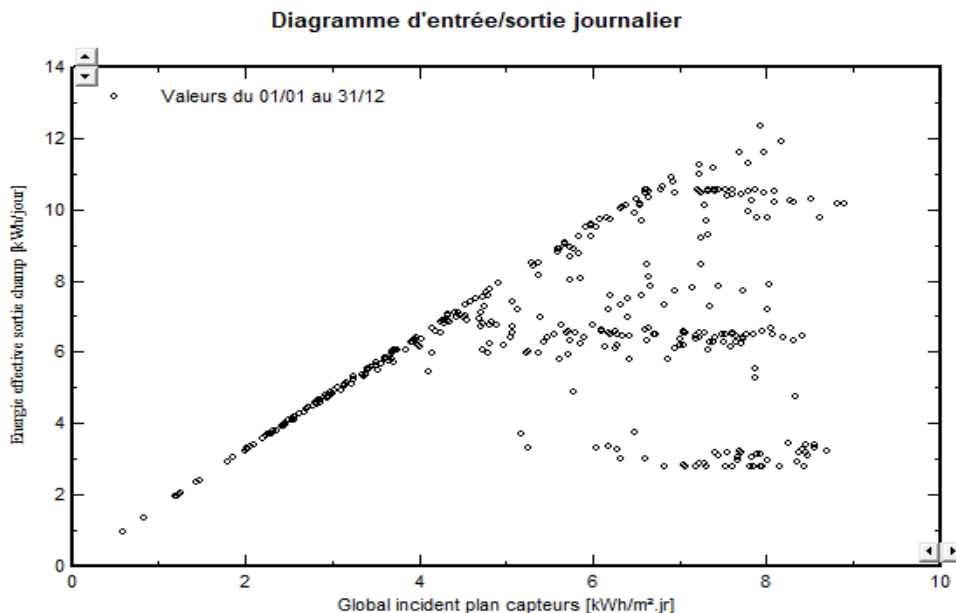


Figure 3-17 : Diagramme d'entrée/sortie journalier de notre système.

tout moment, ce graphique permet d'avoir une idée de la façon dont fonctionne le système et il donne les indications sur les jours inefficaces, et aussi il doit être aussi fort que possible sous-entendant fraction d'absorption bénéfique de l'énergie solaire, en d'autres termes une bonne efficacité de module.

Tous les points, il existe 365 correspondants à tous les jours de l'année, ils représentent la moyenne irradiation incidente de chaque jour et l'absorption correspondante.

Les points de fonctionnement sont alignés sur une droite, dont la pente est directement liée à l'efficacité du système.

Pour notre cas le schéma illustre un système qui fonctionne bien et efficace indiqué par la plupart des points conservés sur la ligne la plus raide, Il y a cependant quelques jours qui diffèrent de la tendance, mais la partie principale des jours gisaient sur le proche de la ligne linéaire.

- L'Énergie fournie à l'utilisateur

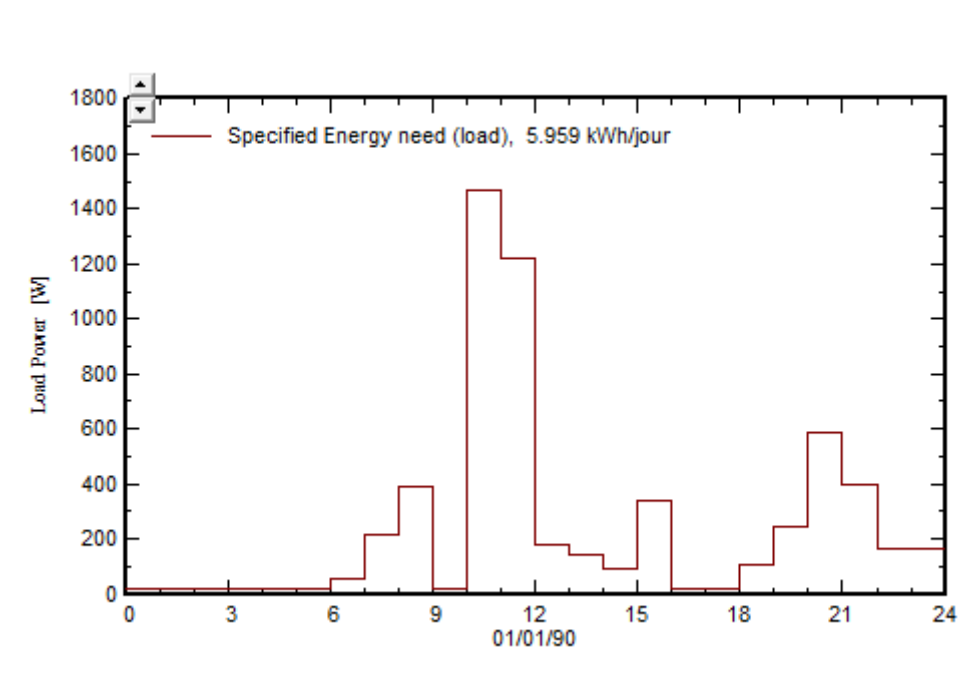


Figure 3-18 :L'énergie fournie à l'utilisateur au profil horaire de la journée.

A partir du diagramme on remarque que l'énergie fournie à l'utilisateur correspond à l'énergie demandée par le même l'utilisateur (figure 3-17), on remarque une demande de puissance importante aux environs de 1500 W à 10h du matin, cela reviens à l'utilisation de la machine à laver d'une puissance de 1200W et d'autres outils de puissances moins importantes.

- **Performance ratio**

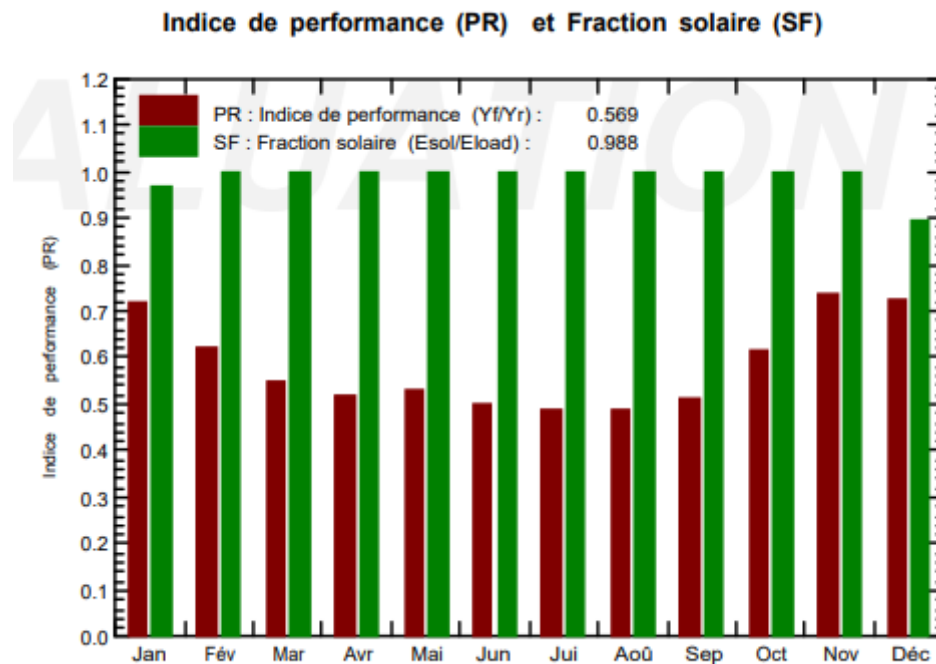


Figure 3-19 : Diagramme de comparaison entre le besoin énergétique et l'énergie fournie à l'utilisateur.

La figure (3-18) représente l'indice de performance (Performance Ratio) est le rendement de globale du système défini par le rapport de rendement réel du système par le rendement nominale du système tel que :

$$PR = \frac{\text{Rendement réel de système}}{\text{Rendement nominal de système}}$$

Dans notre cas l'indice de performance est : 0.569 %

La valeur typique de PR est 0,569 à 0,9 Alors Le système qui a été installé fonctionne bien.

Autrement les pertes dans le système peuvent être données par la relation suivant :

$$Lf = 1 - PR \quad (3.21)$$

Les pertes de ce système est : 43 %

Lf : Facteur des pertes due dans le système peut sont aux (câblage, diodes, Mismatch, non suivre du PMM, etc.).

- **Les productions normalisées**

La prédiction du système (à la sortie du stockage : **Yf**) est représentée sur **la figure III.17** .Les pertes **Lc**, **LsetLu** sont les pertes correspondantes au champ PV, les pertes de système de stockage et l'énergie non utilisée, respectivement.

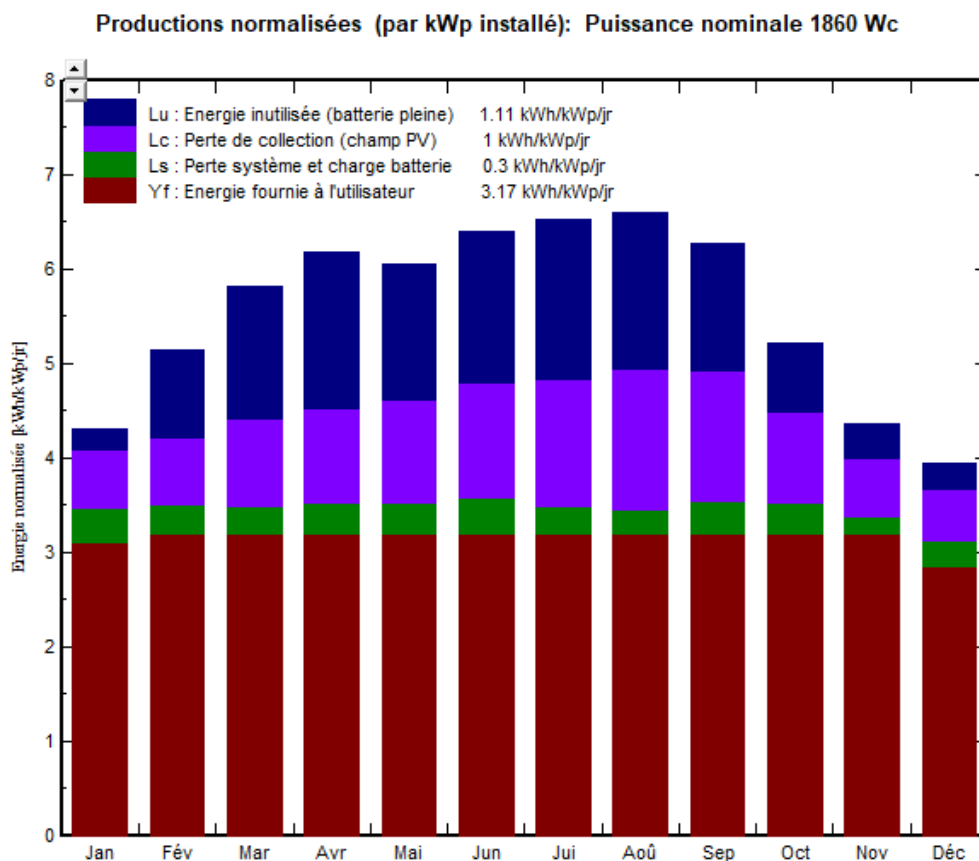


Figure 3-20 : Les Production normalisées.

- Bilan énergétique

Tableau 3-4 : Bilan énergétique.

Nouvelle variante de simulation
Bilans et résultats principaux

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac
Janvier	79.7	132.5	175.1	0.49	9.36	168.1	177.4	0.947
Février	97.2	142.9	191.0	22.13	0.00	160.3	160.3	1.000
Mars	145.1	178.7	234.3	48.01	0.00	177.4	177.4	1.000
Avril	174.0	182.9	240.9	64.09	0.00	171.7	171.7	1.000
Mai	201.8	185.3	239.7	51.77	0.00	177.4	177.4	1.000
Juin	217.8	189.4	241.3	62.97	0.00	171.7	171.7	1.000
Juillet	225.1	199.5	251.0	69.04	0.00	177.4	177.4	1.000
Août	201.8	201.9	251.3	65.49	0.00	177.4	177.4	1.000
Septembre	160.2	185.9	233.0	57.76	0.00	171.7	171.7	1.000
Octobre	118.4	160.7	204.7	25.75	0.00	177.4	177.4	1.000
Novembre	80.7	130.0	171.7	0.01	0.00	171.7	171.7	1.000
Décembre	69.1	121.6	161.9	4.46	32.24	145.2	177.4	0.818
Année	1770.8	2011.2	2595.9	471.96	41.59	2047.7	2089.3	0.980

Légendes: GlobHor	Irradiation globale horizontale	E_Miss	Energie manquante
GlobEff	Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages	E_User	Energie fournie à l'utilisateur
E_Avail	Energie solaire disponible	E_Load	Besoin d'énergie de l'utilisateur
EUnused	Énergie inutilisée (batterie pleine)	SolFrac	Fraction solaire (Eutile / Ebesoin)

GlobHor : Rayonnement global horizontal : une combinaison du rayonnement diffuse global et du rayonnement direct global pour une surface horizontale.

GlobEff: Le rayonnement effectif sur les collecteurs : le rayonnement restant après les pertes détaillées précédemment, multiplié par la surface PV (la surface du module telle que définie dans le fichier *.PAN).

La conversion PV : le rendement du module aux STC (conditions standards de test). L'énergie nominale du panneau (au rendement STC) : le rendement de la production PV multiplié par le rayonnement efficace sur les collecteurs.

EArray: Energie effective sortie champ (L'énergie nominale du panneau (au rendement STC) – les pertes de modèle PV et les pertes de champ).

D'après résultat on voit bien que l'énergie produite par le champ photovoltaïque test proportionnelle aux valeurs d'énergie incident (Globinc).

• Diagramme des pertes

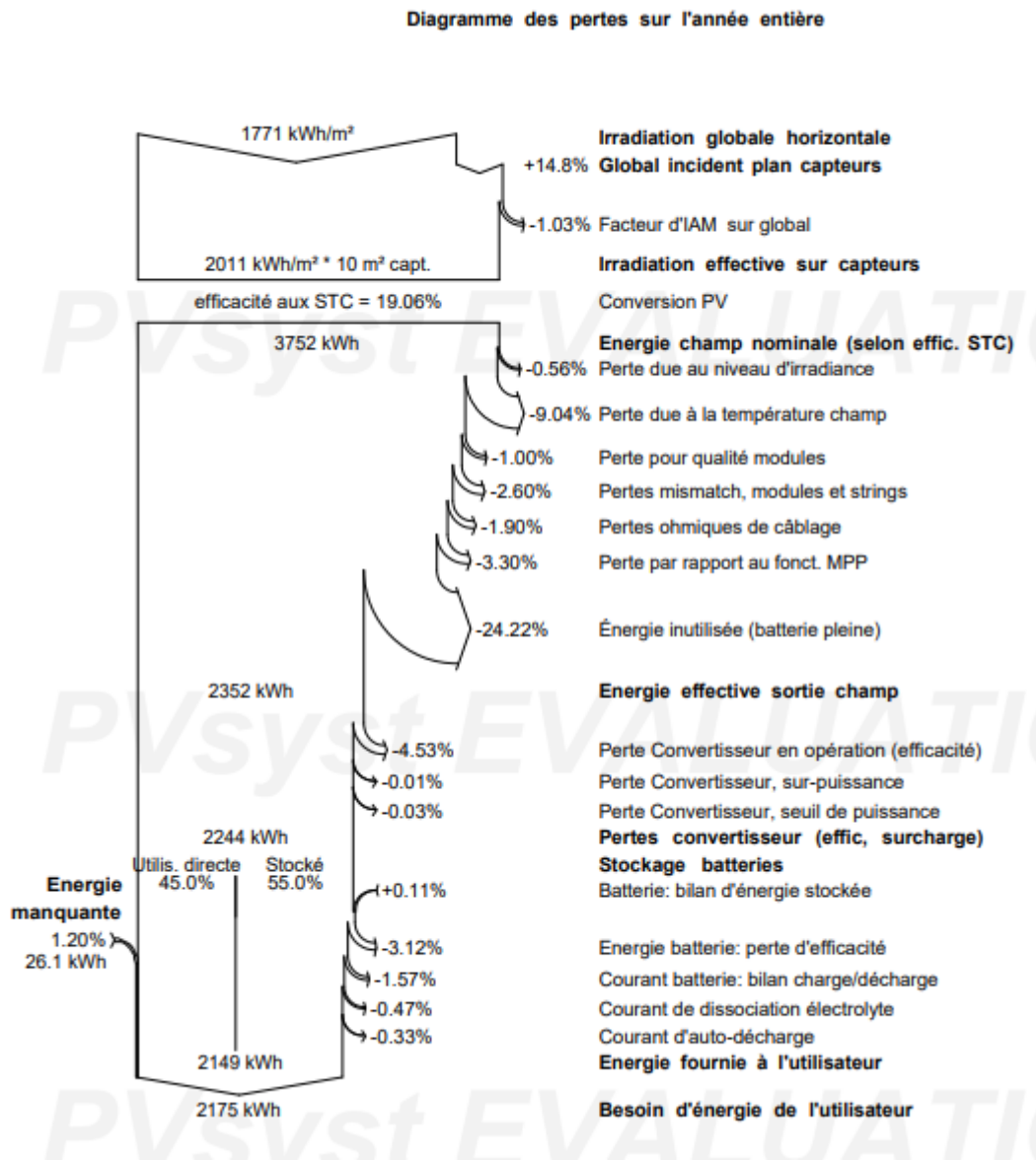


Figure 3-21 : Diagramme des pertes du système sur 'année entière.

Le diagramme des pertes nous permet d'examiner en détail un système pour essayer d'améliorer ces performances. Les trois chiffres complémentaires de Production, de Productible et d'Indice de performance décrivent le fonctionnement global du système.

-l'angle d'inclinaison des panneaux apporte un gain annuel de 14.8%.

-l'ombrage linéaire est la proportion annuelle de surface ombrée, ici une baisse d'inclinaison des panneaux permettrait de réduire cette perte.

-la perte due au verre par lumière rasante ne peut pas être modifiée sans changer le verre.

- la perte due au niveau d'irradiante correspond aux pertes à petite lumière, ici le chiffre de -9.04 % est excellent et ne pourrait être modifié qu'en changeant de panneaux.
- la perte due à la température du champ est influencée par le montage - ici très favorable. La présence de vent peut améliorer cette performance.
- la perte "qualité" est ici un gain avec une tolérance positive de livraison des modules.
- le mis match peut être amélioré en triant plus finement les modules.
- les pertes ohmiques DC sont ici très faible, une plus grande section de câble améliorerait encore ce résultat.
- la perte de rendement "onduleur" dépend du modèle choisi - ici un des meilleurs disponibles. D'autres pertes "onduleur" nous pousseraient à une modification éventuelle du système.

En effet, l'énergie produit par le champ PV (énergie sortie du champ) estimée à 3752 KWh et réduire à 2175 KWh à la sortie pour utilisateur.

3.5. Conclusion

Les installations photovoltaïques par leur caractère d'autonomie doivent être dimensionnées pour qu'elles fournissent de l'énergie dans les conditions les plus défavorables, afin d'aboutir à une meilleure optimisation des installations photovoltaïques qui demeurent l'objectif de tout installateur photovoltaïque.

Dans ce chapitre nous avons essayé de dimensionner notre installation photovoltaïque à l'aide de deux moyens différents, soit par un calcul analytique, ou par un logiciel de calcul.

Le logiciel PVsyst permet de simuler un système photovoltaïque avec une prise en compte de tous les aspects : pertes, emplacement géographique,...etc. Ceci a permis de faire une meilleure estimation des pertes qui peuvent affecter le rendement global, A base des résultats de simulation, nous pouvons conclure que notre système permet de produire une quantité d'énergie qui satisfait nos besoins pour tous les mois de l'année.

Il s'avère que les deux moyens sont justes et ils aboutissent à des résultats presque identiques.

Chapitre 04

Etude économique

4.1. Introduction

Suite à notre étude du système d'installation d'une chaîne photovoltaïque, il est important d'évaluer le coût annuel total de notre système.

Ce chapitre a pour objectif de déterminer si les installations photovoltaïques sont rentables d'un point de vue économique (financier), énergétique. Afin de réaliser une étude complète du photovoltaïque.

4.2. Estimation du prix de notre installation photovoltaïque autonome

- Panneau photovoltaïque : **Jinko.**

- Puissance maximale : 310W.

Prix d'un panneau : 18 000 DA.

- Batteries solaires : **ENERSOL.**

- Capacité nominale : 260 Ah.

- Tension : 24V. Prix d'une batterie : 30 000 DA.

Prix batterie : 55000 DA

- **Onduleur Hybride (onduleur chargeur) MUST :**

- Tension : 48V

- Puissance : 3000W

Prix d'un onduleur : 65000 DA.

Tableau 4-1 : Etude économique du système PV.

Désignation	Nombre	Prix unitaire (DA)	Sous Total (DA)
Panneaux photovoltaïques	6	18000	108000
Batterie	8	55000	440000
Onduleur	1	65000	65000
Câble et divers	Section : 4mm(3m) 1.5mm (6m) 50mm (4m) 25 mm (12m)	27000	27000
Supports pour les modules	3 Triangles	9000	27000
L'installation	/	100000	100000
TOTAL			767 000

Le tableau montré que pour notre production, Le cout total du système photovoltaïque est : 767 000 DZD.

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

- Coût de maintenance et d'exploitation est pris égal à 5% de l'investissement initial ;
- La main d'œuvre est pris égale à 10% de l'investissement initial ;
- Coût d'investissement initial ;
- Le coût de remplacement des équipements. Suite aux résultats trouvés, l'amortissement de l'investissement du projet est estimé de 20 à 25 ans, et la durée de vie des batteries est de 10 ans, aussi nous considèrerons ces batteries seront remplacées deux fois pendant la durée de projet.

4.3. Conclusion :

Il faut savoir que le kWh solaire est cher. L'utilisateur doit choisir des récepteurs de faible consommation comme nous le conseillons pour l'alimentation dans notre chalet.

Conclusion général

Conclusion General

Pour contribuer à la solution aux problèmes d'énergie, il est intéressant de développer des sources décentralisées de cette énergie. Dans la recherche de telles solutions, le système hybride développé pourra constituer un moyen très économique.

Le travail présenté dans ce mémoire a pour but d'alimenter un Chalet sur le site de Chréa la wilaya de Blida avec une énergie issue de la combinaison de Réseau électrique et du photovoltaïque.

L'étude de dimensionnement est toujours confrontée par deux critères essentiels qui sont l'ensoleillement solaire et la demande de l'énergie, Afin de réussir un SEH.

Nous avons présenté les notions fondamentales concernant le principe de l'effet photovoltaïque, le potentiel solaire et les différentes technologies des cellules solaires, identifié aussi tous les équipements de notre installation Hybride, Ainsi Pour permettre une alimentation permanente des récepteurs de charge, on a utilisées les batteries solaires , et un convertisseur chargeur qui a pour fonction principale de convertir une tension alternative venant du réseau électrique en tension continue comme celle d'une batterie.

Nous avons présenté les différentes méthodes de dimensionnement d'un système PV ,Pour atteindre ce but, nous avons déterminé la capacité du générateur et celle du stockage, avec le choix du module PV et de l'élément batterie convenables à un bon dimensionnement numérique.

La méthode utilisée pour l'estimation du couple générateur / batterie est simple, basé sur le profil de consommation et l'apport énergétique du lieu. La mise en œuvre de cette méthode a été effectuée à l'aide d'un logiciel PVsyst

Le logiciel de simulation que nous avons utilisé PVsyst, répond correctement aux choix des composants constituant notre installation, plusieurs résultats sont obtenus avec meilleures perspectives.

Suivant notre étude comparative, on a trouvé que le dimensionnement par PVsyst donne des bons résultats par rapport au dimensionnement par la méthode analytique.

Enfin, nous avons établi une étude de la rentabilité économique et nous avons constaté que l'installation Hybride (photovoltaïque – réseau) est intéressante. Il est à signaler que notre installation devient rentable de vue de l'économie d'énergie qui actuelle très significatif par rapport le réseau électrique.

Annexes

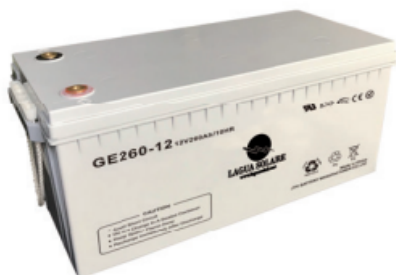
Annexe A



Batterie GE260-12

GE260-12 12V260AH

GE SERIES-GEL Battery



Applications

- ◆ Telecommunications
- ◆ Solar system
- ◆ Wind power system
- ◆ Engine starting
- ◆ Wheelchair
- ◆ Floor cleaning machines
- ◆ Golf trolley
- ◆ Boats

Specification

Nomial Voltage	12V	
Nomial Capacity(10HR)	260.0AH	
Dimension	Length	520±3mm (20.55 inches)
	Width	268±2mm (10.5 inches)
	Container Height	220±2mm (8.58 inches)
	Total Height (with Terminal)	243±2mm (9.57 inches)
Approx Weight	Approx 66.0 Kg (145.53lbs)	
Terminal	M8	
Container Material	ABS	
Rated Capacity	267.3AH/12.8A	(20hr, 1.80V/cell, 25°C/77°F)
	250.0 AH/25.0A	(10hr, 1.80V/cell, 25°C/77°F)
	218.7 AH/43.7A	(5hr, 1.75V/cell, 25°C/77°F)
	198.7 AH/66.2A	(3hr, 1.75V/cell, 25°C/77°F)
	161.5 AH/161.5A	(1hr, 1.60V/cell, 25°C/77°F)
Max. Discharge Current	2000A (5s)	
Internal Resistance	Approx 2.0mΩ	
Operating Temp. Range	Discharge	-15~50°C (5~122°F)
	Charge	0~40°C (32~104°F)
	Storage	-15~40°C (5~104°F)
Nominal Operating Temp. Range	25±3°C (77±5°F)	

Figure A : Fiche technique d'une batterie 12V 260Ah.

Annexe B

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM290M-60		JKM295M-60		JKM300M-60		JKM305M-60		JKM310M-60	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	290Wp	216Wp	295Wp	220Wp	300Wp	224Wp	305Wp	227Wp	310Wp	231Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	32.2V	30.2V	32.4V	30.4V	32.6V	30.6V	32.8V	30.8V	33.0V	31.0V
Maximum Power Current (Imp)	9.02A	7.15A	9.10A	7.24A	9.21A	7.32A	9.30A	7.40A	9.40A	7.49A
Open-circuit Voltage (Voc)	39.5V	36.6V	39.7V	36.8V	40.1V	37.0V	40.3V	37.2V	40.5V	37.4V
Short-circuit Current (Isc)	9.55A	7.81A	9.61A	7.89A	9.72A	8.01A	9.83A	8.12A	9.92A	8.20A
Module Efficiency STC (%)	17.72%		18.02%		18.33%		18.63%		18.94%	
Operating Temperature (°C)	-40°C~+85°C									
Maximum System Voltage	1000VDC (UL and IEC)									
Maximum Series Fuse Rating	20A									
Power Tolerance	0~+3%									
Temperature Coefficients of Pmax	-0.39%/°C									
Temperature Coefficients of Voc	-0.29%/°C									
Temperature Coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C									

Figure B : Fiche technique d'un panneau 310W.

Annexe C

MODEL		EP30-1KW PRO		EP30-1.5KW PRO		EP30-2KW PRO		EP30-3KW PRO			EP30-4KW PRO		EP30-5KW PRO		EP30-6KW PRO	
Nominal Battery System Voltage		12VDC	24VDC	12VDC	24VDC	12VDC	24VDC	12VDC	24VDC	48VDC	24VDC	48VDC	24VDC	48VDC	24VDC	48VDC
INVERTER OUTPUT	Rated Power	1.0KW		1.5KW		2KW		3KW			4KW		5KW		6KW	
	Surge Rating (20ms)	3.0KW		4.5KW		6.0KW		9.0KW			12KW		15KVA		18KW	
	Capable Of Starting Electric Motor	1HP		1HP		1HP		2HP					3HP			
	Waveform	Pure sine wave/ same as input (bypass mode)														
	Nominal Output Voltage RMS	100V/110V/120VAC						220V/230V/240VAC(±10% RMS)						220V/230V/240VAC(±10% RMS)		
	Output Frequency	50Hz/60Hz±0.3 Hz														
	Inverter Efficiency(Peak)	>88%														
	Line Mode Efficiency	>95%														
	Power Factor	1.0														
	Typical Transfer Time	10ms(max)														

Figure C : Fiche technique d'un onduleur de 3KW.

Annexe D

Section (mm²)
1,5
2,5
4
6
10
16
25
35
50
70
95
120
150
185
240

Figure D : Les différentes sections des câbles au cuivre.

Bibliographie

- [1] http://www.energy.gov.dz/fr/enr/Guide_Enr_fr.pdf
- [2] <http://www.energy.gov.dz/francais/index.php?page=potentiels>.
- [3] BOUKLI-HACENE Omar, «Conception et Réalisation d'un Générateur Photovoltaïque Muni d'un Convertisseur MPPT pour une Meilleure Gestion Energétique», Thèse de Magister, Université Abou BakrBelkaid de Tlemcen (Décembre 2011).
- [4] Brahim (MEM). 'Situation des énergies renouvelables en Algérie'. Conférence sur la maîtrise de l'énergie et de l'environnement dans un contexte d'économie de marche, 22 et 23 mai 2001, Hôtel Sheraton, Alger, Algérie.
- [5] A. Ainouche: 'Natural gas and Algerian strategy for renewable energy'. 23rd World GAS Conference, Amsterdam, 2006.
- [6] M. Dahbi « Etude et optimisation d'une installation Hybride PV-Eolienne Autonome », mémoire de magister, option physique énergétique 2007.
- [7] A.E.BOUZID et M.AZIZI : Dimensionnement d'un système photovoltaïque pour l'alimentation d'une ferme. juin 2008.
- [8] Alain Cheron – Le rayonnement solaire dans l'environnement terrestre, 2014
- [9] MERABET Abd El Hak, « Dimensionnement d'un système d'alimentation en énergie électrique par voie photovoltaïque pour l'alimentation d'une habitation », Mémoire de fin d'étude master université de Biskra, 2018.
- [10] W.BENSACI : Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT. 2012.
- [11] Angel Cid Pastor « Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques », thèse de doctorat. Institut National Des Sciences Appliquées de Toulouse, 2006.
- [12] A.E.BOUZID et M.AZIZI : Dimensionnement d'un système photovoltaïque pour l'alimentation d'une ferme. juin 2008.
- [13] F.HANANOU et A.ROUABAH : Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque. juin 2014.
- [14] A.Morsli : Etude d'un système solaire photovoltaïque, utilisant des supercondensateurs. Edition universitaire européennes, 2012.

- [15] D.BETAOUAF et O.H.MohamedKaber : COMMANDE robuste d'un système photovoltaïque a usage domestique. Juin 2013
- [16] K.Benlarbi, L, Mokrani, M.S .Nait-Said « Afuzzy global efficiency optimization of a photovoltaic water system », Solar Energy 77 2004.
- [17] http://sigma-tec.fr/textes/texte_principes.html
- [18] A.ouledmohamedyahya, A. OuledmohamedeII.youm, Etude et modalisation d'un générateur photovoltaïque', revues des energies renouvelables, vol.11, N3, PP.473-483, 2008.
- [19] Modelisation et simulation d'un systemephotovoltaique adapté par une commande MPPT. 2012.
- [20] D.BETAOUAF et O.H.MohamedKaber : COMMANDE robuste d'un système photovoltaïque à usage domestique. Juin 2013
- [21] E.Kechar, E.Azzag et I.Touaïbia : Influence des rayonnements solaires sur le rendement des panneaux photovoltaïques. Thèse de doctorat, Université Abou bekrBelkaid – Tlemcen, 2015.
- [22] Hamza Bradai 'Etude et dimensionnement d'un système d'éclairage solaire pour la faculté des sciences et technologie à l'université d'Adrar'' JUIN 2015
- [23] S-H. Wei,S.Chen and X.G .Gong,Phys. Rev B 75,205209(2007)
- [24] BOUKLI-HACENE Omar, «Conception et Réalisation d'un Générateur Photovoltaïque Muni d'un Convertisseur MPPT pour une Meilleure Gestion Energétique», Thèse de Magister, Université Abou BakrBelkaiddeTlemcen(Décembre 2011).
- [25] S-H. Wei,S.Chen and X.G .Gong,Phys. Rev B 75,205209(2007)
- [26] <https://www.gre-enr.fr/panneau-photovoltaique/>
- [27] A.ouledmohamedyahya, A. OuledmohamedeII.youm, Etude et modalisation d'un générateur photovoltaïque', revues des energies renouvelables, vol.11, N3, PP.473-483, 2008.
- [28] F.GUESSOUMI et A.SAADI, Mémoire de fine d'études « commande de panneaux solaire a l'aide d'une carte APIC, Université Biskra, 2010
- [29] A. C. Pastor, "Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques ," Institut National de Science Appliquée de toulouse Thèse de doctorat.
- [30] HAMDY Abderrazak, « Conception et dimensionnement d'un système Photovoltaïque pour habitation et pompage », Mémoire de fin d'étude master, Université Mohamed Khider de Biskra, 2018.
- [31] Sylvain Briugand, Installations solaire photovoltaïque : dimensionnement installations et mise en œuvre maintenance, Paris : le Moniteur, 2011.

- [32] AMARA Karima , Mémoire de Magister contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque de puissance (IMW) interconnectée au réseau de distribution électrique moyenne tension , UMMTO 2014/2015
- [33] A. LABOURET et M. VILLOZ, "energie solaire photovoltaïque", paris: LEMONITEUR, 2006
- [34] <https://allo.solar/base-de-connaissances/quelles-differences-entre-pwm-et-mppt.html>
- [35] F. SANDRA, "Eclairage urbain", ENSAG M1CV2
- [36] LAPP –Documentation : Câbles et connecteurs pour le photovoltaïque
- [37] MATALLAH Sorya, «Dimensionnement et simulation d'un système photovoltaïque pour alimenter un habitat dans la wilaya d'Ouargla», Mémoire de Master, Université KasdiMerbah d'Ouargla (07/06/2015)
- [38] Document : Guide des Installations photovoltaïques raccordées au réseau électrique destiné aux particuliers
- [39] MODULE ELECTRICITE SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE M 41.1, Edition 2009.
- [40] Clarence SEMASSOU, « Aide à la décision pour le choix de sites et systèmes énergétiques adaptés aux besoins du Bénin », pour obtenir le titre de docteur de l'université Bordeaux 1 école doctorale : sciences physiques pour l'ingénieur (spi), 2011.
- [41] NDIAYE Modou, « conception et optimisation d'un modèle d'électrification hybride raccordé au réseau de distribution de la SENELEC application à la résidence hôtelière MOUNA NDAYANE », Diplôme d'ingénieur de conception (2002/2003).
- [42] Rapport technique : Améliorer la gouvernance des espaces boisés méditerranéens à travers la mise en œuvre de démarches participatives – Parc National de Chréa, Algérie
- [43] FOGELMAN & Régis MONTLOIN, « Installations Photovoltaïques dans l'habitat isolé » livre édité par : EDISUD, 1983